БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ И ИЗКУСТВАТА
Научен институт по Архитектура, Строителство и Градоустройство

BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCE AND ARTS
Scientific Institute for Architecture, Construction and Urban Planning



София / Sofia
2026

Българска
Първо издание

Научен редактор:
проф. д-р арх. Николай ТУЛЕШКОВ
проф. д-р инж. Дончо ПАРТОВ

Художник:
Юлиан ТУЛЕШКОВ

Компютърен дизайн:
Милена БОЖИДАРОВА

Предпечатна подготовка:
АИ „Арх & Арт“
1505 София, бул. „Ситняково“ 47А



Печат:
Direct Services Ltd

ISSN 2815-3650

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ И ИЗКУСТВАТА
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCE AND ARTS

доклади

МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ОПАЗВАНЕ НА НЕДВИЖИМОТО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО

БАНИ’2025
21-23 ноември 2025

proceedings

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE “PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE”

BASA’ 2025
21-23 november 2025

София / Sofia
2026

Всички доклади в сборника на BASA бяха рецензирани от независими рецензенти.

All contributions in the BASA proceedings were reviewed by independent reviewers.

Докладите в сборника са рецензирани от Комисия в състав:
проф. д-р арх. Николай Тулешков, академик на "БАНИ"
проф. д-р инж. Дончо Партов
проф. д-р л. арх. Пенчо Добрев, дописен член на "БАНИ"
проф. д-р инж. Фантина Рангелова
проф. д-р инж. Марина Трайкова
Rewiewers of the papers published in the conference proceedings:
Prof. arch. Nikolay Tuleshkov, PhD - Academician in "BASA"
Prof. Eng. Doncho Partov, PhD
Prof. arch. Pencho Dobrev, PhD, Corresponding Member in "BASA"
Prof. Eng. Fantina Rangelova, PhD
Prof. Eng. Marina Traykova, PhD

**Авторите запазват авторските си права върху докладите в сборника,
като носят пълна отговорност за съдържанието им.
"БАНИ" разпространява сборника с публикуваните доклади
и не носи отговорност, ако авторите са причинили вреда на трети лица.**

**Authors of contributions are responsible for the statements
or opinions expressed in the papers.**

ПОЧЕТНИ СЪОРГАНИЗАТОРИ

МИНИСТЕРСТВО НА КУЛТУРАТА
МЕЖДУНАРОДНА АКАДЕМИЯ ПО АРХИТЕКТУРА
СЪЮЗ НА АРХИТЕКТИТЕ В БЪЛГАРИЯ
КАМАРА НА АРХИТЕКТИТЕ В БЪЛГАРИЯ
КАМАРА НА ИНЖЕНЕРИТЕ В ИНВЕСТИЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ
НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО СТРОИТЕЛСТВО В БЪЛГАРИЯ
СРЪБСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ И ИЗКУСТВАТА

НАЦИОНАЛЕН НАУЧЕН КОМИТЕТ

проф. д-р на науките. арх. Борислав Борисов, ВСУ ”Л.Каравелов”, София,
проф. д-р л. арх. Пенчо Добрев, ВСУ ”Л.Каравелов”, София
доц. д-р л. арх. Емил Галев, ЛТУ, София
проф. д-р инж. Марина Трайкова , УАСГ, София
проф. д-р инж. Фантина Рангелова, УАСГ, София
доц. д-р инж. Лазар Георгиев, УАСГ,София
гл.ас. д-р инж. Николай Милев, УАСГ, София

МЕЖДУНАРОДЕН НАУЧЕН КОМИТЕТ

проф. д-р инж. Антония Моропоулоу, ТУ, Атина, Гърция
проф. д-р инж. Миряна Малешев, Инст. за тестване, оценка и саниране на конструкции, Нови Сад
проф. д-р инж. Антонио Формисано, ТУ,Неапол, Федерико II, Италия
проф. д-р инж. Астериос Лиолиос, Тракийски университет „Демокрит”, Гърция
проф. дтн. Божидар Янев, Колумбийски Университет, Ню Йорк, САЩ
проф. д-р инж. Властимир Радонянин, Инст. за тестване, оценка и саниране на конструкции, Нови Сад
проф. д-р инж..Бошко Стеванович, ТУ, Белград, Сърбия
проф. д-р инж. Вероника Шентова, Инст. Сеизм. инж., Скопие, Македония
проф. д-р инж.Владимир Бенко, ТУ, Братислава, Словакия
проф. д-р инж. Голубка Нецевска, Инст. Сеизм. инж. Скопие, Македония
проф. д-р инж. Гунар Грюн, ТУ, Нюрнберг, Германия
проф. д-р инж. Гйорюн Арун, ХКУ, Газинтеп, Турция
проф. д-р инж. Дамир Зенунович, МГИ, Босна и Херцеговина
проф. д-р инж..Джанмарко Де Феличе, Университет-Рим,Италия
проф. д-р инж. Драган Костич, ТУ, Ниш, Сърбия
Доц. д-р инж. Ева Корманикова, ТУ, Кошице, Словакия
инж. Жак Негуер, р-л - лаборатория по антична консервация, Израел
проф. д-р инж. Иван Балаж, ТУ, Братислава, Словакия
проф. д-р инж. Иржи Маца, ТУ, Прага, Чехия
проф. д-р арх. Йешим Камиле Актуглу, Университет ДокузЕилул,Измир, Турция
проф. д-р арх. Клара Бертолини-Цестари, ТУ, Торино, Италия
проф.дтн. Кршищов Зима, ТУ, Краков, Полша
проф. д-р инж. Маурицио Пиаца, ТУ, Тренто, Италия
проф. д-р инж. Марио Киорино, ТУ, Торино, Италия
проф.д.т.н. инж.Мариус Машлак, ТУ, Краков, Полша
проф. д-р инж. Мартин Крейса, ТУ, Острава, Чехия
проф. д-р инж. Маятин Крус, ТУ, Щутгарт, Германия, Чехия
доц.д-р арх. Мая Поповац , Университет “Джемал Бийедичѓ, Мостар, Б и Х
проф. д-р инж. Мери Цветковска, У-т „Кирил и Методий“,Скопие, Македония
проф. д-р инж. Милош Дрдацки, ЧАН, Прага, Чехия
доц. д-р арх. Миомир Васов, Университет в Ниш, Сърбия
проф. д-р инж. Мирослав Байер, ТУ, Бърно, Чехия
проф. д-р арх. Надя Куртович Фолич, Университет в Нови Сад, Сърбия
доц. д-р инж. Наида Адемович, Сараево, Б и Х
Д-р арх. Наташа Луксор, Директор, НИПК-Белград,, Сърбия
проф. д-р арх. Никола Цекич, ТУ, Ниш, Сърбия
проф. д-р инж. Николае Тарану, ТУ, Иаши, Румъния
доц. д-р инж. Петър Куклик, ТУ Прага, Чехия
.проф. д.т.н. инж. Паоло Лоренцо, ТУ, Минйо, Португалия
проф. д-р инж. Радомир Фолич, Университет в Нови Сад, Сърбия
проф. д-р инж. Рита Бенто, ТУ, Лисабон, Португалия
проф. д.т.н. инж.Филип Ван Богарт, ТУ, Гент. Белгия
проф. д-р инж. Франтишек Валд, ТУ, Прага, Чехия
проф. д.т.н. инж. Хартмут Пастернак, БТУ, Котбус, Германия
доц. д-р инж. Яна Маркова, ТУ, Прага, Чехия

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

проф. д-р арх. Николай Тулешков, НЦАСГД при БАНИ, София, Председател
проф. д-р инж. Дончо Партов, ВСУ, ”Л.Каравелов”, София, Зам. председател
проф. д. изк. Благовеста Иванова, ВСУ ”Л.Каравелов”,
гл. ас.д-р инж. Иван Иванчев, УАСГ, София
инж. Радослав Николов, ВСУ ”Л.Каравелов
д-р Филип Петрунов, археолог, НАИМ, БАН

HONORARY CO-ORGANIZERS

MINISTRY OF CULTURE IN BULGARIA
INTERNATIONAL ACADEMY OF ARCHITECTURE
UNION OF ARCHITECTS IN BULGARIA
CHAMBER OF ARCHITECTS IN BULGARIA
CHAMBER OF ENGINEERS IN INVESTMENT DESIGN
SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

NATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE:

Prof. arch. Borislav Borisov, DrSc - VSU "L. Karavelov"
Prof. arch. Pencho Dobrev, PhD - VSU "L. Karavelov"
Assoc. Prof. arch. Emil Galev, PhD – LTU-Sofia
Prof. Marina Traykova, PhD – UACEG, Sofia
Prof. Fantina Rangelova, PhD – UACEG, Sofia
Assoc.Prof. Lazar Georgiev, PhD-UACEG,Sofia
Assist. Prof. Nikolay Milev, PhD – UACEG, Sofia

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE:

Prof. Antonia Moropoulou, PhD – National Technical University of Athens, Greece
Prof. Mirjana Malešev,PhD, Inst. for testing, assessment and repair of structures, Novi Sad, Serbia
Prof. Antonio Formisano, PhD- University of Naples Federico II, Italy
Prof. Asterios Liolios, Ph – Democritus University of Thrace, Greece
Prof. Vlastimir Radonjanin,PhD. Inst. for testing, assessment and repair of structures, Novi Sad, Serbia
Prof. Boško Stevanović, PhD- University of Beograd, Serbija
Prof. Bojidar Yanev, DSc –Colubia University, New York City
Prof. arch. Clara-Bertolini-Cestari, PhD – Politecnico di Torino, Torino, Italy
Prof. Damir Zenunović,PhD – Technical University of Tuzla, B&H
Prof. Dragan Kostić, PhD- University of Niš, Serbija
Assoc. Prof. Eva Kormanikova, PhD- University of Technology, Košice, Slovakia
Prof. František Wald, PhD – Czech Technical University in Prague, Czech Republic
Prof. Gianmarco de Felice, PhD – Roma Tre University, Italy
Prof. Golubka Necevska-Cvetanovska, PhD – IZIIS, Skopje, Macedonia
Prof. Görün Arun, PhD-HKU, Gaziantep, Turkey
Prof. Gunnar Grün, Phd, Technical University of Nürnberg, Germany
Prof. Hartmut Pasternak, DrSc, BTU, Cottbus, Germany
Prof. Jiri Maca, PhD – University of Technology, Prague, Czech Republic
Prof. Ivan Baláž, PhD – University of Technology in Bratislava, Slovakia
Eng. Jacques Neguer, Head of Art Conservation Department, Israel Antiq. Authority
Assoc. Prof. Jana Markova, Phd- Czech Technical University in Prague, Czech Republic
Prof. Krzysztof Zima, DSc- University of Technology, Cracow, Poland
Assoc. Prof. arch. Maja Popovac, PhD, University "Džemal Bijedić, Mostar, B&H
Prof. Mariusz Maślak, DrSc– University of Technology, Cracow, Poland
Prof. Martin Krejsa, PhD, VŠB-Technical University of Ostrava, Czech Republic
Prof. Martin Krus, PhD, Technical University of Stuttgart, Germany
Prof. Emeritus, Mario A. Chiorino, DSc,-Politechniko di Torino, Torino, Italy
Prof. Maurizio Piazza. PhD - University of Trento, Italy
Prof. Meri Cvetkovska, PhD, Ss. Cyril&Methodius University, Skopje, Macedonia
Prof. d-r h. c. Miloš Drdácký, DrSc. – ITAM-Acad. of Sciences, Prague, Czech Republic
Prof. arch. Miomir Vasov, Phd - University of Niś, Serbia
Prof. Miroslav Bajer. PhD - University of Technology, Brno, Czech Republic
Prof. arch. Nadja Kurtović-Folić, PhD – University of Novi Sad, Serbija
Assoc. Prof. PhD. Naida Ademovic, PhD-University of Sarajevo, B&H
Arh. Natasa Luxor, PhD, Director of National Heritage Foundation-Belgrade, Serbia
Prof. arch. Nikola Cekić, Phd - University of Niś, Serbia
Prof. d-r h. c. Nicolae Taranu, PhD – TU Iaśi, Romania
Prof. Paulo B. Lorenco, PhD – University of Minho, Portugal
Assoc. Prof. Petr Kuklik, PhD – Czech Tech. Univ. in Prague, Czech Republic
Prof. Philippe Van Bogaert, DSc – State University of Ghent, Belgium
Prof. Emeritus, d-r h. c. Radomir Folić, PhD – University of Novi Sad, Sebija
Prof. Rita Bento, PhD – Technical University of Lisbon, Portugal
Prof. Veronika Shendova, PhD – IZIIS, Skopje, Nord Macedonia
Prof. Vladimír Benko, Phd- University of Technology, Bratislava, Slovakia
Prof. Yesim Kamile Aktuglu, PhD – Dokuz Eylul University, Izmir,Turkey

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. arch. Nikolay Tuleshkov, PhD - Academician in "BASA", Chairman
Prof. Doncho Partov, PhD, d-r h. c., VSU "L. Karavelov", FEng. IAČR, Vice – Chairman
Prof. Blagovesta Ivanova, PhD, VSU "L. Karavelov"
Assist. Prof. Ivan Ivanchev, PhD – UACEG, Sofia
Civ.Eng. Radoslav Nikolov, VSU "L. Karavelov
d-r Filip Petrunov, Archeologist, NAIM, BAS

СЪДЪРЖАНИЕ / CONTENTS

стр. 9-35 STRUCTURES AND DETAILS OF 9 HISTORICAL COVERED TIMBER BRIDGES IN THE SLOVAK TERRITORY
Baláž Ivan, Koleková Yvona, Cantarero Pavla

стр. 37-52 RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL HERITAGE LOST DUE TO SOCIAL TRANSFORMATIONS AND WARTIME DESTRUCTION
Nadja Kurtović Folić, Radomir Folić

стр. 53-60 EXPLOSION RESITANT RAILWAY PASSAGE BELOW A LISTED BUILDING IN BRUSSELS (B)
Philippe Van Bogaert

стр. 61-87 ТЕОРИЯ НА НАСЛЕДСТВЕНАТА МЕХАНИКА НА ВОЛТЕРА.
ВАЖЕН КРАЙЪГЪЛЕН КАМЪК ЗА АНАЛИЗ НА СТРУКТУРНИТЕ ЕФЕКТИ НА ЗАВИСИМОТО ОТ ВРЕМЕТО ПОВЕДЕНИЕ НА БЕТОНА
Марио Алберто КИОРИНО

стр. 89-125 BEGINNING OF STEAM LOCOMOTIVES AND RAILWAY BRRIDGES
Baláž Ivan, Koleková Yvona, Cantarero Pavla

стр. 127-164 BRIDGES AS ANCIENT CULTURAL SEMANTICS
Nikolay Tuleshkov

стр. 165-174 STRUCTURAL DEFINITION OF PONTE EIFFEL, IN VIANA DO CASTELO, PORTUGAL, THROUGH ITS ARCHITECTURAL DESIGN
Yesim Kamile Aktuglu

стр. 175-185 ADVANCED COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR THE NONLINEAR ANALYSIS OF IMPERFECT BEAM-COLUMNS, THIN-WALLED SECTIONS, AND COMPOSITE SHELLS
Agüero Antonio, Baláž Ivan, Koleková Yvona

стр. 187-204 THE MAJOR RESORT COMPLEXES OF THE BULGARIAN BLACK SEA COAST
Maria Davcheva

стр. 205-223 STRUCTURAL SYSTEMS OF 29 HISTORICAL COVERED TIMBER BRIDGES IN THE SLOVAK TERRITORY
Baláž Ivan, Koleková Yvona, Cantarero Pavla

стр. 225-234 WORKSHOP FOR CERAMICS IN THE MEDIEVAL TOWN OF LYUTITSA
Filip Petrunov

стр. 235-247 PLANTS PASSPORTIZATION IN HERITAGE PARKS - ESSENTIAL BASELINE INFORMATION FOR CONSERVATION AND FUTURE RESTORATION PROJECTS
Tsvetelina Yordanova

стр. 249-281 РОЛЯТА НА ИНЖЕНЕРСТВОТО В ОПАЗВАНЕТО НА АРХИТЕКТУРНОТО НАСЛЕДСТВО
Марио Алберто КИОРИНО

стр. 283-297 ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДВУПОЯСНА СТРОИТЕЛНА СИСТЕМА ЗА СГРАДИ С ПРОСТРАНСТВЕНО-ПРЪТОВИ ПОКРИВНИ КОНСТРУКЦИИ В БЪЛГАРИЯ - ПРОСТРАНСТВЕН ПОКРИВ ЗА ШОУРУМ НА HYUNDAI В СОФИЯ, КВАРТАЛ ДЪРВЕНИЦА
Дончо Партов, Станислав Доспевски, Любомир Карадех, Борислав Козарев

стр. 299-317 COMPOSITE STEEL-CONCRETE STRUCTURES AND PERFORATED SHEAR CONNECTORS
Lemák Daniel, Václavíková Veronika, Gregor Jan

стр. 319-320 GESCHICHTE DER BAUSTATIK. AUF DER SUCHE DEM GLEICHGEWICHT
THE HISTORY OF STRUCTURES. SEARCHING FOR EQUILIBRIUM ИСТОРИЯ НА КОНСТРУКЦИИТЕ. ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАВНОВЕСИЕТО
Baláž Ivan, Dinev Dobromir, Partov Doncho

стр. 321-330 SAFEGUARDING THE RICHNESS OF HISTORIC URBAN DISTRICTS THROUGH PRESERVATION OF EARLY 20TH-CENTURY FAMILY HOUSES IN THE CONTEXT OF A DEVELOPING CITY: CHALLENGES AND APPROACHES
Vessela Popova

стр. 331-339 CAN NATURAL HERITAGE SERVE AS THE "GLUE" OF AN METROPOLS INSTEAD OF CULTURAL HERITAGE? THE NIŠ–SOFIA AXIS CASE
Natasha Živaljević-Luxor

стр. 341-352 THE STATE'S APPROACH TO ARCHITECTURE IN THE 1970S OF THE TWENTIETH CENTURY
Blagovesta Ivanova

стр. 353-361 ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДЪРВЕНИ КОНСТРУКЦИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ ОТ НЕДВИЖИМОТО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО В ЧЕХИЯ
Бохумил Страка, Милослав Новотни

стр. 363-376 ИЗГОТВЯНЕ НА ПРОЕКТ ЗА ОБЕКТ „РЕМОНТ НА МОСТ НА Р. БОТУНЯ ОБЩИНА ВЪРШЕЦ, ОБЛАСТ МОНТАНА
Иван Якимов, Петър Велев

стр. 377-399 КРАТКО ИСТОРИЧЕСКО ВЪВЕДЕНИЕ В СТРОИТЕЛНИТЕ КОНСТРУКЦИИ, ИЗПЪЛНЯВАНИ С КОМБИНИРАНИ СТОМАНО-СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДИ И КОЛОНИ
Дончо Партов, Милен Петков, Любомир Карадех, Борислав Козарев

стр. 401-406 **IN MEMORIUM: Assoc. Prof. Eng. Bohumil Straka, PhD, (1939-2025)**

STRUCTURES AND DETAILS OF 9 HISTORICAL COVERED TIMBER BRIDGES IN THE SLOVAK TERRITORY

Baláž Ivan[1], Koleková Yvona[2], Cantarero Pavla[3]

Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Abstract.
The oldest set of photographs of the timber covered bridges on the Slovak territory may be found in the book written by Kolář, J. in 1926 [1]. A large investigative study of the historical timber bridges was done by Dutko, P. and Ferjenčík, P. in 1955-1984 [2-8]. There are more than 100 photographs of details of the old covered timber bridges at The Monuments Board of the Slovak Republic in Bratislava (PÚ SR – Pamiatkový úrad Slovenskej republiky). Nobody knew the origin of the photos, their authors, or what bridges were in them. The first author was asked by PÚ SR to try to solve this mystery. Knowledge of the publications [1-8] allowed him to identify all bridges in the photographs. It is highly likely that the set consisting of more than 100 photographs of covered timber bridges was taken in the 1950s by Prof. Ferjenčík, possibly in collaboration with Prof. Dutko. They were older colleagues of the first author at the Department of Metal and Timber Structures, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava. Most of these photographs, along with descriptions of the bridges depicted in them, are presented in this paper. Paper [24] closely relates to the submitted contribution.

Keywords: *historical bridge, timber covered bridge, structural system, construction*

1. Introduction

The staff of the Department of Metal and Timber Structures of the Faculty of Civil Engineering STU in Bratislava conducted a survey and documentation of covered timber bridges in Slovakia in the summer of 1954. They cooperated with the PÚ SR and the municipalities and towns where the bridges were located. A similar work was carried out by Prof. Jan Kolář throughout Czechoslovakia in 1926, which included 22 timber covered bridges located in the Slovak territory. Prof. Ing. Pavel Ferjenčík, CSc. and Assoc. Ing. Pavel Dutko, CSc., collected 29 covered timber bridges. There were a total of 49 timber covered bridges in the territory of Czechoslovakia consisting at that time from Bohemia, Slovakia and Subcarpathian Ruthenia.

[1] Baláž Ivan, Prof. Ing. PhD., Professor emeritus, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia, ivan.balaz@stuba.sk
[2] Koleková Yvona, Assoc. Prof. Ing. PhD., Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia, yvona.kolekova@stuba.sk
[3] Cantarero Pavla, Asst. Prof. Mgr. Bc. PhD., Department of Languages, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, pavlacantarero@gmail.com

The survey of timber covered bridges was conducted with the aim of showing that Slovak architectural past is rich. Timber covered bridges in Slovakia were historical evidence of the technical creativity, diligence and skill of the people of that time and are monuments of contemporary technology and testify to the level of timber structures in Slovak country, despite the fact that builders at that time often did not have theoretical knowledge and built bridges based on experience.

There were several reasons for covered bridges. Unprotected oak bridges are expected to last 30-40 years, coniferous bridges 15-20 years, bridges protected from the weather by a roof or side formwork and careful maintenance can last more than 100 years. Proper construction and good maintenance protect the structural elements from moisture and ensure their proper ventilation. The roof is made either over the entire bridge or at least over the main beams. The side formwork was complete or partial. In this way, the timber was sufficiently protected from the changing weather conditions. Covered bridges also protected pedestrians and traffic from bad weather or sunburn.

Lighting, especially on longer bridges with complete formwork up to the roof, was provided by windows in the side formwork, sometimes supplemented by skylights, or the formwork was only built to a certain height (usually to the height of the railing).

The aesthetic aspect was also taken into account, as evidenced by the rich division of portals, carvings or other figurative decoration of beams, purlins and rafters. Sometimes the color of the roof differed from the color of the other parts. These bridges were built with the intention of making a good impression and not disturbing, but on the contrary, complementing the character of the surroundings, which was also due to the fact that timber is able to integrate well into various terrains.

However, timber covered bridges exposed a large area to wind pressure, which must be taken into account when transverse bracing. In strut form structures, this area is even larger than in other types of supporting structures. Roofing or formwork also increased the weight of the bridge.

The supporting structure developed from simple beams, through strut forms and king or queen post trusses, to Howe-Žuravský trusses, arches and other more complex structures. The material of the supporting structure was initially timber, later also metal, especially for connecting and other parts. Natural materials were used for covering: timber, straw, reed; artificial materials: cardboard, sheet metal, glass, tiles and others.

The formwork was damaged over time or completely missing. Sometimes doors were made in the side formwork, which allowed access and inspection of the supporting structure. The shape of the roofs was often gable, hipped and semi-hipped, the shape of the canopies above the formwork of the supporting structure was most often gable.

In 1954, 8 bridges with side formwork were identified, and 21 bridges with side formwork and a roof were identified.

Supports, built simultaneously with the construction of the bridge, occurred at 9 bridges. Over time, many bridges reached great deformations and were additionally supported or inclined struts were inserted at the supports, which caused the loss of the original static significance of the supporting system, the flow profile under the bridge decreased.

The most common bridge structures were made of spruce, oak and occasionally larch wood. Metal elements were also used (e.g. steel stirrups twisted at 90° and clamped to a hanger, plate-shaped cast iron pads). The decks were mostly made of planks or logs.

The most timber covered bridges were built over the Hnilec river (10), over the Poprad and Hornád rivers (5 each).

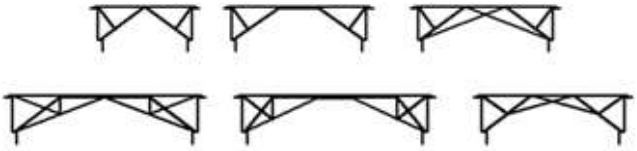
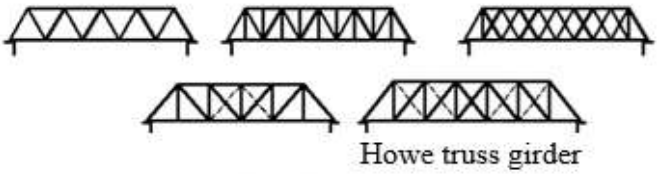
The builders of timber covered bridges were municipalities, entrepreneurs, counts and others.

Of the original 29 bridges, only 9 remained in 1954 and today only the last of these bridges is standing. This was caused by the poor condition of the structure as a result of its advanced age and insufficient maintenance, the development of transport and thus increased requirements for the dimensions and load-bearing capacity of the bridge, as well as failures caused by natural disasters, overloading, war events, etc..

Difficulties in the history of bridges are the time data on the construction of the bridge, its repairs, destruction and removal. These data are obtained from archival documents, records, plans, reports of the museums, statements of chroniclers and the oldest inhabitants of the given villages and towns, from period engravings, paintings of cities, etc. These data are often inaccurate, sometimes contradictory. Also, the total length of the bridge is sometimes not given in the same way due to several corrections and inaccuracies in the data (Ferjenčík – Dutko, 1984).

2. Structural systems of timber bridges

Table 1 Structural systems of timber bridges

No.	Structural system	Statical scheme
1	Simply supported beam (jednoducho podopretý nosník in Slovak)	
2	Strut frame (vzperadlo in Slovak)	
3	King post truss, queen post truss (vešadlo in Slovak)	 king post tr. queen post truss king & queen post tr.
4	Combination of strut frame and king or queen post truss	
5	Inverted king or queen post timber truss hybrid with steel tension bar (vzpínadlo in Slovak)	 inverted king post truss inverted queen post truss
6	Truss girder (priehradový nosník in Slovak)	 Howe truss girder
7	Arch (oblúk in Slovak)	 woven arch of old Chinese bridges
8	Various combinations	

3. Structures and details of historical covered timber bridges in Slovak territory

The oldest depiction of a timber covered bridge in Slovakia dates back to the 16th century. This bridge is depicted in a painting of Zvolen by J. Willenberg from 1599. Its total length was 25 m.



Fig. 1. Bridge over Hron river in Zvolen

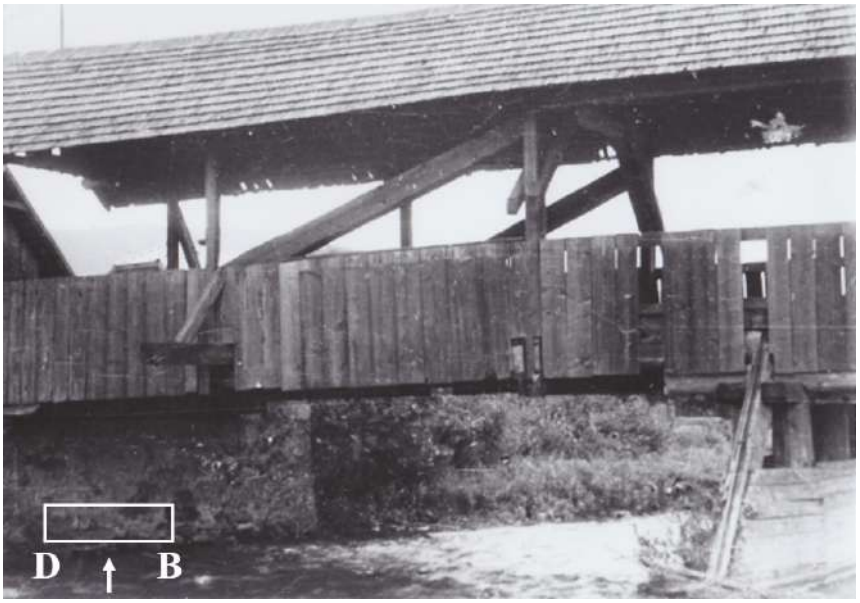
Table 2 Overview of historical covered timber bridges investigated in [2-8]

Name of obstacle (river or stream) and location of bridge structure [1/]	Total bridge structure length (m)	Number of spans	Clearance (m)	Structural system	Year of construction [2/]	Year of destruction/ removal [2/]	Bridge additionally supported
Hnilec river in Švedlár	19,30	1	2,85	queen post truss	approx 1840	1974	yes
Hnilec river in Gelnica - upper bridge	35,79	1	4,80	combined	1831	1957	yes
Hnilec river in Gelnica - lower bridge	24,60	1	3,80	queen post truss	1901	1960	no
Hnilec river in Nálepkovo (Vondrišel) bridge II	14,40	1	4,60	king post truss	before 1900	1961	no
Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom upper bridge	13,05	1	2,90	queen post truss	approx 1900	1963	no
Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom middle bridge	17,50	1	3,10	queen post truss	approx 1900	1965	no
Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom lower bridge	20,20	1	3,00	queen post truss	1921	1963	no
Lukavica stream in Bardejov bridge II	10,60	1	3,00	queen post truss	before 1883	after 1954	yes
Hornád river at Kluknava	27,07	1	3,42	combined	1832	exists	no

3.1 Bridge over Hnilec river in Švedlár

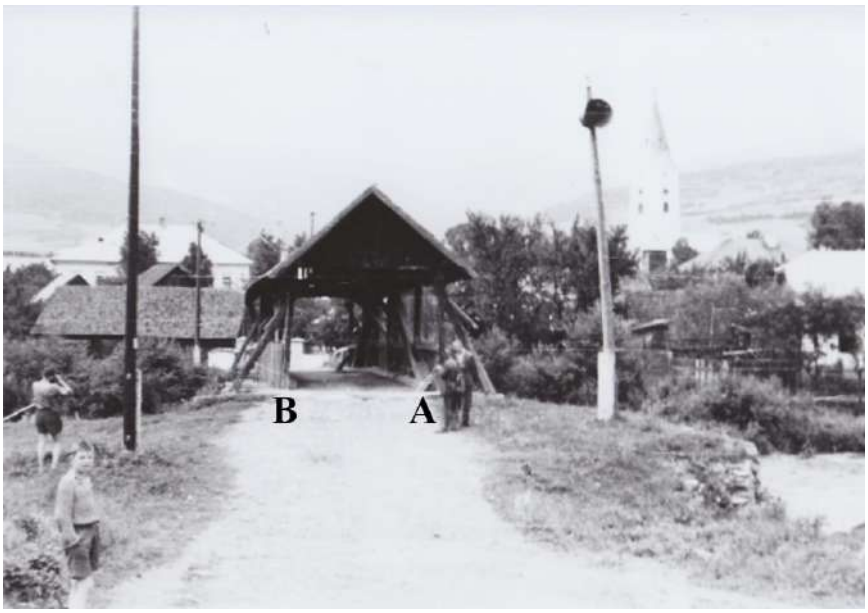
The village of Švedlár was founded around 1556 on the right bank of the Hnilec river as a mining settlement, and a timber covered bridge for transporting ores was allegedly built at that time. Its appearance is unknown. It was often destroyed by high waters. After its destruction, a second one was built, which was supposedly similar to the original one, connecting the part of the village on the left bank with the old mining settlement on the right bank. This bridge also had carvings and decorated portals. The builders of this bridge managed to solve the overall appearance of the bridge although it was skew bridge. A major repair was made in 1930 after the departure of the large ice, when the supporting system had already lost its original static significance. The length of the bridge was 19,3 m and the width of the bridge was 2,85 m.

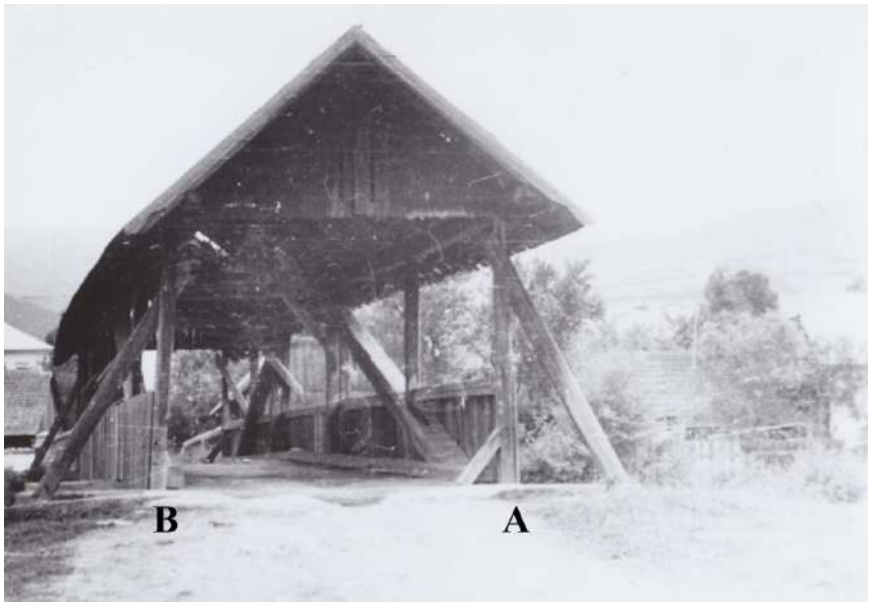






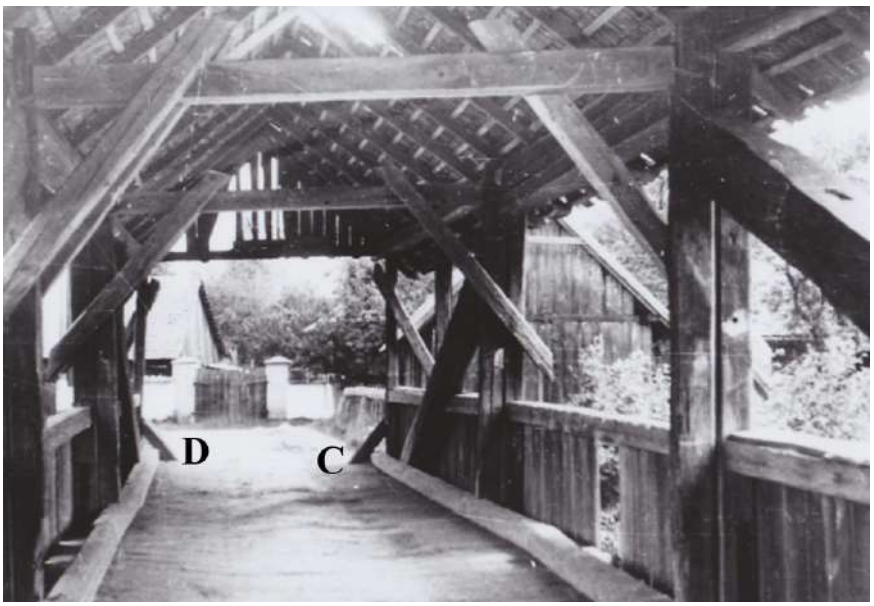
Figs. 2, 3 and 4. Bridge over Hnilec river in Švedlár.







Figs. 5, 6 and 7. Bridge over Hnilec river in Švedlár.



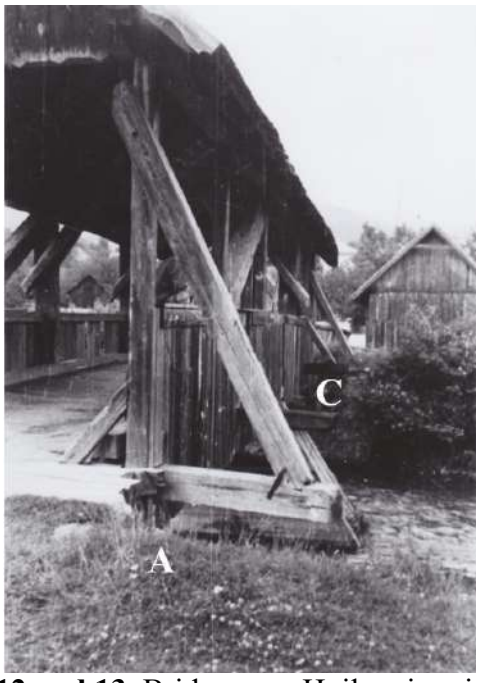




Figs. 8, 9 and 10. Bridge over Hnilec river in Švedlár.







Figs. 11, 12 and 13. Bridge over Hnilec river in Švedlár.





Figs. 14 and 15. Bridge over Hnilec river in Švedlár.

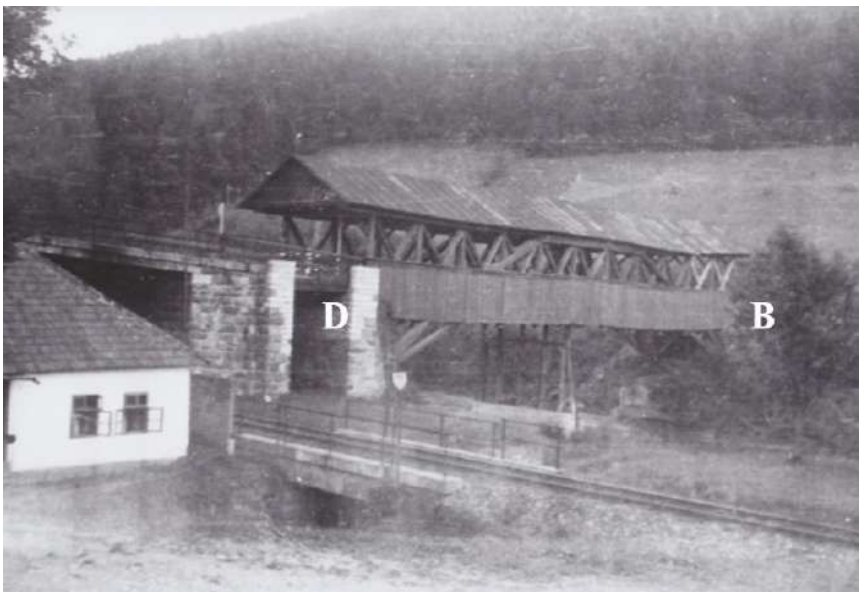
3.2 Upper Bridge over Hnilec river in Gelnica

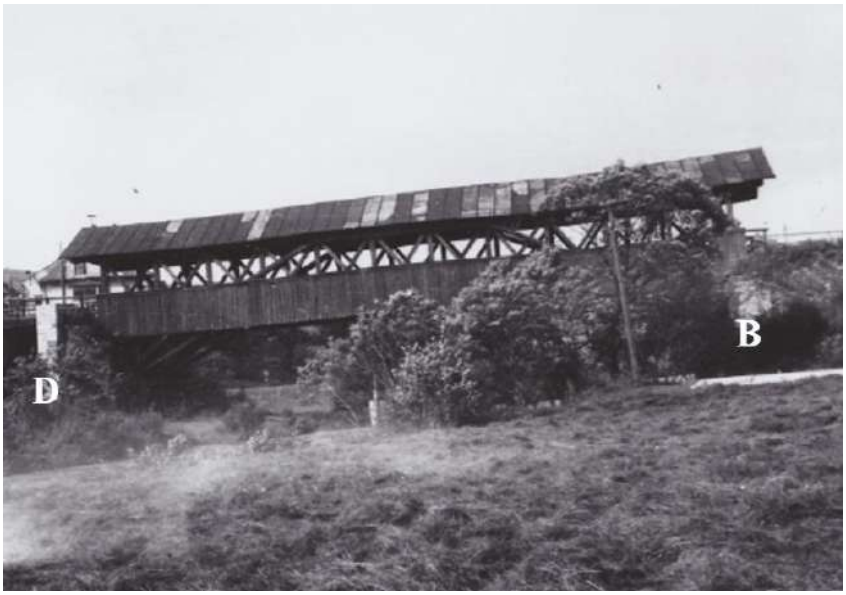
The bridge was built in 1831 on the outskirts of the city. In 1954, it was the largest of the covered timber bridges. The year 1881 was marked on the bridge, which probably indicates the year of a major repair. The original supporting structure was probably a truss girder, later in combination with a strut frame and queen posts. It was finally reinforced near the middle of the span with a support, replaced in 1934 by a frame support on a concrete base. The height of the truss girders was 5,1 m. The length of the bridge was 35,79 m and the width of the bridge was 4,8 m. The bridge deck consisted of a system of crossbeams and longitudinal beams with transverse bridge decks and inclined decks. It was dismantled in 1957, which means that it had stood for over 100 years.





Fig. 16 and 17. Upper bridge over Hnilec river in Gelnica (old postcards).







Figs. 18, 19 and 20. Upper bridge over Hnilec river in Gelnica.

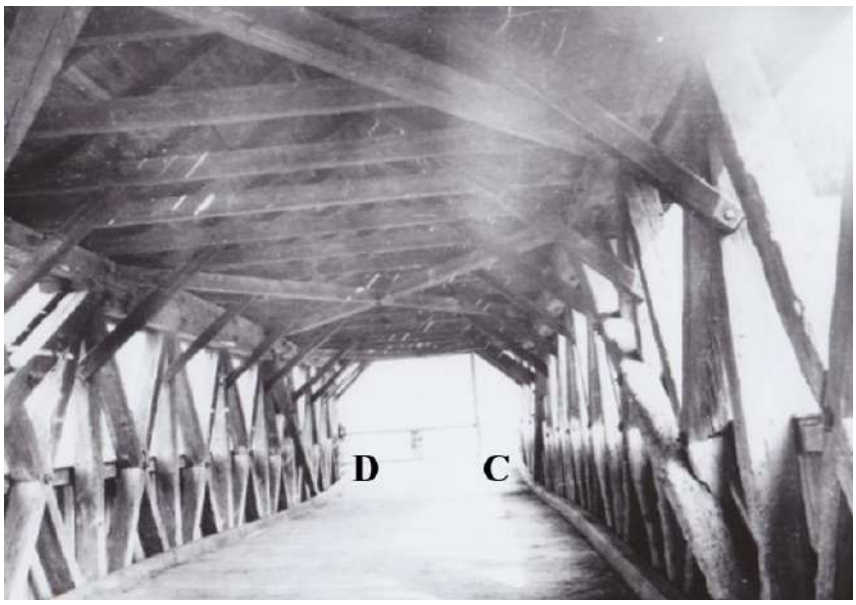
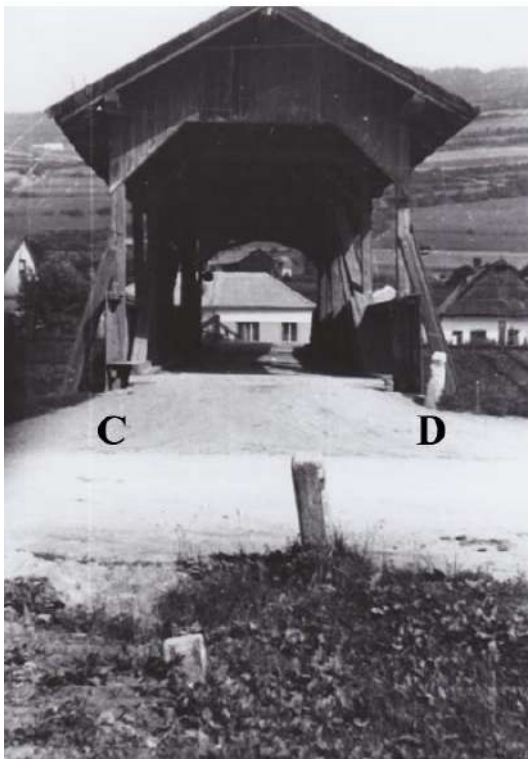


Fig. 21. Upper bridge over Hnilec river in Gelnica.

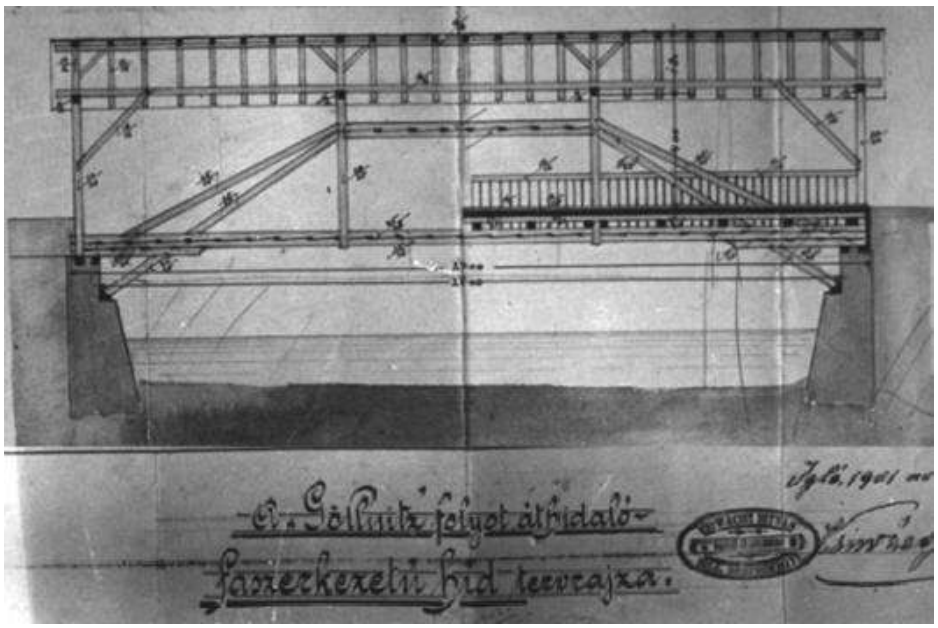
3.3 Lower Bridge over Hnilec river in Gelnica

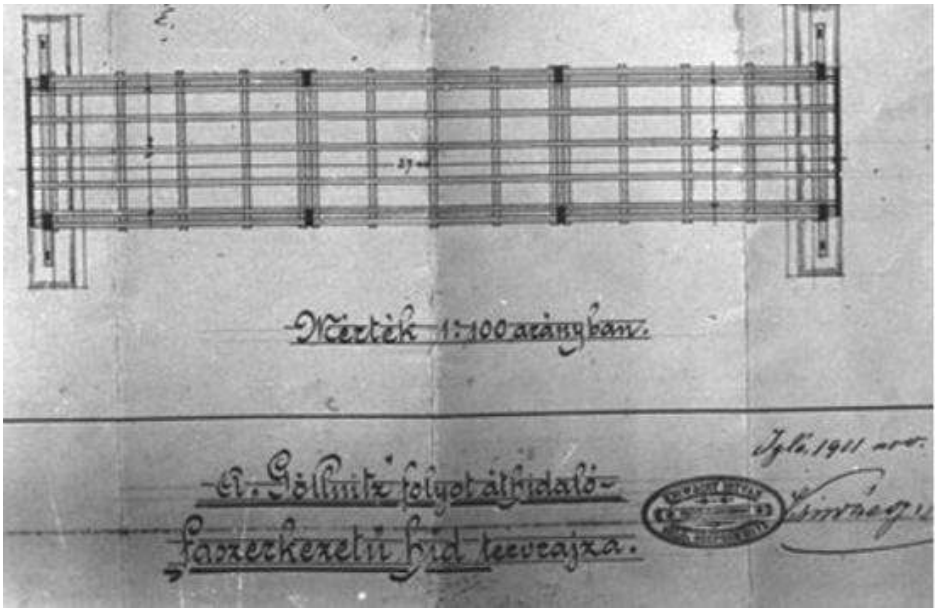
The bridge was built by the city in 1901 on the site of a similar bridge. The bridge was already visible from a distance due to its red-painted tin roof. Despite repairs in 1953, it was used only for vehicles weighing up to 1 ton. The original plan of the bridge, dated November 13, 1901, prepared by master carpenter I. Kriwácsy from Spišská Nová Ves, has been preserved (Figs 24 and 25). In addition to the transverse slope, this bridge also had a longitudinal slope The ridge of the roof rose to the middle third, where it was then horizontal and fell again – the total difference was 25 cm. The truss system was supplemented during the repairs with two pairs of steel rods with a diameter of 30 mm on each side. The bridge has various records of its span: in 1901 – 25,75 m, in 1925 – 25,10 m, in 1954 – 25,30 m, elsewhere it is stated as 24,60 m. The width of the bridge was 3,8 m.

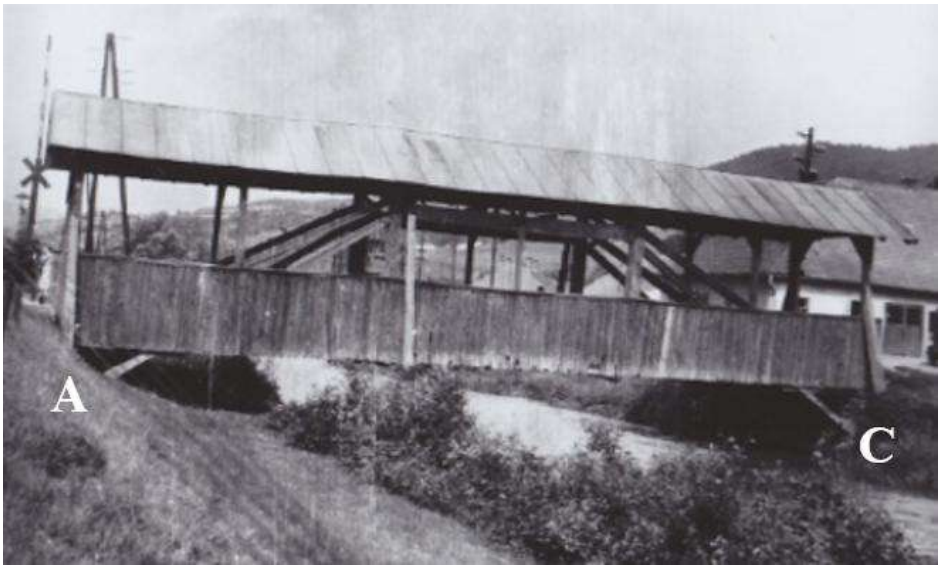




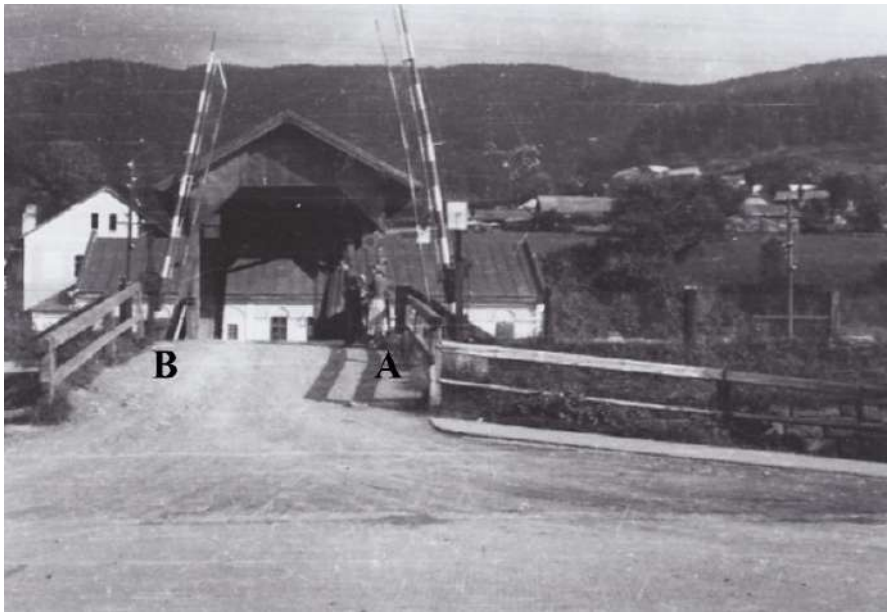
Figs. 22 and 23. Lower bridge over Hnilec river in Gelnica.





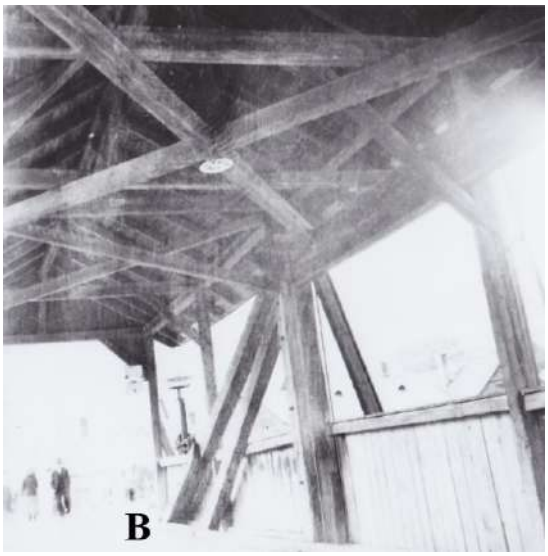


Figs. 24, 25 and 26. Lower bridge over Hnilec river in Gelnica.

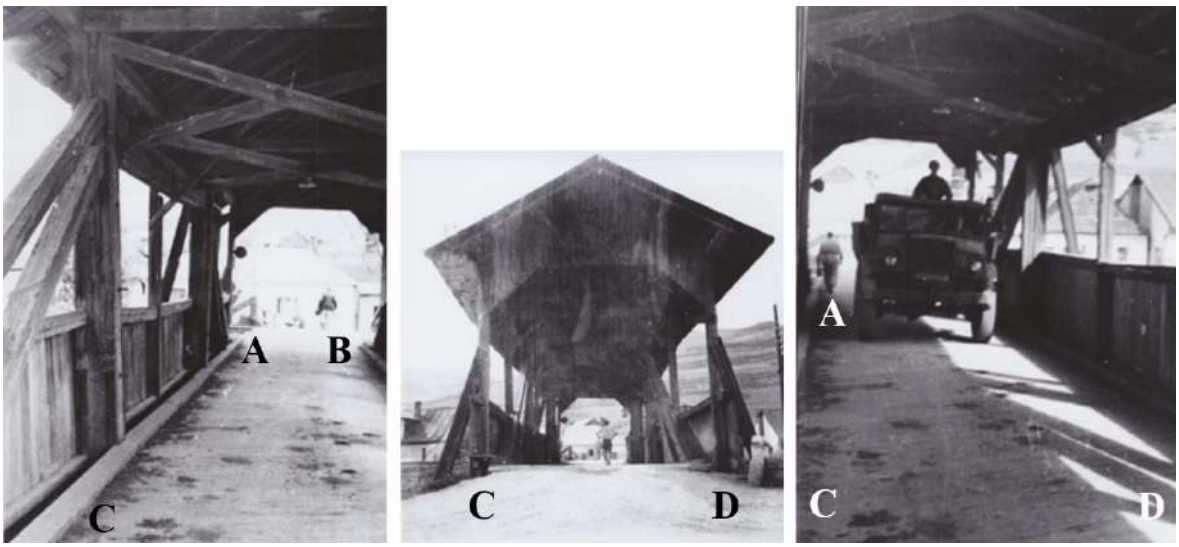








Figs 27, 28, 29 and 30. Lower bridge over Hnilec river in Gelnica.



Figs. 31, 32 and 33. Canadian Military Pattern (CMP) truck Ford F15 with weight 3572 kg, produced in 1940-1945. The photographs were made in 50s after World War II.

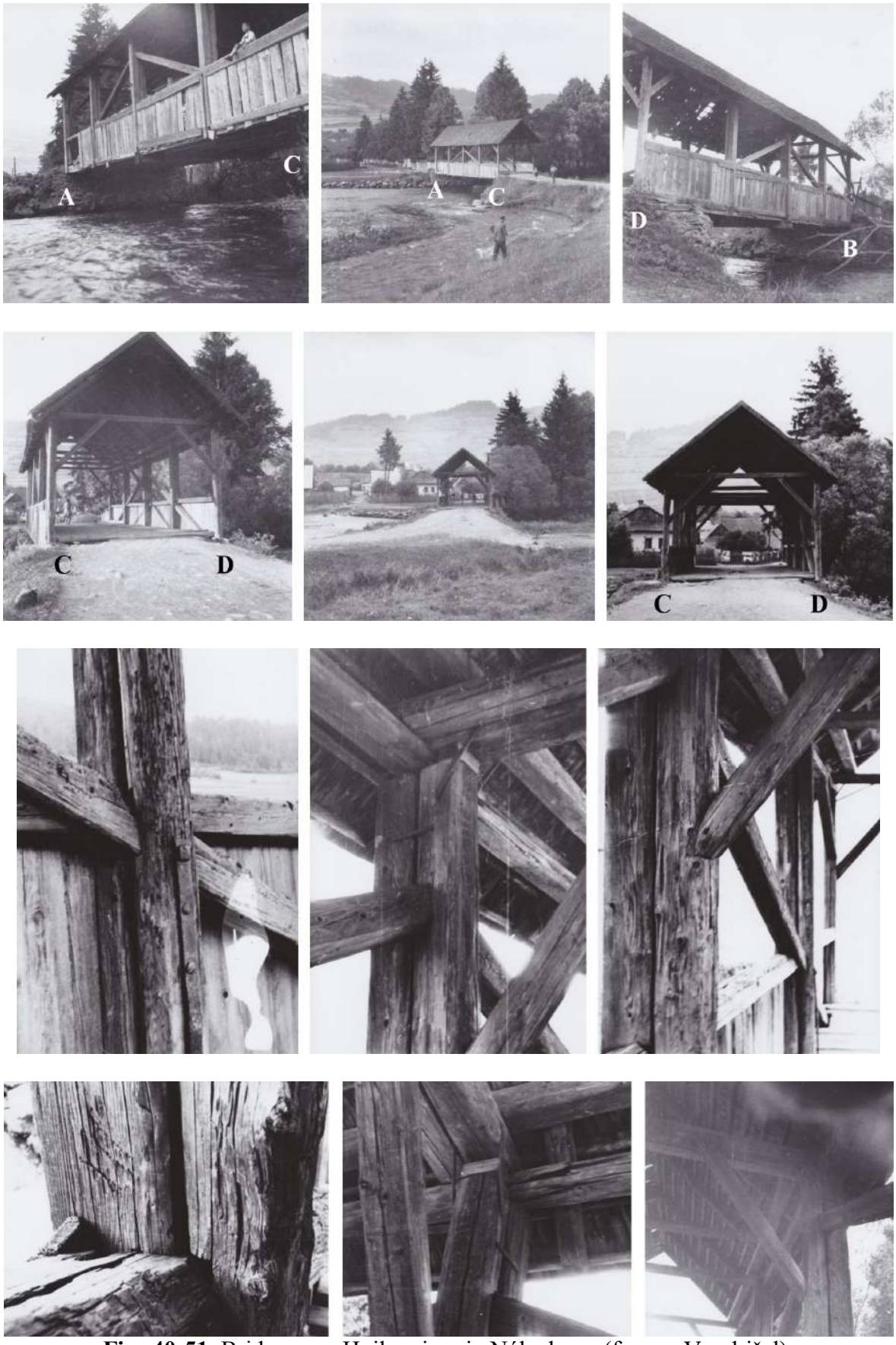


Figs. 34-39. Lower bridge over Hnilec river in Gelnica.

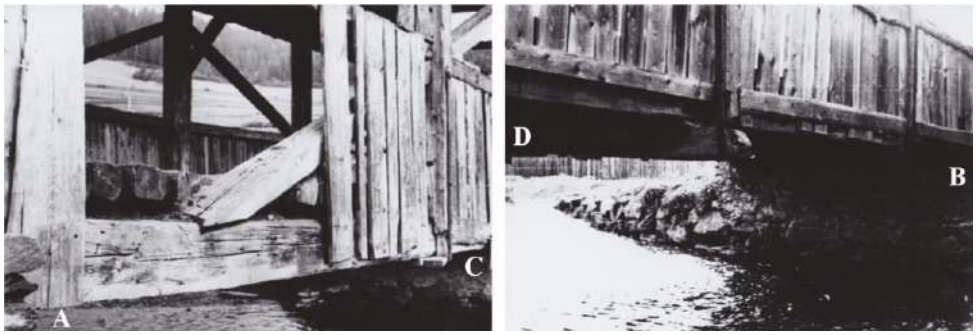
3.4 Bridge over Hnilec river in Nálepkovo (former Vondrišel)

Another timber covered bridge was built on the road to the settlement of Hámor across Hnilec. The year of its construction is unknown, but it was repaired around 1900 due to its low load-bearing capacity. During the repair, the timber longitudinal beams were replaced with steel beams, so the original triangular truss system only supported the roof. Based on

the date of this repair, it can be concluded that the bridge was built in the second half of the 19th century. It was 14,4 m long and 4,6 m wide.



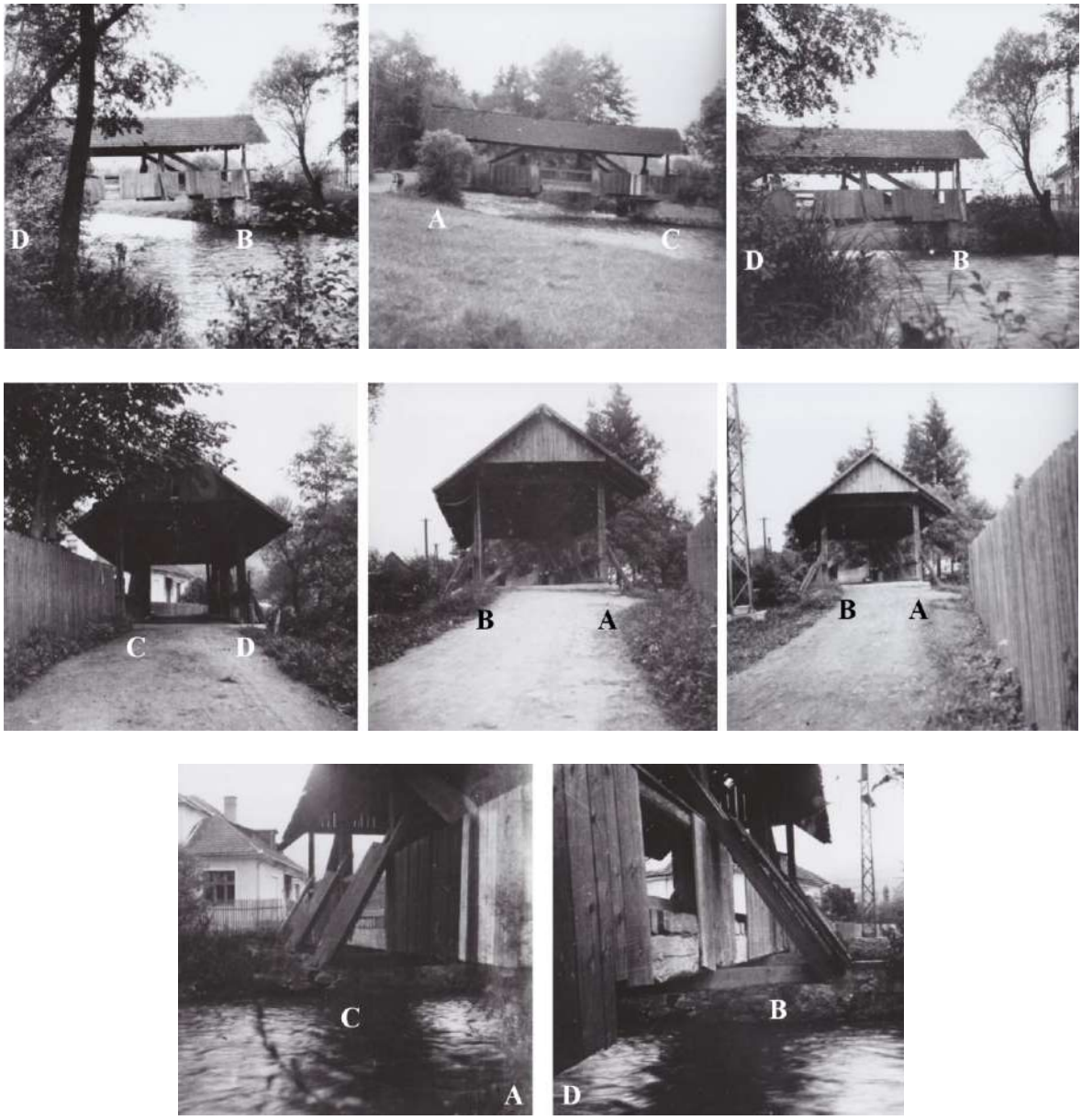
Figs 40-51. Bridge over Hnilec river in Nálepkovo (former Vondrišel).



Figs. 52 and 53. Bridge over Hnilec river in Nálepkovo (former Vondrišel).

3.5 Upper bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom

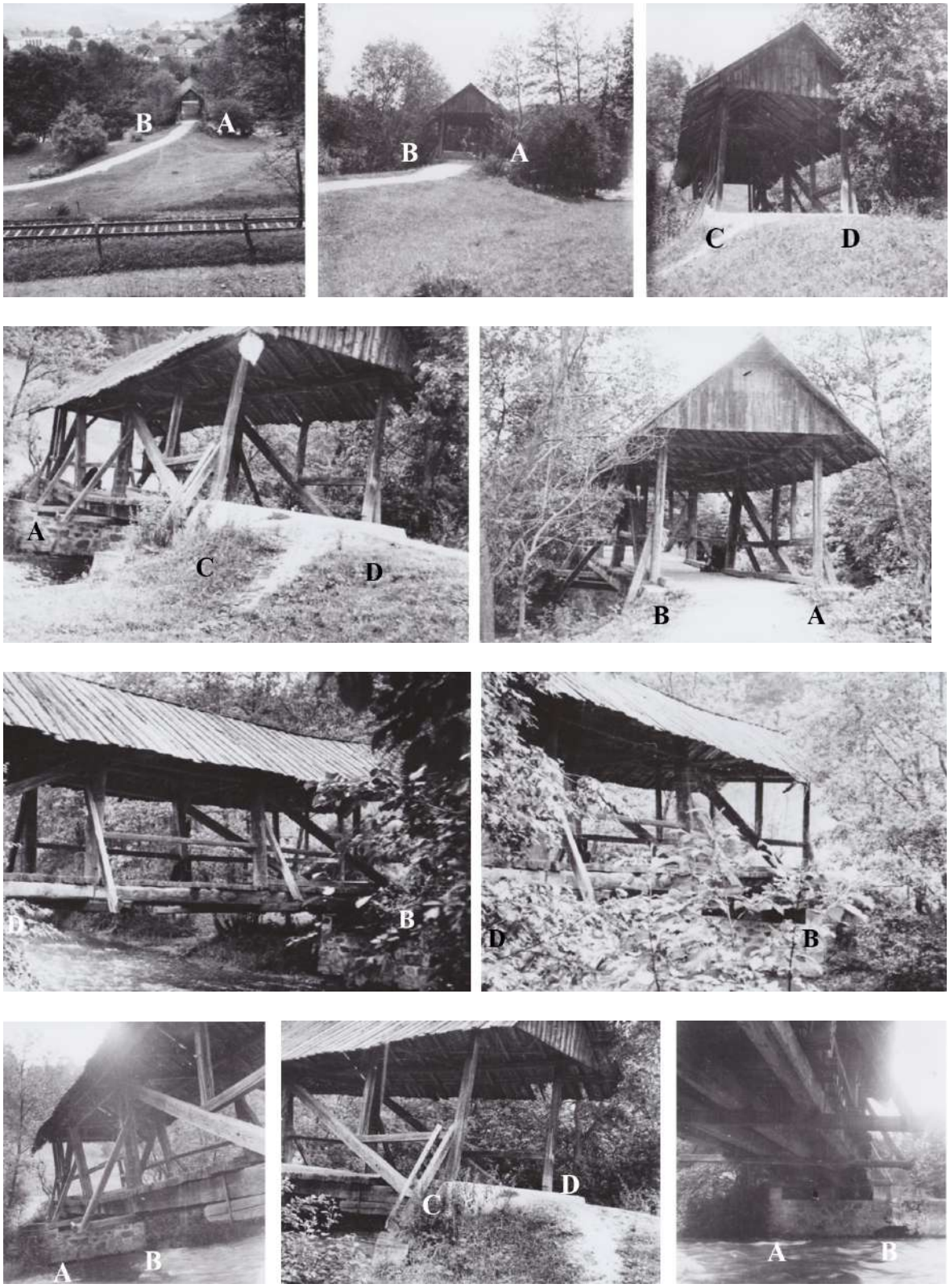
The bridge was located on the outskirts of the village, to the right of the Zvolen-Margecany railway line. It was built by the village on the road leading to the mill around 1900. It had a structural system with a length of 13,05 m and a width of 2,9 m. It was rebuilt after being swept away by water in 1918. It showed significant vibration when wagons and lighter motor vehicles passed through.



Figs. 54-61. Upper bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom.

3.6 Middle bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom

The bridge was built around 1900. It had a truss structure with a length of 17,5 m and a width of 3,1 m. It was significantly damaged after the flood in 1918. Despite its large deflection, it was used to transport farm carts.



Figs. 62-71. Middle bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom.



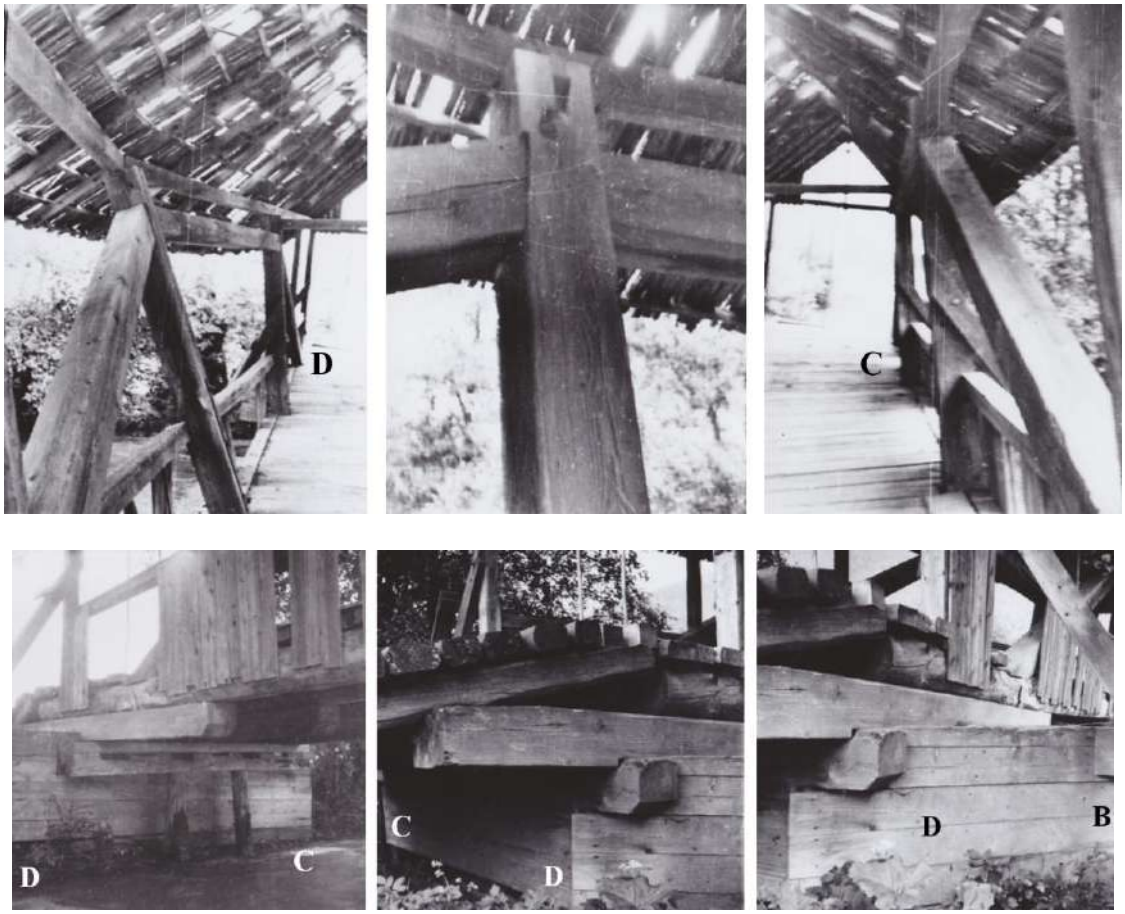
Figs. 72, 73 and 74. Middle bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom.

3.7 Lower bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom

In 1954, this bridge was in the worst condition of all existing bridges. It was built in 1921 next to the Mníšek nad Hnilcom railway station. It was built by the owner of the Eiben sawmill (named Eibenbrücke). Its structure was in poor condition over time. It was repaired in 1935. It had a queen post truss system and was 20,2 m long and 3 m wide. It had about 9 m long access ramps on both sides. Due to large deformations, it was only open to pedestrians.



Figs. 75-83. Lower bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom.



Figs. 84-89. Lower bridge over Hnilec river in Mníšek nad Hnilcom.

3.8 Bridge over Lukavica stream in Bardejov

There were originally 5 timber covered bridges in the vicinity of Bardejov. In 1954, only the last one was standing, over the Lukavica River. The year of its construction could not be determined exactly. On the eaves purlin of the leading side was the inscription: "Made by Ludovský Jozef in 1883 – Makrovce". This year was also carved on the supporting structure. It was probably the year of a major repair or construction of the roof. Due to fluctuations in the water level, the entire structure was placed high above the bottom of the Lukavica river and the right bank was reinforced with long wings made of logs. The length of the bridge was approximately 10,60 m and the width of the bridge was 3,00 m. Oak wood was used for the supporting structure of the queen post truss. The half-hip roof was supported by eaves purlins and secondary struts with columns. It was covered with shingles on the formwork. Steel bars were also used here. This bridge had carved ends of rafters, purlins and beams (Fig. 90). According to the statements of the inhabitants at that time, the bridge was first private property, later it was transferred to the city administration. The bridge served for traffic on the relevant road (originally, carts could be up to 3 tons heavy), but in 1954 the bridge shook considerably when larger farm carts passed over it.

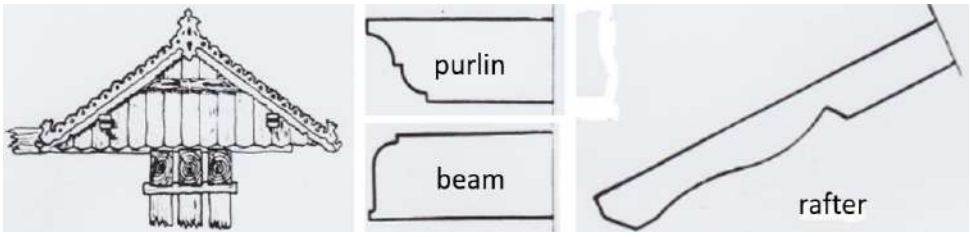
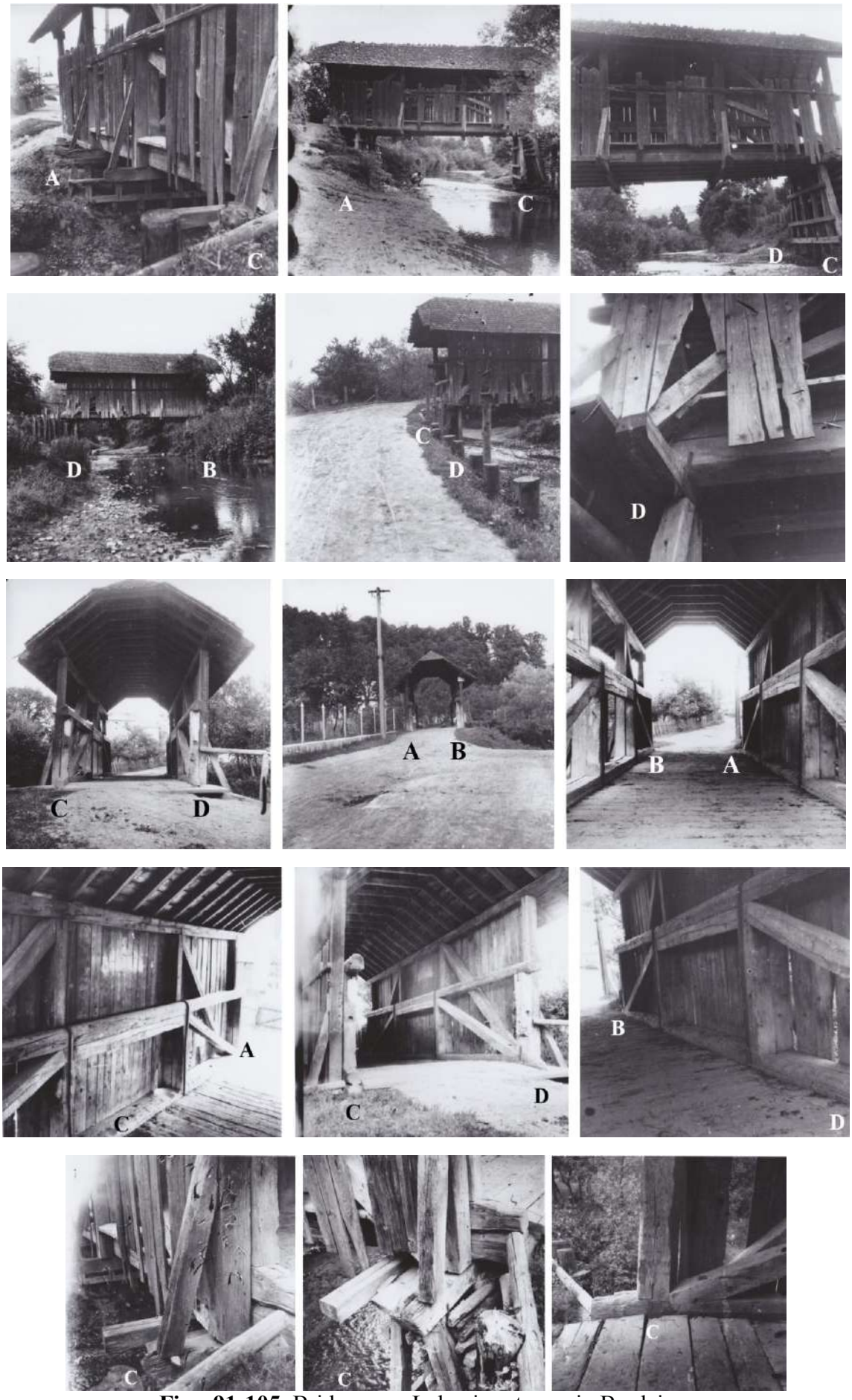


Fig. 90. Bridge over Lukavica stream in Bardejov.



Figs. 91-105. Bridge over Lukavica stream in Bardejov.

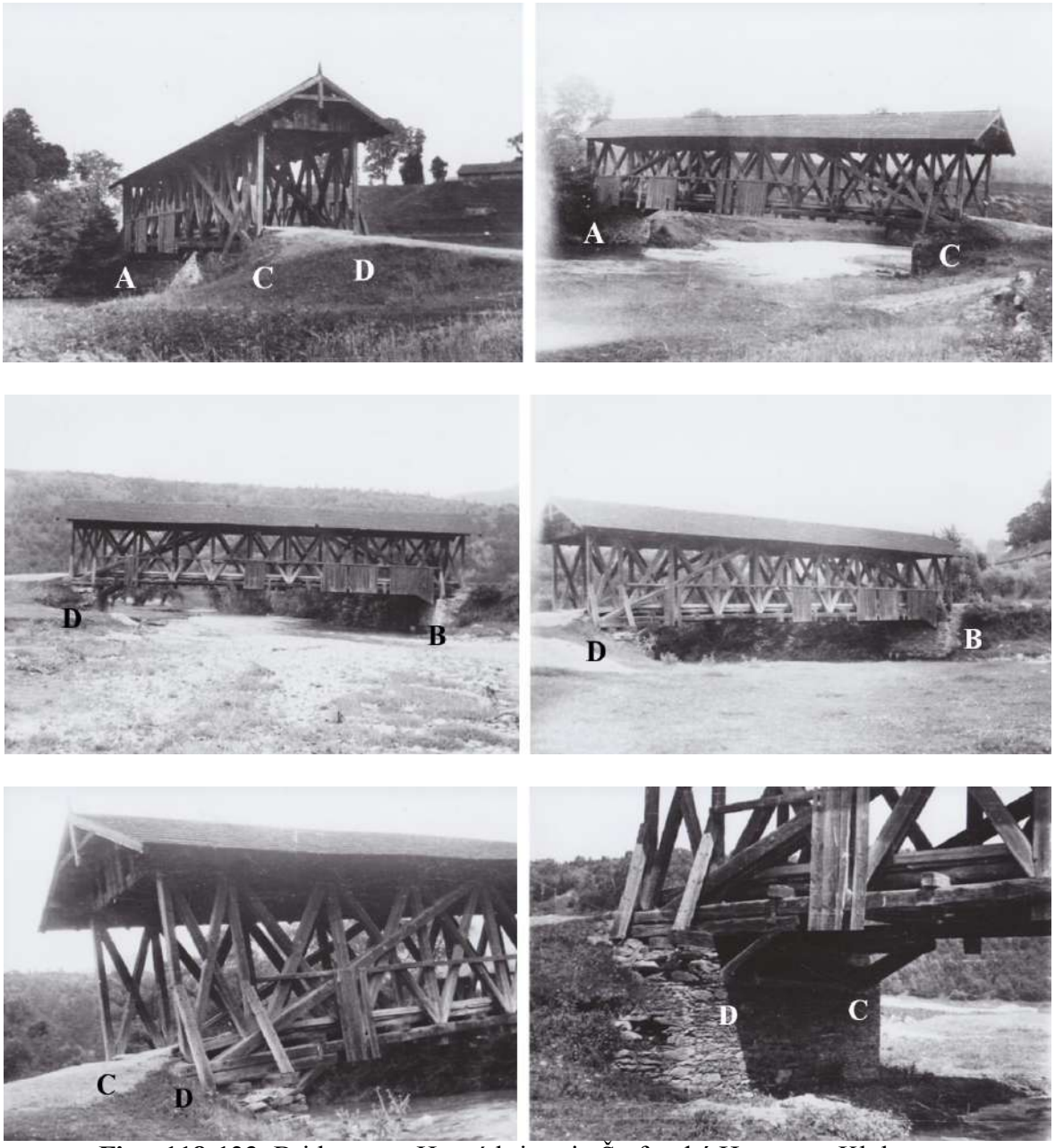


Figs. 106-117. Bridge over Lukavica stream in Bardejov.

3.9 Bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava

The bridge was built by the Waldbürgergesellschaft in 1832 to import building materials for the construction of a factory in Štefanská Huta (in the Spišská Nová Ves district) and is still standing today. When the factory stopped working in 1894, no one took care of the bridge. Later, it was taken over by the administration of the Spiš Iron Mines, a branch of Máriahuta. The bridge was never seriously damaged. In 1932, the shingle roofing and side formwork were restored. Oak wood was used for the bridge, but also

spruce and larch wood, and it is the only one with a block roadway. The bridge also had carvings. The last major reconstruction was in the years 1981 to 1984, when a military unit pushed it ashore, completely dismantled it and rebuilt it, making it the last timber covered bridge in Slovakia, which was on the list of 29 bridges in the 1954 survey and is still used by cars today. In the years 2003 to 2004, the floor was repaired and some missing parts (on the roof and in the side formwork) were added. The main supporting system consists of a combined system, making it one of the most advanced timber covered bridges. It has a length of 27,07 m (according to some sources 32 m), a clear width of 3,42 m (3,48 m) and a total width of the structure is 4,54 m. The height from the bottom of the roadway to the ridge of the roof is 6,08 m. The deck is approximately 2 to 3 m above the surface of the Hornád river, but its level fluctuates greatly throughout the year.



Figs. 118-123. Bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava.



Fig. 124. Location of bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava. Štefanska Huta, amalgamation building, technical monument from 1845-1848.It was the first factory in Europe for the electrolytic production of copper. It also produced mercury, silver and antimony. However, only fragments of the smelter buildings remain.







Figs. 125-127. Bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava.





Figs. 128-130. Bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava. Dismantling in 1981.





Figs. 131-133. Bridge over Hornád river in Štefanská Huta near Kluknava.

Conclusion

Czech Professor Jan Kolář from ČVUT in Prague collected a lot of information and photographs related to covereted timber bridges in his book published in 1926 [1]. Two Slovak Professors Pavel Ferjenčík and Pavel Dutko drom STU in Bratislava devoted several years to investigation of covered timber bridges during 1954-1984 and their results may be found in [2-8]. The results of these professors are described in [24].

The authors of the papers [9-14] have collected historical data about: erection, opening, strengthening, reconstruction, destroying of bridges, geometry, details and other characteristics of bridges and their designers from archives, chronicles, owners, the oldest inhabitants, contemporary engravings, paintings of cities, old photographs and various publications. The results of detailed analysis of all structural elements of the lower bridge in Gelnica and global analysis of upper bridge in Gelnica obtained by computer program IQ 100 were published in papers [12, 14]. The structural analysis using modern computer

program confirmed very effective bridge design by carpenter Kriwacsy in 1901 (Figs. 24 and 25) which was based on his knowledge and experience. The distributions of the axial forces and bending moments (see [12, 14]) confirmed that historical covered timber lower bridge in Gelnica over Hnilec river located at the railway station was perfectly designed.

There are more than 100 photographs of details of the old covered timber bridges at The Monuments Board of the Slovak Republic in Bratislava (PÚ SR – Pamiatkový úrad Slovenskej republiky). Nobody knew the origin of the photos, their authors, or what bridges were in them. The first author was asked by PÚ SR to try to solve this mystery. Knowledge of the publications [1-8] and work on [9-14] allowed him to identify all bridges in the photographs. It is highly likely that the set consisting of more than 100 photographs of covered timber bridges was taken in the 1950s by Prof. Ferjenčík, possibly in collaboration with Prof. Dutko. They were older colleagues of the first author at the Department of Metal and Timber Structures, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava. Most of these photographs, along with descriptions of the bridges depicted in them, are presented in this paper. It was not easy to identify details of all structures in more than 100 photographs. Sister article [24] closely relates to the submitted contribution. Many timber bridges may be found also in [15-23].

Acknowledgement
Research project No.1/0155/23 was supported by Slovak Grant Agency VEGA.

REFERENCES

[1] Kolář, J.: Dřevěné mosty kryté v Republice Československé. (Timber covered bridges in Czechoslovak Republic, Prague, 1926. (In Czech).
[2] Ferjenčík, P.: Timber covered bridges in Slovakia, Naša veda, 1955. (In Slovak).
[3] Ferjenčík, P.: About our interesting bridges, Technické noviny, 1955. (In Slovak).
[4] Ferjenčík, P.: Timber covered bridges in Slovakia, Pamiatky a múzeá, 1956. (In Slovak).
[5] Dutko, P., Ferjenčík, P.: Timber structures in Czechoslovak Socialist Republic, in: Proceedings of scientific works of Faculty of Civil Engineering, 1965, SVŠT Bratislava, Slovakia. (In Slovak).
[6] Ferjenčík, P., Dutko, P., Chladný, E.: The oldest metal and timber structures, Vlastivedný časopis, 1979. (In Slovak).
[7] Ferjenčík, P., About important timber covered bridges in Slovakia, in: Proceedings of 2nd International Conference Timber in Civil Engineering Structures, September 8-11, 1980, Bratislava – Kočovce, Slovak Republic, FCE SVŠT in Bratislava, pp. 197-213. (In Slovak).
[8] Ferjenčík, P., Dutko, P.: Timber load-carrying structures in Czechoslovak Socialist Republic, in: Proceedings of 3rd International conference Timber in Civil Engineering Structures, September 4-6, 1984, Bratislava – Kočovce, Slovak Republic, FCE SVŠT in Bratislava. (In Slovak).
[9] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Timber Covered Bridges on the Slovak Territory. 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design. Recent Advances in Mechanics and Materials in Design M2D`2015. Ponta Delgada/Azores, 26-30 July 2015, paper 5743, p.2373-2388.
[10] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Historical timber bottom bridge in Gelnica over Hnilec river. Proceedings of 13th International Conference: New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj]. Bratislava, SR, October 15.-16. 2015. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015. CD, s. 570-574.
[11] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Drevené kryté mosty na Slovensku. In Zborník prednášok zo 40. aktívu pracovníkov odboru oceľových konštrukcií:

Oščadnica, SR, 22. - 23. 10. 2015. 1. vyd. Kysucké Nové Mesto: Miroslav Gibala – Reklamný servis, 2015, S. 29-34. ISBN 978-80-89619-01-6.
[12] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Slovenské historické kryté drevené mosty. Zborník príspevkov z 21. konferencie: Statika stavieb 2016. 10.-11. marec 2016. Hotel Sorea Piešťany, s. 250-257. ISBN 978-80-89842-00-1.
[13] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Historical Covered Timber Bridge in Gelnica near Station. Trends in Statics and Dynamics of Constructions II, Applied Mechanics and Materials Vol. 837, p. 44-51, on line June 2016, Trans Tech Publications inc., ISBN-13: 978-3-03835-538-0. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.837.44
[14] Baláž, I., Koleková, Y.: Two Historical Covered Timber Bridges in Gelnica. In BASA 2016: proceedings of the International Scientific Conference. 23-25 november 2016, Sofia, Bulgaria = BANI 2016, dokladi. Meždunarodna naučna konferencija po opazvane na nedvižimoto kulturno nasledstvo. 1. vyd. Sofia: Bulgarian Academy of Science and Arts, 2016, S. 331-338. ISBN 978-954-8931-50-2.
[15] Paulík, P.: Bridges on the territory of Slovakia, History and present of more than 250 the most beautiful bridges in Slovakia, JAGA GROUP, Bratislava, 2012. (In Slovak)
[16] Paulík, P.: Bridges in Slovakia, JAGA GROUP, Bratislava, 2014.
[17] Baláž, I.: Chapter 17 Bridge Engineering in the Slovak Republic, in: W.F. Chen, L. Duan (Eds.), Handbook of International Bridge Engineering, CRC Press, Taylor & Francis, USA, 2014, pp.747-821.
[18] Dušan, J.: Our historical and present bridges, NADAS, Prague, 1984, pp. 1-226. (In Czech)
[19] Dušan, J.: Czech Republic Bridges, Map. B.A.T. Program, 2000.
[20] Dušan, J.: Timber bridges in Czech and Slovak Republic, F.R.Z. Agency, Brno, 2011, pp. 1-54. (In Czech)
[21] Dušan, J.: Slovak bridges, third ed., F.R.Z. Agency, Brno, 2012. (In Czech)
[22] Pechal, A.: Bridges, Antonin Pechal, Brno, 2009. (In Czech)
[23] Maillard, M.: Constructing bridges, History of bridge engineering, Publishing house Karel Synek, Prague, 1946. (In Czech).
[24] Baláž, I., Koleková, Y.: Structural systems of 29 historical covered timber bridges in the Slovak territory. In BASA 2025: proceedings of the International Scientific Conference. 2026, Sofia, Bulgaria = BANI 2016, dokladi. Meždunarodna naučna konferencija po opazvane na nedvižimoto kulturno nasledstvo. 1. vyd. Sofia: Bulgarian Academy of Science and Arts, 2026. In print.

RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL HERITAGE LOST DUE TO SOCIAL TRANSFORMATIONS AND WARTIME DESTRUCTION

Nadja Kurtović Folić[1], Radomir Folić[2]
University of Novi Sad, Faculty of technical sciencest

***Abstract**: The impetus for this study is the discovery of the remains of the Hadži-Danuš Hanuma Mosque in Bijelo Polje and the potential for its reconstruction. Any destruction of a building carries dual consequences. First, its architectural form is annihilated; second, its symbolic meaning is erased, regardless of its architectural value. In such a condition, the structure becomes incapable of remaining unchanged. This situation necessitates a response in the form of redefining the architectural fabric, its transformed role within the environment, and its altered mode of presentation. Wartime devastation and abrupt social transformations exert particularly adverse effects on cultural heritage. Following a discussion on the strong relationship between memory, material heritage, and material culture, the paper further examines the evaluation of destroyed heritage and the possibilities for its reconstruction based on several influential factors.*

***Key words**: wartime destruction; rapid social transformations; cultural memory; Hadži-Danuša Mosque; heritage evaluation; architectural heritage reconstruction*

1. Introduction

The discovery of the remains of the Hadži-Danuša Mosque in Bijelo Polje in 2022, Montenegro, provides an instructive example for examining how cultural heritage is destroyed through human activity. Human actions that lead to the devastation of cultural heritage are systematized in international documents into the following categories:

- terrorism
- advances in military technologies
- wars and revolutions
- vandalism and prejudice (motivated by religious, national, ideological, racial, or individual violence, etc.)
- toxic industrial incidents
- exploitation of natural resources (such as opening mines and quarries, or creating large landfills)
- agriculture

[1] Kurtović Folić Nadja, Professor (retired), PhD, University of Novi Sad, Trg. D. Obradovića 6, Novi Sad, Serbia, nfolic@uns.ac.rs
[2] Radomir Folić, Professor emeritus, PhD, University of Novi Sad, Trg. D. Obradovića 6, Novi Sad, Serbia, folic@uns.ac.rs

- modern industrialization and the construction of large-scale facilities
- hydro-engineering and irrigation systems
- telecommunications, electrical, and nuclear power plants

In the case of the remains of the Hadži-Danuša Mosque in Bijelo Polje, the destruction of the structure resulted from a combination of wartime devastation and vandalism driven by religious and ideological motives. This paper discusses the theoretical foundations of cultural heritage destruction caused by social change and wartime damage, as well as the possibilities for reconstruction.

2. Defining the concepts that pertain to the impact of social transformations and wartime destruction on cultural heritage

Any destruction of a building produces twofold consequences. First, its architectural fabric is physically annihilated; second, its symbolic dimension is effaced, regardless of its architectural value [2], [6]. In such a state, the building becomes incapable of remaining unchanged. This condition calls for a response involving the redefinition of its architectural fabric, its altered role within the environment, and its modified modes of presentation.

Every building has its own lifespan, ideally aging in accordance with the materials from which it is constructed. The causes of decay, therefore, lie in the types and properties of the materials that constitute the building. Acts of war, terrorist attacks, and systematic destruction directed at architectural structures are considered external factors—forces not intrinsic to architectural production. Beyond the destruction of the building as a shelter and carrier of various functions, the impact on architecture is not merely physical. It constitutes an attack on what architecture represents within social and political systems—as a religious value, as an economic asset, and in other capacities. The symbolic dimension of architecture is often regarded as a legitimate target, and the physical assault on the architectural body both confirms and, in fact, reinforces that symbolic meaning [1].

Destruction caused by human action introduces into architecture an unexpected force—one that acts with an intensity and speed foreign to the nature of architecture itself. Such destruction reveals, in an extreme manner, the exposure of architecture to external forces that shape the environment and that, like architecture, determine the configuration of space. Violent acts in space immediately and disruptively activate additional forces (social, political, economic, and others) that contribute to the shaping of the environment.

The purpose of destruction is not inherently directed at architecture *per se*. As collateral damage, architecture becomes a means through which the primary objectives of destruction are achieved. Planned attacks on architectural works do not stem from aesthetic judgment; only their political or ideological effect is of relevance. Architectural fabric is attacked because of what it represents, not because of what it is. It is treated as the physical manifestation of a symbol, as a medium of representation—of society, religion, political power, or culture. The destruction of architecture is dramatically instrumentalized so that the event, framed as the "weakness" of architecture, underscores the weakness of that which created it—its non-architectural counterpart [18].

A destructive event, whether triggered by war or by abrupt social transformations, is carefully orchestrated in both space and time. Architectural fabric and urban elements define spatial relations and form. The shaping of buildings and the development of a city evolve gradually and slowly over time. Catastrophic destruction does not concern itself with dismantling the physical form created by a particular society; rather, it targets that society's economy, religion, national or ethnic identity, and ideology. The destruction of architectural fabric abruptly alters the way space is perceived. Behind these effects of architectural devastation—through the annihilation of form—lies the broader question of how the surrounding environment will be transformed [24].

In the specific case of the Hadži-Danuša Mosque in Bijelo Polje, its architecture was first partially damaged by wartime destruction (bombardment), and subsequently completely demolished as a result of a sudden shift in the social system (Fig. 1) [26].



Fig. 1 The Hadži-Danuša Mosque in Bijelo Polje
Left – condition prior to the Second World War (source: vijestibp.me)
Right – archaeological excavation, June 2022 (source: Al Jazeera Balkans)

A similar fate befell numerous religious structures in environments that underwent ideological, religious, political, racial, and other systemic shifts, expressing intolerance toward existing orders through the destruction of material evidence capable of bearing witness to, and continually reminding of, the past [4].

Such was the case with the main mosque in Minsk, which was damaged during the Second World War, completely demolished after the war, and replaced by a hotel—an intervention fully aligned with the socialist ideological framework of the USSR. Since the original mosque had been constructed in the late nineteenth and early twentieth centuries, and because documentation and historical photographs had been preserved, its precise form could be reconstructed. The mosque was reopened to worshippers in 2016 (Fig. 2) [8].



Fig. 2 The Main Mosque in Minsk — left: appearance before the Second World War (http://news.tut.by/society/505552.htm); right: appearance after the 2016 reconstruction, (https://pda.ekskursii.by/en/?Dostoprimechatelnosti_Belarusi)

This was a replacement of the monarchical with a republican state system, but also a transformation of the social order, whereby capitalism was replaced with socialism (on the path toward communism). The destruction of an architectural structure opens the way for the creation of a new one, establishing a *new-for-old* strategy that produces a rupture, a distancing and eventual falling into oblivion of what previously existed. The disappearance

of an architectural entity—its burial or removal—is described by some researchers as the "silencing" or the *silence of architecture*. Absent, collapsed, this architecture represents a loss for the community and becomes testimony to the cruelty and hostility directed toward it. Fragile, vulnerable, structurally damaged, powerless, it becomes (or even grows into) a symbol, although it may never have held such significance during its existence.

If archival documents, drawings, and photographs are lacking, after a period of quiet persistence in the oral memory of those who remember, complete oblivion eventually sets in. A building erected on the site of the destroyed one constructs its own historical meaning and value (regardless of their quality). If, within this newly formed social, religious, and ideological context, architectural forms reflect these changes by adopting a new architectural expression, a certain amount of time is required for awareness of past values and the need for continuity of life to be restored [24]. At that point, memory becomes institutionalized: institutions emerge that deliberately develop research strategies into the past and work to cultivate public awareness of values that have been entirely or partially lost [21].

This understanding—the desire to revive and celebrate local cultural heritage and to reshape and, in a sense, reclaim the *spirit of place* at historically significant sites—is a product of the evolution of collective consciousness. However, such an approach also entails new forms of social activity, and the emphasis on the "memory of place" can become a tool for manipulation. There is always a danger that the essence of cultural heritage will be reshaped according to the priorities of political-economic conceptions of identity. In scholarship, this situation is described by the term *re-heritagization*, denoting the process through which various forces appropriate the usability of heritage for future generations.

The concern for the *spirit of place*, which emerges when something once destroyed, is rediscovered—as in the case of the Hadži Danuša Mosque—makes the associative meaning of such a finding even more explicit. This raises, among other things, the problem of how to confront potential political-economic contestation or hesitation, and how to prevent other forces from intervening in decisions regarding whether and how an architectural structure should be reconstructed or restored so that it may become an old-new component of the city's urban image.

In other words, attention should be given to issues that are important to people affected by conflicts, aiming to improve their quality of life and expand their horizons of hope and opportunities for building a better future [14]. Ultimately, when addressing the dilemmas of what to do with heritage damaged in any conflict—whether military or social—an increasing number of specialists argue that this is not only a matter concerning buildings and sites but also involves the people connected to them [16]. Consequently, there is a growing perspective that community efforts to determine the fate of heritage in the context of conflict should be less focused on physical preservation and more oriented toward accepting change and finding creative ways to manage processes of societal transformation in communities confronted with the loss of their own past [19].

3. Memory and Remembrance in Relation to Cultural Heritage

Cultural heritage and the cultivation of memory of the past can be approached from several perspectives and within different contexts. First, it can be examined as the relationship between cultural memory and built heritage [10]. A second perspective considers the impact of urban development and the construction of new, large-scale structures and infrastructure on heritage. Third is the act of destroying indigenous heritage in the context of broader societal development. The fourth aspect involves the deliberate destruction of heritage with the explicit aim of erasing memory as a consequence of conflict and violence, exemplified by the case of the Hadži Danuša Mosque in Bijelo Polje.

Fifth, one may analyze the influence of social and political policies on created heritage, and sixth, the impact of destruction through the transformation of what is considered or protected as heritage [3].

In most cases, memory is considered the initiating factor that connects us with past events or material culture. Heritage and memory, however, are not solely linked to the past; they also have a direct connection to the present and the future. This is often encapsulated in the maxim, "no future without a past." Historical buildings and the cultivation of memories accumulate over time, evolving in the present and providing indications of how they will be perceived in the future. There are diverse ways in which architectural heritage "lives" and how it relates to social, economic, political, and everyday life. This must be considered when discussing memory, a concept often regarded as highly abstract and subjective. Memory is closely connected to material heritage and material culture, as it is precisely in this heritage that memory is embodied [15]. Both memory and material heritage stem from collective attitudes, and the dynamics of these two concepts exhibit similar characteristics. This becomes particularly evident when heritage is contested or when it holds a strong connection to the identities of specific groups and communities.

In recent decades, particularly since the end of the 20th century, there has been a noticeable increase in research on the relationship between cultural heritage, memory, and various forms of change, as well as on transformation and destruction within the study of built heritage. This growing interest indicates the rising importance of cultural heritage and memory, highlighting their vital role for individuals, groups, and communities in shaping collective identity. It has been concluded that the elimination of individual and group memory constitutes a significant basis for the destruction of cultural heritage, even under peacetime conditions.

The destruction of cultural memory through the eradication of material culture from the past has historically been used to suppress individuals, groups, and communities, thereby imposing and maintaining power. This practice was common in many insufficiently democratic states and aimed to establish hegemony over minority groups that were ethnically, religiously, ideologically, or racially different from the majority. In many regions of the world, cultural heritage has also been destroyed or transformed by large-scale construction projects, such as dams, railways, and other infrastructure, to exploit resources and generate profit. In the post-capitalist era, heritage—and consequently memory—has increasingly been commodified, further contributing to the disappearance of indigenous heritage and memory.

The destruction and transformation of heritage, however, is also a natural process in the evolution of inhabited spaces. Within this process, new heritage and new memories emerge, while older heritage may disappear. This phenomenon of spatial change has not yet been sufficiently analyzed from an ethical perspective regarding the removal and transformation of heritage [27].

Heritage functions as a means of communication, conveying ideas, values, and knowledge, encompassing both tangible and intangible aspects of cultural and natural heritage. These "ideas, values, and knowledge" are constructed through the interactions of individuals and groups. The ideas and values of local, ethnic, religious, or other communities, and their associated knowledge, are attributed or developed over time, though these meanings and values may also change. Specific aspects of cultural heritage may be rendered meaningless through processes by which heritage is shaped and managed in the present and utilized as a resource for the future, mediated by memories that are developed and transmitted across generations.

Nevertheless, cultural heritage largely retains its significance, particularly material heritage, which forms the foundation for constructing collective identity. Memory itself is

a highly complex concept, interpreted from multiple perspectives. Scholars often associate memory with older, existing material culture, asserting that it arises and develops from the active use of past experiences by individuals and groups. Today, it is also accepted that memory can be understood as a form of performance, involving active engagement with the present, which will become the past and eventually evolve into memory.

The concept of memory is occasionally treated ambiguously and unclearly within the social sciences. Its connection to cultural heritage, however, is far less abstract. Material heritage, particularly built heritage, provides a powerful representation of the knowledge and experiences of people from the past, as well as those living in the present. This relationship is multifaceted and has developed over numerous social experiences. Such experiences sustain collective group identity, keeping it alive through commemorative events or memories. Cultural memory and material heritage are closely intertwined, as heritage itself is an evolutionary product of culture, which in turn develops values and meanings for individuals and groups. Through this cultural creation, the meanings and values attributed to heritage, and the memories derived from it, become significant symbols of collective identity, serving to maintain cohesion among groups and communities.

The destruction of this vital connection through the demolition of architectural heritage—whether as a result of war, terror, religious conflict, or political and economic agendas—also entails the destruction of memory and identity for individuals, groups, and communities. Material culture from both past and present holds significant value for the future of communities, which is why it is often targeted by forces seeking to alter the spatial structure, and thereby the memories associated with it. It is clear that the concept of the connection between heritage and memory, along with its significance for groups and communities, carries multiple layers of meaning. Yet both material heritage and memory remain integral sources of strength for people connected through them. These are groups of people who share similar values and develop a shared material and intangible heritage, which, linked with memory, fosters a sense of belonging.

Material heritage and memory are crucial for individuals seeking personal meaning and represent concepts that help form identity. The ruthless destruction of cultural memory and heritage through war and social change can thus be deeply traumatic for people whose collective identity is tied to specific buildings, particularly religious ones. Identifying and examining cases of memory and architectural heritage destruction caused by war, religious or sectarian conflicts, terror during societal transformations, as well as natural disasters and economic crises affecting heritage preservation, is of essential importance for public awareness and the daily life of communities [12].

The terms *cultural*, *social*, or *collective memory* differ from individual memory in that they are created and developed through social and cultural interactions among groups and communities. Groups and communities hold and share cultural values through material culture and heritage, using them to cultivate and consolidate memory, foster a sense of belonging, and construct identity. The term *cultural memory* has been adopted in heritage studies from sociology, where the concept of social and collective memory has been elaborated theoretically. The use of this terminology, especially in heritage research, must be clearly defined, with the meaning of cultural memory explicitly articulated for both material heritage and heritage being created in the present.

4. The Concept of Heritage and the Evaluation of Built Heritage

Within the context of this discourse, one may ask whether everything constitutes heritage, or whether heritage is something so exceptional that only a very small number of highly specific sites or structures can be regarded as such. The international expert consensus defines heritage as anything that an individual or a community wishes to

preserve and transmit to future generations [9]. If there is a desire to safeguard something, it is thereby defined as heritage. However, substantial differences arise in determining what qualifies as heritage, depending on the individual or group expressing interest in it (Fig.3).



Fig 3 Heritage begins with the individual as a singular personality and gradually expands until it encompasses the entire world.

Every individual possesses a form of personal heritage that they nurture. This may include family photographs, musical recordings, personal belongings, souvenirs, the family home, plants, animals, and, of course, persons who are particularly valued and loved within family tradition. Each individual should identify, appreciate, safeguard, and share their personal heritage with others, thereby increasing the number of people who will continue to care for it. It is up to the individual or their closest relatives to recognize this heritage and ensure its transmission from one generation to the next. In some cases, such heritage is preserved for decades, even hundreds of years.

Through the reproduction of individuals connected by a shared heritage, a community emerges that possesses a collective legacy. This process begins with the preservation of buildings, parks and forests, archives, estates, landscapes, and collections of objects gathered in both war and peace, and it culminates in the community's assumption of responsibility for raising awareness among its members about that heritage. A distinct category of heritage is represented by individuals whose actions have left a profound imprint on the community's collective memory.

By extending the notion of heritage to a region, province, or state, awareness is broadened regarding the shared natural, material, and intangible heritage that the community collectively recognizes and consciously begins to value and protect. It is up to communities within a region and beyond to define what they consider to be heritage, and especially how they choose to care for it.

Ultimately, for all human beings living on planet Earth, there exist things, persons, and traditions regarded as a common heritage. Individuals and social communities serve merely as custodians of this extraordinary wealth, which multiplies over time.

Architectural heritage consists of buildings and structures of architectural, engineering, and historical significance, and is continually expanded through international conventions. This expansion occurs in three dimensions—typological, chronological, and geographical—resulting in the exponential growth of the circle of those engaged with heritage.

Everything that has been built is the work of human hands, and within this framework of heritage classification, individuals and groups—those through whose agency such works were created—hold particular significance. Their names, and at times even their likenesses, are preserved in collective memory in much the same way as material heritage. Hadži-Danuša belongs to this category of cultural heritage: one of the few women whose name, as the founder of a waqf, has been remembered across generations.

Without entering into detailed analysis and relying solely on the visible archaeological remains, it is unquestionable that this represents a significant find, whose further investigation will greatly contribute to our understanding of cultural heritage of both national and religious importance. For certain individuals or communities, heritage is more closely tied to the historical significance of particular people or groups, whereas for others it is more strongly associated with the built environment.

Regardless of the form of heritage in question, society bears the responsibility to identify and safeguard it, and must not rely on other levels of community to assume this duty. At times, those who govern a society may claim that there is "too much" heritage in a given environment, invoking insufficient financial resources as justification for neglect. This reflects a fundamental misunderstanding of the essence of heritage and marks the beginning of a conflict of interests, in which heritage cannot defend itself; rather, public awareness must be mobilized regarding the significance that this heritage holds for the community.

Everything that has been preserved over time or continues to live within the collective memory of a community indicates that it once held a certain value for people—though such value may vary. To determine the value of a cultural asset, a process of **valorization** is applied. This process involves examining and assessing the so-called **monumental properties**. These properties continually expand in scope, in line with the evolving understanding of what constitutes a historical monument. Such value attributes are largely similar across countries and encompass historical, artistic, scientific-documentary, cultural, ethnographic, architectural, urban, rural, archaeological, structural, and numerous other meanings that heritage may embody.

The degree of value is shaped by several factors: the obligations prescribed for the public presentation of the heritage; the level of social sensitivity toward it; the economic capacity of the community; and a range of additional conditions that directly affect buildings, cultural monuments, and the ways in which the public perceives them. Valorization—or evaluation—is the process through which the significance of a cultural asset for the public interest is established. It is a systematic procedure that relies on objective, research-based assessment to determine what is worth preserving, and it entails several steps to reach an optimal conclusion.

The particularity of **built heritage**, however, lies in the fact that its value does not stem solely from its physical structure; it also resides in what that structure means to people. The key to understanding built heritage, therefore, is the people themselves—their simultaneous assessment of the past, the present, and their projection of value into the future [17]. In the ways built heritage is understood and interpreted lies the answer to the question: **why do we care for built heritage?**

5. Reconstruction as a Theoretical and Technical Form of Built Heritage Conservation

After the complex operations involved in the valorization of architectural and urban heritage, decisions are made regarding its possible presentation or transformation, and an optimal form of heritage presentation is adopted, depending on several factors [7]. These include, above all, the condition of the heritage asset, its value in relation to comparable structures—those of similar function, structural system, or architectural expression [5]. Increasingly, conservation experts also consider the **economic viability** of heritage assets that are not highly valued. This, of course, requires a thorough examination of all available options, while ensuring that any final decision is made responsibly and with due consideration.

To arrive at the most appropriate decision, it is recommended not only to prepare **variant solutions** for the future treatment of the cultural monument, but also to develop

conceptual variants or scenarios (which precede the preparation of the formal program), as well as variant solutions for individual smaller units, and, in exceptional cases, for the entire surrounding environment [20].

In the field of built heritage conservation, several approaches exist for the final presentation of heritage assets. This section will briefly outline several principal approaches, while giving particular attention to **reconstruction** as the option proposed in the case of the Hadži-Danušina Mosque in Bijelo Polje. One of the most frequent methods, when an architectural monument is in relatively good condition, is **adaptation**. Adaptation involves adjusting one or more parts of a structure to enable the building as a whole to satisfy contemporary user requirements. It entails modifications such as the removal or addition of certain architectural elements—walls, doors, staircases—as well as the introduction of new installations and similar interventions.

If the building is in good physical condition, **sanitation** may be all that is required. This refers to deliberate work aimed at repairing and improving the general state of the structure in order to ensure hygienic conditions for its use.

When dealing with older architectural styles, particularly those from antiquity and the Middle Ages, **anastylosis** is often employed. This method involves returning original architectural elements to their original positions and restoring the functions they once performed.

The most significant procedure so important that the entire field of cultural monument protection derives its name from it is **conservation**. Conservation seeks to preserve a monument in the condition in which it currently exists. Nothing new is added to the monument, and this approach is most often applied to structures for which the original architecture cannot be reliably reconstructed, as well as to archaeological sites where the original height or form of the structures is unknown.

Another important, though less frequently applied method, is **restoration**. This is a methodological and technical procedure in which missing parts of a monument are added in the form they originally had. Restoration cannot be applied when the original appearance of the structure is unknown or when no documentation exists [8]. The method is grounded in the principle of respecting authenticity and the original historic fabric, as defined in Article 9 of the Venice Charter, which states that *"restoration must stop at the point where conjecture begins."*

Finally, alongside conservation, the most significant methodological and technical procedure is **reconstruction**, in which a building is returned to its original state by adding the missing parts in the form they originally possessed. This procedure differs from restoration because the use of **new materials** is permitted.

Full reconstruction of completely destroyed monuments is very rare. In certain cases where deemed appropriate, monuments for which no original parts have survived may also be reconstructed, but this is generally done for cultural, national, religious, or urban-planning reasons. Such a structure, however, does not possess the value of an original, yet it fulfills other socially significant purposes. Given the nature of the work carried out during reconstruction, the publication of documentation on the condition before and after the intervention is obligatory.

During the reconstruction process, additions that obscured or concealed the original architecture must be removed; all temporary protective measures are dismantled; features located in unsuitable positions or executed in inadequate ways are removed; and all layers covering the original fabric of the building are stripped away. In sensitive cases where a structure has been adapted to accommodate the religious rites of another confession, efforts are made to remove all elements added during the period when the building belonged to the other religious community. The aim is to restore the **aesthetic quality** that the

monument lost due to later alterations, while clearly distinguishing between old and new elements and techniques.

Reconstruction is also recommended in cases where a building has been destroyed or buried, and where its rediscovery reveals its historical and cultural value. This is unquestionably the case with the excavation of the foundational zone and remains of the Hadži-Danušina Mosque in Bijelo Polje, uncovered after several decades underground. The archaeological investigation of all elements will be invaluable for developing a high-quality reconstruction project.

Reconstruction is evidently a complex procedure through which the spatial and structural elements of a cultural monument may be altered, with technical parameters adjusted in order to achieve complete—or as close as possible—similarity to the original forms. Considering the potential of reconstruction to revive the memory and identity that a building evokes within the society in which it is situated, contemporary practice distinguishes several types of reconstruction, each requiring careful assessment before any intervention is undertaken. The classification includes:

- **Exact (or precise) reconstruction** – carried out based on complete documentation of the building;
- **Analogous reconstruction** – based on comparison with and identification of similarities to other examples of the same function, stylistic affiliation, and historical period;
- **Hypothetical reconstruction** – based on conjecture regarding the form of elements or parts of a building that no longer exist, which is intended to be rebuilt.

An example of an exact reconstruction is the **Frauenkirche in Dresden**, which was destroyed during the Allied bombing in 1945. The ruins were left as a memorial by decision of the East German authorities, making it partially comparable to the case of the mosque in Bijelo Polje. It was reconstructed based on the original plans from 1720 and consecrated in 2005 (Fig. 4).



Fig. 4 Exact Reconstruction – Example of the Frauenkirche in Dresden
Left – the memorial ruins after 1945 (https://www.ldsdaily.com/world/20-unique-photos-frauenkirche-dresden-germany/)
Right – the reconstruction according to the original plans
(https://www.swedishnomad.com/dresden-frauenkirche/

The Ferhad Pasha Mosque (Ferhadija) in Banja Luka represents one of the finest examples of the classical Ottoman style, which was dominant throughout the 16th century across the territory of the Ottoman Empire. Unfortunately, it was destroyed during the civil

war in 1993. Its remains were later carefully preserved and collected through considerable effort. This made its reconstruction possible, which began in 2001 and was completed in 2016, when it was reopened to worshippers.

Thanks to the use of modern software programs and archival documentation, the original elements were catalogued and assigned their appropriate places on the plans. There were enough of these elements to allow an **exact reconstruction** of the original form (Fig. 5).

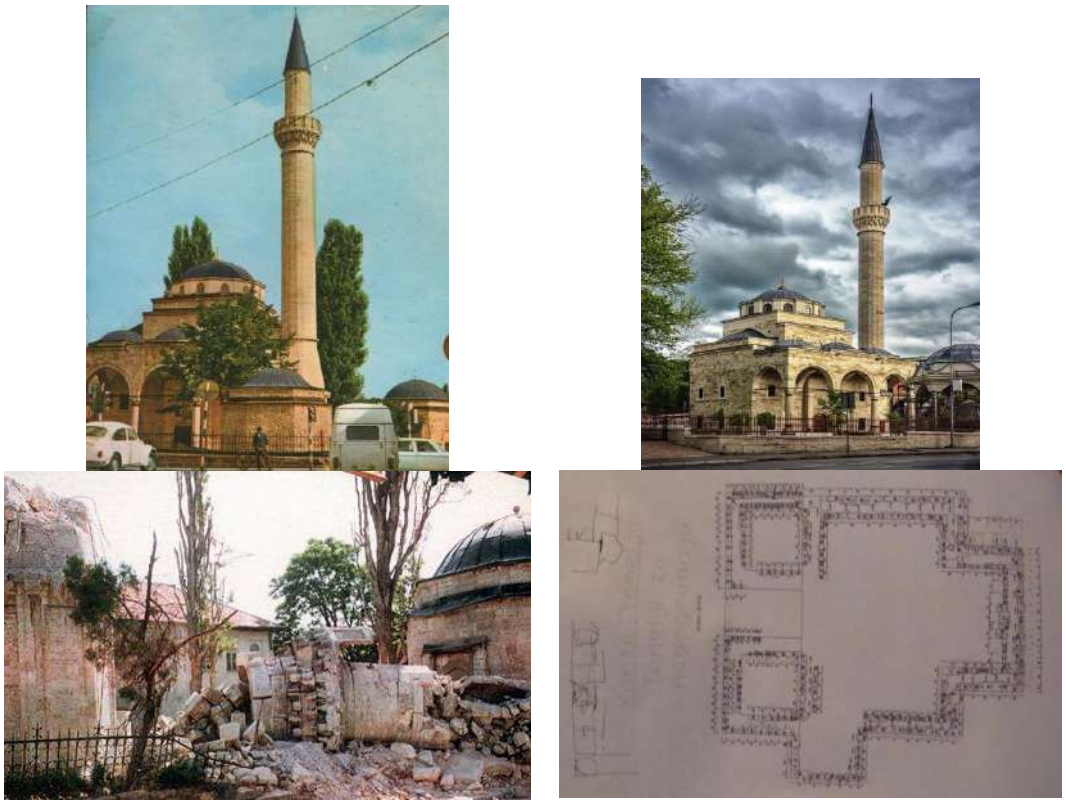


Fig. 5 *Ferhad Pasha (Ferhadija) Mosque in Banja Luka:* a) appearance before demolition (https://fotobaza.ba/media/ferhadija-banja-luka-8); b) appearance after reconstruction (https://www.znanje.org/i/i25/05iv10/05iv1029/galerija%); c) ruins of the mosque in 1993 (https://www.nkp.ba/dan-dzamija-prije-27-godina-srusena-je-banjalucka-ferhadija); d) foundation plan with marked positions of the recovered original blocks (original places of stones)

Analog reconstruction is a complex process that requires exceptional knowledge of the spatial organization, structural typology, and stylistic features of buildings erected in the same period as the structure to be reconstructed. One example that could be restored through analog reconstruction is the triconch Church of St. John in Zaton near Bijelo Polje. Based on the characteristics of its ground plan and the walls preserved up to approximately one meter in height, it is comparable to the churches of St. Nicholas in Nin near Zadar, St. Chrysogonus in Glavotok on the island of Krk, as well as a series of archaeological remains of churches along the Adriatic coast extending to Drivost in Albania, all dating from the late 11th and early 12th centuries (Fig. 6). Owing to its similarities with these restored small churches, a highly accurate analog reconstruction could be produced. An ideal reconstruction—never executed—was designed in the 1960s by Prof. Jovan Nešković.



Fig. 6 Left – The Triconch Church of St John, Zaton on the Lim; center – The Triconch Church of St Nicholas at Prahulje near Nin; right – The Triconch Church of St Chrysogonus at Glavosek on the island of Krk.

Based on the characteristics of its ground plan and the walls preserved up to approximately one meter in height, it is comparable to the churches of St. Nicholas in Nin near Zadar, St. Chrysogonus in Glavotok on the island of Krk, as well as a series of archaeological remains of churches along the Adriatic coast extending to Drivost in Albania, all dating from the late 11th and early 12th centuries. Owing to its similarities with these restored small churches, a highly accurate analog reconstruction could be produced. An ideal reconstruction—never executed—was designed in the 1960s by Prof. Jovan Nešković.

A specific form of analog reconstruction was carried out for the church at the Plaošnik site in Ohrid. The original 9th-century triconch church was gradually expanded and modified over time. In the 15th century, the Imaret Mosque was erected above the original triconch structure, so the position of the surviving foundations was established only through archaeological excavations. The decision to reconstruct the Church of St Clement, including all later additions, was adopted as an act of raising awareness of Macedonian identity [11]. For this purpose, the Imaret Mosque was demolished with the permission of the Turkish authorities, and a large complex was gradually erected, which continues to expand as new archaeological finds emerge.

In the search for morphological analogies for the added components of the original church, conservators examined as many as sixteen churches from the same period and proposed, through the reconstruction design (Fig. 7, Fig. 8),



Fig. 7 Left – remains of the Church of St. Clement; right – the Imaret Mosque above the triconch structure.



Fig. 8 Reconstruction of the triconch church of St. Clement and the additions constructed up to the 15th century analogies, Plaošnik–Ohrid.

When it comes to hypothetical reconstruction, a classic example was produced as early as the 19th century. It is the result of the work of the renowned conservator Viollet-le-Duc on the restoration of the Château de Pierrefonds. For a castle that lay in ruins, there was insufficient data for an accurate reconstruction; however, Viollet-le-Duc had a clear vision of how the structure *might* have appeared, and drawing on his extensive experience, he fully completed all of its architectural components (Fig. 9).

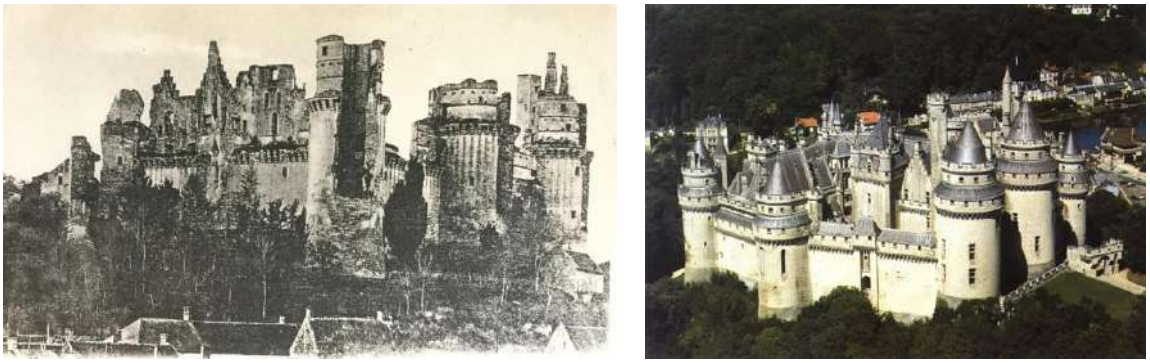


Fig. 9 Château de Pierrefonds: left – the castle in ruins https://www.deviantart.com/yesterdays-paper/art/Vintage-Europe-Ruins-of-Chateau-De-Pierrefonds; right – Viollet-le-Duc's reconstruction https://www.napoleon.org/en/magazine/places/chateau-de-pierrefonds-2.

Reconstructions in which conservators allow themselves considerable imaginative freedom are also known as *"historical"* or *fantastical reconstructions*. These constitute arbitrary reinterpretations and imaginary restorations that are presented as authentic, thereby misleading the public and fostering a false collective memory [25]. This approach has nevertheless become one of the dominant tendencies in contemporary heritage valorization, resulting in numerous original examples being practically replaced by replicas enhanced with imagined additions intended to "improve" them.

In reconstruction undertakings, it is therefore essential to remain measured and cautious in order to preserve, to the greatest extent possible, the *spirit of place* and the identity appropriate to the community concerned. Modern materials, techniques, and technologies greatly contribute to achieving any of the aforementioned approaches in the most effective manner [13].

6. Concluding Remarks

When the remains of a structure that once served as a focal point for community life are uncovered unexpectedly, and insufficient data exist to determine its original appearance, a dilemma arises: should the site be preserved as a memorial space, or should the building be fully reconstructed and restored to its original function? Numerous methods are available for presenting a memorial or archaeological site, ranging from leaving the remains exposed to creating partially sheltered or fully covered protective structures.

In the case of religious buildings that maintained an active liturgical function up until the moment of their destruction, the decision-making process is somewhat clearer. In such circumstances, reconstruction is easier to justify than in cases where multiple historical layers overlap and are difficult to distinguish. When complete documentation and substantial physical remains are lacking, one of the most reasonable and appropriate decisions is to plan a combination of exact and analogical reconstruction.

In smaller communities, however, extensive interpretive freedom may be more difficult to accept and can provoke visual dissonance. The impulse to reconstruct based on limited physical evidence often stems from the need to understand and continue the historical and evolutionary development of the environment in which a community must meet its contemporary needs. Reviving collective memory through a reconstructed cultural monument with an active function thus becomes an integral part of fulfilling those needs.

Built heritage can be found in nearly every small town across Europe. Most small towns have long histories, yet parts of that history are not always visible. As a result, even the smallest discovery of material evidence is highly significant and should be used both to strengthen community identity and to serve a functional role in contemporary urban life.

Unfortunately, the value and potential of such built heritage are often underestimated, as exemplified by the complete destruction and burial of the Hadži-Danuša Mosque in Bijelo Polje.

In towns with a modest amount of material heritage, regardless of its intrinsic value, four key challenges can be identified that hinder the full integration of built heritage into the contemporary urban fabric [23]:

1. How to attract new investments while simultaneously preserving the town's key built heritage.
2. How to combat the degradation of historic spaces and its tissue [22].
3. How to create or maintain a town's identity by promoting its built and natural heritage—not only at the local or national level, but also internationally.
4. How to utilize this heritage in ways that meet the needs of the citizens.

In cases where built heritage has been deliberately and violently destroyed due to war or social upheaval, an additional set of challenges arises. The heritage must be restored in a form that is simultaneously functional, integrated into the urban landscape that has developed over many years in its absence, and able to reclaim its significance for the identity of the community to which it belongs.

REFERENCES:

[1] Abrahams, D. H. The Importance of History to the Erasing-History Defance, *Journal of Applied Philosophy, Special Issue on Honoured Admiration after Wars and Conflict*, Vol. 39, Issue 5, Willey, 2022, pp. 745-760.

[2] Alijeva, Y. The impact of armed conflicts on cultural heritage: A study of the destruction of historical monuments, 07.2025, pp. 1-10, DOI 10.62731/mcnd-18 07.2025.007.

[3] Apaydin, V. (ed.), Critical Perspectives of Cultural Memory and Heritage: Construction, Transformation and Distinction, London/UCL Press, 2022. pp. 313.

[4] Bahman-Gigl, U. Dabiri, Z. Cultural Heritage in Times of Crisis: Damage Assessment in Urban Areas of Ukaine Using Sentinel-1SAR Data, International Journal of Geo-Information,International Journal of Geo-Information, 13, 1-27, MDPI, 2024 http://doi.org/10.3390//ijgi1309319) (accessed August 2025)

[5] Belal, A. Shcherbina, E.: Heritage in POst-War Period Challenges and Solutions, IFAC PaperOnline52-25 (2019), Elsvier, 252-257, www.sciencedirect.com (Accessed August 2025)

[6] Brewer, J.D. Hayes, B. The Influence of Religion and Ethnonationalism on Public Attitude toward Amnesty: Northen Ireland as a Case Study. Nation and Ethnic Politics, 22:4, 2016, pp 393 -411, http://dr.doi.org/10.1080/113.2016.123944

[7] Cil, D., et al. Detecting Damage to Cultural Heritage during Armed Conflict Using the Case of Ukraine. Nationalism and Ethnic Politics, 31(2), (2024), pp. 177–188. https://doi.org/10.1080/13537113.2024.2411794c.

[8] Condorelli, F. and Rinaudo, F.: Cultural heritage reconstruction from historical photographs and videos, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*., XLII-2, 259–265, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-259-2018, (accessed March 2024)

[9] Conversiaciones…con Françoise Choay, *Revista de conservacion*, Instituto National de antropologia e historia, Secretaria de Cultura, Num. 10, ICCROM, dicembre 2020.

[10] Espozito, Džon (ed.), *Oksfordska istorija islama*, Beograd: Clio, 2009.

[11] Grozdanov, C, et Al. *Plaošnik, Vozobanovata crkva na sv. Kliment i Pantelejmon*, Ohrid, Kaneo, 2009.

[12] Hadzic, L. Built Heritage risk Assessment and Prepradness Strategies, Cultural Heritage Without Borders, 2017, pp 1-28.

[13] Issues and Opportunities for Reducing Dissaster Risk, Fourth Session of the Global Platform on Disaster Risk Reduction (Geneva, 18-23 May 2013), International Scientific Committee of ICOMOS for Risk Preparedness in collaboration with the United Nations Office for Disaster Reduction (UNISDR), UNESCO and ICCROM, 1-60, https://www.undrr.org/publication/heritage-and-resilience-issues-and-opportunities-reducing-disaster-risks (Accessed September 2025)

[14] Jeleński, T. Practices of Built Heritage Post-Disaster Reconstruction for Resilient Cities, *Buildings* 2018/8, 53, Basel, MDPI, pp. 1-20.

[15] Kline,C.N. Giving it Back: Creating Conservation to Interpret: Community Oral History, *Oral History Review* 23/1, 1996, pp. 19-39.

[16] Konsta, A. Della Torre, S. Risk Management and Built Heritage: Towards a Systematic Approach, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SACH 2020, Proceedings (A. Roca, L. Pelà, Moliss, C, eds.), 29-30 September and 1 October 2021, 1-22.
https://congress.cimne.com/SAHC2020/frontal/About.asp (Accessed August 2025)

[17] Kurtović Folić, N. Studija o revitalizaciji Velike čaršije u Djakovici, *Starine Kosova* VIII, Priština, 1988. 34.

[18] Legnėr, M. and Stengård, Post-conflict reconstruction of Cultural Heritage, *Heritage in War Blog, Arts and Humanities*, Research Council, October 11 2019, pp. 1-5.

[19] Li, L. Tang, Y. Towards the Conemporary Conservation of Cultural Heritage: An Overview of Their Conservation History, Heritage 2021, 7, pp. 175-192, htpps://doi.org/10.3390/heritage7010009

[20] Nešković, J et Al.: Stara čaršija u Novom Pazaru - Zaštita i revitalizacij*a*, Beograd-Kraljevo, 1988.

[21] Pajvančić-Cizelj, A, Maksimov, K. Sociološki aspekti proučavanja i revitalizacije graditeljskog nasleđa, *Sociologija i prostor*, 54, 203(3), Zagreb, 2016, pp. 247-263.

[22] Pérez-Gandarillos, L. Manteca, C. Yedea, A, Casa, A. Conservation and Protection Treatments for Cultural Bibliometric Analysis, Novel Insight and Future Trends, Distributed under Creative Commons CC BY licence, 2024, pp 1021, doi:10.20944/preprints 202406.0191-v1

[23] Pineda, V.S. Inclusion and Belongings in Cities of Tomorrow, Governance and Access by Design, Singapore, Palgrave/Macmilan, 2024.

[24] Raffoul, A. W. Unstable Concepts, Unresolved Controversies: Reassembling Power-Sharing, Consociationalism, and Centripetalism. Nationalism and Ethnic Politics, 31(3), 2025, 313–333. https://doi.org/10.1080/13537113.2025.2488577

[25] Riedmatten, H de, Gaffo, F, Jaccard, M (eds) *Restoration as Fabrication of Origins*, Berlin, De Gruyeter, 2023

[26] Stojkovic, S. Local Ethnic Demography and Ethnonationalist Voting: Evidence from Interwar Yugoslavia. Nationalism and Ethnic Politics, 31(1), 2024, pp. 53–72. https://doi.org/10.1080/13537113.2024.2385215

[27] Stoppani, T. The Architecture of Disaster, *Space and Culture* 15, 2012, pp. 135-150, http://sac.sagepub.com/contents/15/2/135 (accessed March 12 /2024)

EXPLOSION RESITANT RAILWAY PASSAGE BELOW A LISTED BUILDING IN BRUSSELS (B)

Philippe Van Bogaert[1]

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Ghent University, Ghent, Belgium

***Abstract**: Many parts of the 'Residence Palace' building in Brussels, built between 1922 and 1927, are listed as heritage. Nevertheless, the railway connection from the European quarter of Brussels to the Airport had to be built below this building, including transformations to the structure. Nearby, the European Council building also covers the railway connection. Because the shaft for the additional rail connection is located beneath the building, several columns had to be removed. Therefore, parallel frames with four meshes were installed to support the weight of the upper floors. By limiting the size of these frames, the listed facades, corridors, and monumental staircases could be preserved. The frames are supported by extensive foundations of jet-grout columns.*

Obviously, this part of Brussels is often the scenery of mostly peaceful manifestations, against Europe's policies. This requires supervision by police and authorities. Malicious acts may follow and the infrastructure should be adapted to their occurrence. In particular, the March 2016 terrorist attacks on the metro system and the airport are still remembered. Hence, the European buildings have to be protected from the effect of explosions. The important explosion protection at the railway connection level consists of a completely independent closed tube, which functions as a sacrificial structure in the event of an attack. Using experimental equations to determine the effect of explosions was found to produce fairly accurate results..

***Key words**: Underpinning listed structures, art déco building, effect of explosions.*

1. Introduction : the 'Résidence Palace' building

The Residence Palace was built between 1922 and 1927. Project developer Lucien Kaisin envisioned a luxury complex comprising both apartments and a hotel. Architect Michel Polak was entrusted with its construction. A beautiful example of Art Deco, the Residence Palace was divided into ten "quarters" and comprised 180 apartments of varying sizes, accommodating hundreds of people. The entrance to the patio is exhibited in figure 1. The complex also boasted state-of-the-art amenities such as hot and cold water, electricity, central heating, a freight elevator, and a rooftop tennis court. It was more than just an apartment building: it boasted two restaurants, a theatre, a conference and projection room (the Foyer), meeting rooms, a swimming pool equipped with a Turkish bath, fencing and gymnasiums, a bank with safe deposit boxes, a central post and telegraph

[1] Philippe Van Bogaert, MSCE, PhD, Em Sr Full Professor, Civil Engineering Dept, Engineering and architecture faculty, Technologiepark 904 B 9052 Gent (Belgium), Philippe.vanbogaert@ugent.be

office, and numerous shops. The complex thus fulfilled the developer's vision: the creation of a small city within a larger whole.
The complex was occupied by the Germans in 1941. After the war, the complex could not be revived. The Belgian government, seeking large buildings to house its civil servants, purchased the building in 1947. Ideally located along Rue de la Loi, the building was converted into office space by the Belgian government. Initially, it was occupied by the Ministry of Public Education. This housing had little impact on the interior design of the buildings. The apartments and shops were converted into offices, while the restaurant, swimming pool, and foyer retained their original purpose but were now used by the administration. The theatre was refurbished in 1953; it hosted performances of the theatre National and rehearsals of the National Orchestra of Belgium. In 1975, it was declared unusable because it did not meet legal fire safety regulations. In 1985, the theatre was completely renovated, equipped with all the necessary amenities of a truly modern theatre. The style of the former theatre was preserved.



Fig. 1. Main entrance of Résidence Palace



Fig. 2. Patio with fountain

The most significant changes to the overall appearance of the Residence Palace date from the late 1960s. The arrival of the European institutions in Brussels completely transformed the district. The construction of the Berlaymont building and amenities such as the tunnel under Cinquantenaire Park and the metro completely transformed Schuman Square. This necessitated the demolition of the buildings on the corner of Rue de la Loi and Rue Justus Lipsius. This resulted in the rear facades of the Residence Palace becoming

visible, even though they were not originally intended. To preserve the renewed appearance of Schuman Square, a new, modern facade was installed. Michel Polak's sons were commissioned to design this project. This new extension, which required the demolition of no existing building, was called the "Rue de la Loi" and "Justus Lipsius" extensions. The capacity of the former Residence Palace was doubled, with approximately four hundred offices added.

At the same time, a four-story underground parking garage was constructed. During the same period, the general appearance of the Residence Palace was modified. For example, above the cornices, the top floors of buildings A, B, and C were covered with asbestos containing microconcrete panels. This concealed the balustrades that once adorned the roofs, as well as the pergolas of the summer restaurant in the Central Quarter.

On July 20, 2000, the Belgian Council of Ministers decided to establish an International Press Centre in Building C of the Residence Palace. On April 22, 2004, the facades of the Residence Palace and the entrance and hall on the ground floor of Block A were protected.

The Charlemagne Building, the Berlaymont Building, and other office buildings were able to accommodate the influx of new European officials for quite some time. However, the infrastructure ultimately proved inadequate. From 1972 onward, expansion of the buildings was again considered.

For fifteen years, a solution for integrating the European Communities into the city was sought. Should this building complex be preserved by incorporating it into the new project, or should it, on the contrary, be permanently erased from the Brussels landscape? The fate of the Residence Palace remained very uncertain for several years!

Ultimately, a design by the Ministry of Public Works was approved. Buildings A, C, and E were preserved, while buildings B and D were demolished in 1988 to make way for the Justus Lipsius building, the headquarters of the Council of the European Union.

In 2001, the Belgian government sold block E (Etterbeekse Chaussée) to the company LEX 2000, which returned it to its original residential purpose.

On the other side of the Chaussée d'Etterbeek, the last building for the European Council was built in 2017. The distance to Schuman station is relatively short, so the stability of this building was strongly influenced by the demands placed on the railway complex during its transformation.

2. Listed parts of the building.

The parts of the Résidence Palace, which are listed as monuments, are the theatre and foyer, the marble grand staircase leading to them and the adjacent rooms. The grand salon on the ground floor and the swimming pool with its changing rooms are also protected. In addition, the façade of what is left from building A, exhibited in fig. 3, is also listed, in particular the entrance with its stylish upper light and wrought iron decoration of fig. 4.



Fig.3 Listed façade of Block A



Fig. 4 Wrought iron decoration

In addition, the passage and doors giving access to the marble stairs (fig. 5) are indeed also listed, as is the ground floor corridor, exhibited in fig. 6.



Fig. 5 Entrance doors and listed stairs



Fig. 6 Listed corridor

All these elements display the typical characteristics of the Art Deco style, such as symmetry, clean lines, and the use of geometric perspectives and abundant ornamentation. This style was very popular after 1920 and was a reaction to the preceding Art Nouveau. Several architects, including even Victor Horta, adopted Art Deco.

3. Passage below the listed part of the building.

The project to connect by rail the Schuman European Quarter, and Josaphat is part of the Regional Express Network program. The main objective of this network is to address the growing mobility challenges facing Brussels and its surrounding areas and to promote a modal shift from cars to public transport. The European Quarter, served by the Brussels-Schuman and Brussels-Luxembourg stations, is a major hub of activity and employment, whose rail service needed to be significantly improved. Also for the STIB metro network, the Schuman station is a prominent stop. All metro stations in the Eastern and Western parts of Brussels have this place as a stop.



Fig. 7 Integrated metro and Railway station

The expansion of Brussels Schuman Station and its transformation into a multimodal train-metro transport hub on different levels is part of the railway program. This hub is located partly below the Résidence Palace buildings. Another part of the hub is located below the tunnel under the heavily trafficked Rue de la Loi and then reaches the foot of the Berlaymont building, headquarters of the European Commission. In addition, the latest

building of the European Council spans the new railway sluice. The final situation is exhibited in figure 7, the lower part being the metro line and the crossing bridge being the railway line.

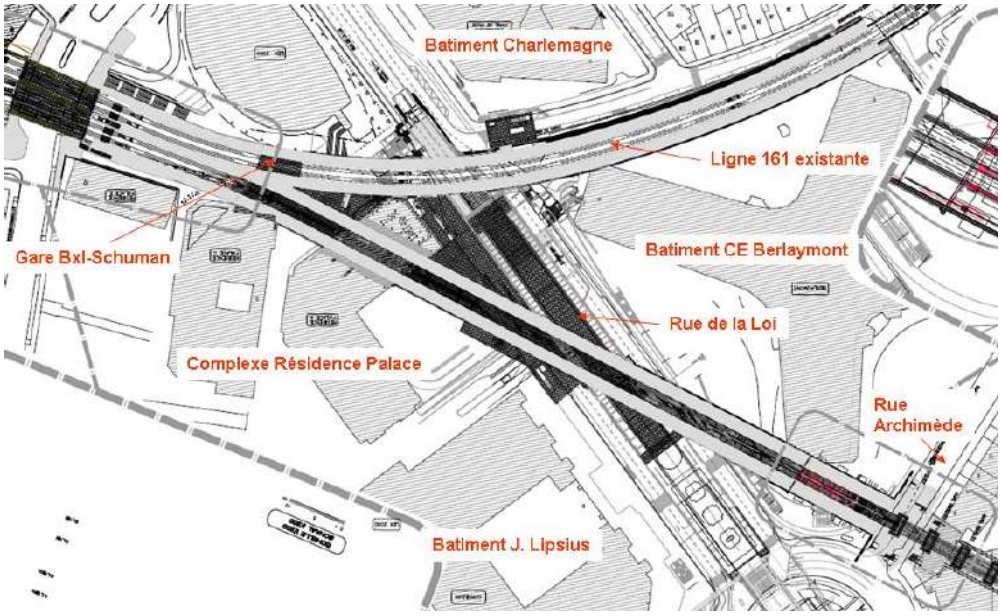


Fig 8 Plan view of crossing railway connection with metro station

Figure 8 shows a plan view of this location. The current Brussels-Schuman station is located above, and the curve represents the current tracks and platforms. The metro is located below Rue de la Loi, in front of the Berlaymont building. From left to right, the new tunnel has been excavated under the 'Résidence Palace' buildings. These buildings are underpinned by constructing new foundations using jet grouting columns. Jet grouting is successful in the sandy soil of the Brussels' substratum. Additional footings are being created between the existing foundations, and the buildings' exterior columns are being supported using jacks.

The modification of the structure is exhibited in fig. 9. A series of parallel beams and columns, connected by stiff nodes, reaching over 2 elevated floor level form an alternative load-carrying structure, replacing the thicker and more stocky construction of masonry and concrete. These frames have to support the above 8 floors and 1 terrace floor. Fig.9 clearly exhibits the size of the concrete columns and beams, which just fits around the window openings. This is also displayed in the cross section of fig. 10.

Obviously, the parallel framed structures are connected by transverse beams, which support the floors, while some longitudinal beams have corbels, allowing to support the staircase and some remaining floor beams. The railway installation is located below these frames and it consists of independent precast U-shaped bridge decks of some 18 m span.

Vibrations caused by trains may not have any impact on buildings. An anti-vibration support system has been installed under the concrete railway supporting structures. This system has been modulated according to the possible excitation of the structures and the vibration spectra caused by trains.

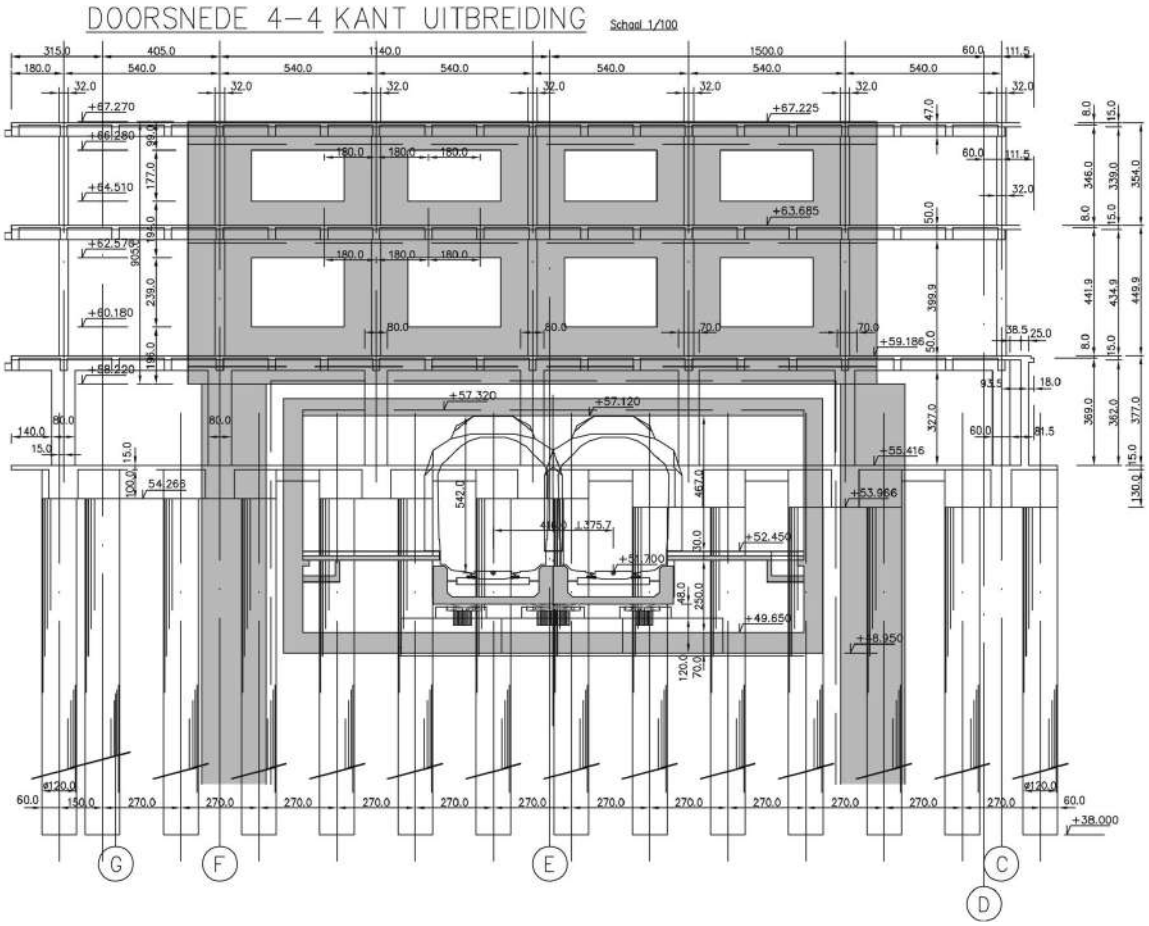


Fig. 9 Two storey frame support structure

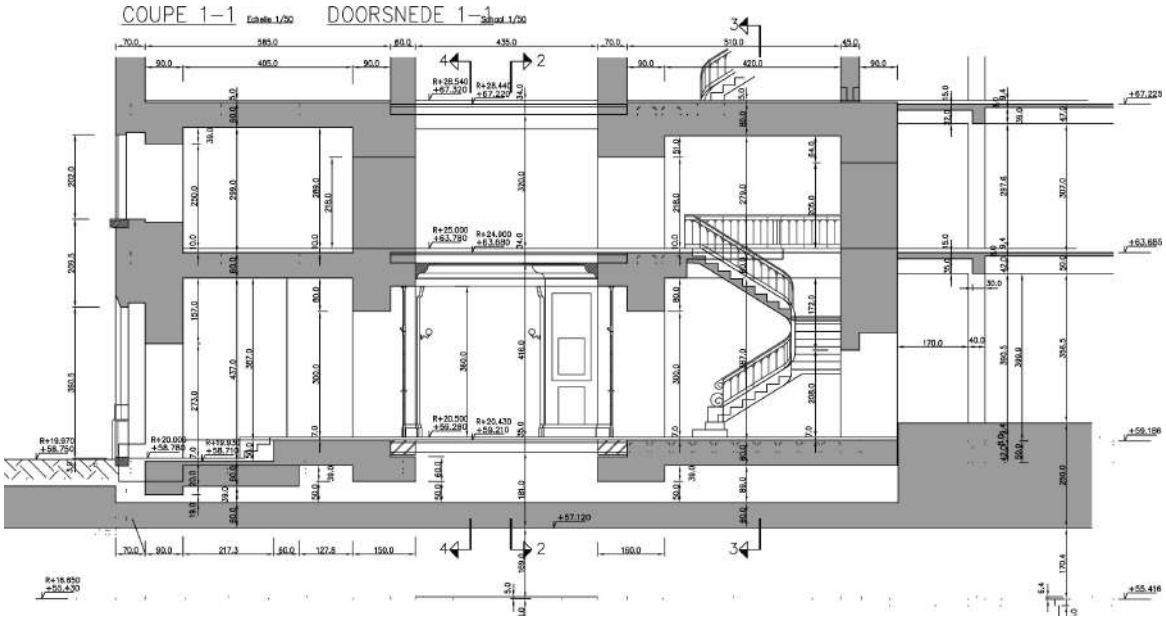


Fig. 10 Cross section of frame support structure

4. Explosion protection

Following the many terrorist attacks in European capitals, as London, Madrid, Paris, Berlin and others, Brussels was not spared, since in 2016 both the metro station Maelbeek' and Brussels Airport suffered from terrorist attacks and 35 people were killed [1]. Hence, every building for the EU, or in its neighbourhood must resist to such attacks by TNT detonation.

At the time of the project, the 2022 recommendations of ASCE [2] were not yet available, although some of the general recommendations were widely known. The aim of the blast protection should be to limit the potential of structural collapse. In addition, persons and assets inside the building should be protected and flying debris should not penetrate the rooms and spaces inside the building.

The effect of explosives on structures is mostly determined by FE-modelling of the structure and by simulating a shock wave from inside the building. Explosions in confined space generate a steep increase of air pressure, which vanish slowly with time, as exhibited in the graph of figure 11.

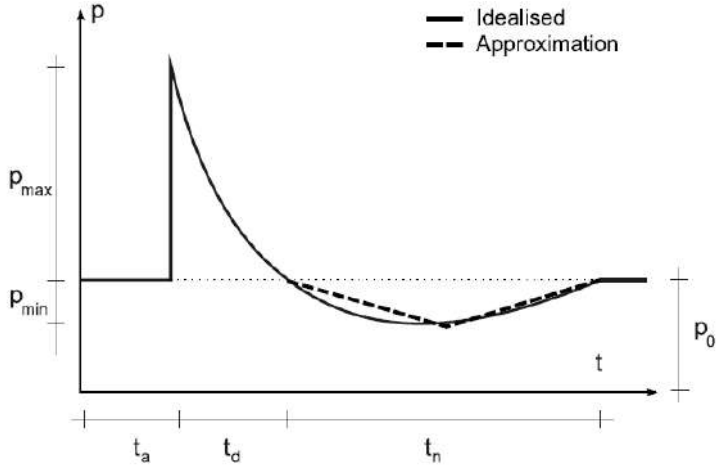


Fig. 11 Wave pressure versus time

The pressure waves hit the subsurface of the space. Some waves are absorbed, whereas others are reflected. With time this process extinguishes and the pressure returns to the original value. For the structure, the first impact is the most detrimental.

In literature, several proposals to determine the maximum pressure are found. Baker's method [3] concentrates on blast due to inflammable liquids in containers. The released energy is found from equation (1).

$$E = \frac{P_1 - P_0}{\gamma - 1} V* \tag{1}$$

P_1 being the maximum pressure and P_0 the minimum value, V the gas volume and γ the gas heath capacity. Prugh's method [4] renders the blast pressure p_b as a function of p_s the pressure at the vessel's surface, the absolute temperature T and the molecular weight M, as in equation (2)

$$p_b = p_s \left(1 - \frac{3.5\,(\gamma - 1)\,(p_s - 1)}{\sqrt{\frac{\gamma\, T}{M}\,(1 + 5.9\, p_s)}} \right)* \tag{2}$$

The most effective equation for determining the maximum pressure, caused by the explosion of 1 kg of TNT is given by the Jones-Wilkins-Lee equation [5].

$$p_{max} = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1\, V}\right)^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2\, V}\right)^{-R_2 V} + \omega\, \rho\, e_{int} \tag{3}$$

The values of A, B, R_1, R_2 and ω*are material constants. For explosion by TNT or equivalent these factors are A = 371200, B = 3231, R_1 = 4.15, R_2 = 0.95 and ω = 0.3. V equals the ratio of the density of the explosive matter to the density of air $V = \rho_{s0} / \rho_{air}$ and e_{int} is the internal energy per unit of mass. In the case of TNT or similar the values are in eq (4a) and (4b)

$$V = \frac{1588}{1.25}* \quad (4a)$$

$$e_{int} = 4.294 \text{ MJ/kg} \quad (4b)$$

In this case, the maximum pressure reaches 16.10 kN/m², this value exceeding any design load of a building. This value is somewhat higher than the result of ASCE 50-22, which is close to 14 kN/m². It was used as an approximation and more elaborate FE-simulations have confirmed its validity. For security reasons, more details cannot be reported.

6. Conclusion

The most interesting heritage site of the Résidence Palace, is now fully integrated, in the Europa building, where the EU heads of state and government meet. The multimodal station "Schuman" for the Brussels Metro and the railway company provides direct access to Brussels city centre and the airport for all interested parties.

To build this new infrastructure, several floors of Block A had to be underpinned, and the weight of nine floors was transferred to a two-story framed load-bearing structure, the size of which was kept as limited as possible so as not to detract from the design of the listed parts.

In accordance with the wishes of the competent Directorate-General of the EU Commission, the buildings are protected against attacks using the explosive TNT. The impacts considered also include gas explosions and other means used by terrorists.

REFERENCES

[1]https://www.nu.nl/terrorisme-in-europa/4234405/zeker-dertig-doden-en-veel-gewonden-door-aanslagen-in Brussel. (in Dutch) (30 dead and many wounded during terrorist attacks in Brussels.Entered 05.10.2025

[2] ASCE standard SEI 59-22 Blast protection of buildings.

[3] Bubbico, R., Mazzarotta,B., Analysis and comparison of calculation methods for physical explosions of compressed gases. AIDIC Conference series vol 11 2013

[4] Ngo, T., Mendis, P., Gupta A., Ramsay, R.J., Blast loading and blast effects on structures – An overview. Electronic journal of structural engineering? Jan 2007 p76-91

[5] Larcher,M., Casadei,F., Explosions in complex geometries – a comparison of several approaches. Joint Research Centre Europ. Comm. Office official publications. 2010 doi 10.2788/73796

ТЕОРИЯ НА НАСЛЕДСТВЕНАТА МЕХАНИКА НА ВОЛТЕРА. ВАЖЕН КРАЙЪГЪЛЕН КАМЪК ЗА АНАЛИЗ НА СТРУКТУРНИТЕ ЕФЕКТИ НА ЗАВИСИМОТО ОТ ВРЕМЕТО ПОВЕДЕНИЕ НА БЕТОНА

Марио Алберто КИОРИНО

Академия на науките в Торино, Политехнически университет в Торино

THE THEORY OF HEREDITARY MECHANICS BY VOLTERRA. A MILESTONE FOR THE ANALYSIS OF STRUCTURAL EFFECTS OF TIME-DEPENDENT BEHAVIOR OF CONCRETE

Mario Alberto Chiorino [1]

Accademia delle Scienze di Torino; Politecnico di Torino

The original paper was published in the Proceedings of the Conference "Vito Volterra on the Centenary of his Presidency of the Italian National Academy of Lincei" (Accademia Nazionale dei Lincei. Rome, September 21-23, 2022). Courtesy of the Accademia dei Lincei

***Abstract**: This paper aims to highlight how the formulation by Vito Volterra at the beginning of the 20th century of the mathematical fundamentals of hereditary mechanics represents a milestone in the development of the mechanics of solids and structures, with implications that are still currently highly relevant in what concerns the conceptual bases and computational methods for analyzing the behavior along the time of modern reinforced concrete structures, often characterized by large dimensions and complex construction sequences, taking into account the influence of the viscoelastic time-dependent behavior of concrete. The basic mathematical tool of Volterra's theory is represented by the integral equations developed by Volterra in those same years. Considering the difficulties in the analytical solutions of those equations in case of a refined modeling of the viscoelastic properties of concrete and of heterogeneous and sequentially realized structures, a numerical iterative procedure for their solution, or a rate-type approach in alternative to the integral approach, have been proposed in recent years by Zdenk Bažant.On the other way, with reference in particular to the conceptual design stage of structures, if the simplified assumption of a viscoelastic homogeneity of the structure is introduced, some fundamental theorems and corresponding simplified solutions have been*

[1] Prof. Mario Alberto Chiorino, Turin Academy of Sciences, ACI American Concrete Institute Hon. Member, *fib* Life Member, ACI Faculty Network, Hon. President ACI Italy Chapter, Professor Emeritus of Mechanics of Solids and Structures, Politecnico di Torino - Viale Mattioli 39 - 10125 TORINO, Italy,
E-mail: mario.chiorino@polito.it

developed, particularly by the school of structural mechanics of the Polytechnic of Turin with specific contributions by the author, which describe the behavior over the time of homogeneous structures made of a material like concrete with hereditary viscoelastic behavior in the cases of imposed constant or variable loads, or, respectively, deformations, or of changes of structural system by the application of additional restraints in one ore multiple subsequent steps. Mathematical solutions have been provided also, in particular by Franco Mola of the Polytechnic of Milan, for the case of homogeneous concrete structures with anticipated or postponed elastic restraints.

Mathematical formulations based on Volterra integral equations have also been obtained by Doncho Partov and his research group of the University of Structural Engineering and Architecture (VSU "Lyuben Karavelov") in Sofia for the viscoelastic analysis of composite steel-concrete sections in statically determinate structures under the assumption of rigid connectors between the steel girder and the concrete slab and in the case that shear lag effect can be ignored.

***Key words**: hereditary mechanics, Volterra integral equations, concrete, time-dependent behavior, structural effects, complex and sequential structures, computational approaches*

1. **Въведение**

Съвременните бетонни конструкции, реализирани чрез сложни последователно функциониращи строителни технологии и/или характеризиращи се със значителни нееднородности и размери, като цяло са много чувствителни към ефектите от закъснелите деформации, проявени от зависимото във времето поведение на бетона (изразени чрез процесите на неговото (пълзене и съсъхване). Типични примери са, наред с други, конзолно изпълнени мостове с големи отвори и вантови мостове, големи черупки, бетонни дъгови конструкции, предварително напрегнати чрез напрегателни преси, комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции, бетонни или смесени от бетон и стомана високи и свръхвисоки сгради. Някои от тези упоменати по-горе примери представляват изключително съвременни приложения на конструктивния бетон в строителната практика. Настоящият доклад има за цел да подчертае как формулирането от Vito Volterra в началото на 20-ти век на математическите основи на наследствената механика за масивни(корави)тела характеризиращи се със стареещо вискоеластично поведение, представлява стъпка от изключителна важност за развитието на механиката на конструкциите, с последици, които са все още много актуални по отношение на концептуалните основи и методите за изчисление, при анализ на това сложно поведение във времето на съвременните бетонни конструкции, с особен акцент върху оценката на влиянието на пълзенето на бетона. Volterra значително разширява границите на класическата теория на еластичността, която дотогава е представлявала основния ориентир за анализ на строителните конструкции в техните експлоатационни условия (преди развитието на нееластичните деформации, които възникват близо до граничното състояние на разрушение), и развива теорията на наследствената еластичност, като взема предвид твърди тела и конструкции, изработени от вискозо-еластични материали, „надарени с памет". Тоест, от онези вискозо-еластични материали, чиито състояния на деформация и напрежение в даден момент зависят и от историята на предишните състояния и които следователно запазват паметта за миналото си и за действията, по отношение на приложените напрежения или деформации, на които са били подложени преди това.

Основният математически инструмент на тази теория е представен от интегралните уравнения, на които Volterra е посветил своите изследвания през тези години. В началото на 20-ти век международната научна общност в областта на строителното инженерство всъщност е трябвало да започне да се занимава с проблемите, свързани с концепцията и проверката на поведението на конструкции, изградени със съвременната технология на стоманобетонните конструктивни елементи. Докато моделирането в еластичното поле представляваше адекватен ориентир за анализ и проверка на експлоатационните условия на стоманените конструкции в условията на тяхната експлоатационна пригодност, новите стоманобетонни конструкции показаха още от ранните си приложения (както е отбелязано и в лабораторните тестове, проведени върху бетонния материал) тенденция към значително поведение от вискозо-еластичен характер, проявяващо се под действието на постоянни натоварвания, „деформации", нарастващи с времето и затихващи в дългосрочен план, и чиято същност зависи от възрастта на конструкцията и нейния материал в момента на прилагане на натоварванията, с ефект на намаляване на стареенето, предизвикан от възрастта на материала. И в случай на премахване на приложените товари се наблюдава частично възстановяване на деформацията, не само моментално еластично в самия момент на премахване на товарите, но и в следващите времена, дори ако трайната деформация се е запазила в дългосрочен план. Научната общественост се също така удивляваше и на възможността за моделиране на отговорът във времето на бетонни конструкции със стареещо вискозо-еластично поведение на състоянията на напрежение, предизвикани в същите тези конструкции, както чрез прилагане на наложени деформации (например с цел коригиране и подобряване на състоянието на напрежение, предизвикано от натоварванията), така и, в статически неопределими конструкции, чрез отстраняване на някои от връзките или от деформациите, предизвикани от съсъхване на бетона или от температурни промени.

Част от научната общественост, особено в Западна Европа, се стремеше да опрости математическото схематизиране на вискозо - еластичното поведение на бетона, като прибягваше до опростени вискозо - еластични модели, които направиха възможно моделирането на комплексните структурни проблеми чрез диференциални уравнения. Тези опростени модели обаче не представяха адекватно реалното вискозо-еластично поведение на материала, наблюдавано при лабораторни тестове.

От друга страна, за други видни представители на същата научна общност през XX век - като Douglas Mc Henry в Съединените щати и голяма група учени в Съветския съюз (където изследванията на Volterra, публикувани на френски език, имаха широка известност), като например Г. Н. Маслов, Нагуш Хачатурович Арутюнян и Алексей А. Гвоздев - е било очевидно, че теорията на Volterra за наследствената еластичност и свързаните с нея интегрални уравнения представляват идеалния инструмент за моделиране на тези сложни вискозо-еластични явления. Въпреки това, дори в този напреднал научен контекст, след като се установи невъзможността за идентифициране на аналитични решения на тези интегрални уравнения в случай, че е приет сложен математически модел, отговарящ добре на експерименталните резултати, за да представи правилно вискоеластичното поведение на бетона, са направени многобройни опити, особено от съветски учени, да се търсят достатъчно надеждни опростени математически модели, които биха позволили такива аналитични решения. Въпреки това, дори и в тези случаи, без успех, тъй като реалното вискозо-еластично поведение на експериментално установения материал не е било адекватно представено от тези опростени модели.

Фундаментален поврат бе осъществен през 1972 г. от Zdeněk P. Bažant (Северозападен университет, САЩ, чуждестранен член на Accademia Nazionale dei

Lincei), който създаде итеративен числен алгоритъм с нарастващи стъпки във времето за решаване на тези интегрални уравнения на Volterra; метод, който може да се приложи независимо от математическото моделиране на вискозо-еластичните свойства на материала и нивото на прецизиране на моделирането.

Въз основа на този исторически контекст, през последните години на международно ниво, в институциите за координация на изследванията и техническо ръководство в областта на бетонните конструкции, бяха разработени насоки за адекватно справяне с анализа и проверката във вискозо-еластичната област на стоманобетонни конструкции, които в момента винаги са по-сложни и по-големи по размер и преди всичко се реализират чрез широка и ясно формулирана последователност от строителни фази, често разпределени за продължителен период от време, какъвто е например случаят с мостове с големи опорни разстояния и високи сгради.

Като се има предвид високото изчислително натоварване при интегралния подход на Volterra – по-специално във фазите на окончателните подробни изчислителни проверки на структурите, при които дискретизацията чрез последователни стъпки във времето (с необходимото съхранение в паметта на всяка стъпка от предишните стъпки) трябва да бъде свързана и с дискретизацията на структурата в пространството по отношение на моделирането на структурите с крайни елементи – са предложени алтернативни изчислителни подходи от типа скорост, също дискретизирани във времето, по-специално от Bažant. Тези подходи, по-малко обременяващи по отношение на изчислителното натоварване, тъй като историята на деформациите не е необходимо да се съхранява, защото тя се подразбира от текущите стойности на няколко вътрешни променливи, от една страна се свързват по-добре с дискретизацията на структурите в пространството чрез методи за изчисление с крайни елементи, а от друга страна, те позволяват да се вземат предвид явления - типични за поведението във времето на бетона и бетонните конструкции - които не са наследствени, като например напукване или влиянието на температурата и влажността, приплъзване на връзките, пластичност или нелинейност на армировката, свързана с бетона, циклично пълзене, вариации на влажността и температурата, със съответните промени в скоростта на стареене (или хидратация).

При моделиране и анализ на предварително напрегнати бетонни конструкции, скоростната форма на зависимия от времето конститутивен закон за бетон улеснява справянето и с друго силно нелинейно явление, представено от релаксацията на напреженията в стоманените струни на напрягащата армировка, което не е вискоеластично и може да бъде значително повлияно от изменението на деформацията в бетона.

Всички тези явления не могат да бъдат взети предвид чрез наследствените интеграли на паметта на линейния вискоеластичен закон за пълзене от интегрален тип, базиран на предположенията за линейност и суперпозиция във времето на ефектите на пълзене, тъй като напукването, ефектите на влажност и температура, за разлика от пълзенето на бетона, нямат вискоеластична памет и освен това защото, тъй като напукването и релаксацията на стоманата са нелинейни явления.

Въпреки това, както е подробно описано в този принос, целящ да отдаде почит на историческата роля на Vito Volterra в тази област на механиката на корави тела и конструкции, подходът на наследствената теория за вискоеластичност на Volterra продължава да представлява фундаментална концептуална референтна база за моделиране и анализ на поведението на бетонните конструкции във времето. Това е особено важно във важните фази на концепцията на конструкциите (концептуалния проект) и на контрола на резултатите от подробните числени изчисления, извършени

с методите, описани по-горе, във фазите на окончателната проверка на конструкциите. Във връзка с тези нужди, през последните десетилетия бяха разработени някои фундаментални теореми, с принос и от школата по механика на корави тела и конструкции към Политехническия институт в Торино, които определят поведението във времето на хомогенни конструкции с корави връзки и изработени от материал като бетон с наследствено вискоеластично поведение и подложени на история на наложени напрежения или деформации, както и на ефектите от закъснялото изменение на структурната система чрез прилагане на допълнителни връзки след натоварване.

Някои прости формулировки, винаги с позоваване на интегралния алгоритъм на Volterra, бяха разработени от Franco Mola от Политехническия институт в Милано, в контакт с изследователската група на Политехническия институт в Торино, също за хомогенни бетонни конструкции с допълнителни еластични връзки, както първоначално налични преди прилагането на натоварванията, така и отложени към натоварванията.

Предвид факта, че тези теореми и формулировки предлагат важна концептуална основа за гореспоменатите важни фази на концептуалното проектиране и контрол на подробните анализи на сложни конструкции, тези теореми и формулировки са включени в международните насоки за бетонни конструкции, по-специално в "*fib* Model Code for Concrete Structures" от 2010 г. и в новото му издание от 2020 г., което понастоящем е в окончателна фаза на редактиране[1] .

В заключение на тези уводни бележки трябва да се добави, че проблемът за оценката на ефектите от зависимото от времето поведение на бетона върху характеристиките на стоманобетонните конструкции по време на етапа им на строителство и през целия им експлоатационен живот - който представлява, както видяхме, важен аспект от процеса на тяхното проектиране и оценка на надеждността - може схематично да бъде разделен на два отделни проблема.

От една страна, дефинирането на надеждни модели за прогнозиране на явленията пълзене и съсъхване (проблем със свойствата на материалите) и, от друга страна, разработването на надеждни изчислителни методи за оценка на структурните ефекти на тези явления, със степен на точност, подходяща за конкретния случай (проблем със структурния анализ). Тези два проблема са всъщност взаимосвързани, но често се считат за независими и се разглеждат поотделно.

Първият от тези проблеми, по-специално по отношение на пълзенето, към прогнозирането на дългосрочни тенденции и стойности за период до 100 години или повече, съответстващи на определения (проектен) експлоатационен живот за оценки на надеждността на конструкции от по-голямо значение [28], се характеризира с висящ дебат в международната научно-техническа общност. Кратко описание на съвременното състояние на техниката е представено тук, в Раздел 3.

Настоящата статия разглежда по-специално втория от двата проблема, а именно оценката на реакцията на конструкцията по време на пълзене и съсъхване, с особен акцент върху ефектите от пълзенето. Както е видно по-горе, докато ранните изчислителни подходи за този проблем са били базирани на твърде груби опростявания, впоследствие постепенно са разработени адекватни критерии за адаптиране към нуждите от проектиране и оценки на надеждността. Резултатите от изследванията, които постепенно стават достъпни в областта на структурната

[1] Към момента на окончателното редактиране на настоящия том с доклади е публикуван Модел код на *fib* от 2020 г. Списък с грешките достъпен на уебсайта на *fib* https://shop.fib-international.org/publications/fib-bulletins/984-fib-model-code-for-concrete-structures-2020)

механика и теоретичната реология, където основите на наследствената механика, разработена от Volterra, играят ключова роля. Този трансфер на знания от научната област към областта на техническите ръководства и препоръки е координиран и насърчаван от международни предстандартни и стандартизационни институции в рамките на световно хармонизиран сценарий. Авторът е участвал значително в този процес.

В резултат на този напредък може да се каже, че оценката на структурната реакция на зависимото от времето поведение на бетона днес се възползва от набор от международно договорени основи и основни правила за приложение.

След кратко проследяване на историческото развитие през последните десетилетия на този благоприятен сценарий, настоящият доклад представя общ преглед на текущото състояние на препоръките в нормите и правилниците, за изследване на този проблем, и насоките в тази специфична област на международно ниво, като посочва областите с добре установен консенсус и няколко оставащи отворени въпроса.

2. Последователно разработване на хармонизиран формат за стандарти и препоръки в световен мащаб

През десетилетието 1960-70 г. вниманието на институциите, разработващи предварителните стандарти и след това самите стандарти , се концентрира основно върху първия от двата проблема, посочени във въведението, т.е. прогнозирането на зависимото от времето поведение на бетона: първо CEB Comité Européen du Béton (Европейски комитет по бетон), а след това ACI American Concrete Institute внедриха своите препоръки и ръководства със специфични модели за прогнозиране на деформации на пълзене и съсъхване на бетона.

Няколко години по-късно, CEB (преименуван на Comité Euro-International du Béton, Евро-Международен комитет за бетон през 1976 г.) прецени, че е назрял моментът да се установят подходящи насоки за втория проблем, т.е. оценката на реакцията на конструкциите при проявата на тези закъсняли деформации, вследствие пълзенето на бетона. След включването на предварителен кратък раздел в CEB Model Code 1978 [19], CEB реши да създаде, под координацията на автора, специално Ръководство за проектиране [24], изцяло посветено на тази тема, което да се разглежда като разширено ръководство както за създателите на стандарти, така и за практикуващите инженери. Публикуването в началото на осемдесетте години на миналия век на това Ръководство на CEB, което се основава на сборник от най-модерните изследвания по това време, благоприятства установяването на консенсус на международно ниво относно общата научна основа и хармонизиран формат за препоръки по нормативните документи и технически насоки в областта на време-зависимия анализ на бетонни конструкции.

Въпреки че прогресивно се развива, за да включи по-нататъшни научни постижения и възможностите, предлагани от усъвършенстваните съвременни изчислителни техники (вижте по-специално някои от приносите на Bažant и неговата изследователска група [5-7, 10, 15, 16, 31, 43] и, между другото, препратки [17, 18, 21, 22, 39-41]), същата тази научна основа и хармонизиран формат са представлявали в продължение на повече от две десетилетия и все още представляват референтния термин за повечето документи, специално посветени на тази тема или съдържащи насоки за този конкретен аспект на оценката на надеждността, разработени от международни предстандартни и стандартизационни институции.

Специфични раздели бяха редактирани с координацията на автора в рамките на CEB-FIP Model Code 1990 [20] и през 2010 г. в *fib* Structural Concrete Textbook [25]. На същите концептуални основи CEN (Европейският комитет по стандартизация)

редактира през 2005 г. Приложение КК „Структурни ефекти на зависимо от времето поведение на бетона“ към Еврокод 2 - Проектиране на бетонни конструкции - Част 2: Бетонни мостове - Правила за проектиране и детайлиране [27] (в момента в процес на преразглеждане, както е посочено по-нататък).

Съвсем наскоро тези актуализирани знания формират основата за Раздел 7.2.4 „Анализ на структурните ефекти на зависимото от времето поведение на бетона“, редактиран от автора, на *fib* Model: Стандарт 2010, публикуван през 2013 г. [28], който понастоящем е в процес на преразглеждане за новото издание на *fib* Model: Стандарт 2020, което се очаква да бъде публикувано през 2024 г. (вижте бележка под линия 1), и на разширения проект на ръководството на ACI 209.3R-XX „Анализ на ефектите вследствие пълзенето и съсъхването в бетонните конструкции“ [2], редактирано с координацията на автора и одобрено през 2013 г. в рамките на Комитет 209 на ACI Пълзене и съсъхване на бетон, като обширен вътрешен работен документ, който понастоящем е в процес на преразглеждане, за да се извлекат евентуално някои ръководства на ACI по някои специфични аспекти.

При установяването на съответния раздел от новия *fib* Модел: стандарт 2020, основните насоки на *fib* Модел: стандарт 2010 са запазени по същество, като същевременно е обърнато допълнително внимание на напредъка в предоставянето на точни и ефикасни числени методи, базирани на скоростни подходи за работа с конструкции, силно чувствителни към ефекти на пълзене и съсъхване, с особен акцент върху сложни, последователно изпълнени във времето конструкции и друг вид пространствени структури (вижте раздел 4.2.1).

В процеса на преразглеждане и актуализиране на Еврокод 2 - Проектиране на бетонни конструкции, който е в ход в момента, разширяването на целия му текст вероятно ще бъде значително намалено и предишната му Част 2, посветена на бетонни мостове, ще бъде ограничена до приложение към новата настояща Част 1-1: Общи правила и правила за сгради, мостове и инженерни конструкции, а подробните насоки от предишното Приложение КК „Структурни ефекти на зависимо от времето поведение на бетона“ [27] вероятно ще бъдат пропуснати, като се има предвид и наличието на разширените критерии за насоките на международно ниво във *fib* и средата в ACI, както и в специализираната литература, както е посочено по-горе
(Към момента на първоначалното публикуване на настоящата статия в сборник с доклади от конференцията, посветена на Волтера в италианската национална академия на науките през 2022 г., Еврокод 2 бе в процес на преразглеждане; настоящата ситуация трябва да бъде проверена)

3.Модели за прогнозиране на пълзене и съсъхване на бетона

Както бе посочено във въведението, проблемът за оценка на отговорът (реакцията) на конструкцията във времето, по отношение на зависимото от времето поведение на бетона (пълзене и съсъхване), който е разгледан подробно в този принос, не може да бъде напълно отделен от проблема, свързан със създаването на надеждни модели за прогнозиране на това поведение.

Следователно, преди да се обсъдят възможните подходи и най-добрите практики за оценка на отговорът на конструкцията, тук трябва да се спомене, от една страна, най-съвременните дебати относно експерименталните и теоретичните основи на моделите за прогнозиране, а от друга страна, влиянието, което формите на присъщите конститутивни закони, по-специално по отношение на моделите на пълзене, могат да окажат върху изчислителния инструментариум, използвани за тази оценка. Вниманието трябва да се съсредоточи особено върху моделите за прогнозиране на пълзене, като се има предвид и настоящият разширен дебат относно

надеждността на тези модели, и по-специално по отношение на дългосрочните прогнози за няколко десетилетия.

Ограниченията на пространството в настоящия доклад не позволяват подробно разглеждане на темата за моделите за прогнозиране. Поради това се прави препратка към паралелна, по-ранна и по-разширена версия на настоящия доклад [22] и към цитираната там литература, както и в следващите кратки коментари.

Съвременно състояние на съвременните модели за прогнозиране на пълзене и съсъхване към момента на публикуването им е представено в ACI 209.2R-08 Guide, редактирано през 2008 г. [1]. Темата е допълнително обсъждана, например в [23], като се посочват продължаващи различия и несигурности за моделите за прогнозиране на пълзенето и съсъхването на бетона.

За общ преглед на най-напредналите етапи на присъщия дебат може да се направи препратка към тези документи и включената цитирана литература, както и към други източници (вижте например [8-12, 31, 36, 37, 44, 45]).

По същество, засега трябва да се приеме фактът, че при липсата - въпреки значителния напредък в областта, както е посочено по-нататък - на напълно изчерпателни познания в областта на материалознанието за всички химични, физични и механични механизми на пълзенето и съсъхването на бетона , за да се реши проблемът с установяването на надеждни модели за прогнозиране само чрез физически базирани конститутивни подходи, това все още изисква калибриране на моделните уравнения чрез обширна база данни [37,44,45].

Основните различия се отнасят особено до критериите за прогнозиране на дългосрочни тенденции и стойности за пълзене, поради продължаващия контраст между необходимостта от извършване на оценки на надеждността на конструкции от по-голямо значение за определен (проектен) експлоатационен живот от 100 години или повече [28] и настоящата наличност на международно съгласувана база данни за лабораторни тестове (за последното издание вижте Hubler et al. в [12]), която все още е предубедена към кратките продължителности на пълзене (по-малко от 6 години за 95% от тестовете, докато само 3% надвишават 12 години, много от които със съмнителна надеждност на дългосрочните измервания [44, 45].

Трябва да се споменат скорошните дискусии относно възможността за дългосрочно калибриране на моделите за пълзене, като съпътстващ източник на информация в допълнение към базата данни за лабораторни тестове, да се използва многодесетилетно наблюдение на конструкции, и по-специално наскоро създадена база данни за дългосрочни прекомерни отклонения на мостове с големи отвори ([9] и Hubler et al. в [12]), както и присъщите предимства (наблюдения, разширени в многодесетилетен мащаб) и трудности (данни, свързани със конструкции, характеризиращи се със сложни строителни последователности и многостранно механично поведение във времето, а не със самия материал, което предполага деликатни подходи за обратен анализ) [37, 44, 45].

Накрая, трябва да се споменат скорошните напреднали изследвания, насочени специално към моделиране на зависимото от времето поведение на бетона въз основа на модели, които се опитват да уловят в най-добрия случай множеството химични, физични и механични процеси - които са функции на състава на материала и неговото узряване , както и на околната среда и условията на натоварване - от чието взаимодействие произтича зависимото от времето поведение на бетона [4].

Една важна препоръка, произтичаща от дебата, обобщен накратко тук, по отношение на прогнозите както за пълзене, така и за съсъхване, подчертава предимствата на изпълнението във всеки конкретен случай на краткосрочни тестове за драстично намаляване на неопределеността на прогнозните модели (вижте например [7, 10, 11, 31, 37]). Всъщност, тъй като вариациите в якостта, състава и

втвърдяването на бетона причиняват най-голямото случайно разсейване на прогнозите за пълзене и съсъхване, добри дългосрочни прогнози могат да бъдат постигнати само чрез екстраполиране на краткосрочни тестове или актуализиране на прогнозния модел според такива тестове, или комбинация от двете. Реалистичната екстраполация на данните за съсъхване и пълзене при изсъхване изисква измерване на загубата на тегло на тестовите образци.

Като общо заключение, като се имат предвид гореспоменатите, доказани постоянни неопределености, на модела при прогнозирането на зависимото от времето поведение на бетона, по-специално по отношение на дългосрочното прогнозиране на пълзенето, могат да се направят следните допълнителни препоръки, по-специално по отношение за важни и чувствителни конструкции:

• вероятностно прогнозиране на доверителните граници на дългосрочните структурни реакции на зависимото от времето поведение на бетона (пълзене и съсъхване) и проектиране, базирано на прогнози за екстремни, а не средни реакции, които са превишени с известна малка вероятност, е осъществимо и представлява по-подходящ подход [10]; вероятностният подход изисква реалистичен модел за прогнозиране на пълзенето; всъщност, от една страна, при вероятностния анализ би имало малко смисъл да се използват прости, но нереалистични модели, които имат големи систематични грешки, произтичащи от неадекватността на самия математически модел, а не от случайността на влияещия параметър, докато, от друга страна, полезността на сложен модел за прогнозиране на пълзенето е ограничена, освен ако използването му не се комбинира с вероятностен подход;

• макар че следва да се насърчават всички усилия за намаляване на тези продължаващи неопределености, основната идея, която трябва да се разпространява е, че концепцията за проектиране, процесът на строителство и програмата за поддръжка на разглежданата конструкция трябва да бъдат основателни и разумни, за да ограничат ефектите от забавените деформации на бетона, и трябва да включват възможността за приемане на удобни коригиращи мерки на етапа на проектиране и строителство, както и отложени коригиращи действия по време на експлоатационния живот, за да се получат трайни и надеждни конструкции за удължен експлоатационен живот.

Що се отнася до специфичния аспект на връзката между форматите, приети за моделите за прогнозиране на пълзенето, и последващия проблем за оценка на реакцията на конструкциите във времето, обсъден в Раздел 4, трябва да се отбележи, че в повечето от препоръчаните в момента модели за прогнозиране (като например четирите модела, включени в Ръководството ACI 209.2R-08 [1]), индуцираните от напрежение деформации във времето (начални плюс деформации от пълзене) са представени чрез функцията на пълзене $J(t,t')$, дефинирана в рамките на предположението за линейна вискоеластичност при стареене като реакция на деформация във време t към продължително единично напрежение, приложено във време t'. Както е добре установено в теорията за линейната вискоеластичност при стареене и е подробно описано в Раздел 4.1, свързването на принципа на суперпозиция, който се подразбира от тази теория, за моделиране на реакциите на деформация, зависими от възрастта, към нараствания на напрежението, приложени в различни моменти t', дава конститутивната връзка напрежение-деформация за пълзене на бетона под формата на интегрално уравнение на Volterra, характеризиращо се с наличието на наследствен интеграл.

От друга страна, както се очакваше във въведението и беше обсъдено в раздел 4.2.1, изчисляването на структурните ефекти, дължащи се на пълзене във времето, може да се направи по-ефективно чрез апроксимиране на конститутивния закон от

интегрален тип с отношение от скоростен тип, което е предимство и за асоциирането с метода на крайните елементи.

4. Конструктивен анализ, зависим от времето, с отчитане на пълзенето

4.1 Линейна вискозо-еластичност при стареене

Както се очакваше в предходния раздел, що се отнася до ефектите от пълзенето, общоприето е, че надежден анализ на структурния отговор в експлоатационни условия (т.е. за напрежения по-малки от около 0,4 от якостта на бетона) може да се извърши въз основа на теорията за линейната вискозо-еластичност при стареене, предполагаща допускания за линейност и суперпозиция, което означава, че могат да се добавят реакциите на деформация по време на миналите истории на напрежението**.**

Въпреки че основите на тази теория са поставени в теоретичната механика на континуума през първите години на 20-ти век от Volterra [42] съгласно дефиницията за наследствена еластичност, едва в началото на 40-те години тази теория е призната от строителните инженери като подходящ математически инструмент за анализ на пълзенето на бетонни конструкции. Пионери на тези ранни опити са Маслов през 1941 г. [35] и школата на съветските инженери, под ръководството по-специално на Гвоздев, през следващите повече от три десетилетия (виж например [3,29,30]). McHenry [34] в САЩ през 1943 г. потвърждава тази тенденция чрез разширено експериментално потвърждение, при изпитвания на пълзене на запечатани образци, на принципа на суперпозиция, присъщ на теорията на Volterra Той също така формулира първите две теореми за линейна вискоеластичност при стареене за хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, по-късно демонстрирани (1948-1951 г.) от Franco Levi [32, 33] и от Арутюнян (1952) [4_{bis}].

Значителен принос в приложението на линейната вискоеластичност при стареене към проблемите на структурното пълзене е направен по-късно, до наши дни, от Bažant и неговата изследователска група (виж например [5-10, 15, 16, 31] и списъка с неговите публикации, който може да се изтегли), от автора и неговата изследователска група, с формулирането от автора на двете допълнителни теореми за линейната вискоеластичност при стареене за хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, подложени на единични или многократни промени на структурните системи, и установяването, в сътрудничество с Mola, на някои компактни формулировки за хомогенни бетонни конструкции с еластични връзки (виж например [17, 18, 21, 22, 23_{bis}, 24, 25, 41] и приноса на автора към [2, 19, 20, 28] и присъщата цитирана литература), от колегите на автора (Giuseppe Lacidogna, Mario Sassone and Carlo Casalegno) [17, 18, 21, 40, 41] и от други. автори (вижте, наред с други, препратка [39]) За групата теореми за линейна вискоеластичност при стареене за хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, вижте тук Раздел 4.2.2.b.

Въпреки, че през последните десетилетия различни автори са открили някои значителни отклонения от линейността и принципа на суперпозицията (виж например [7, 10, 16, 30, 31, 43]), по-специално при наличие на вариации на влажност и температура със съответните промени в скоростта на стареене (или хидратация), разтоварване, предполагащо обръщане на напреженията и деформациите, напукване и други повреди на бетона, приплъзване на връзките, пластичност или нелинейност на армировката, свързана с бетона, и циклично пълзене, идеята за базиране на време-зависими анализи на пълзенето на бетонни конструкции на тези принципи и произтичащата от това теория за линейната вискоеластичност при стареене, стана общоприета като опростено предположение

за проектната практика на съвременните конструкции, когато се разглежда средното поведение на масивни греди и плочи, в които водното съдържание и температурата не могат да се променят съществено или бързо, и особено в ранните етапи на създаването на конструктивната концепция и проектиране [1, 2, 5-7, 18-22, 24, 25, 27, 28, 31, 39-41]. В рамките на тези граници, линейният вискозо-еластичен подход за стареене, възприет за първи път в международен предстандартен документ от CEB през 1978 г., Стандарт за моделиране [19] и широко приложен в свързаното с него ръководство за проектиране на CEB [24], е систематично възприет в последните ръководни документи и стандарти от международни предстандартни и стандартизационни институции [1, 2, 25, 27, 28].

По-прецизни анализи, отчитащи гореспоменатите отклонения от суперпозицията и свързаните с тях линейни вискозо-еластични решения за стареене, с надлежно отчитане на различните причини за нелинейност, се изискват в окончателните подробни оценки на надеждността, по-специално по отношение на чувствителните към пълзене, големи и сложни последователни структури (вижте втората опция в раздел 4.2.1).

Линейният вискозо-еластичен подход за стареене се основава на въвеждането на наследственото интегрално уравнение на Volterra като конститутивен закон за бетона в следните две еквивалентни форми, представляващи обобщението чрез принципа на линейна суперпозиция на реакциите на бетона при единица, постоянно действащ едноосен приложен товар (напрежение) или съответно, деформация, за променливи във времето стойности на тези наложени въздействия, след начална крайна стъпка, наложена на някаква възраст t_0:

$$\varepsilon_\sigma(t) = \sigma(t_0)J(t,t_0) + \int_{t_0}^{t} J(t,t')d\sigma(t') \tag{1}$$

$$\sigma(t) = \varepsilon_\sigma(t_0)R(t,t_0) + \int_{t_0}^{t} R(t,t')d\varepsilon_\sigma(t') \tag{2}$$

където $\varepsilon_\sigma(t) = \varepsilon(t) - \varepsilon_n(t)$ е деформацията, зависима от напрежението $\sigma(t)$, като $\varepsilon(t)$ е общата деформация, а $\varepsilon_n(t)$ е деформацията, независима от напрежението (съсъхване и термални деформации), а $J(t,t')$ и $R(t,t')$ са функциите на пълзене и релаксация, представляващи съответно деформацията или реакцията на напрежение във време t при единично постоянно едноосно наложено напрежение σ или деформация $_\sigma\varepsilon$, приложена във време t' [5,7,28,31].

В уравнения (1) и (2) наследствените суперпозиционни интеграли са записани като интеграли на Стилтес, за да се допуснат прекъснати истории на напрежението след началната стъпка при t_0. Ако $\sigma(t)$ и $\varepsilon_\sigma(t)$ са непрекъснати след t_0, заместванията $d\sigma(t') = [d\sigma(t')/dt']dt'$ и $d\varepsilon_\sigma(t)/dt' = [d\varepsilon_\sigma(t')/dt']dt'$ водят до обикновените (Риманови) интеграли.

Ако историята на напрежението $\sigma(t)$, или на деформацията $\varepsilon_\sigma(t)$, е известна и е предписана съответно в уравнения (1) или (2), определянето на съответните истории на деформацията или съответно на напрежението включва само изчисляване на наследствените интеграли .

От друга страна, ако в уравнение (1) историята на деформацията $_\sigma\varepsilon(t)$ е известна и предписана, или ако в уравнение (2) историята на напрежението $\sigma(t)$ е известна и

предписана, тези две уравнения представляват две наследствени интегрални уравнения (Volterra integral equations) за определяне съответно на историята на напрежението $\sigma(t)$ или на деформацията $\varepsilon_\sigma(t)$.

Ако в уравнение (1) историята на деформацията е зададена като константна единична деформация, наложена при $t = t_0$, се получава следното уравнение, свързващо функциите на пълзене и релаксация [5]:

$$1 = R(t_0, t_0)\, J(t, t_0) + \int_{t_0}^{t} J(t, t')\, dR(t', t_0) \qquad (t \geq t_0) \qquad (3)$$

Където:

$dR(t',t_0) = [\partial R(t',t_0)/\partial t']dt'$.

Ако функцията на пълзене $J(t,t')$ е зададена като основна функция, характеризираща материала, например чрез възприетия модел за прогнозиране на пълзене, уравнение (3) позволява определянето на съответната релаксационна функция, представляваща основната дуална функция за материала. Трябва да се вземат предвид различни стойности на t_0 и да се извършат многократни решения на уравнение (3), за да се получи $R(t,t')$ от $J(t,t')$.

4.2 Преглед на съвременните подходи за време-зависимия конструктивен анализ в нормативни документи и технически ръководства

Както се очакваше в Раздел 3, в най-общия случай, анализът въз основа на теорията за стареещата линейна вискоеластичност на конструкции, характеризиращи се с наличието на различни бетонни части с конститутивен закон от типа на уравнение (1) и, в случая, еластични (стоманени) части, и подложени на сложни истории на прилагане на натоварвания и наложени деформации и на промени в структурната система, води до система от наследствени интегрални уравнения на Volterra [2,3,5,7,18,25,28,29,31,40,42]. Сега е добре установено, че тези уравнения, както и уравнение (3), свързващо функциите на пълзене и релаксация, могат да бъдат решени аналитично само за някои прости форми на функцията на пълзене $J(t,t')$. За съжаление, подобни форми, предложени в миналото от много изследователи (e.g. Macmillan, Glanville, Dischinger, Arutyunian, Levi, Ulickii, Prokopovich, Gvozdev, Aleksandrovskii,, Illstone, Nielsen, *et al*.), представят много слабо дългосрочното пълзене и пълзенето за високи възрасти при натоварване [2,7,10,24,31]. Едно от последните предложения от този тип (наречено подобрен метод на Дишингер) е на Hubert Rüsch and Dieter Jungwirth (1973) и е включено в CEB Model Code 1978 [19] и в CEB Design Manual [24] като една от изчислителните опции.

Тези по-ранни форми вече са изоставени, тъй като числено решение на интегралните уравнения на Volterra може лесно да се получи [5] за всяка форма на функцията на пълзене $J(t,t')$), като например тези, предоставени от съвременните модели за прогнозиране, посочени в Раздел 3. Алтернативно, числените симулации могат да бъдат направени по-ефективни, като преобразуват функцията на пълзене в еквивалентен закон от скоростен тип, което позволява и да се уловят явленията, причиняващи отклонения от принципа на суперпозиция във времето.

Тези два много общи подхода за числени решения на задачи за анализ на пълзене, които не изискват въвеждането на незадоволително опростяване за съответствието на пълзенето, обикновено се наричат „Общ метод". Те са обсъдени тук в Раздел 4.2.1. От друга страна, когато не се изисква силно прецизиран анализ и в

концептуалния и предварителния етап на проектиране, могат да се приемат някои удобни опростявания, без да е необходимо, и в този случай, да се въвежда каквато и да е изкривена форма за съответствието. Тези опростявания се прилагат а именно:

а) на конститутивно ниво, чрез приемане на приблизителна алгебрична формулировка за конститутивния закон на уравнение (1); Много ефективната алгебрична формулировка, предлагана от метода, известен като метод на коригиран спрямо възрастта ефективен модул (Age Adjusted Effective Modulus AAEM method) [2, 6, 10, 25,28, 31], е представена тук в раздел 4.2.2.a;

б) на ниво структурен модел, чрез въвеждане на приблизителното предположение за ефективна реологична хомогенност за бетонната конструкция или за бетонната част на конструкция, която включва стоманени конструктивни елементи, както е обсъдено в раздели 4.2.2.b-c [2, 21, 25, 28].

Подход б) е особено полезен на етапа на концептуално проектиране.

Общият числен метод и двата опростени приблизителни подхода а) и б) са трите основни варианта, разглеждани в рамките на настоящия международно хармонизиран формат за оценка на структурния отговор на зависимото от времето поведение на бетона, приет в повечето от последните ръководства и препоръки [2,25,28]. Те са разгледани накратко по-нататък.

Общото предимство на всички тези варианти, в настоящата ситуация на липса на консенсус на международно ниво относно най-подходящите модели за прогнозиране на пълзенето на бетона, които да се приемат при анализа на структурната надеждност, се състои във факта, че те не зависят от никоя специфична формулировка на модел за прогнозиране. Напротив, те позволяват изследването на структурния отговор за всеки модел за прогнозиране на пълзенето, считан за подходящ в конкретния случай, както и сравнението на получените резултати, включващи в изчислителния процес различни модели за прогнозиране.

4.2.1 Общ метод

В този общ подход, настоящите изчислителни алгоритми за еластичен анализ на конструкции, като например процедури за анализ с крайни елементи, се модифицират чрез включването на наследствения интегрален конститутивен закон от уравнение (1), формулиран в инкрементална форма, адаптирана към численото решение.

Както се очакваше по-горе, възможни са два различни варианта. Те се състоят съответно в рекурсивна числена процедура, произтичаща от заместването на наследствените интеграли върху минали истории на напрежение или деформация със сума [2, 5, 18, 21, 25, 28, 31, 40] (*първи вариант*), или, алтернативно, в трансформирането на интегралния конститутивен закон в закон за пълзене от скоростен тип [2,10,16,28,31,43] (*втори вариант*).

Първият вариант има предимството да включва директно, без необходимост от адаптация, всяка от съществуващите все още многобройни различни формулировки за функцията за пълзене $J(t,t')$ предоставени от модели за прогнозиране, предложени в литературата и в ръководства на предстандартно и стандартно ниво, и характеризирайки свързаното конститутивно уравнение от интегрален тип (1). Удобни инструкции за рекурсивно числено третиране на наследствените интегрални формулировки са дадени в раздел 7.2.4.11 от *fib* Model Code 2010 (който става раздел 29.2.3.11 от *fib* Model Code 2020) [28], а подробен алгоритъм е предоставен в препратки [2,5, 25,31,40].

Що се отнася до този вариант, трябва да се отбележи, че в много големи и комплексни конструктивни системи, съхраняването на цялата история на напрежението или деформацията във всяка точка на интегриране на всеки краен

елемент и оценката на наследствените интеграли могат да причинят големи изчислителни натоварвания. Въпреки че непрекъснато нарастващите изчислителни скорости и капацитет на съвременните персонални компютри са склонни да засенчват този тип проблеми, изчисленията могат да бъдат направени по-ефективни, като се възприеме *вторият вариант*, който е обсъден накратко по-нататък, като се посочват неговите предимства и открити проблеми.

Тази *втора опция* се състои в преобразуване на интегралния тип конститутивен закон за пълзене, произтичащ от принципа на суперпозицията, в еквивалентен закон за пълзене от скоростен тип с вътрешни променливи, чиито текущи стойности отчитат предишната история на вискозо-еластичната деформация. В този случай историята на деформацията не е необходимо да се съхранява, защото тя се подразбира от текущите стойности на тези променливи. Ключовото свойство, което позволява анализа на пълзенето от скоростния тип, е фактът, че всяка реалистична интегрална връзка напрежение-деформация на вискозо-еластичността при стареене може да бъде апроксимирана с желана точност чрез подходящи процедури чрез закон за пълзене от скоростен тип, визуализиран чрез модел на веригата на Келвин [2,10,16,31,43].

Законите за пълзенето от скоростен тип са особено полезни за решаване на структурни проблеми чрез метода на крайните елементи, тъй като са незабавно съвместими с този изчислителен подход. Те също така улесняват отчитането на ефектите от множество промени в структурната система, както при сложни и последователно изпълнени стоманобетонни и/или предварително напрегнати бетонни или комбинирани стомано – стоманобетонни конструкции и пространствени структури, като например сегментно изпълнени конзолни или вантови мостове, високи и свръхвисоки сгради и др.

Както се очакваше в Раздел 3, формата, базирана на скоростта, е предимство и за улавяне на явленията, посочени в Раздел 4.1, причиняващи отклонения от принципа на суперпозиция във времето, т.е. от решенията, базирани на линейна вискоеластичност при стареене. При моделиране и анализ на предварително напрегнати бетонни конструкции, формата, базирана на скоростта, за зависимия от времето конститутивен закон за бетона улеснява справянето и с друго силно нелинейно явление, представено от релаксацията на напрежението в стоманените въжета, което не е вискоеластично. Количеството релаксация на стоманата може да бъде значително повлияно от изменението на деформацията в бетона и следователно трябва да се вземе предвид при цялостния време-зависим анализ на конструкцията.

Всички тези явления не могат да бъдат взети предвид чрез наследствените интеграли на паметта на линейния вискозо-еластичен закон за пълзене от интегрален тип (1), базиран на предположенията за линейност и суперпозиция във времето на ефектите на пълзене, тъй като напукването, ефектите на влажност и температура, за разлика от пълзенето на бетона, нямат вискоеластична памет и тъй като напукването и релаксацията на стоманата са нелинейни явления. Те правят връзката напрежение-деформация нелинейна и при включването им, връзката напрежение-деформация при пълзене от скоростен тип престава да се подчинява на принципа на суперпозицията [2,10,16,31,43].

Може също да се отбележи, че за тези по-прецизни подходи трябва да се предпочитат локални конститутивни закони за бетон (закони за пълзене и съсъхване за материална точка), вместо конститутивни закони за средна дебелина [10,43]. По отношение на групата модели за прогнозиране на пълзене и съсъхване, посочени в ACI 209.2R-08 Guide [1], само модел B3 [8] и неговият наследник B4 [31,37,44,45] предлагат такава опция.

Значението на подхода, базиран на законът за пълзене от скоростен тип, наскоро беше подчертано и от необходимостта от извършване на обратни анализи, предназначени да интерпретират времевите истории, включени в новата база данни RILEM, на силно прекомерни отклонения на редица сегментни предварително напрегнати бетонни мостове, с цел допринасяне за актуализирането и валидирането на моделите за прогнозиране (със специален акцент върху пълзенето) за многодесетгодишни прогнози [15, 16, 43-45].

Когато се използва законът за пълзене от скоростен тип, проблемът със структурното пълзене на бетона може да се редуцира до система от обикновени диференциални уравнения от първи ред във времето с коефициенти, зависими от възрастта. За да се избегнат изчислителни сложности, е по-ефективно обаче да се преобразува нарастващата зависимост напрежение-деформация за всяка времева стъпка в квазиеластична нарастваща зависимост напрежение-деформация. По този начин проблемът със структурното пълзене се редуцира до поредица от задачи за еластичност с начални деформации [2,10,16,31,43].

От оперативна гледна точка, например ACI 209.3R-XX [2] предоставя насоки, базирани на най-напредналите дебати и резултати от изследвания, за изчислителните процедури, които да се приемат за трансформирането на наследствените конститутивни закони от интегрален тип, характеризиращи настоящите модели за прогнозиране на пълзенето, в закони от типа на скоростта, и за свързания числен подход, състоящ се от поредица от задачи за еластичност с начални деформации. Дадени са и насоки за критериите, които да се приемат, за да се отчетат всички гореспоменати сложни ефекти, предполагащи отклонения от принципа на линейната суперпозиция. Въпреки това, позоваването на цитираната специализирана литература е все още съществено необходимо в този момента [10,16,31,43].

Комитет 209 *Пълзене и съсъхване на бетона* на ACI в момента планира, чрез специален подкомитет (209-0D *Числени методи и 3D анализи*), по-нататъшна дейност на комитета, предназначена да предостави удобни практически насоки за 3D време - зависими числени анализи, базирани на подхода на пълзене от скоростен тип, за проверки на надеждността на сложни пространствени и последователно изпълненени стоманобетонни и/или предварително напрегнати бетонни конструкции, комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции и като цяло на всички големи конструкции с висока чувствителност към пълзене. Тези насоки би трябвало да позволят на практикуващите инженери да установят подходящи изчислителни процедури и програми за анализи на етапите на строителство и последващи анализи във времето за проверки на надеждността в дългосрочен план, до края на определения експлоатационен живот, и/или да използват за същите области, с адекватно разбиране и разпознаване на евентуални недостатъци, търговски софтуер, предназначен за тези цели.

4.2.2 Опростени подходи

а) Метод AAEM

Методът на коригирания по възраст ефективен модул (AAEM), установен от Бажант [5, 6, 7, 31], се основава на приемането на алгебричната формулировка (5) за конститутивното уравнение (1), когато функцията на $J(t,t_0)$ се разделя, както често се прави, на номинална начална еластична деформация и деформация на пълзене съгласно израза (4), въвеждайки коефициента на пълзене $\phi(t,t_0)$:

$$J(t,t_0)=\frac{1}{E_c(t_0)}+\frac{\phi(t,t_0)}{E_c(t_0)} \tag{4}$$

$$\varepsilon_\sigma(t)=\varepsilon(t)-\varepsilon_n(t)=\sigma(t_0)J(t,t_0)+\frac{\sigma(t)-\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}\cdot\left[1+\chi(t,t_0)\phi(t,t_0)\right]=$$
$$=\frac{\sigma(t_0)}{E_{c,ef}(t,t_0)}+\frac{\sigma(t\ )-\sigma(t_0)}{E_{c,adj}(t,t_0)} \tag{5}$$

където $\chi(t,t_0)$ представлява коефициент на стареене отнасящ се за функцията на пълзене и функцията на релаксация дадени в уравнение (6):

$$\chi(t,t_0)=\frac{1}{1-R(t,t_0)/E_c(t_0)}-\frac{1}{E_c(t_0)J(t,t_0)-1}=\frac{E_c(t_0)}{E_c(t_0)-R(t,t_0)}-\frac{1}{\phi(t,t_0)} \tag{6}$$

и $E_{c,ef}$ and $E_{c,adj}$ са ефективните модули на бетона и съответно коригирания по възраст ефективен модул (AAEM),

Уравнение (5), с уравнение (6), определящо коефициента на стареене, представлява точния заместител на уравнение (1) за всички проблеми, характеризиращи се с истории на деформация и напрежение, произтичащи от линейни комбинации от проблем с пълзене и релаксация, т.е. за истории на деформация, характеризиращи се с начален скок във време $t = t_0$ последван за $t > t_0$ от вариация на деформацията, линейно свързана с функцията на пълзене $J(t,t_0)$ (или, еквивалентно, с коефициента на пълзене $\phi(t,t_0)$), и произтичащи от това съответстващи истории на напрежение, характеризиращи се с начален скок, последван от вариация на напрежението, линейно свързана с функцията на релаксация $R(t,t_0)$ [2,6,10,25,28,31].

Това включва широк диапазон от истории на деформация и съответстващи истории на напрежение. С достатъчна точност, използването му може да бъде разширено, за да обхване голям брой действителни истории в структури, показващи начална крайна или нулева стойност при $t = t_0$ и зависима от времето част, променяща се с постепенно намаляваща скорост за широки интервали от време. При сегашното използване на метода AAEM, уравнение (5) е дадена квазиеластична инкрементална формулировка, свързваща промените в деформацията и напрежението, възникващи след t_0.

Ако историите на деформациите и напреженията включват няколко последователни внезапни промени във времената $t_i > t_0$, тогава методът AAEM трябва да се прилага отделно за всяко нарастване и резултатите след това да се наслагват; с други думи, отговорите на многостъпкови истории могат да бъдат получени чрез наслагване на решенията за няколко едностъпкови истории.

Тъй като дългосрочните стойности на $\chi(t, t_0)$ се съдържат в доста тясна лента за различни стойности на t_0, особено за моделите GL2000 и B3, те често се апроксимират на практика с фиксирана стойност $\chi = 0.8$, когато не се изисква висока точност в изчисленията, както например в етапите на концептуално и предварително проектиране и при оценката на надеждността на конструкции с ниска чувствителност към времезависими ефекти [2, 25, 28]. Първоначално формулиран за хомогенни бетонни конструкции, методът може да се използва с разширение и с адекватна точност и за нехомогенни бетонни конструкции и конструкции, включващи стоманени елементи [2, 25, 26_{bis}, 28, 31].

Трябва да се отбележи, че в модела за прогнозиране на пълзенето на *fib* Model Code 2010 [28] (както и в модела GL2000 [1]) в уравнение (4) е въведен различен коефициент на пълзене $\varphi_{28}(t,t_0)$ (представляващ съотношението между деформацията на пълзене и номиналната начална еластична деформация при 28 дни). Следователно, уравнения (5) и (6) трябва да бъдат съответно адаптирани (вижте Раздел 7.2.4.10 от *fib* Model Code 2010, ставащ Раздел 29.2.3.10 от *fib* Model Code 2020) [28]).

б) Линейни вискоеластични решения, базирани на стареене, за ефективни хомогенни бетонни конструкции с осреднени реологични свойства

Този подход се основава на въвеждането на приблизителното предположение за ефективна реологична хомогенност за цялата бетонна конструкция или за бетонната част на конструкция, която включва стоманени конструктивни елементи.

Всъщност може да се счита, че ако изключим случаите, в които са налице важни разлики в свойствата на пълзене, например поради големи разлики в размера на бетонните конструктивни елементи или във възрастта им (както е типично при непрекъснато изпълнени конструкции, които могат да бъдат размазани в продължение на много месеци, например при свръхвисоки сгради), влиянието на разликите в пълзенето често е значително засенчено от големите деформации на пълзене, развиващи се в дългосрочен план. Следователно тези разлики понякога могат да бъдат пренебрегнати, по-специално в концептуалните и ранните етапи на проектиране, при оценяване на общите тенденции на дългосрочния отговор на конструкцията и оценка на нейната надеждност със степента на точност, подходяща за тези етапи, или при проверка на общите тенденции на резултатите от подробни числени изчисления, и когато не се изисква висока изчислителна точност за разглежданата конструкция по отношение на нейната чувствителност към дългосрочни ефекти.

Този подход, който използва простите решения, предоставени от фундаменталните теореми за линейна вискоеластичност при стареене за хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, и от някои компактни формулировки за хомогенни бетонни конструкции с допълнителни стоманени конструктивни елементи, се възползва от сбития и концептуално ясен характер на всички тези решения (вижте, наред с други, [2, 4_{bis},7 ,21, 22, 23_{bis} ,24, 25, 28, 32, 33, 34, 35_{bis}, 41]).

За подробности относно тези решения в техническите ръководства може да се направи препратка по-специално към раздели 7.2.4.8-9 от *fib* Model Code 2010 (възстановяващи се раздели 29.2.3.8-9 от fib Model Code 2020) [28] и раздели 4.1.6 (8)-(9) от *fib* Structural Concrete Textbook [25], както и към цитираната литература в него.

В случай на хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, първите две теореми за линейна вискоеластичност при стареене посочват липсата на влияние на пълзенето във времето върху еластично оцененото състояние на напреженията или съответно на деформациите при наложени (постоянни или променливи) товари или съответно деформации. Съответно, те посочват факта, че вариациите на произтичащите от това индуцирани деформации или съответно напрежения се моделират чрез функцията на пълзене $J(t,t')$ или съответно функцията на релаксация $R(t,t')$. Вижте уравнения (7.2-27) до (7.2-34) от *fib* Model Code 2010, превръщащи се в уравнения (29.2-7) до (29.2-14) в Model Code 2020 [28].

Две допълнителни теореми, демонстрирани от автора и неговата изследователска група [2,21,25,28], определят ефектите, в конструкция, натоварена от система от постоянни товари, приложени във време t_0, от единични или многократни промени в структурната система (резултат от въвеждането на допълнителни корави връзки,

приложени съответно във време $t_1 \geq t_0^+$, или в последващи моменти $t_i \geq t_0^+$ ($i = 1,...,j$). Тези ефекти, по отношение на преразпределението на системата от вътрешни напрежения и външни реакции, се моделират от функцията за преразпределение $\xi(t,t_0,t_i)$, измерваща във време t индуцираното от пълзене частично придобиване от конструкцията, след модификацията на нейната структурна система във време t_i, на разликата между разпределението на еластичните напрежения, характеризиращо модифицираната структурна система във време t_i, и разпределението на еластичните напрежения преди тази модификация. Вижте уравнения (7.2-35) до (7.2-37) от *fib* Model Code 2010, превръщащи се в уравнения (29.2-15) до (29.2-17) в Model Code 2020 [28].

Функцията на преразпределение ξ е безразмерен фактор, чиито стойности лежат в интервала ($0 \leq \xi < 1$) (с $\xi = 0$ за $t = t_i$)) и е свързана съответно със функцията на пълзене или с функциите на релаксация $J(t, t')$ и $R(t, t')$, чрез следните интегрални зависимости:

$$J(t,t_0) - J(t_i,t_0) = \int_{t_i}^{t} J(t,t')\,d\xi(t',t_0,t_i) \tag{7}$$

$$\xi(t,t_0,t_i) = \int_{t_i}^{t} R(t,t')\,dJ(t',t_0) \tag{8}$$

Уравнение (7), съответстващо на уравнение (7.2-36) от *fib* Model Code 2010 и уравнение (29.2-16) от *fib* Model Code 2020 (за $t_i = t_1$), обикновено се използва за определяне на функцията на преразпределение $\xi(t,t_0,t_i)$ от дадената функция на пълзене $J(t, t')$, която изисква решаване на интегрално уравнение на Volterra. Може да се използва рекурсивната числена процедура, посочена в раздел 4.2.1 (*първа опция*). Трябва да се вземат предвид различни стойности на t_0 and t_i и ti и да се извършат многократни решения на уравнение (7), за да се получи $\xi(t,t_0,t_i)$ от $J(t,t')$.

в) **Линейни вискоеластични решения със стареене за ефективни хомогенни бетонни конструкции с осреднени реологични свойства с допълнителни стоманени конструктивни елементи**

Някои компактни формулировки могат да бъдат получени и за бетонни конструкции с допълнителни стоманени конструктивни елементи, в случаите, когато конструкцията може да бъде схематично представена като хомогенна бетонна структура, подложена на система от устойчиви постоянни натоварвания, приложени едновременно, и ограничена от система от n излишни еластични връзки, също въведени едновременно, преди или непосредствено след натоварванията; може да се вземе предвид и условието за постоянни наложени деформации в точките на приложение на излишните еластични връзки (вижте [2, 23_{bis} 25,28, 35_{bis}] и литературата, цитирана в тези документи).

Тези решения, формулирани в матрична форма, представляват разширение до случая на еластични връзки на стареещите линейни вискозо-еластични решения за хомогенни структури с твърди връзки, обсъдени по-горе. Те се основават на някои фундаментални функции (наречени редуцирани релаксационни функции и обозначени като R_i^*), представляващи структурни променливи, които зависят както от функцията на пълзене J(t,t') на бетонната конструкция, така и от собствените стойности ω_i на матриците на еластично свързване между двете части (бетонната конструкция и системата от n излишни еластични връзки, където i = 1,2,…n означава

общото еластично ограничение). За даден модел за прогнозиране на пълзене и за съответната податливост J, определянето на n редуцирани релаксационни функции R_i* изисква решаването на n интегрални уравнения на Volterra, свързващи редуцираните релаксационни функции R_i* с подходящо модифицирани функции на податливост J_i* в зависимост от собствените стойности ω_i.

В случай на постоянни натоварвания с n излишни еластични връзки, въведени преди натоварванията, за разлика от случая на хомогенни бетонни конструкции с корави връзки, за които инвариантността на състоянието на напрежение се демонстрира от първата теорема за линейна вискоеластичност (виж по-горе), тези компактни формулировки показват, че началното еластично състояние на напрежение в конструкцията и във връзките се променя значително от пълзенето. Колкото по-висока е деформируемостта на еластичните връзки, толкова по-голяма е разликата между началните и дългосрочните стойности на състоянието на напрежение. В дългосрочен план системата от напрежения се стреми да се доближи до решението, съответстващо на случая на корави връзки.

Намаляване на времевата зависимост на състоянието на напрежение при постоянни натоварвания, когато се приемат силно деформируеми еластични връзки, може да се постигне чрез подходящо напрягане на тези връзки. Всъщност, в теоретичния случай на ефективна хомогенна конструкция с еластични връзки, въведени едновременно по време на натоварването, инвариантността на състоянието на напрежение се получава чрез принуда на ограниченията до стойностите на реакциите на коравите връзки.

В случай на модификация на условията на задържане след натоварване чрез въвеждане на допълнителни еластични връзки веднага след натоварването, теоретичните решения показват, че системата от еластични връзки допринася в по-малка степен за изменението на първоначалната система от напрежения в конструкцията, привличайки по-ниски стойности на реакциите на задържане, в сравнение със случая на закъснели допълнителни корави връзки, обсъдени по-горе.

Тези компактни формулировки за бетонни конструкции с допълнителни еластични (стоманени) конструктивни елементи могат да бъдат приети например в предварителния концептуален проект на свързани бетонни арки и рамки или окачени-бетонни мостове и конструкции, като на този етап от проектирането се игнорират хетерогенностите на бетона и последователният подход на строителство, обикновено възприет в практиката, които, напротив, трябва да бъдат правилно взети предвид в окончателните анализи на етапа на строителство и последващите анализи във времето.

г) Вискоеластичен анализ на комбинирани стомано-стоманобетонни профили

Компактни формулировки могат да бъдат получени и за вискозо-еластичен анализ на комбинирани стомано-стоманобетонни греди при няколко ограничителни предположения, а именно: а) разглежда се статически определима конструкция, б) наличие на корави подложени на срязване дюбели-връзки между стоманената греда и бетонната плоча, в) запазване на плоското напречно сечение за двата елемента, разглеждани композитно, като не се отчита «shear lag“ ефекта,.г) липса на вертикално отделяне между частите на комбинираната гредата, т.е. идентично вертикално преместване на границата плоча-греда, д) бетонът не е напукан.

Ако за конститутивното уравнение за бетон се приеме алгебричната формулировка на уравнение (5) от метода на коригирания по възраст ефективен модул (AAEM), се получава т. нар. метод на трансформирано от пълзене сечение, първоначално разработен от Walter Dilger [26_{bis}] за предварително напрегнати греди. От друга страна, ако за конститутивния закон за бетон се използва наследственото

интегрално уравнение на Volterra (1) като конститутивен закон за бетон, се получава интересен механично-математически проблем, който е реализиран и решен от Дончо Партов и изследователската група на Университета по строително инженерство и архитектура ВСУ „Любен Каравелов“ в София [38]. Преразпределението на напреженията по време в сечението на гредата между бетонна плоча и стоманена греда и последващата миграция на напреженията от бетонна плоча към стоманена греда се анализира с помощта на две независими интегрални уравнения на Volterra от втори вид, които трябва да бъдат решени чрез числена процедура.

Въпреки това, в много практически ситуации деформируемостта на срязващите връзки не е пренебрежима и позволява някои измествания на границата между стоманената греда и бетонната плоча, а при широкофланшови стомано-стоманобетонни комбинирани греди, особено в случай на малки стойности на съотношенията между разстоянието между ширината на плочата, ефектите на срязващо закъснение не могат да бъдат пренебрегнати. В резултат на това предположението за запазване на плоското напречно сечение стомано-стоманобетонни комбинирани греди, вече не е валидно.

Точен модел на греда за извършване на време - зависим анализ на комбинирани стомано-стоманобетонни комбинирани греди, включващ ефект на срязващо закъснение, гъвкава срязваща връзка, пълзене и свъхване на бетона, е предложен от Luigino Dezi *et al*. [26].

4.3 Помощни средства за проектиране

Когато, решаваме комплексен практически случаи, се извършва позоваване на функцията на пълзене $J(t,t')$, на един от препоръчителните модели за прогнозиране на пълзене като първична функция, съответните вторични структурни променливи, представени от функциите за релаксация и преразпределение $R(t,t')$) и $\xi(t,t_0,t_i)$, могат да бъдат оценени, както е посочено в предходните раздели, чрез решенията, съответно, на интегралните уравнения на Volterra (3) и (7), като се използва рекурсивната числена процедура, посочена в раздел 4.2.1 (*първа опция*).

Трябва да се вземат предвид различни стойности на t_0 и да се извършат многократни решения на уравнение (3), за да се получи $R(t,t')$ от $J(t,t')$, докато за да се получи $\xi(t,t_0,t_i)$, трябва да се вземат предвид различни стойности на t_0 и t_i и да се извършат многократни решения на уравнение (7). Коефициентът на стареене $\chi(t,t')$, след определяне на релаксационната функция $R(t,t')$, може да се определи от уравнение (6) за различни стойности t' от t_0.

За тази цел могат да се предоставят помощни средства за проектиране [41,46]. Програмата CDA [46] е програма с отворен код, която позволява начертаване на графики на функцията на пълзене $J(t,t')$, степента на податливост $\partial J(t,t')/\partial t$ и коефициента на пълзене $\phi(t,t')$ на модел B3, както и на модел B4 и други модели за прогнозиране, и изчисляване на съответната функция на релаксация $R(t,t')$, коефициент на стареене $\chi(t,t')$, и коригиран спрямо възрастта ефективен модул $E_{c,adj}(t,t')$, и начертаване на съответните графики; може да се начертае и графиката на деформацията на свъхване $\varepsilon_{sh}(t)$. Програмата, описана в [41], е замислена така, че да позволи допълнително изчисляване на функцията за преразпределение $\xi(t,t_0,t_i)$ от първичната функция $J(t,t')$ на всеки даден модел за прогнозиране на пълзене и построяване на нейните графики. Уеб страницата за анализ на пълзенето, в която тя е била добавена, обаче е била отхвърлена поради необходимост от преразглеждане и актуализиране.

5. Заключения

Съвременните бетонни конструкции, реализирани чрез сложни последователни строителни техники и характеризиращи се със значителни размери и/или нееднородности, като цяло са много чувствителни към ефектите на закъснялите деформации, проявени от зависимото от времето поведение на бетона (пълзене и съсъхване). В този принос са илюстрирани настоящите международно договорени и хармонизирани формати и процедури за анализ на тези структурни ефекти, приети в последните ръководства, препоръки и кодекси. Този процес на хармонизация представлява ценен резултат, компенсиращ отчасти продължаващите различия и несигурности по отношение на установяването на надеждни модели за прогнозиране на зависимото от времето поведение на бетона, със специален акцент върху пълзенето и неговите дългосрочни тенденции. Този важен резултат е постигнат чрез интензивен дебат и сътрудничество между различни школи и учени на световно ниво, вдъхновени и насърчавани през последните четири десетилетия от международни предстандартни и стандартизационни институции в областта на конструкционния бетон, с принос в координационните действия на автора, по-специално в рамките на *fib* fédération internationale du béton–International Federation for Structural Concrete и ACI American Concrete Institute. На ниво концептуален дизайн и интерпретация на структурните ефекти, предизвикани от зависимото от времето поведение на бетона, подходът на Volterra за наследствена еластичност все още представлява важен етап. Що се отнася до точните числени изчислителни процедури на общия метод, все още са необходими някои специфични критерии за насочване за лесно и удобно за потребителя внедряване на скоростния подход, който е предназначен да бъде едновременно съгласуван с най-съвременните резултати от изследванията. Всъщност, скоростният подход е по-изгоден и изчислително ефективен по отношение на интегралния подход при подробната оценка на ефектите от зависимото от времето поведение на бетона при анализите на строителните етапи и дългосрочната надеждност на големи сложни, последователни и силно чувствителни към пълзене конструкции, моделирани чрез метода на крайните елементи (FEM). Той позволява също така да се вземе предвид влиянието на различни нееластични и нелинейни явления, които са отговорни за причиняване на отклонения от линейната вискоеластичност при стареене, като например напукване при опън, циклично пълзене и релаксация на напрежението в предварително напрегнати кабели при променливо напрежение, както и ефектите от промените в влажността и температурата. Комитет 209 на ACI *Пълзене и съсъхване на бетона* допринася чрез специален подкомитет за разработването на практически насоки за тази област.

Що се отнася до все още нерешените несигурности на моделите за прогнозиране, по-специално по отношение на дългосрочните прогнози за деформациите на пълзене, макар че всички усилия и напреднали изследвания следва да бъдат насърчавани за намаляване на тези постоянни несигурности, със специално внимание към напредналите изследвания в областта на материалознанието, основната идея, която трябва да се разпространява, е, че концепцията за проектиране, строителният процес и програмата за поддръжка на чувствителни конструкции трябва да бъдат отговорни и разумни, за да ограничат ефектите от забавените деформации на бетона, и трябва да включват възможността за приемане на удобни проактивни коригиращи мерки на етапа на проектиране и строителство, както и отложени коригиращи действия по време на експлоатационния живот, за да се получат трайни и надеждни конструкции при удължен експлоатационен живот.

Благодарности

Първата историческа почит трябва да бъде отдадена на паметта на Vito Volterra, който преди повече от век разшири областта на класическата теория на еластичността, отваряйки вратите към обещаващата плодородна област на наследствената вискозо-еластичност, като по този начин установи концептуалните и математически основи за успешния процес на международна хармонизация на световно ниво на съвременните критерии за насочване за анализ на структурните ефекти на зависимото от времето поведение на бетона, обсъдени в този принос.

Авторът е особено задължен на покойния почетен член на СЕБ и член на Академията по Строителство и Архитектура на СССР Алексей А. Гвоздев, дългогодишен ръководител на изследователската лаборатория на НИИЖБ, Института по Бетон и Стоманобетон, който сега носи неговото име, за ключовата му роля в насърчаването и подпомагането на автора в първоначалните стъпки за внедряване в международната предстандартна среда на CEB (Comité Euro-International du Béton) и FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte) - родителските организации на съвременния *fib* (fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete) - на новите усъвършенствани формати за анализ на бетонната структура във вискозо-еластичната област, базирани на теорията на Volterra за стареещата линейна вискоеластичност, към която школата на съветските учени и самият Гвоздев са дали важен принос. Авторът отдава почит и на паметта на своя италиански маестро Franco Levi, дългогодишен президент на CEB, а впоследствие и на FIP, за първите му инициативи за създаването на Ръководството за проектиране на CEB върху структурните ефекти на зависимото от времето поведение на бетона [24]. Приносът на S. V. Aleksandrovskii, Z. P. Bažant, J. Fauchart и D. Jungwirth в първоначалното изготвяне на Ръководството, както и на P. Napoli, F. Mola и M. Koprna, в окончателното редактиране, е признат с благодарност.
Авторът е задължен и на покойния D. Carreira и Z. P. Bažant, W. Dilger и M. Sassone, членове на редакционния екип на Американския институт по бетон (ACI) за настоящия разширен проект на ръководството ACI 209.3R-XX *Анализ на ефектите на пълзене и съсъхване в бетонни конструкции* [2], за техния съответен принос към обсъждането и прилагането на документа. Накрая, авторът е задължен на всички учени и изследователи, които допринесоха за дебата относно анализа на структурните ефекти на зависимото от времето поведение на бетона в условия на CEB, *fib* и ACI, както и на всички свои колеги от изследователската група за *Creep analysis* към Политехническия университет в Торино, по-специално на G. Lacidogna, M. Sassone и C. Casalegno.

Литература

1. *ACI 209.2R-08,* Guide for Modeling and Calculation of Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, American Concrete Institute, Farmington Hills (Michigan), 2008, 48 pp.*
2. *ACI 209.3R-XX,* Analysis of Creep and Shrinkage Effects in Concrete Structures*, Chiorino M.A. (Chairm. of Edit. Team), ACI Committee 209 internal document, final approved draft 2013, 228 pp.*
3. *ALEKSANDROVSKII S. V.,* Analysis of Plain and Reinforced Concrete Structures for Temperature and Moisture Effects (with Account of Creep) *(in Russian), Stroyizdat, Moscow, 1966, 443 pp.*
4. *ALNAGGAR M., CUSATIS G, WAN-WENDNER R., YANG L., DI LUZIO G.,* Mesoscale Modeling of Concrete Time-Dependent Behavior, *«ЛГС Journal», Moscow, February 2021, pp. 24-48.*

4_{bis} *ARUTYUNYAN N. K.,* Some Problems in the Theory of Creep *(in Russian), Techteroizdat, Moscow, 1952, (French transl., Eyrolles 1957, 319 pp., English transl., Pergamon Press 1966).*

5. *BAŽANT Z.P.,* Numerical Determination of Long-range Stress History from Strain History in Concrete*, «Materials and Structures (RILEM)» , Vol. 5, 1972, pp. 135-141.*
6. *BAŽANT Z.P.,* Prediction of Concrete Creep Effects Using Age-adjusted Effective Modulus Method*, «Journal of the American Concrete Institute», V. 69, 1972, pp. 212-217.*
7. *BAŽANT Z. P.,* Theory of Creep and Shrinkage in Concrete Structures: a Précis of Recent Developments*, in* Mechanics Today*, Vol. 2, ed. by S. Nemat-Nasser, Pergamon Press, 1975, pp. 1-93. See also: RILEM TC-69,* Material Models for Structural Creep Analysis *(principal author Z.P. Bažant), Chapter 2 in* Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete*, Z.P. Bažant, ed., J. Wiley, Chichester and New York, 1988, pp. 99-215; RILEM TC-69,* Creep Analysis of Structures *(principal authors Z.P. Bažant and O. Buyukozturk), Chapter 3, ibid. pp. 217-273.*
8. *BAŽANT Z. P. and BAWEJA S.,* Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures - Model B3, *in: A. Al-Manaseer ed.,* The A. Neville Symposium: Creep and Shrinkage - Structural Design Effects*, ACI SP-194, American Concrete Institute, Farmington Hills (Michigan), 2000, pp. 1-83.*
9. *BAŽANT Z.P., HUBLER M.H., YU Q.,* Pervasiveness of Excessive Segmental Bridge Deflections: A Wake-Up Call for Creep*, «ACI Structural Journal», Vol. 108, No. 6, 2011, pp. 766-774. See also: Bažant Z.P., Hubler M.H., Yu Q.,* Excessive creep deflections: An awakening, *«ACI Concrete International », Vol. 33 N. 8, Aug. 2011, pp. 44–46.*
10. *BAŽANT Z. P., LI G.-H., YU Q.,* Prediction of Creep and Shrinkage and their Effects in Concrete Structures: Critical Appraisa*l, in* Proc., 8th Int. Conf. on Creep, Shrinkage and Durability of Concrete and Concrete Structures - CONCREEP 8*, Vol. 2, T. Tanabe,* et al*. eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 2009, pp. 1275–1289.*
11. *BAŽANT Z.P. and LI G.-H.,* Unbiased Statistical Comparison of Creep and Shrinkage Prediction Models*, «ACI Materials Journal», Vol. 105, No. 6, 2008, pp. 610-621.*
12. *BAŽANT Z.P. and LI G.-H.,* Comprehensive Database on Concrete Creep and Shrinkage*,* «*ACI Materials Journal», Vol. 105, No. 6, 2008, pp. 635-638. See also: HUBLER M.H., WENDNER R., BAŽANT Z.P.,* Comprehensive Database for Concrete Creep and Shrinkage: Analysis and Recommendations for Testing and Recording*,* «*ACI Materials Journal», Vol. 112, No. 4, 2015, pp, 547–558.*
13. *BAŽANT Z.P. and PRASANNAN S.,* Solidification Theory for Concrete Creep: I. Formulation*, «Journal of Engineering Mechanics», ASCE 115(8), 1989, pp. 1691–1703.*
14. *BAŽANT Z.P. and PRASANNAN S.,* Solidification Theory for Concrete Creep: II. Verification and Application*, «Journal of Engineering Mechanics», ASCE., 115(8), 1989, pp. 1704–1725.*
15. *BAŽANT Z. P., YU Q., LI G.-H.,* Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders. I: Record-Span Bridge in Palau and Other Paradigms*, «ASCE Journal of Structural Engineering», Vol. 138, No. 6, June 2012, pp. 676-686.*
16. *BAŽANT Z. P., YU Q. ,LI G.-H.,* Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders. II: Numerical Analysis and Lessons Learned*, «ASCE Journal of Structural Engineering», Vol. 138, No. 6, June 2012, pp. 687–696.*
17. *CASALEGNO C., SASSONE M., CHIORINO M. A.,* Time-dependent Effects in Cable-stayed Bridges Built by Segmental Construction*, Proc. of Third International fib Congress incorporating the PCI Annual Convention and Bridge Conference. Washington D. C., 2010, pp. 539-554.*

18. *CASALEGNO C., SASSONE M., CHIORINO M. A.,* Time-dependent Effects in Concrete Structures: a General Computational Approach*, Proc. of Structural Engineers World Congress SEWC 2011, Como, Italy, (CD).*
19. *CEB Comité Euro-International du Béton and Fédération Internationale de la Précontrainte,* International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures, Volume II: CEB-FIP Model Code for Concrete Structures*, CEB Bulletin d'Information No. 124/125-E, 1978, 348 pp. French edition, representing the reference version:* Système International de Réglementation Technique Unifiée des Structures. Volume II: Code-Modèle CEB-FIP pour les structures en béton*, CEB Bulletin d'Information No. 124/125-F, 1978.*
20. *CEB Comité Euro-International du Béton,* CEB-FIP Model Code 1990*, CEB Bulletin d'Information No. 213/214, Thomas Telford, London for the Comité Euro-International du Béton, Lausanne, Switzerland, 1993, 460 pp.*
21. *CHIORINO M.A.,* A Rational Approach to the Analysis of Creep Structural Effects*, in J. Gardner & J. Weiss (eds).* Shrinkage and Creep of Concrete, *ACI SP-227, Farmington Hills (Michigan), 2005, pp, 107-141, Errata: https://www.concrete.org/publications/documenterrata.aspx See also: CHIORINO M.A. and MOLA F.,* Analysis of Linear Visco-Elastic Structures Subjected to Delayed Restraints, *in: F.H. Wittman ed.,* Fundamental Research. on Creep and Shrinkage of Concrete*, Mart. Nijhoff Publ., The Hague, 1982, pp. 485-496;.CHIORINO M.A., LACIDOGNA G., DEZI L.,* Evaluation of Creep Influence on the Modification of the Restraint Conditions in Concrete Structures*, Proceedings of fib Symposium 1999, Structural Concrete – The Bridge between People, Prague, October 1999, Vol. 2, pp. 481-486; CHIORINO M. A.*, Principles for a Rational Viscoelastic Analysis of Concrete Structures, *Memorie della Accademia delle Scienze di Torino, Classe Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Serie V, Vol. 24, 2000, pp. 59-82; CHIORINO M.A.,* Structural effects of delayed deformations of concrete: historical fundaments and modern trends *(in Italian), in Mario Alberto Chiorino (a cura di, editor),* Moderni orientamenti di ingegneria strutturale e geotecnica, Omaggio a Franco Levi nel 90° compleanno (Modern Trends of Structural and Geotechnical Engineering, Homage to Franco Levi on his 90th birthday), *FrancoAngeli, Milano, 2006, pp. 81-152.*
22. *CHIORINO M.A.,* Обновленные гармонизированные подходы к расчету работы конструкций с учетом зависящего от времени поведения бетона *(*Analysis of structural effects of time-dependent behaviour of concrete: an internationally harmonized format – Recent updates)*, Invited plenary lecture in homage to A.A. Gvozdev, International Scientific and Technical "Gvozdev's Readings"dedicated to the 120th anniversary of the birth of A.A. Gvozdev and to the 90th anniversary of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, October 26, 2017, Final revised version: «ЛГС Journal», Moscow, February 2019, pp. 4-18. Errata: «ЛГС Journal», May 2021, p. 65.*
23. *CHIORINO M.A. and CARREIRA D.J.,* Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete and Guide for Modelling - A State-of-the-art Report on International Recommendations and Scientific Debate*, «The Indian Concrete Journal», Vol. 86, No. 12, December 2012, pp. 11-24. Errata: Vol. 87, No. 8, August 2013, p.33.*
23_{bis} *CHIORINO M.A., CREAZZA G., MOLA F., NAPOLI P.,* Analysis of Aging Viscoelastic Structures with n-Redundant Elastic Restraints*, Fourth RILEM International Symposium on Creep and Shrinkage of Concrete: Mathematical Modeling, Z.P. Bazant ed., Northwestern University, Evanston, 1986, pp. 623-644.*
24. *CHIORINO M.A. (Chairm. of Edit. Team), NAPOLI P., MOLA F., KOPRNA M.,* CEB Design Manual on Structural Effects of Time-dependent Behaviour of Concrete*, CEB Bulletin*

d'Information No. 142/142$_{Bis}$, Georgi Publishing Co., Saint-Saphorin, Switzerland, March 1984, 391 pp.

25. *CHIORINO M.A. and SASSONE M.,* Further Considerations and Updates on Time-dependent Analysis of Concrete Structures, *in* Structural Concrete - Textbook on behaviour, design and performance*, 2nd edition, Vol. 2, Section 4.16, fib Bulletin No. 52, fib fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete, Lausanne 2010, pp. 43-69 (reference must be made to the online edition).*
26. *DEZI L, GARA F., LEONI G., TARANTINO A.M.,* Time-Dependent Analysis of Shear-Lag Effect in Composite Beams, *«Journal of Engineering Mechanics», ASCE, Vol. 127, No. 1, 2001, pp. 71-79.*

26$_{bis}$ DILGER, W.H., Creep Analysis Using Creep-transformed Section Properties*, «Journal of the Prestressed Concrete institute», V. 27, No.1, 1982, pp. 98-117.*

27. *EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION,* European Standard EN 1992-2 Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 2: Concrete Bridges - Design and Detailing Rules, Annex KK, Structural effects of time dependent behaviour of concrete*, October 2005, pp. 63-67, Incorporating corrigendum July 2008 (some further checks and corrigendum might be required).*
28. *fib fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete, fib* Model Code for Concrete Structures 2010*, Ernst & Sohn, Berlin 2013, 402 pp. New edition: fib* Model Code for Concrete Structures 2020*, 748 pp., published in 2024.Table of errata downlodable https://shop.fib-international.org/publications/fib-bulletins/984-fib-model-code-for-concrete-structures-2020*
29. *GVOZDEV A. A.,* Creep of Concrete *(in Russian), Proceedings of the 2nd National Conference on Theoretical and Applied Mechanics. Mechanics of Solids, «Mekhanika Tverdogo Tela», Academy of Sciences USSR, Moscow 1966, pp. 137-152. French translation:* Le Fluage du Béton*, CEB Bulletin d'Information No. 64, 1967.*
30. *GVOZDEV A. A., GALUSTOV K. Z., YASHIN A. V.,* On Some Deviations from the Superposition Principle in Creep Theory *(in Russian), «Beton i Zhelezobeton», 13(8), 1967, pp. 223-227, (in Russian).*
31. *JIRÁSEK M. and BAŽANT Z.P.,* Inelastic Analysis of Structures*, Wiley and Sons, 2002, 734 pp.; Errata 2015: https://www.researchgate.net/publication/287205913 : See also: BAŽANT Z.P. AND JIRÁSEK M.,* Creep and Hygrothermal Effects in Concrete Structures*, Springer, 2018, 921 pp.*
32. *LEVI F.,* Sugli Effetti Statici dei Fenomeni Viscosi (On the Structural Effects of Viscous Phenomena*, in Italian), Rendiconti Accademia Nazionale dei Lincei, Serie VIII, Vol. IV, fasc.3, pp. 306-311, fasc. 4, 1948, pp. 424-427.*
33. *LEVI F. and PIZZETTI G.,* Fluage, Plasticité, Précontrainte*, Dunod, Paris, 1951, 463 pp.*
34. *MCHENRY D.,* A New Aspect in Creep of Concrete and its Application to Design*, Proceedings of the American Society for Testing and Materials, Vol. 43, 1943, pp. 1069-86.*
35. *MASLOV G. N.,* Thermal Stress States in Concrete Masses, with Account of Concrete Creep *(in Russian), «Izvestia Nauchno-Issledovatelskogo Instituta Gidrotekhniki, Gosenergoizdat», 28, 1941, pp.175-188.*

35$_{bis}$MOLA F., The Reduced Relaxation Function Method: an Innovative Approach to Creep Analysis of non Homogeneous Structures, *Int. Conf. on Concrete and Structures, Hong Kong, 1993.*

36. *MÜLLER H. S. (Convener),* Code-type Models for Structural Behaviour of Concrete: Background of the Constitutive Relations and Material Models in the *fib* Model Code for Concrete Structures 2010*, State-of-art report, fib Bulletin No. 70, November 2013, 196 pp.*

37. *RILEM Technical Committee TC-242-MDC (Z.P. Bažant, chair),* RILEM draft recommendation: TC-242-MDC Multi-decade Creep and Shrinkage of Concrete: Material Model and Structural Analysis. Model B4 for Creep, Drying Shrinkage and Autogenous Shrinkage of Normal and High-Strength Concretes with Multi-Decade Applicability*, «Materials and Structures», Vol. 48 No. 4, 2015, pp. 753-770.*
38. *PARTOV D. and KANTCHEV V.,* Time-dependent Analysis of Composite Steel-concrete Beams Using Integral Equation of Volterra, according EUROCODE-4*, «Engineering MECHANICS», Vol. 16, No 5, 2009, pp 367-392. See also among others: PARTOV D. and KANTCHEV V.*, Gardner and Lockman Model in Creep Analysis of Composite Steel-Concrete Section*, «ACI Structural Journal», Vol. 111, No. 1, 2014, pp 59-69; KAZAKOV K., STOYANOV C., PARTOV D., KANTCHEV V.,* Numerical Analysis of the Stress-Strain Behaviour in Statically Determinate Composite Steel-Concrete Beam after 100 Years Creep Phenomena Process Using Volterra Integral Equations, *Proceedings of EUROSTEEL 2021, Sheffield, Volume 4, Issue 2-4, Berlin, Ernst & Sohn (2021), pp. 1183-1190.*
39. *SALENÇON J.,* Viscoélasticité pour le Calcul des Structures*, Les Éditions de l'École Polytechnique, Les Presses des Ponts et Chaussées, Paris, 2009, 151 pp.*
40. *SASSONE, M. and CASALEGNO, C.,* Evaluation of the Structural response to the Time-dependent Behaviour of Concrete*:* Part 2 - A General Computational Approach, *«The Indian Concrete Journal», Vol. 86, No. 12, December 2012, pp. 39-51. Errata, Vol. 87, No. 8, August 2013, p. 33.*
41. *SASSONE M. and CHIORINO M. A.,* Design Aids for the Evaluation of Creep Induced Structural Effects*, in J. Gardner & J. Weiss (eds).* Shrinkage and Creep of Concrete*, ACI SP-227, Farmington Hills (Michigan), 2005, pp. 239-259.*
42. *VOLTERRA V.,* Sulle Equazioni Integro-Differenziali della Teoria della Elasticità (On Integral-Differential Equations of the Theory of Elasticity*, in Italian), Rendiconti R. Accademia Nazionale dei Lincei, Vol. XVIII, 2° Sem., 1909, pp. 295-301. See also among others: VOLTERRA V.,* Sur les Equations Intégro-Differentielles et leurs Applications (On Integral-Differential Equations and their Applicatios*, in French), «Acta Mathematica», G. Mittag-Leffler Ed., Stockholm, 1912, pp. 295-356; VOLTERRA V.,* Leçons sur les Fonctions de Lignes (Lessons on the Fonctions of Lines, *in French), Gauthier-Villars, Paris, 1913, 230 pp.; VOLTERRA V.,* Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations*, Blackie & Son, Glasgow and London, 1930, XIV-226 pp.; VOLTERRA V.,* Sulla Meccanica Ereditaria (On Hereditary Mechanics *, in Italian), Rendiconti R. Accademia Nazionale dei Lincei, Serie VI, Vol. XI, 1930, pp. 619-625.*
43. *YU Q., BAŽANT, Z.P., WENDNER R.,* Improved Algorithm for Efficient and Realistic Creep Analysis of Large Creep-Sensitive Concrete Structures*, «ACI Structural Journal», Vol. 109, No.5,2012, pp. 665-675.*
44. *WENDNER R., HUBLER, M. H., BAŽANT, ZP.,* Optimization Method, Choice of Form and Uncertainty Quantification of Model B4 Using Laboratory and Multi-Decade Bridge Databases*, «Materials and Structures», Vol. 48, 2015, pp. 771-796.*
45. *WENDNER R., HUBLER, M.H., BAŽANT Z.P.,* Statistical Justification of Model B4 for Multi-decade Concrete Creep Using Laboratory and Bridge Databases and Comparisons to other Models*, «Materials and Structures»,, Vol. 48, 2015, pp. 815-833.*

WEBSITE:

46. *KIM K. and BAŽANT Z.P.,* Creep Design Aid: Open-Source Website Program for Concrete Creep and Shrinkage Prediction*, «ACI Materials Journal»,, Vol. 111, No. 4, 2014, pp. 423-432.*

ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
IL CANCELLIERE- DIIRETTORE GENERALE

Roma, 4 settembre 2025

Prof. Mario Alberto Chiorino
Politecnico di Torino
Viale Mattioli, 39
10125 Torino
mario.chiorino@polito.it

Oggetto: autorizzazione alla pubblicazione

Gentile Prof. Chiorino,

con riferimento alla sua cortese richiesta, le comunico che nulla osta da parte di questa Accademia, per quanto di propria competenza, a che sia ripubblicato – negli Atti del Convegno BASA (Bulgarian Academy of Science and Arts) 2025, IX International Scientific Conference *Preservation of Cultural Heritage* – il suo contributo dal titolo «The theory of hereditary mechanics by Volterra. A milestone for the analysis of structural effects of time-dependent behavior of concrete», contenuto negli Atti del Convegno *80+80=160. Vito Volterra nel centenario della sua Presidenza lincea* (Roma, 21-23 settembre 2022), «Atti dei Convegni Lincei» 360, pp. 187-217.

Si richiede, come d'uso, che sia chiaramente indicata la fonte e che una copia della pubblicazione sia poi possibilmente inviata in omaggio alla Biblioteca accademica.

Con i migliori saluti.

Firmato digitalmente da
Dott. Francesco Paolo Fazio



VIA DELLA LUNGARA, 10 – 00165 ROMA – TEL. (+39) 06 686 8223 – www.lincei.it – segreteria@lincei.it

BEGINNING OF STEAM LOCOMOTIVES AND RAILWAY BRRIDGES

Baláž Ivan[1], Koleková Yvona[2], Cantarero Pavla[3]

Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, the Slovak Republic;
Department of Languages, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava and Department of Romance Languages, Faculty of Arts, Comenius University in Bratislava, the Slovak Republic;
Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, the Slovak Republic.

Abstract: *Development of the first railways on the Slovak territory within Austrian Empire (till 1867) and within Austro-Hungarian Monarchy after 1867. History of the horse-drawn railway line Bratislava-Trnava, and history of railway lines building by four companies: Hungarian Central Railway Company, Považská Railway Company, Košice-Bohumín Railway and Prešov-Tarnów Railway. Description of unique historical steam locomotive types. Development of bridge systems in the world and use of some bridge systems on Slovak territory in the second half of 19th century. Description of historical railway bridge types and information about their authors. Exceptional historical photographs of locomotives and railway bridges. Steam locomotives rarities and locomotives on stamps.*

Key words*: Historical engineering structures; Railway bridges; Unique locomotives; Bridge load tests; Rare photographs; Slovak territory; rare steam locomotives, historical bridges, locomotives on stamps*

1. Beginning of railway transport on the Slovak territory

There were only three railway projects realised on the Slovak territory between 1840 1867: the Bratislava-Trnava-Sereď horse railway in 1840; the Marchegg-Bratislava-Štúrovo-Szob part of the originally Hungarian Central, then from 1850 to 1855Austrian-South-Eastern State Railway, and after 1855 Austrian Company of the State Railway, and Tisa Railway, or rather its Košice-Čaňa-Hidaséemeti part in 1860. But after "Ausgleich" – the emergence of Austro-Hungarian monarchy (from 1867) within short period there were finished seven projects: the Košice-Čadca-Mosty u Jablunkova part of the Košice-

[1] Baláž Ivan, Prof. Ing. PhD., emeritus Professor, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, ivan.balaz@stuba.sk
[2] Koleková Yvona, Assoc. Prof. Ing. PhD., Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, yvona.kolekova@stuba.sk
[3] Cantarero Pavla, Asst. Prof. Mgr. Bc. PhD., Department of Languages, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, pavlacantarero@gmail.com

Bohumín Railway, the Somoskoeújfalu-Fiľakovo-Zvolen-Vrútky part of Hungarian Northern Railway, the Michaľany-Lupkowsky tunnel part of the First Hungarian-Galician Railway, a relatively large network of the Hungarian North-Eastern Railway, the Prešov-Orlov part of the Prešov-Tarnow Railway, the Trnava-Zlatovce part of the Váh Railway, and the Gemer Industrial Railway. See Figures 1 and 2.

Several photos from this period are presented in this paper. Two special chapters are devoted to: the rare European steam locomotives and development of historical bridges.



Fig. 1. Railway network in Austrian Empire in 1867.

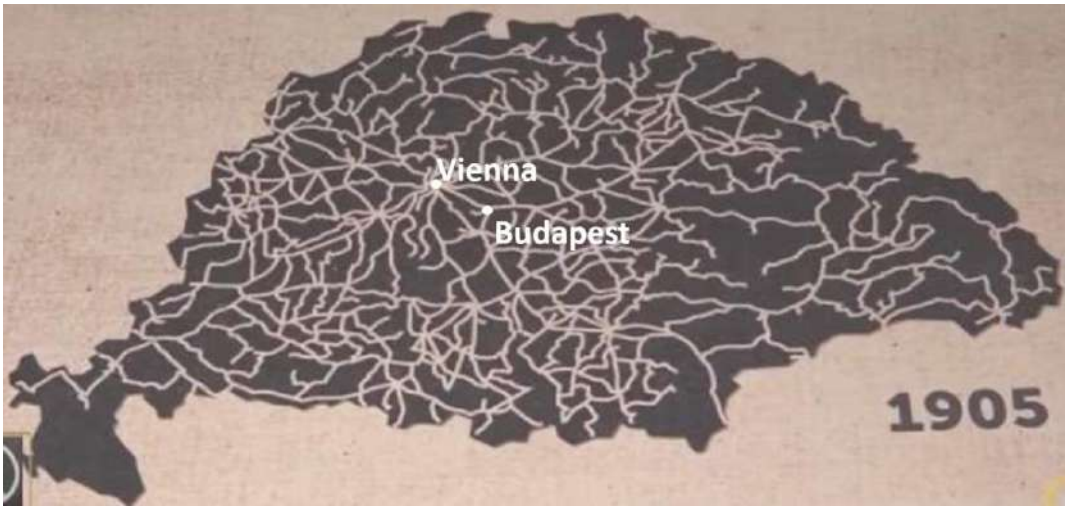


Fig. 2. Railway network in Austro-Hungarian monarchy in 1905.

2. Development of railway transport on the Slovak territory

Horse drawn trains, historical steam locomotives and various railway bridge systems used on the railway lines by the four railway companies:

a) Hungarian central railway company
b) Považská railway company
c) Košice-Bohumín railway
d) Prešov-Tarnów railway are presented

Steam locomotives and railway bridges are described on rare historical photographs. Paper focuses on the period 1840-1883. Timber bridges were not built on main lines at all after 1880. Timber and cast iron lattice bridges were continuously replaced by Howe-type truss systems (Tables 1 and A). Weak Martin steel replaced cast iron in construction of

new bridges from 1895. The increased weight of locomotives required the change of loading regulations in 1893. Bridges on main lines were now to carry 2 four-axle locomotives with a tender and an axle load of 16 t (6,34 t/m) and a train weighing 2,8 t/m. Modification of the loading was done in 1907. Temporary Eiffel-type bridge systems were replaced by the Kohn system after 1887, and Roth-Waagner temporary systems (Table A) began to be used in 1900.

The first railways in the Austrian empire (till 1867) and Austro-Hungarian monarchy (from 1867) on the Slovak territory (1840-1883) Horse-drawn railway Bratislava-Trnava, 1840-1846: In 1836 was established in Bratislava stock company with 17 local businessmen and landowners who decided to build a horse railway connecting 5 royal towns between Bratislava and Trnava. The railway construction began in 1839 and in 1840 first 14km between Bratislava and Svätý Jur was given over to traffic. After different financial difficulties the railway line reached in 1846 Trnava and was finally prolonged as far as Sereď. Traffic was kept until half of 70s of 19th century. The horse drawn railway lines began operations as follows: Bratislava-Svätý Jur on 4 October 1840. Svätý Jur-Pezinok on 30 June 1841 Pezinok-Šenkvice on 19 October 1845, Šenkvice-Báhoň on 1 December 1845, Báhoň-Cífer on 29 December 1845, Cífer-Trnava on 1 June, 1846. The line was extended by the Trnava-Sereď section, where operation began on 11 December 1846 (Figure 3). It was a single-track railway. On the Bratislava- Trnava section, the horse-drawn railway operated until 10 October 1872, when its reconstruction to a steam-powered railway began. The plan to extend the railway to Nitra therefore was not realized. Horses were used on the Trnava-Sereď section until 1876. Passenger trains with two carriages and freight trains with six carriages operated on the line. The load capacity of passenger carriages was approximately 1800 kg, and that of freight carriages was 6000 kg. Passenger trains were pulled by "light" horses, freight trains by "heavy" horses. After two days of service, they had a day off. "Light" horses were retired (sold to enthusiasts) after 4 years, "heavy" ones after 6 years. Unique bridge near the village Báhoň (1873) with 9 arches, the middle 3 of which had clear spans of 30 feet (≈ 9,2 m), see Figure 6. The other arches had clear spans of 12 feet (≈ 3,6 m). The bridge was built to the curve of the railway with the diameter of 810 fathoms (≈ 1500m). It was rebuilt at 1940. (Courtesy of ŽM SR) [1, 2].

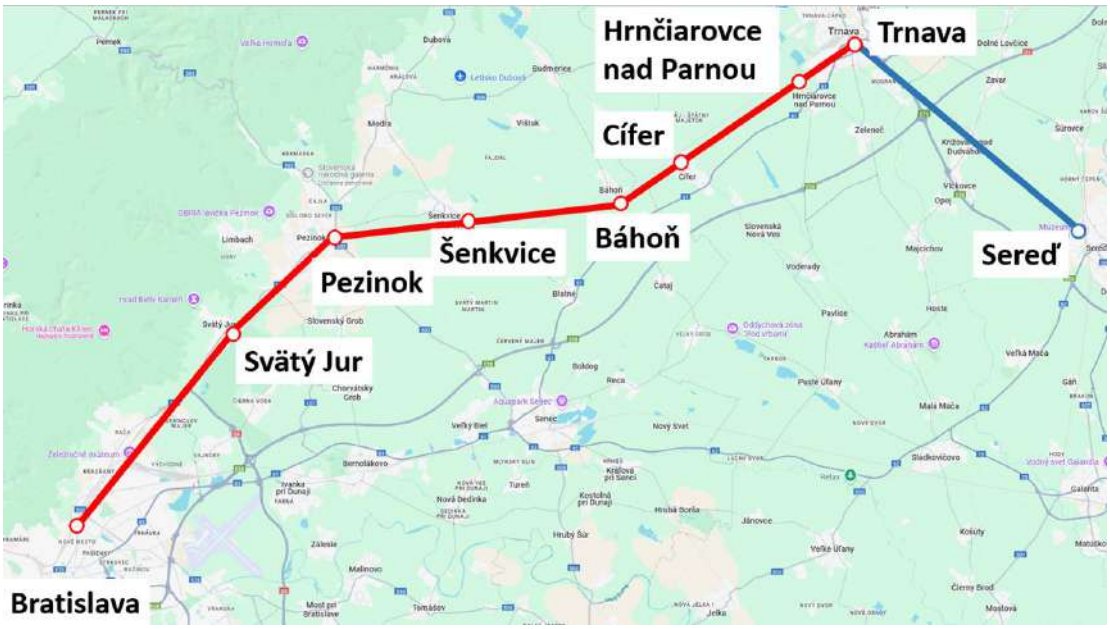


Fig. 3. Horse-drawn railway Bratislava-Trnava (04.10.1840-10.10.1872) and Trnava-Sereď (11.12.1846-1876).

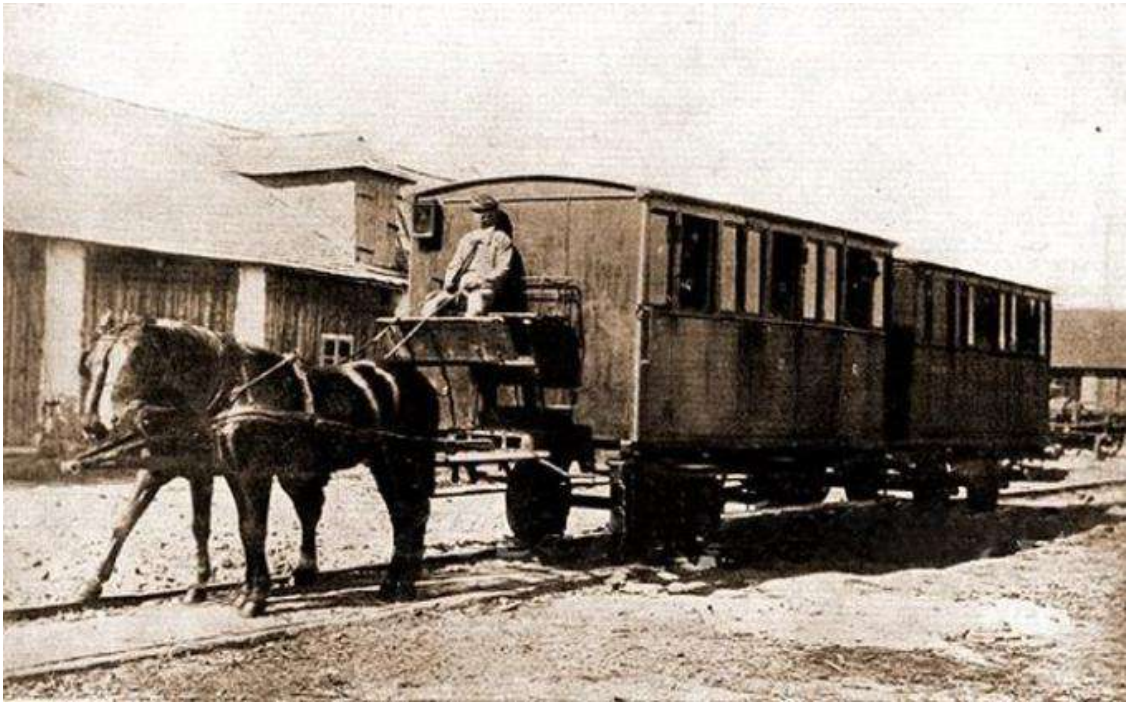


Fig. 4. Passenger train of horse-drawn railway. (Courtesy of West Slovak Museum, Trnava, [2]).

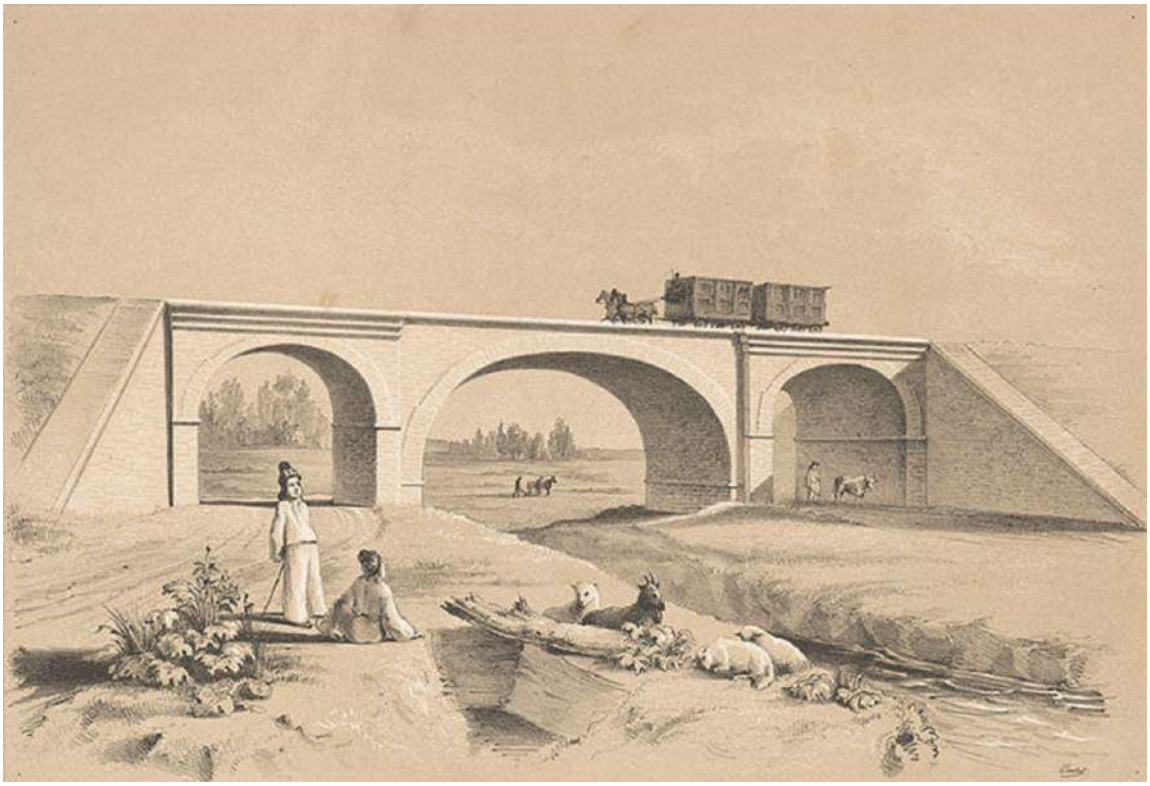


Fig. 5. Brick bridge over Ronava stream in Hrnčiarovce nad Parnou. Lithography with name Mangold Károly (1845-1850). (Courtesy of Gallery of Bratislava city).



Fig. 6. Ferencz bridge over Vištucký stream near the village Báhoň loaded by horse drawn train. Lithography with name Mangold Károly (1845-1850). (Courtesy of Gallery of Bratislava city).

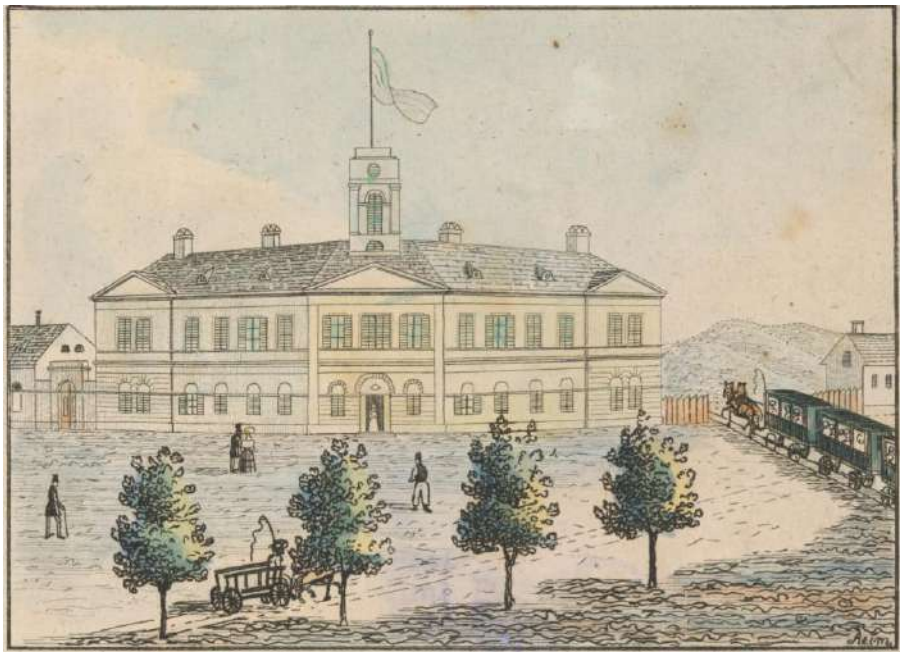


Fig. 7. End station of horse railway in Bratislava. Johann Vincenz Reim: Bahnhof. (1840-1860). (Courtesy of Gallery of Bratislava city).

2.1 Hungarian Central Railway Company, 1844-1850

In 1844 Hungarian Central Railway Company (HCRC) gained licence to build **line between Marchegg and Bratislava.** Financial difficulties caused nationalization of HCRC lines and their incorporating into the Austrian State Railways (ASR) as south-eastern State Railway. In the year 1850, the railway line was finished between Bratislava, Štúrovo and Vácz. On 31 December 1854. The all-ASR lines were sold to French syndicate led by financial businessmen Pereita Brothers. In such way the Private Austrian State Railways Company known under abbreviation StEG (in

German: k. k. privilegierte österreichische Staatseisenbahn-Gesellschaft) was established in the begin of 1855, who dominated in Southwestern Slovakia until the year 1891. At km 51,368 of the Marchegg-Bratislava line, a single-track viaduct was built in 1848, named after its red brick arches **Červený most (Red bridge, Vörös híd**, Figures 10 and 11). The bridge was built on the first steam railway line connecting Vienna and Bratislava. The first train drawn by **steam locomotive Bihar** (Figure 8) passed over it on 20 August 1848.

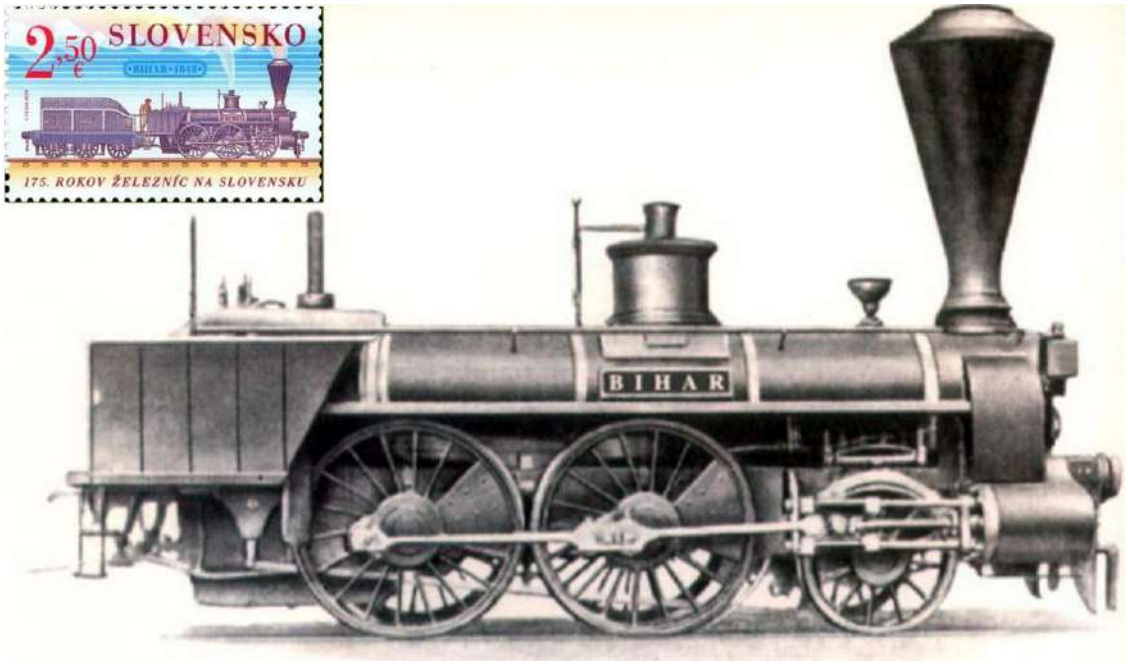


Fig. 8. Locomotive Bihar (arrangement 1B; weight in service 26,8 t) brought the first steam train to Bratislava in 1848 [4]. **b)** Right: Locomotive Sylphide arrangement 1B; weight in service 29 t) made by Belgian Cockerill factory used by KFNB and V.V.V. from 1872 [5].

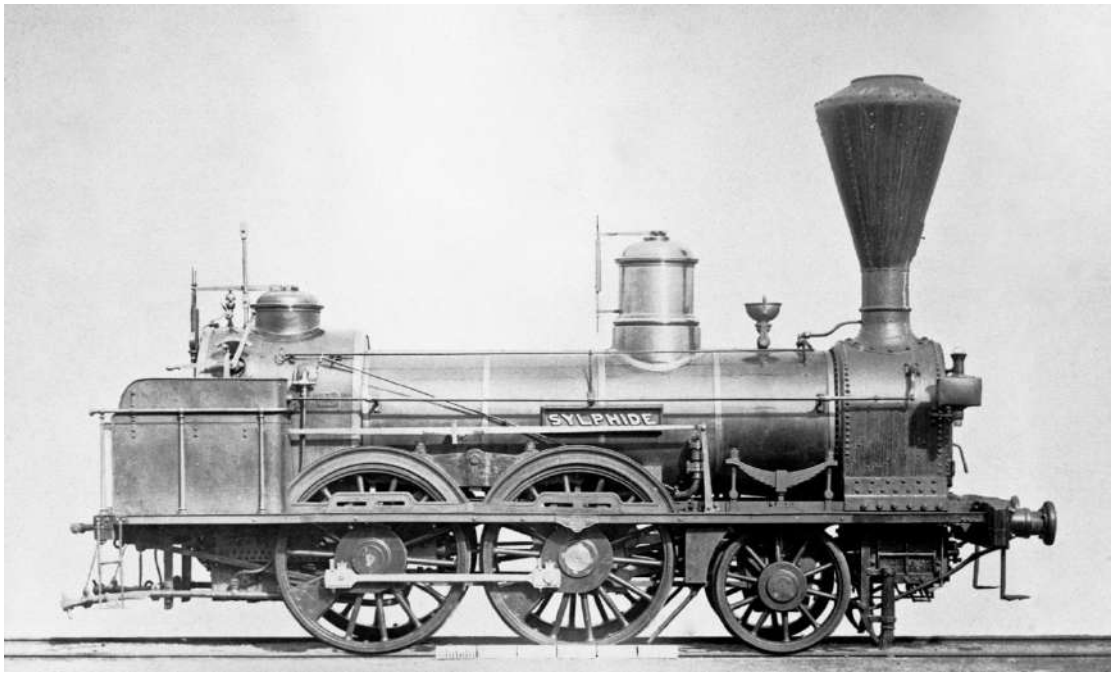


Fig. 9. Locomotive Sylphide arrangement 1B; weight in service 29 t) made by Belgian Cockerill factory used by KFNB and V.V.V. from 1872 [5].

Červený (Red) bridge (Figures 10 and 11) crossed the valley of the stream Vydrica at a height of approximately 17 m. Its over-all length was 215 m and it composed of 9 arches with clear spans of 10,7 m + 7 x 15,8 m + 7 m. In 1881 the bridge was widened to double track by adding riveted beams and by the subsequent building of brick arches between these beams. It was completely destroyed on the 4th of April 1945 by the withdrawing German army.

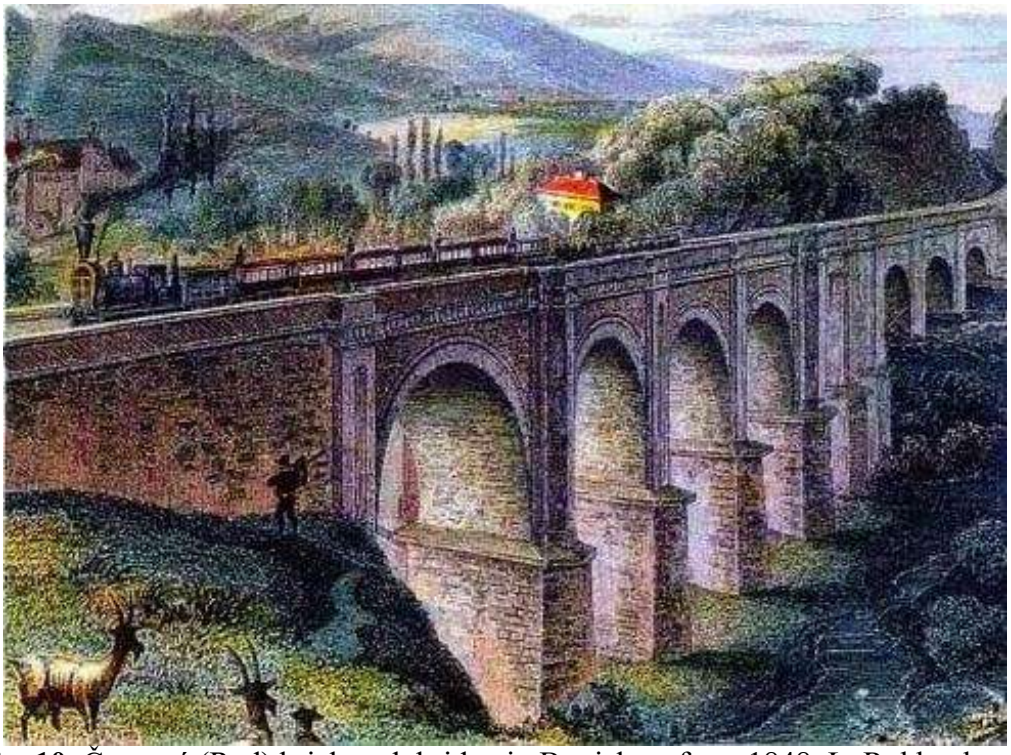


Fig. 10. Červený (Red) brick arch bridge in Bratislava from 1848. L. Rohbock – F. Hablitschek: Coloured lithography of Red bridge, about 1850. (Courtesy of Gallery of Bratislava city).



Fig. 11. Červený (Red) brick arch bridge in Bratislava from 1848. (Old postcard).

The bridge between Marchegg and Devínska Nová Ves over Morava River was a 474 m long bridge (Figure 12 and 13), which was one of the largest in the then monarchy. The construction of the bridge began in November 1846. It was completed in the autumn of 1847. The bridge consisted of ten inundation brick arches with a span of 10 x 15 m on both sides and a central part, which spanned the river and was made of a timber lattice structure with a span of 2 x 43 m. The timber part of the bridge was destroyed during the Austro-Prussian War in 1866 by the retreating Austrian army. After its provisional repair, operation was resumed on 27.8.1866. The definitive restoration was completed only in 1868, with the timber provisional structure being replaced by a continuous steel lattice structure with a span of 2 x 43 m.



Fig. 12. Timber lattice railway bridge in Marchegg over Morava River from 1847. (Old postcard).



Fig. 13. Timber lattice railway bridge in Marchegg over Morava River from 1847. (Old postcard).

Emperor Franz Joseph Bridge (Figure 14 and 15). It is the first permanent bridge over Danube in Bratislava; it was road steel through-truss bridge opened on December 30 1890. Railroad steel through-truss bridge was laid on the same piers as the road bridge. It was opened in September or November 1591. The both bridges served 55 years until April 4 1945, when they were destroyed by German army.



Fig. 14. Emperor Franz Joseph Bridge over Danube River in Bratislava, railway bridge from 1891 in the left and roadway bridge in the right from 1890. They served in the period 1890–1945. Seven simple supported truss girders with spans 31,6 m + 2 x 75 m + 91,5 m + 2 x 75 m + 31,6 m = 454,7 m.



Fig. 15. Emperor Franz Joseph Bridge over Danube River in Bratislava. Railway bridge from 1891, the roadway bridge from 1890 is behind it. They served in the period 1890–1945. Seven simple supported truss girders with spans 31,6 m + 2 x 75 m + 91,5 m + 2 x 75 m + 31,6 m = 454,7 m.

2.2 Považská Railway Company, 1873-1883

Považská železnica joint-stock company (Považská Railway Company; in German: Waagtalbahn WTB; in Hungarian: Vágvölgyi vasút V.V.V.) was founded on 8 January 1873. They decided to convert the horse-drawn railway on the Bratislava-Trnava line to steam operation, for which they received approval on 13 February 1873. Operation on the line Bratislava-Trnava began on 1 May 1873, on the line Trnava- Nové Mesto nad Váhom on 2 June 1876, on the line Nové Mesto nad Váhom-Zlatovce on 1 May 1878. The line Trenčín-Žilina was built by SteG and open on 1 November 1883. In 1837, the company called Severná železnica cisára Ferdinanda (Northern Railway of Emperor Ferdinand; in German: Kaiser Ferdinands-Nordbahn KFNB) began building the first European railway connecting Vienna, Břeclav, Přerov with Kraków. In 1853, the Belgian Cockerill Locomotive Factory delivered to KFNB 6 locomotives of type 1B. They had names Fortuna-318, Chloe-319, Psyche-320, Sylphide-321, Pallas-322 and Leda-323 [3]. They were decommissioned in the years 1880-1884. Chloe and Sylphide were sold in 1872 to the Považská Railway Company, which ran with work trains there on the construction of the railway line from Bratislava to Zlatovce [4]. Sylphide may be seen in Figure 9. Maximal allowed train speed was 38 km/h, it raised to 53,06 km/h in 1851 and on StEG lines reached in 1862 the speed 75,8 km/h. The first steam locomotives on Slovakian railways originated from foreign locomotive factories. They were relatively simple without driver's cab (Figure 8 and 9). Their running gear had usually the form 1B (for passenger trains) or C (for freight trains), but there were also locomotives with 4 coupled axles or with Engerth-arrangement (C2 or B2). Their steam machines were at the beginning full pressure ones, but later these locomotives were reconstructed to expansive ones with curved slotted link distributions [5].

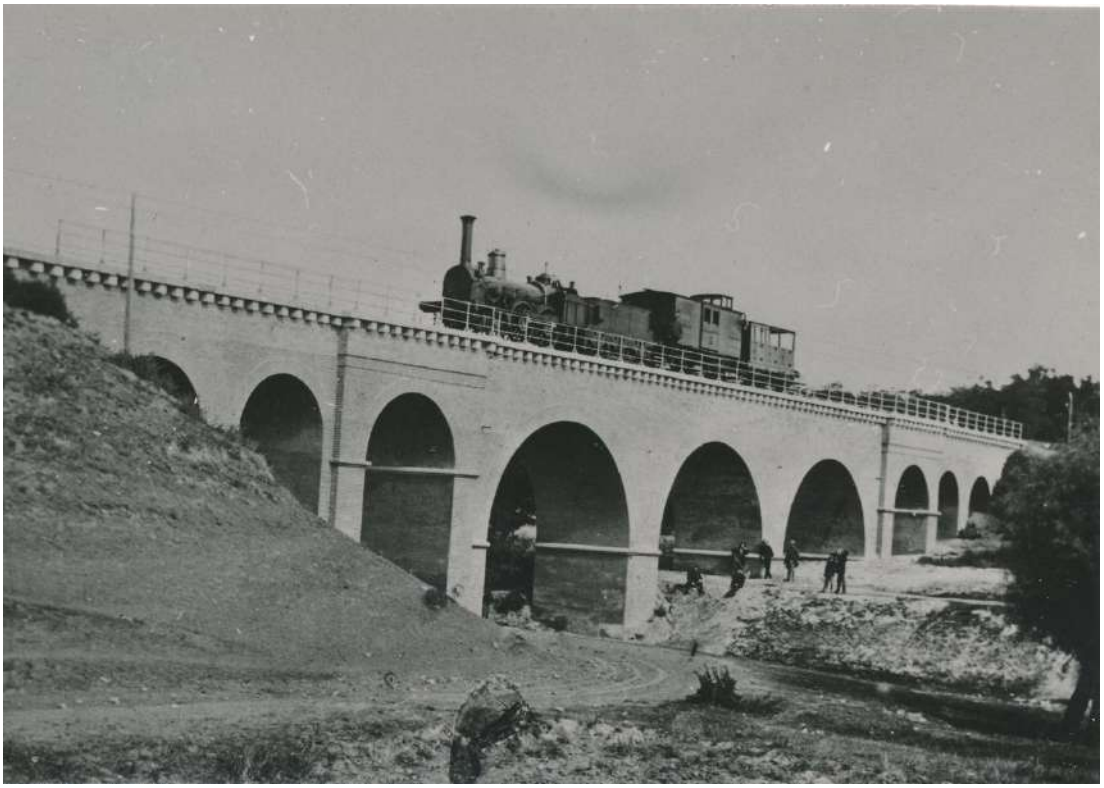


Fig. 16. Loading test of arch bridge near the village Báhoň in or after 1873. The locomotive is exactly like the Sylphide (Figure 9), only shape of the chimney (consumable element) is different. It is probably Chloe locomotive 1B, which may be seen also in Figure 17. (Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic, Bratislava [2]).

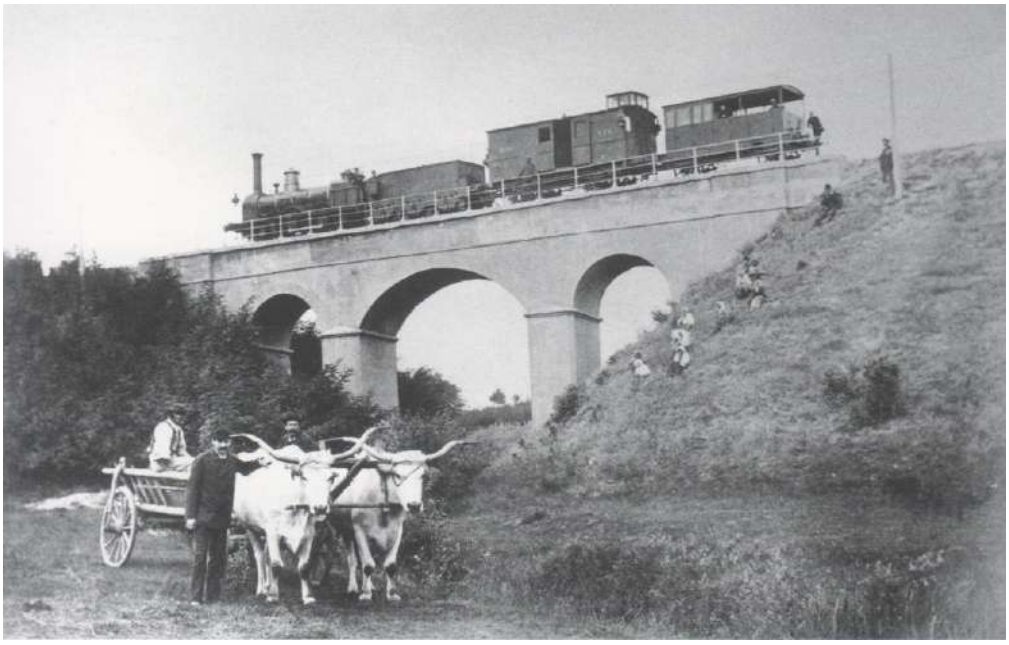


Fig. 17. Loading test on arch bridge by Chloe type locomotive 1B of Považská Railway Company (V.V.V.) in or after 1873 on railway line Bratislava-Trnava after replacing horse trains by steam locomotive trains. (Courtesy of West Slovak Museum, Trnava [2]).

2.3 Košice-Bohumín Railway, 1871-1872

An important railway company that had its lines along the entire length of Slovakia. It was the only one to connect the Austrian railway network with the steam locomotives arrangement had in comparison with preceding period not changed. On their exterior but manifested introducing of closed personnel cabs [6,7].

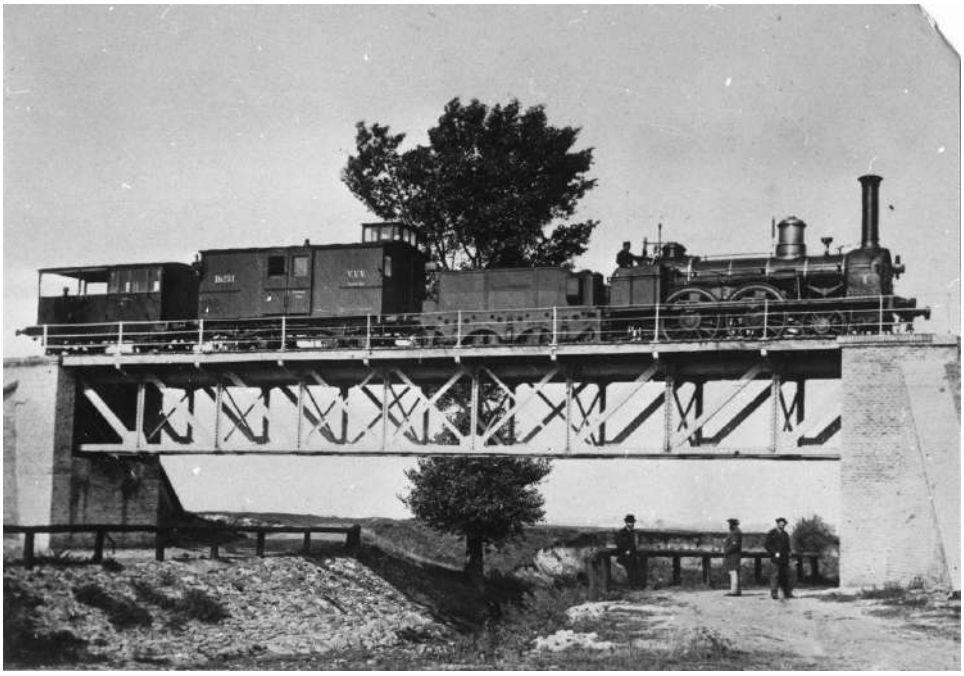


Fig. 18. Loading test of wrought iron Pratt type deck truss bridge by Chloe type locomotive 1B of Považská Railway Company (V.V.V.) in 1873 on railway line Bratislava-Trnava after replacing horse trains by steam locomotive trains. (Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic, Bratislava [2]).

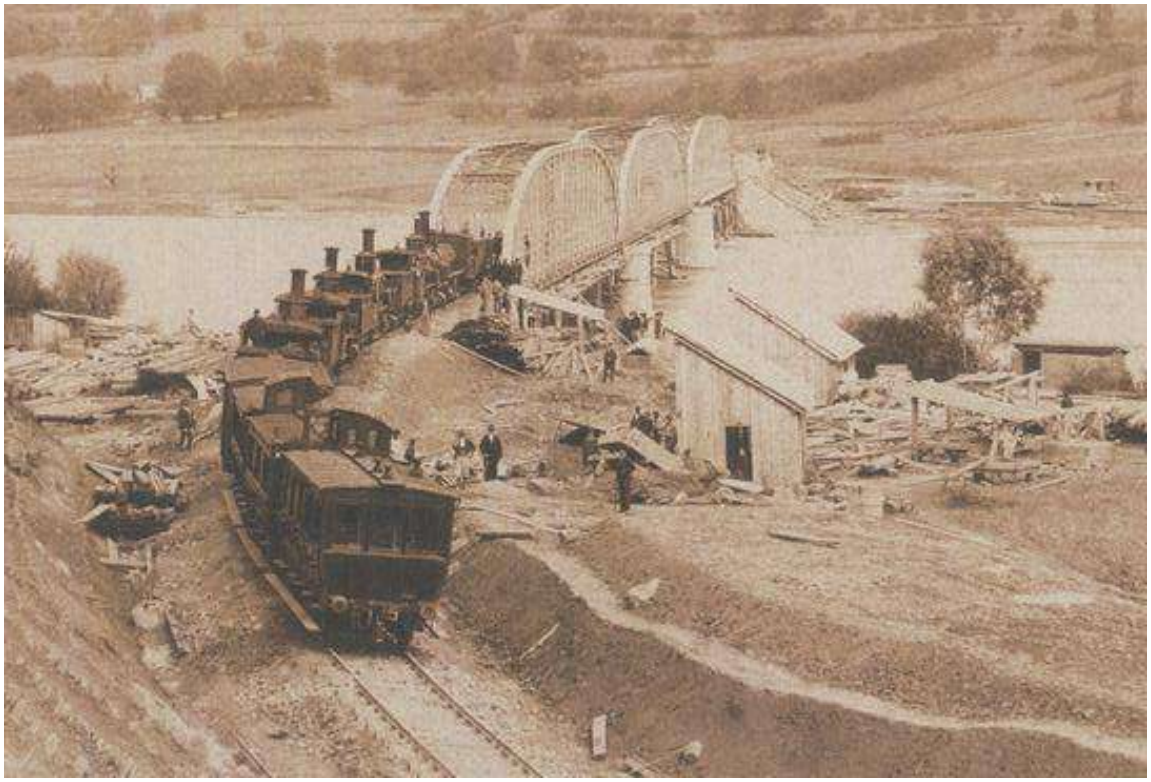


Fig. 19. Loading test of wrought iron through arch bridge on railway line Púchov-Považská Bystrica ín 1883. (Courtesy of Trenčianske Museum, Trenčín [2]).



Fig. 20. Wrought iron lattice through railway bridge over Váh River in Turany (1871) with a span arrangement 48,4 m + 60,6 m + 48,4 m on the track Žilina-Poprad in km 221,013 with beginning of operation on 8 December 1871.
(Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic, Bratislava [1, 2]).



Fig. 21. Timber Howe type deck truss bridge over Hornád River on the track Kysak-Prešov (about 1872). The railway line Košice-Prešov-Kysak began operation on 1 September 1870. It was replaced by steel bridge. A span arrangement 2 x 25 m. (Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic [1, 2]).



Fig. 22. Wrought iron lattice bridge with upper deck. Passenger train on upper bridge deck near Strečno. Steam locomotive is probably I KBD (ČSD 253.1) from 1884-1891. Košice-Bohumín Railway (Old postcard, courtesy of Považské museum, Žilina [6]).



Fig. 23. Wrought iron lattice railway bridge in Budatín near Žilina.
(Old postcard, about 1890 [7]).



Fig. 24. Wrought iron Howe type deck truss bridge on Košice-Bohumín Railway line, about 1900. Locomotive designation 313.3 (KBD IIIb2, inventory No. 137) with weight in service 38,6 t. Delivered by Sigl [2].



Fig. 25. Map of Austro-Hungarian monarchy. Košice-Žilina-Bohumín railway (1871-1872), brown line and Prešov-Orlov-Musyzna-Tarnów railway (1870-1873-1876), dark green line. Numbers mean the years of opening of the relevant railway sections [17].

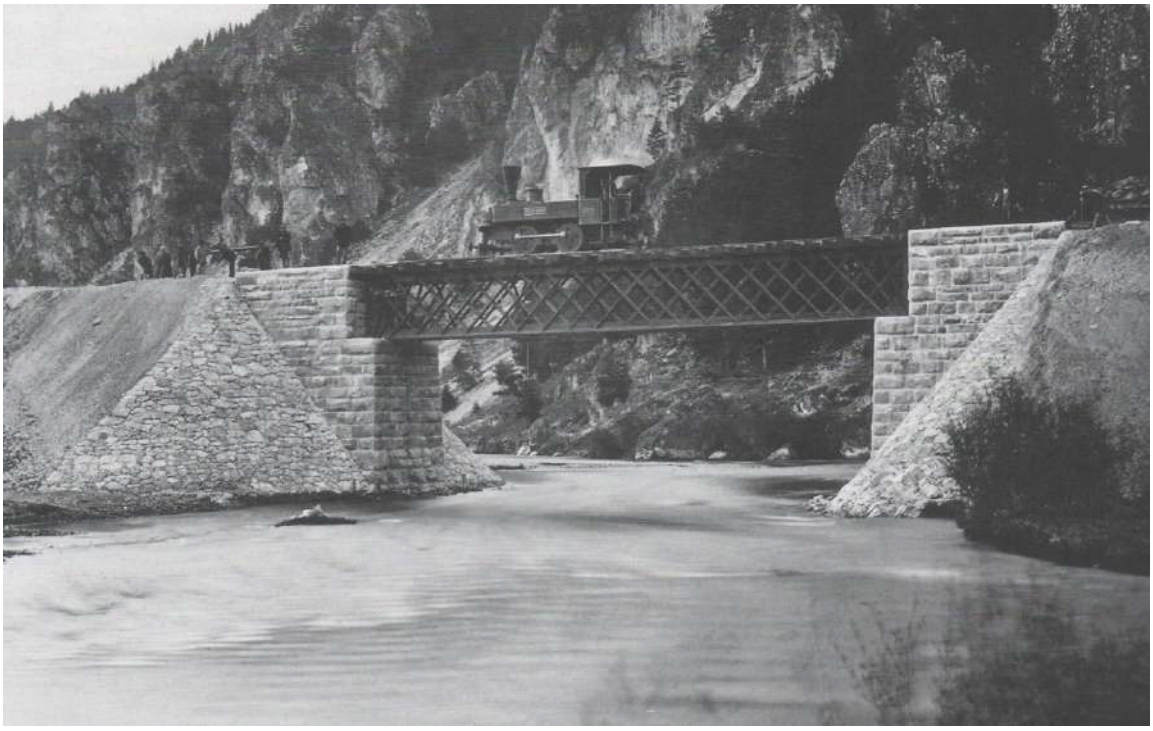


Fig. 26. Part of Košice-Bohumín railway. Steam locomotive named "Vorwärts-Wehr-Dich" produced by Austrian Sigl factory located on the wrought iron lattice bridge with upper deck. (Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic [2]).

2.4 Prešov-Tarnów Railway, 1864-1882

This company connected the lines of the Košice-Bohumín Railway with the railway network in Galicia (Figures 27 and 31). A single line Prešov-Orlov-Čirč was open on 1.5.1873 [5].

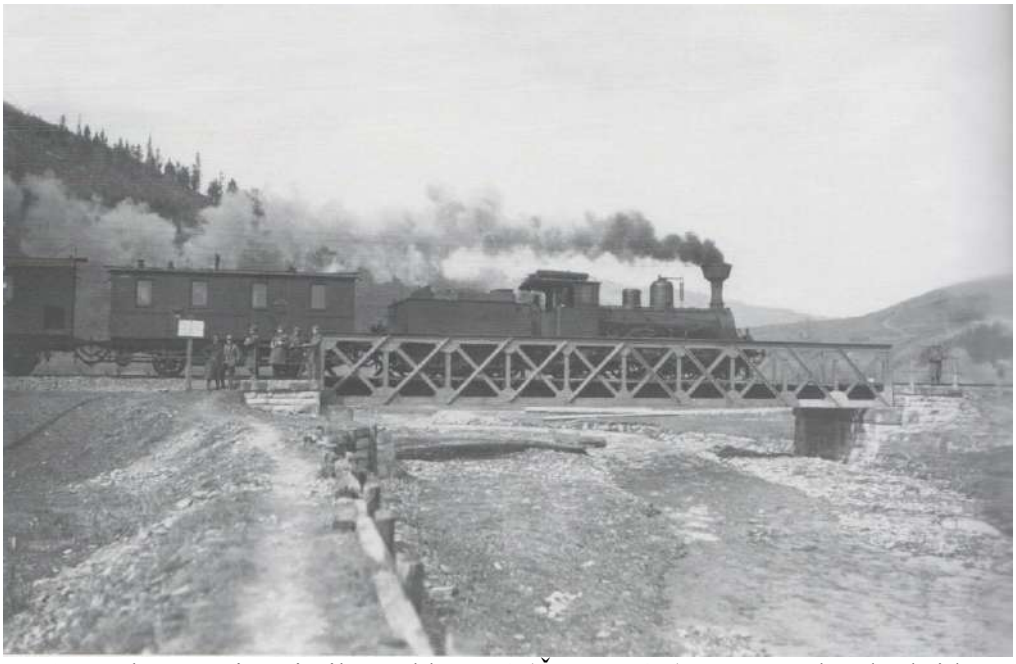


Fig. 27. Steam locomotive similar to kkStB 4 (ČSD 254.2) crosses a border bridge not far from station Čirč guarded by Czechoslovak soldiers. Wrought iron Howe type truss of pony bridge is located on Prešov-Tarnów railway line. Locomotive delivered by Sigl company in Wr. Neustadt. (Courtesy of archive of Jiří Martenz [2]).

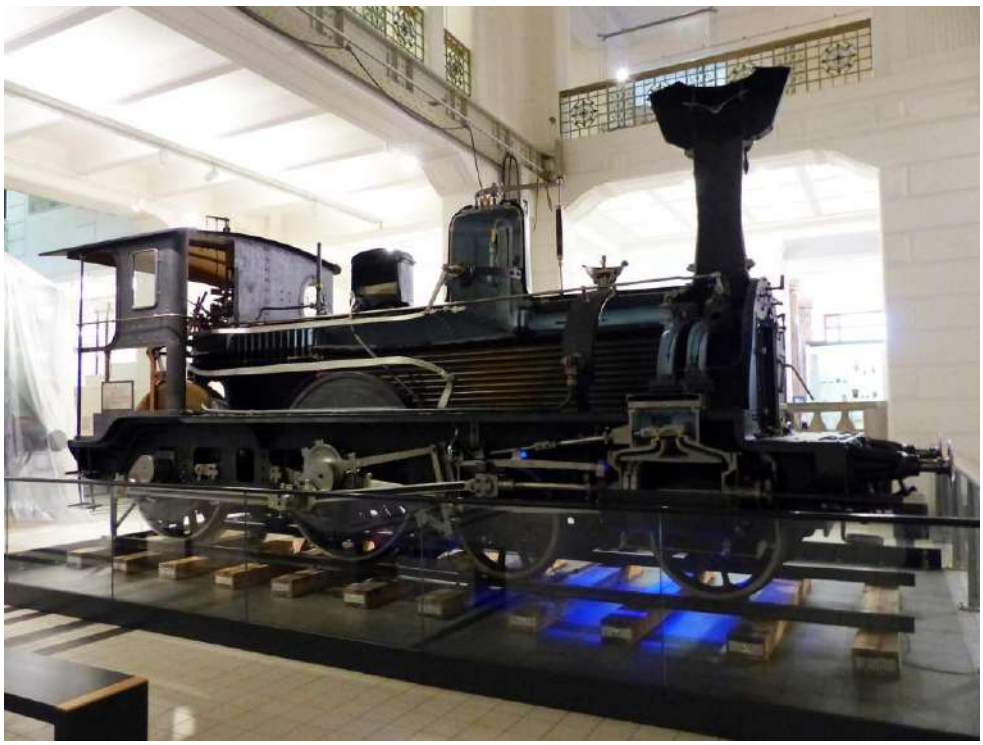


Fig. 28. Cutaway model of the kkStB 1.20 steam locomotive at the Vienna Technical Museum. The steam locomotive series kkStB were express train tender locomotives of the Imperial and Royal Austrian State Railways (kkStB – k.k. österreichischen Staatsbahnen), whose locomotives originally came from various nationalized private railways. It was built by Wr. Neustadt, Floridsdorf. The weight of kkStB 1.01 in service: 39 t (empty 35,3 t; adhesive one 24,5 t).
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_in_%C3%96sterreich_vorhandener_Dampflokomotiven

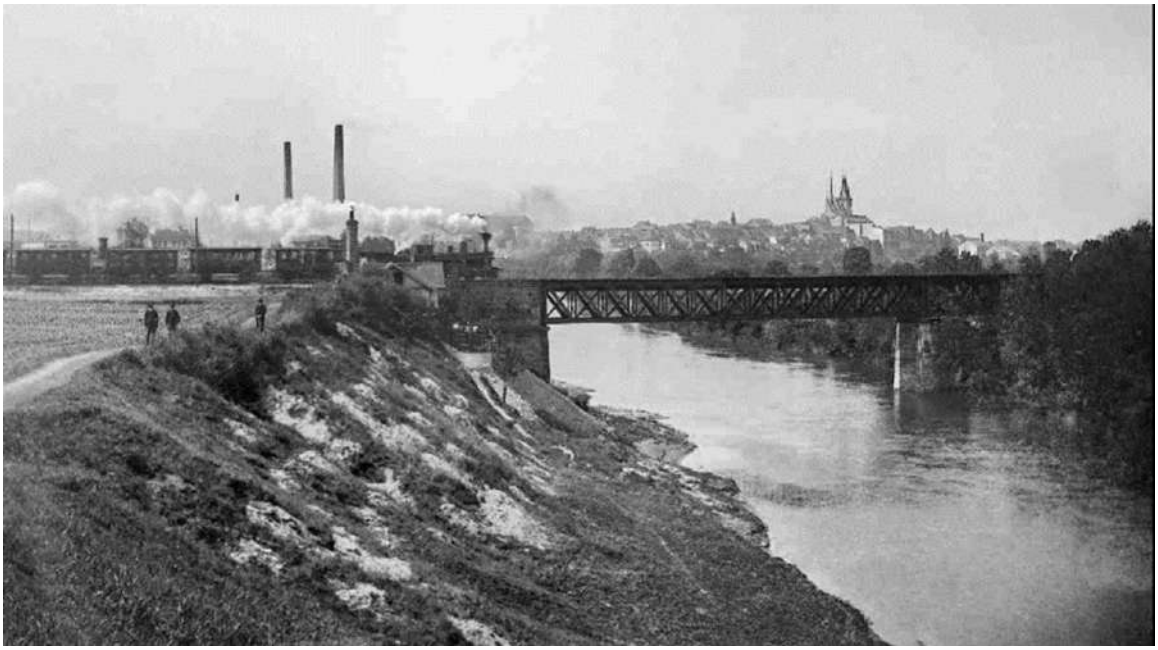


Fig. 29. Similar steam locomotives kkStB served in Czech territory. Louny bridge over Ohře river from the period 1890-1935.
Photograph by Karel Goszler (12.12.1865 –14.6.1936).

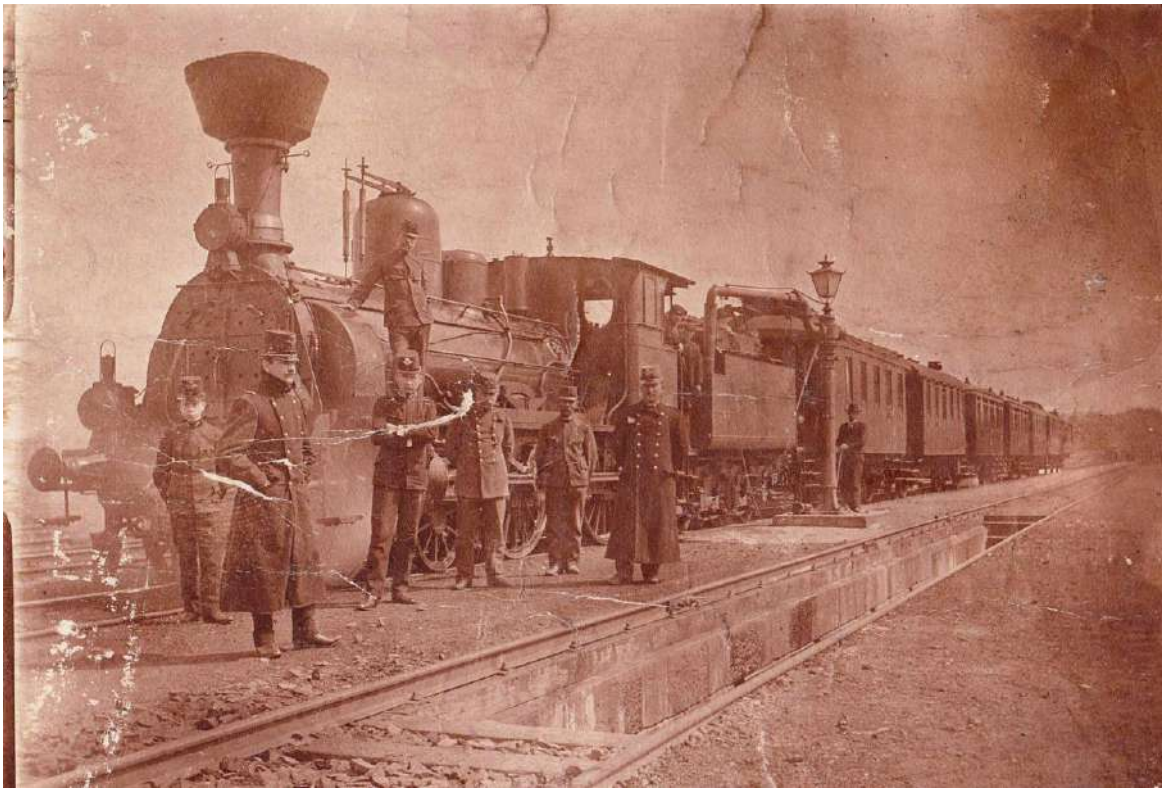


Fig. 30. KKStB 4 = 254.2, maybe Mikulovice, Czech Republic, about 1910.
(Roman Jeschke, historian of Czech Railways) [21].



Fig. 31. Loading test of the bridge located on Prešov-Tarnów line by Hungarian steam locomotive 622.0 "Mallet". Producers: MÁVAG, Floridsdorf. Delivered in 1912-1914 [9]. Weight in service 71,46t.
(Courtesy of Railway Museum of the Slovak Republic [2]).

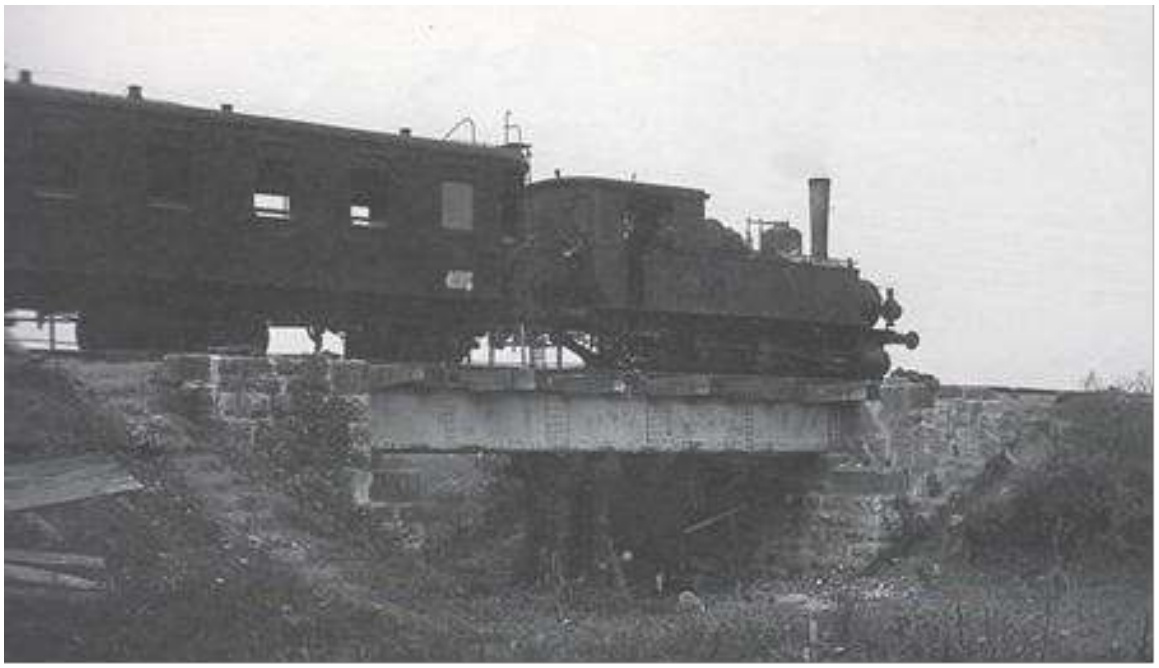


Fig. 31. On local lines, mainly steam locomotives 310.4 were used. Short riveted plate girder made of wrought iron loaded by locomotive 310.4 with weight in service 29,1 t. It was produced first time in Hungary in 1885 and used till 20s [8].
(Courtesy of Railway Museum of The Slovak Republic, Bratislava [2]).

3. **Rare European steam locomotives** (Figures 33 – 40).

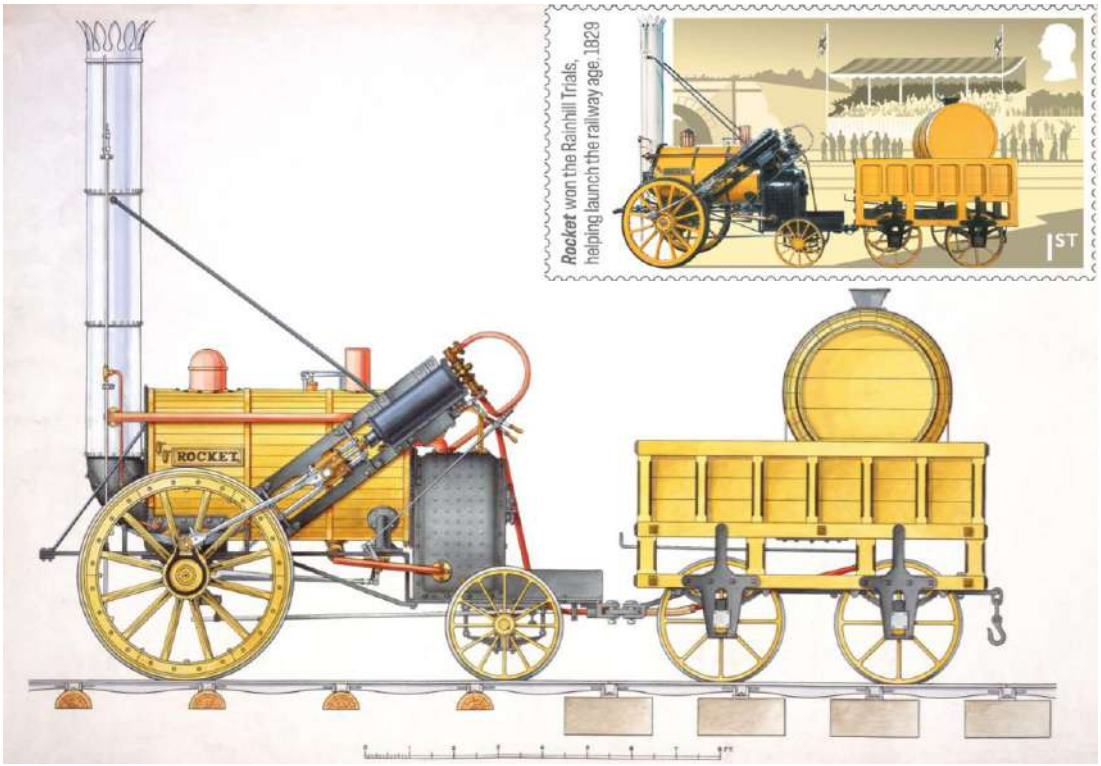


Fig. 33. Steam locomotive of Robert Stephenson's locomotive 'Rocket', designed by Robert Stephenson and made by Robert Stephenson & Co., Newcastle upon Tyne, England, 1829.
https://www.railwaymuseum.org.uk/objects-and-stories/stephensons-rocket-rainhill-and-rise-locomotive



Fig. 34. The Rocket, designed by Robert Stephenson (1803-1859), was the clear winner in the locomotive trials held at Rainhill in 1829 to decide the motive power for the Liverpool & Manchester Railway. Science Museum Group Collection.
https://www.railwaymuseum.org.uk/objects-and-stories/stephensons-rocket-rainhill-and-rise-locomotive



Fig.35. The oldest steam locomotive in Ireland.from 1847. It is displayed in the booking hall at Kent Railway Station, Cork, Eire. Originally built by Bury, Curtis, and Kennedy of Liverpool at a cost of £1,955, the engine was obtained by the Great Southern and Western Railway to run services from Dublin to Cork. The engine remained in service until 1874.
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_in_Irland_vorhandener_Dampflokomotiven

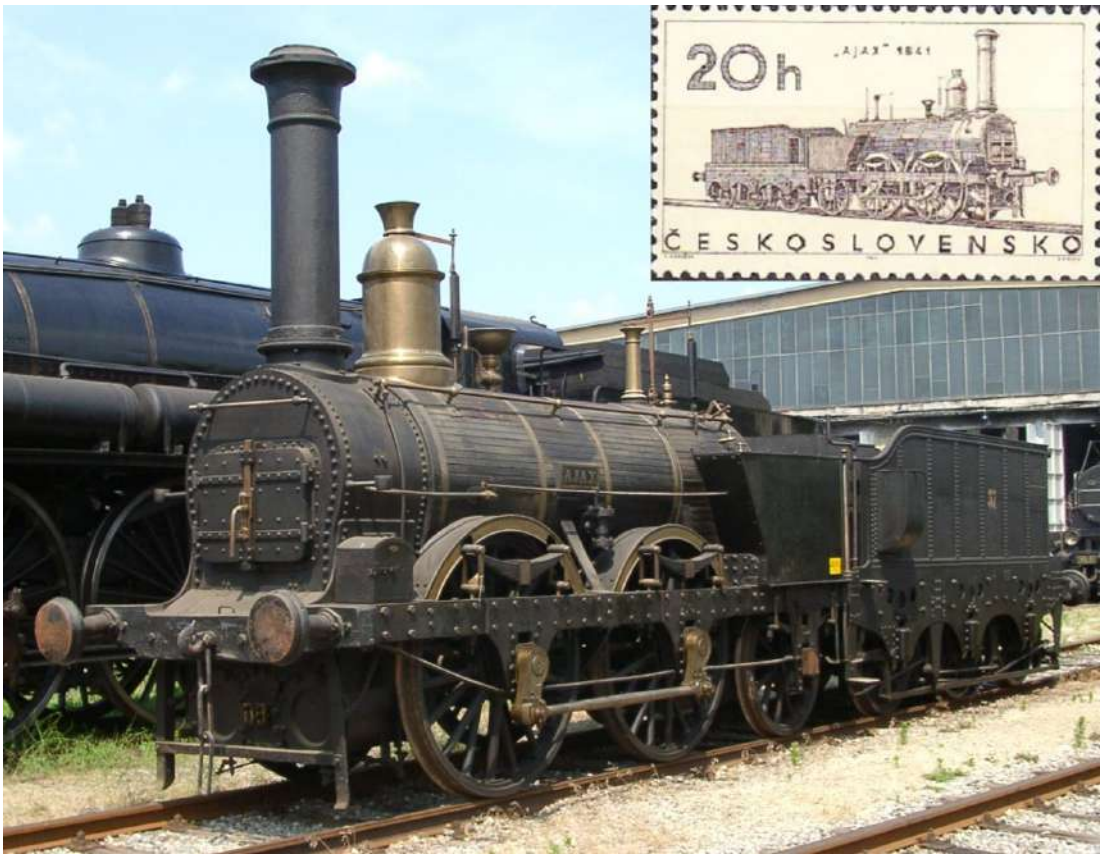


Fig. 36. The steam locomotive AJAX was built by Jones Turner and Evans in Warrington in 1841. It is the oldest preserved steam locomotive in the European continent. The AJAX was passenger and freight locomotive of the Kaiser Ferdinands-Nordbahn where it served 27 years. The weight 21,8 t (empty15,2 t).
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_in_%C3%96sterreich_vorhandener_Dampflokomotiven



Fig. 37. Locomotive Steinbrück; oldest preserved steam locomotive of Austrian production.
https://de.wikipedia.org/wiki/SStB_%E2%80%93_Cilli_bis_Monfalcone

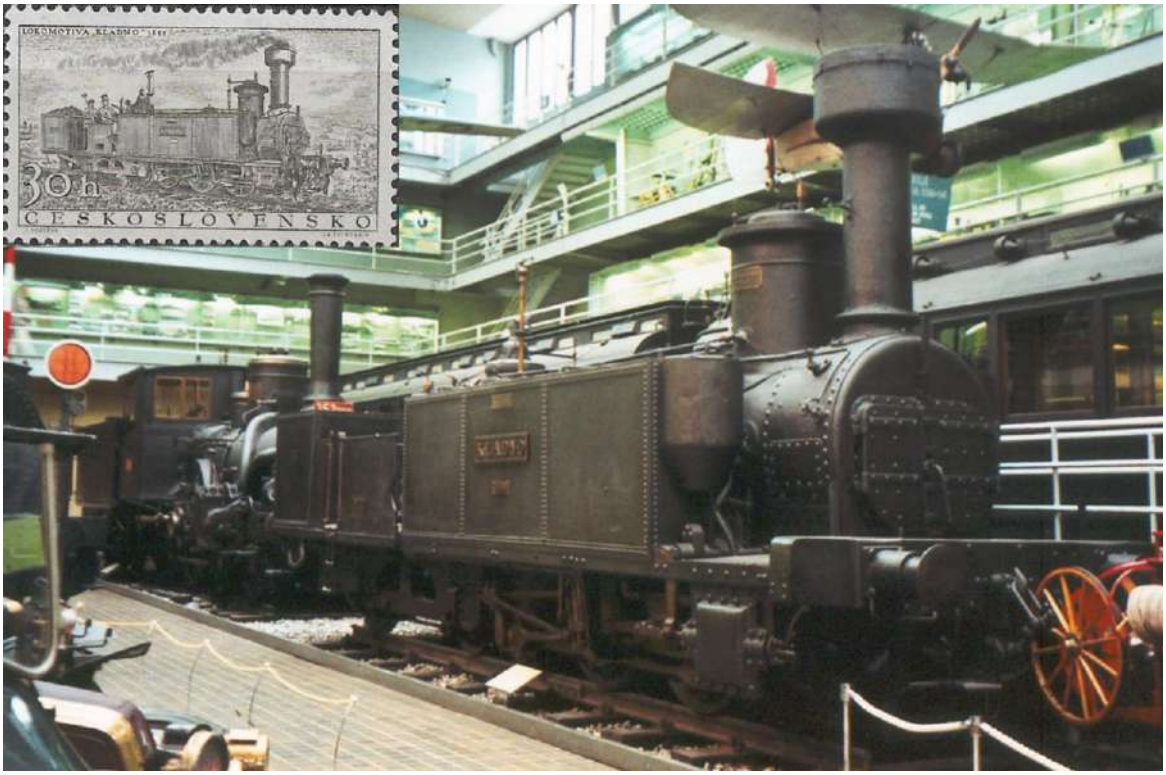


Fig. 38. Heavy semi-tender steam locomotive Kladno-295 from 1855. It served on the Buštehrad railway between Kladno Dubí and Kralupy nad Vltavou in the Czech territory. Oldest steam locomotive in the Czech Republic, which served 73 years. Only preserved old Austrian Engerth locomotive in the world. This new type was developed by Prof. Wilhelm Engerth from University in Graz. The weight 52,5 t (adhesive one 33,3 t).
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_in_Tschechien_vorhandener_Dampflokomotiven



Fig. 39. Locomotive 148 of the Bulgarian State Railways preserved in the National Transport Museum at Ruse. The oldest locomotive in Bulgaria from 1868 built by Sharp, Stewart and Company from Glasgow.
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_in_Bulgarien_vorhandener_Dampflokomotiven

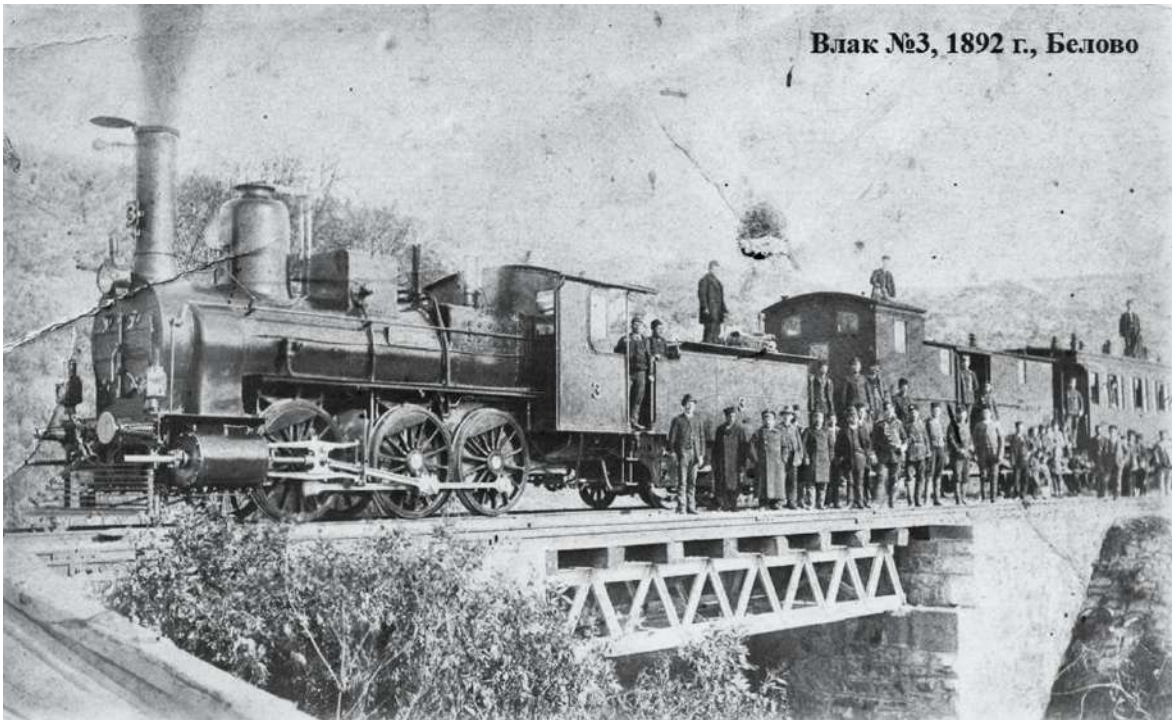


Fig. 40. Train at Belovo station, Bulgaria 1892. (Courtesy of Prof. Nikolaj Tuleshkov).

4. Historical steam locomotives on stamps

There are hundreds of stamps with historical steam locomotives issued in many countries. Some examples are given in Figs. 41 – 50.



Fig. 41. USA: Steam locomotives from 1829 till 1893.

Frederick Methvan Whyte introduced in 1900 the following notation for describing locomotive wheel arrangements: the first number gives number of leading wheels, the second number gives number of driving wheels and the third number gives number of

trailing wheels. See e.g. the locomotive in Fig. 42a with 0-4-0 or the locomotive in Fig. 50b with 2-2-2. Two wheels are mounted on an axle.



Fig. 42. Canada: a) Type Dorchester 0-4-0, b) Type Toronto 4-4-0.



Fig. 43. Canada: a) Scotia type 0-6-0, b) Countness of Duferin 4-4-0,
c) GT class E3 type 2-6-0, d) CP class D10a type 4-6-0.



Fig. 44. Bulgaria: Steam locomotives from 1836 till 1876.



Fig. 45. Poland: Steam locomotives from 1803 till 1855.



Fig. 46. Bulgaria: a) Richard Trevithick, 1803, b) Murray and Blenkinsop, 1810, c) William Hedley, 1812, d) Locomotive Orel, 1835.

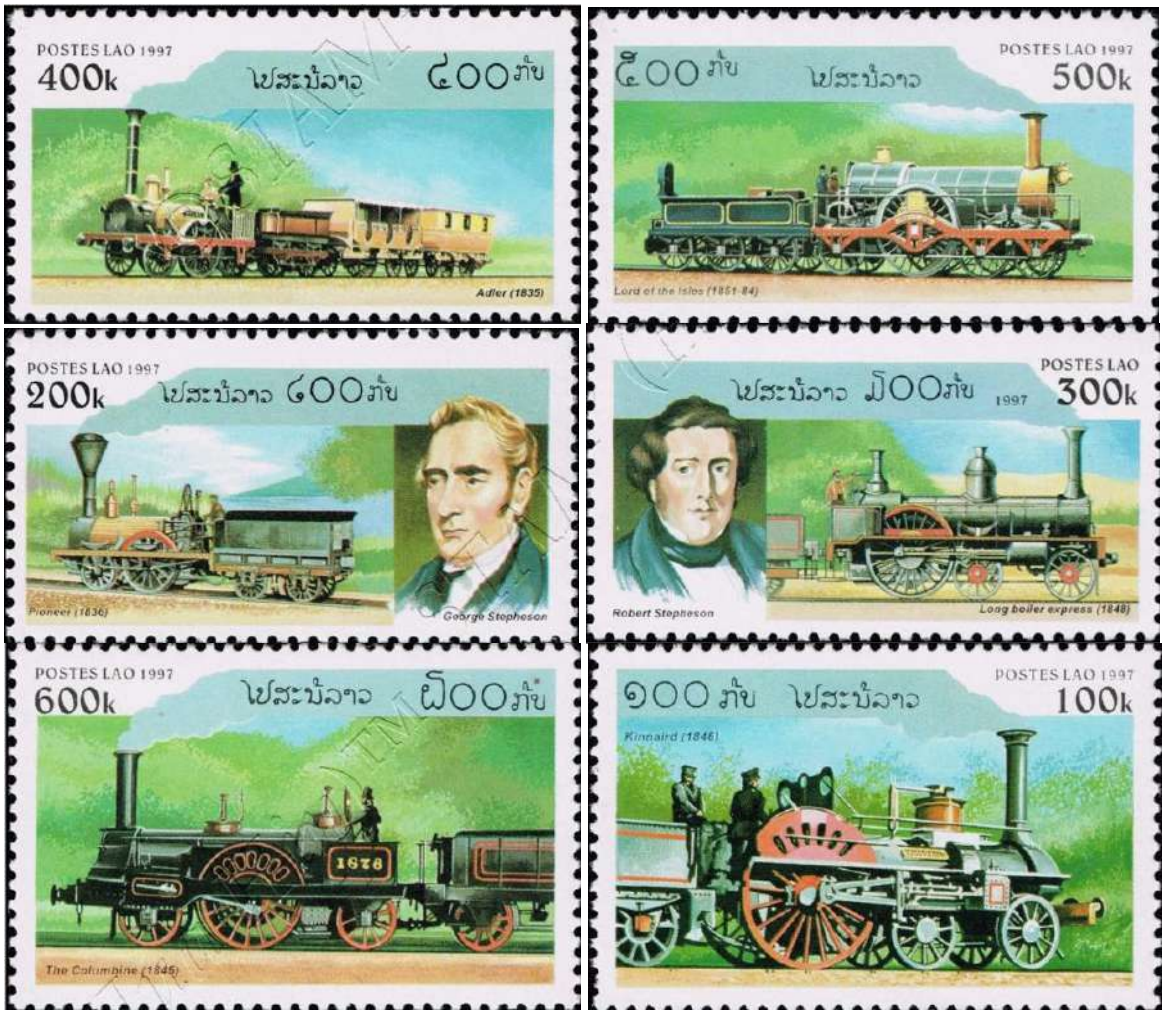


Fig. 47. Laos: a) Adler, 1835, b) Lord of the Isles, 1851-84, c) George Stephenson, Pioneer, 1836, d) Robert Stephenson, Long boiler express, 1848, e) The Columbine, 1845, f) Kinnaird, 1846.



Fig. 48. Bulgaria: a) Best friend of Charleston, 1830, b) Saxonia, 1836, c) Borsig, 1841, (August Borsig), d) Philadelfia 1843, e) Lafayette, 1837.



Fig. 49. Steam locomotives of Yugoslavia: a) JDŽ 162, b) JDŽ 151, c) JDŽ 73, d) JDŽ 83, e) JDŽ 16, f) Prince Nikola's salon cars. JDŽ is the acronym for Jugoslavenske državne željeznice, which translates to "Yugoslav State Railways" in English.

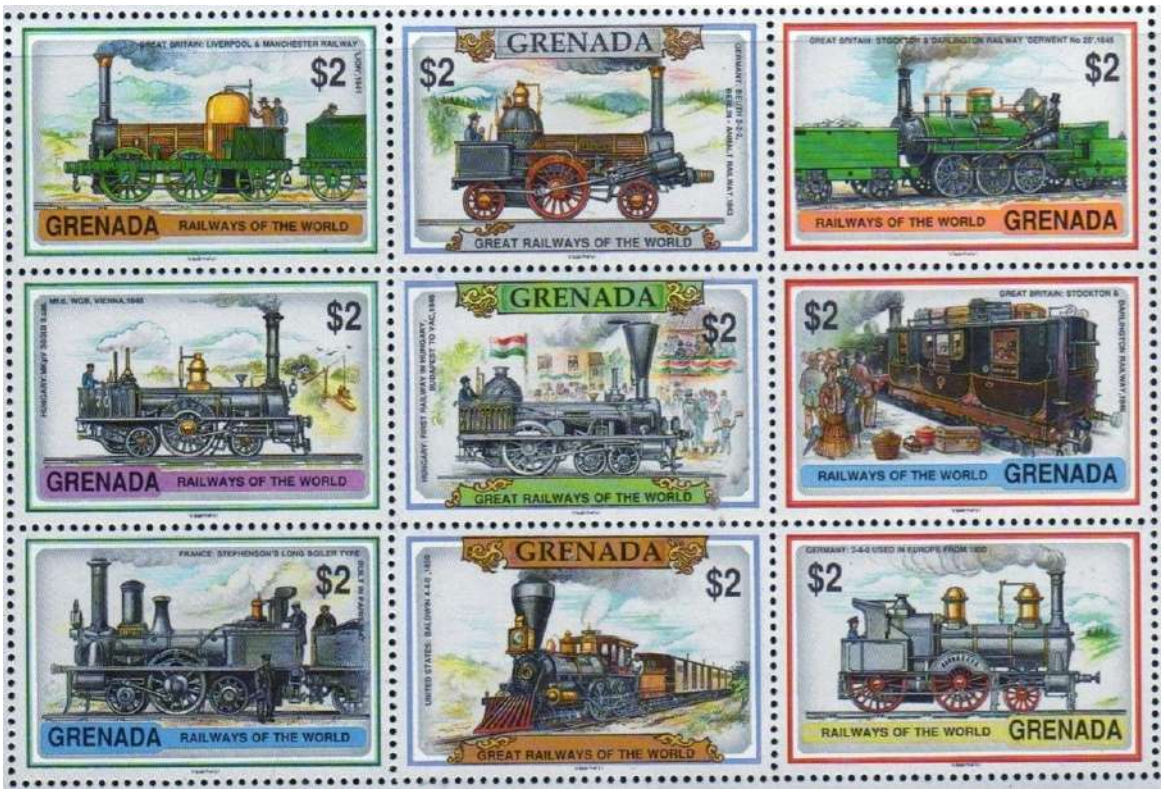


Fig. 50. Grenada: a) Great Britain: Liverpool & Manchester Railway, Lion 1841, **b) Germany:** Berlin-Anhalt Railway, Beuth 2-2-2, 1843, **c) Great Britain:** Stockton & Darlington Railway, Derwent No.25, 1845, **d) Hungary**: First railway in Hungary, Budapest to VAC, 1846, **e) Great Britain:** Stockton & Darlington Railway, 1846, **f) France:** Stephenson`s Long Boiler Type built in Paris 1846, **g) United States:** Baldwin 4-4-0, 1850, **h) Germany:** 2-2-0 used in Europe from 1850.

5. Bridges

On the first railways in Slovak territory, as elsewhere in the world, masonry (stone and brick) bridges and timber bridges dominated. Arch bridges built in 40s and 50s on horse railway Bratislava Trnava (at Báhoň and Šenkvice), Červený (Red) bridge on the line Marchegg-Bratislava-Štúrovo and several Smaller bridges had clear width of arch at most 20 m. Where this bridge structure was not suitable or possible due to foundation conditions, wide obstacles or low-lying level line of railway, timber bridges were built (Table 1). The largest timber bridges with a span of up to 40 m were the town lattice bridges and long and Howe bridge systems. For smaller spans, strut frame timber structures were used [10]. For small spans, simple timber beams were used. The largest timber bridge structures of this period were the Dudváh bridge on the horse-drawn railway in the Trnava-Sereď section (Long system) and the bridges over the Morava, Váh, Hron and Ipel rivers on the Marchegg-Bratislava-Štúrovo-Szob railway line (Howe system). Timber bridge structures were replaced by bridges made of wrought iron due to their lower durability, fire resistance and load-bearing capacity. The first cast iron beams were wide-footed rails attached to the rails in an inverted position. An improvement was to creating wrought iron strut frame by bending the rail into the shape of a fish belly. It was used for spans 1,5m and 1,8m till 70s. For spans up to 5 m, rolled or riveted I-profiles were used. Larger riveted I-sections were used up to beam spans of 18 m. The largest span bridges were built using wrought iron lattice girders and trusses reminiscent of the similar timber Town and Long bridge systems. The first such bridges were built in 1858 by Ruppert across the Ipel and Hron rivers on the railway line between Štúrovo and Szob instead of timber bridges. The material was always cast iron with a strength of 250 MPa-360 MPa and high toughness. In 1854, the Austrian Ministry of Commerce established the obligation to build bridges so that they could carry 4130 kg/m. More information about bridges and steam locomotives may be found in [11-14].

Table 1. Structural materials and structural bridge systems in 18th and 19th centuries [10]

<table>
<tr><th rowspan="2">Period</th><th colspan="4">Structural materials of bridges</th></tr>
<tr><th>Stone, brick, beton resist compression</th><th>Timber resists compression and tension</th><th>Cast iron resists compression</th><th>Wrought iron resists compression and tension</th></tr>
<tr><td>till 1780</td><td rowspan="3">Arch bridges</td><td>Beams, strut frames; hanging frames (king and queen posts)</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td>1780-1840</td><td>Arches; early forms of Town, Long, Howe, types of truss bridges</td><td>Arch bridges; beam bridges with short spans</td><td>Cable-stayed bridges from around 1800</td></tr>
<tr><td>1840-1860</td><td>Howe, Pratt, Warren and other types of truss bridges</td><td colspan="2">Various transitional forms, e.g. systems: Neville, Warren, Schifkorn, etc.; lattice and truss bridges</td></tr>
<tr><td>after 1860</td><td>Concrete bridges</td><td>Truss bridges</td><td>Not used</td><td>Truss bridges</td></tr>
</table>

Table 2. Standards and Methods for Design of Bridges in Slovak Territory [16].

Effective Date	Content	Standard, Regulation, Guide, Decree; Design Method: ASD or LSD
August 28, 1904	Bridges	New bridge regulation published by Austrian Ministry of Railways
September 15, 1918	Bridges	Amendment to regulation from June 15, 1911 about execution of structures of roadway bridges made of plain concrete
April 10, 1919	Bridges	Modified amendment version in the Czech language published by the Ministry of Public Works of the Czechoslovak Republic
1923	Bridges	Draft of Czechoslovak bridge regulation, V/1923, No. 21, No. 23
1929	Steel structures	ČSN 1051 "Design of steel structures"
1931	Bridges	ČSN 1090–1931 "Design of bridge structures," effective from 1936
1937	Bridges	ČSN 1230–1937 "Uniform bridge regulations Part I: Design of bridges"
September 15, 1945		Decree of the Ministry of Transport No. 128/4–II/7
June 1950	Steel structures	ČSN 05110–1949, "Design of steel structures," ASD
1950	Loading of structures	ČSN 1050–1950 "Loading of structures"
1951	Bridges	"Regulations for railway and roadway bridges Part I: Guideline for design of bridges"
May 1, 1953	Loading of bridges	ČSN 73 6202–1953 "Loading and analysis of bridges Parts I–V"
April 6, 1954		Directive of the Ministry of Civil Engineering
1960	Bridges	Guideline for designing of bridges, amendment
January 1, 1960	Prestressed concrete structures	Guideline for design of structures made of prestressed concrete
January 1, 1963	Basic requirements	ČSN 73 0031 "Analysis of civil engineering structures and foundations." Basic requirements
1964		Directive of the Ministry of Civil Engineering
July 1, 1967	Foundation soil	ČSN 73 1001 "Foundation of structures Foundation soil under flat foundations," LSD
1968		Decree of the Ministry of Transport
March 1, 1968	Loading of buildings	ČSN 73 0035 "Loading of building structures"
January 1, 1969	Steel structures	ČSN 73 1401 "Design of steel structures," LSD
July 1, 1969	Actions on bridges	ČSN 73 6203 "Actions on bridges," LSD
January 1, 1970	Concrete structures	ČSN 73 1201 "Design of concrete structures," LSD
January 1, 1970	Execution of steel bridges	ČSN 73 2603 "Execution of steel bridge structures"
April 1, 1970	Prestressed concrete structures	ČSN 73 1251 "Design of structures made of prestressed concrete," ASD
January 1, 1971	Timber structures	ČSN 73 1701 "Design of wood structures," LSD
January 1, 1972	Steel bridges	ČSN 73 6205 "Design of steel bridge structures," LSD
June 1, 1972	Concrete bridges	ČSN 73 6206 "Design of concrete and reinforced concrete bridge structures," ASD
July 1, 1976	Actions on bridges	ČSN 73 6203 "Actions on bridges," amendment a 4-5/1976
January 1, 1977	Bridge terminology	ČSN 73 6200 "Bridges: Terminology"

Conclusion

The paper presents results of several years of investigation in several archives, museums and long study of historical documents and publications [15]. It is written by team of experts in areas relating to both: bridge structures and steam locomotives, which were often used also for bridge testing. That is why necessary characteristics of very old horse-drawn trains and steam locomotives are provided too.

The article describes the very beginnings of railway transport, including horse-drawn railways, in the territory of Slovakia, which was then part of the Austro-Hungarian monarchy starting from the year 1836 [16]. The railway development is chronologically presented till 1896. The text is accompanied by the rare historical photographs and relevant maps having strong visual and archival value.

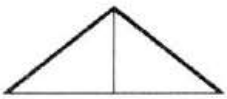
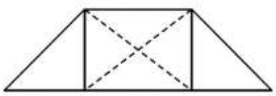
Rare European steam locomotives are shown in Figures 33 – 40 and historical steam locomotives on stamps are in Figures 41 – 50.

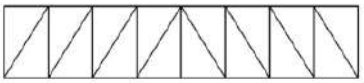
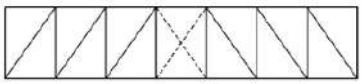
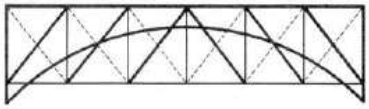
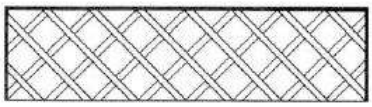
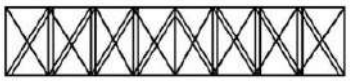
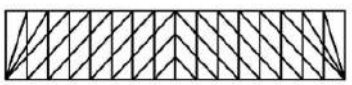
Table 1 is devoted to development of railway bridge systems from 1780 till 1900. Details are given Table A in Appendix A. Table A gives unknown data about bridge systems, patents and their authors from the past till 1900. More data about old steam locomotives may be found in the attached list of references. Table 2 presents Standards and Methods for Design of Bridges in the Slovak Territory.

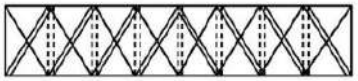
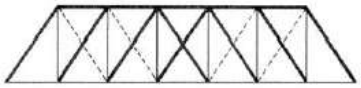
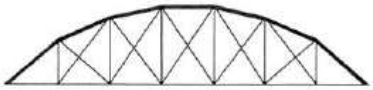
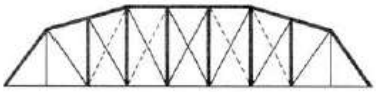
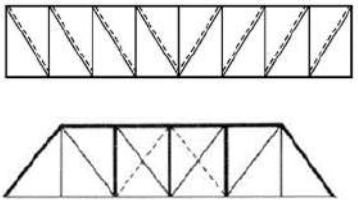
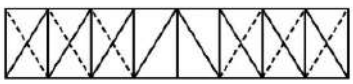
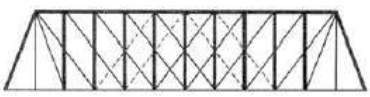
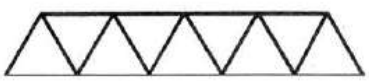
More information about railways in Czech and Slovak Republic may be found in [19-21].

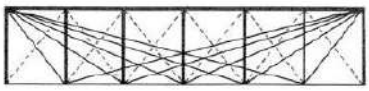
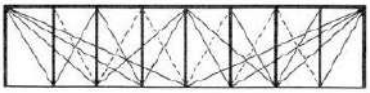
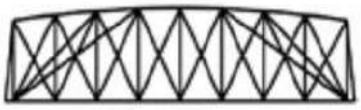
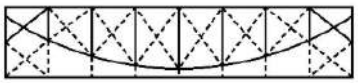
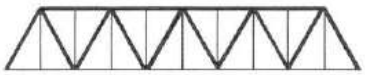
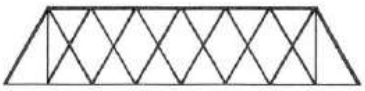
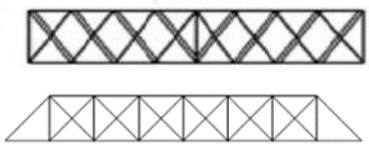
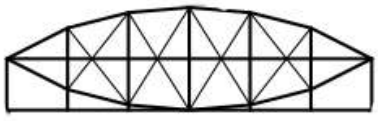
Appendix

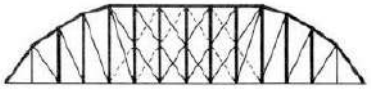
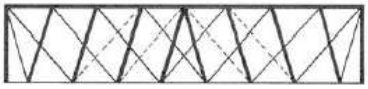
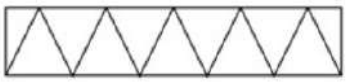
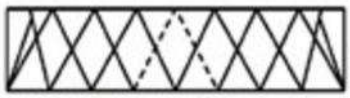
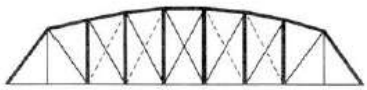
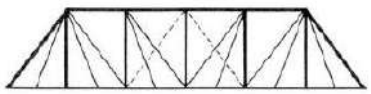
Table A: Structural bridge systems [10,15,16].

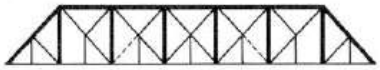
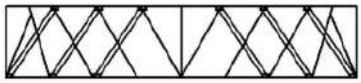
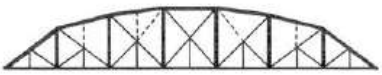
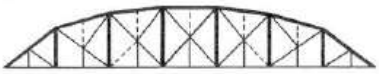
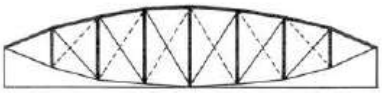
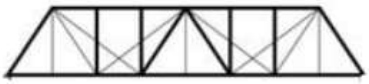
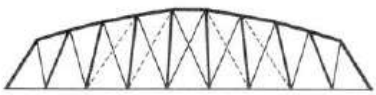
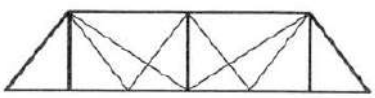
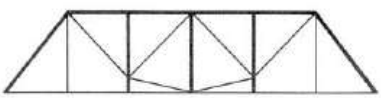
No.	System, author	Scheme	Description	Span [m]	Period
1	**King post**		Timber. The two diagonal timbers are braced on the ends of lower chord and function in compression, transmitting loads from the center of the bridge back to the abutments.	6 – 20	Dating to the Middle Ages
2	**Queen post**		Timber. The queenpost truss is often reinforced by placing diagonal timbers or rods in the open center panel (shown by the dashed lines)	7 – 40	Followed the kingpost chrono-logically and dates back at least to the Italian Re-naissance
3	**Hans Ulrich Grubenmann** (23.3.1709 – 24.1.1783)		The timber bridge at Schaffhausen over the Rhin. The first timber bridge to employ a true arch in its design.	two spans of 52 m and 59 m	1755

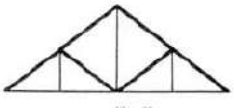
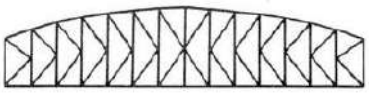
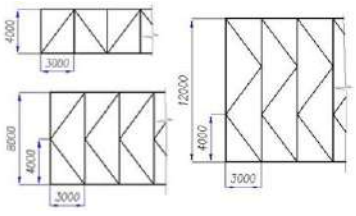
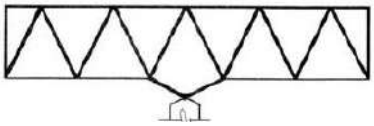
4	**Multiplied kingpost**		Kingpost in the center with several right angle panels on each side of the center. built with an even number of panels so that all the diagonals are in compression and all the verticals are in tension except at the ends.	10 - 40	
			With an odd number of panels, the center panel may be open or have crossed braces		
5	**Burr arch truss.** Theodore Burr (16.8.1771 – 22.11.1822)		Timber. Combination of a timber arch with a multiplied king post	10 – 70	1804 – late 19th century. Patented 3.4.1817
6	**Town lattice.** Ithiel Town (3.10.1784 – 13.6.1844)		Timber. A system with timber diagonals without verticals. Members take both compression and tension	8 – 60	1820 – late 19th century. Patented 28.1.1820. Another patent awarded on 3.4.1835
7	**Long.** Stephen Harriman Long (1784–1864)		The design resembles a Howe truss, but is entirely made of timber instead of a combination of timber and metal	16 – 70	Patented 6.3.1830. Variations patented 23.1.1836, 7.11.1839
8	**Paddleford.** Peter Paddleford (1785–1859)		Initially, Paddleford used the 1830 Long truss for his bridges, but soon developed his own design with long counterbraces extended over more than one panel, which helped distribute loads and increase the truss's rigidity.		Never patented
9	**Haupt.** Herman Haupt (1817–1905)		His concern that the bridges might not handle the heavy loads prompted him to begin modeling and testing designs which led to an "improved lattice truss."	20 – 30	Patented 27.12. 1839 The patent was for a horizontal chord truss with vertical posts and multiple-intersection diagonal

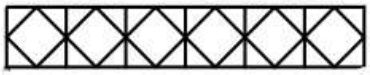
					braces, combined with a full-length kingpost truss.
10	**Howe.** William Howe (12.5.1803 – 19.9.1852)		Timber, verticals of metal. Diagonals in compression, verticals in tension. Two diagonal braces and one counterbrace in each panel and two vertical rods between, but the end panels often have three rods.	9 – 45	1840 – 20th century. Patented 3.8.1840
			A pair of diagonal braces in each panel angled towards the center of the bridge and two or more panel rods.		
11	**Bowstring arch – truss. Squire Whipple** (16.9.1804 – 15.3.1888)		A tied arch with diagonals serving as bracing annd the vertical s supporting the deck.	15-40	1840 – 19th century. Patented 24.4.1841
			Camelback. A Parker with the polygonal top chord of exactly five slopes.		
12	**Pratt.** Thomas Pratt (1812 – 1875) and Caleb Pratt		Diagonals in tension, verticals in compression, except for hip verticals adjacent to inclined end posts	9 – 75	1844 – 20th century. Patented 4.4.1844 by Thomas and Caleb Pratt
13	**Childs.** Horace Childs (1807–1900)		He conceived his own truss to correct "defects" in Long's design by substituting iron rods for his cousin's counterbraces. In his design, the diagonals are mortised to chords.		Patented 12.8.1846
14	**Double intersection Pratt**		An inclinedpost Pratt with diagonals accross to panels	21 – 90	1847 – 19th century
15	**Warren.** James Warren (1806–1908)		Triangular in outline, the diagonals carry both compression and tension. A „true" Warren truss has equilateral triangles	15 – 120	1848 – 20th century. Patented in 1848 by James Warren

					and Willou-ghby Theobald Monzoni
16	**Bollman.** Wendel Bollman (21.1.1814 – 1884)		Verticals in compression, diagonals in tension. Diagonals run from end postto every panel point.	23 – 30	1852 – mid-late 19th century. Patented 6.1.1852
17	**Fink.** Albert Fink (27.10.1827 – 3.4.1897)		Verticals in compression, diagonals in tension. Longest diagonal runs from end post to center panel points.	23 – 45	1854 – mid-late 19th century. Patented 9.5.1854
18	**McCallum.** Daniel Craig McCallum (1815–1878)		After conducting experiments on wood truss models, McCallum devised a new type of truss with an arched upper chord and prestressed counterbraces.		Received patents 15.7.1851 and 20.1.1857 for his "Inflexible Arch Truss."
19	**Suspension or Bowstring** David H. Morrison (1817–1882)		A rare example of a "rigid suspension truss bridge" in which all compression members are of wood and the main tension member is an inverted chain of iron eye bars.		
20	**Warren with verticals**		Diagonals carry both compression and tension. Verticals serve as bracing for triangular web system	15 – 120	mid 19th – 20th century
21	**Double intersection Warren**		Structure is indetermined. Members act in both compression and tension. Two triangular web systems are superimposed upon each other with or without verticals	23 – 120	mid 19th – 20th century
22	**Brown.** Josiah Brown Jr.		Used for covered bridges. Verticals are tension elements and may not be present	30 – 40	Patented 7.7.1857
23	**Pauli lenticular truss.** Friedrich Augustus von Pauli (6.5.1802 – 26. 6.1883)		A variant of the lenticular truss, "with the top chord carefully shaped so that it has a constant force along the entire length of the truss. Railroad bridge.	58 – 105	From 1853 to 1857, a bridge construc-tion developed

					by Pauli was used for the first time.
24	**Schwedler**. Johann Wilhelm Schwedler (23.6.1823 – 9.6.1894)		A double intersection Pratt positioned in center of a Parker	30 – 90	late 19th century. Patented ca. 1863
25	**Post.** Simeon S. Post (1805-1872)		A hybrid between the Warren and the double intersection Pratt	30 – 90	1865 – 19th century. Patented ca. 1865
26	**Smith.** Robert W. Smith (1834–1898)		Single web – this design resembles a series of inverted Vs. These structures were incorrectly identified as Warren trusses in previous editions.		Patented 16.7.1867 for a design with compres-sion members at 45 degrees and tension members at 65 degrees. Second bridge patent received in 1869
			Double web – there are two styles of the double web design. The second web was a copy of the first although the truss started at a different location within the pattern.		
27	**Parker.** Charles H. Parker (16.11.1814 – 3.3.1890)		A Pratt with polygonal top chord	12 – 75	mid-late 19th – 20th century. Patented 10.8.1869
28	**Kellog.** Charles H. Kellogg		A variation on the Pratt with additional diagonals running from upper chord panel points to the center of the lower chords.	23 – 30	late 19th century Patented 7.6.1870
29	**Baltimore (Petit)**		The Baltimore truss is a subclass of the Pratt truss. A Baltimore truss has additional bracing in the lower section of the truss to prevent buckling in the compression members and to control deflection. Pratt with sub-struts. Railroad truss.	75 – 180	1871 – early 20th century

			Pratt with sub-ties.		
30	**Partridge.** Reuben L. Partridge (September 2610.9.1823 – 17.7.1900)		Used for six historic timber covered bridges	30 - 45	Patented 11.6.1872 despite its similarities to a Smith patent.
31	**Pennsylvania (Petit)**		A variation on the Pratt truss. The Pratt truss includes braced diagonal members in all panels; the Pennsylvania truss adds to this design half-length struts or ties in the top, bottom, or both parts of the panels. Pratt with sub-struts.	75 – 180	1875 – early 20th century
			Pratt with sub-ties.		
32	**Lenticular (parabolic)**		Includes a lens-shape truss, with trusses between an upper chord functioning as an arch that curves up and then down to end points, and a lower chord (functioning as a suspension cable) that curves down and then up to meet at the same end points.	15 – 110	1878 – early 20th century
33	**Thacher.** Edwin Thacher (1840-1920)		Suspension truss. Multi-panel diagonals from top of end posts. Radiating diagonals from top of center post.		Patented 31.1.1881
34	**Pegram.** George Herndon Pegram (1855–1937)		Hybrid between the Warren and Parker trusses where the upper chords are all of equal length and the lower chords are longer than the corresponding upper chord.	45 – 195	1887 – early 20th century. Patented 24.3.1885
35	**Stearns.** William E. Stearns		Simplification of Fink truss with verticals omitted at alternative panels points.	15 – 60	1890 – early 20th century. Patented 21.1.1890
36	**Greiner.** John Edwin Greiner (24.2.1859 – 15.11.1942)		Pratt truss with the diagonals replaced by an inverted bowstring truss	23 – 75	1894 – early 20th century Patented 13.11.

					1894
36	**Waddell „A" truss.** Dr. John Alexander Low Waddell (15.1.1854 – 3.3.1938)		Its simplicity eases erection at the site. It was intended to be used as a railway bridge.	8 – 25	late 19th century – early 20th century. Patented 13.11. 1894.
37	**Vierendeel.** Arthur Vierendeel (10.4.1852 – 8.11.1940)		Unlike common pin-jointed trusses, imposes significant bending forces upon its members. It in turn allows the elimination of many diagonal elements. The members form rectangular openings, and is a frame with fixed joints that are capable of transferring and resisting bending moments. Used also for railway bridges	Span range: short to me-dium	The idea of a bridge without trusses came to him in 1895. In 1897 he built a 31.5m span bridge at his own expense and loaded to show the correla-tion between measure-ment and his numerical analysis
38	**K-truss**		The K-truss is named after the K formed in each panel by the vertical member and two oblique members. Used also for railway bridges	60 – 240	early 20th century
39	**Roth-Wagner.** Friedrich Roth (1878-1940). R. Ph. Waagner, L. and J. Birò and A. Kurz company		Roth-Waagner's temporary portable steel truss bridge, which could be assembled from pre-assembled individual components. One, two, three or multi-storey system. Used also for railway bridges	30 – 120	From 1900. Developed by the Austro-Hungarian company during the First World War.
40	**Wichert.** Edward Martin Wichert (1883–1955)		Continuous truss which is statically determinate and helps avoid some shortcomings of continuous trusses. The defining feature of this truss type is a hinged kite-shaped section above each	122 – 305	1932 – mid-late 20th century. Patented in 1930

			intermediate support.		
41	**Bailey.** Donald Coleman Bailey (15.9.1901 – 5.5.1985)		Bailey bridge is a type of portable, pre-fabricated, truss bridge. Also provisional railway bridge.	The longest length 788 m.	Developed in 1940–1941

Acknowledgements

Research project No.1/0155/23 was supported by Slovak Grant Agency VEGA.
We highly appreciate the help of Ing. Jiří Kubáček, CSc., former Head of Railway museum and former general director of the railway transport and railways section, Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic during writing [18].

References

[1] Kubáček J (2013) History of railways in Slovakia. ŽSR Bratislava.
[2] Maurenz J, Kubáček J, Golda B (2010) The history of railways in Slovakia and Subcarpathian Ruthenia in period postcards and photographs. Publisher Růžolící Chrochtík.
[3] https://www.zeleznicnemuzeum.sk/stranka/strucny-vyvoj-zeleznicnej-techniky-na-slovensku-parne-rusne/.
[4] (2025) Steam locomotives discussion archive until 29.04.2025. K-Report.
[5] Bek J (1978) Locomotive atlas, historical locomotives. Volume 1. NADAS.
[6] https://e.dennikn.sk/3154966/ako-vznikala-kosicko-bohuminska-zeleznica-z-vrutok-urobila-mesto-levoca-ju-nechcela-presov-skoncil-na-vedlajsej-kolaji.
[7] Šimko P (2011) Railways on old postcards. DAJAMA. Slovakia.
[8] Bek J (1979) Locomotive atlas-locomotives from 1860-1900. Volume 2. NADAS.
[9] https://de.wikipedia.org/wiki/KsOd_VIm.
[10] Baláž I (2003) History of record-breaking bridges. Eurostav 6: 12-16.
[11] Hlavatý R, Husák J (2013) Železničné mosty na Slovensku 1. ŽSR, Bratislava.
[12] Paulík P (2014) Bridges in Slovakia. JAGA Bratislava.
[13] Bek J (1980) Atlas lokomotiv, Lokomotivy let 1900-1918. Volume 3. NADAS.
[14] Bek J (1982) Atlas lokomotiv, Lokomotivy let 1945-1958. Volume 4. NADAS.
[15] Guise D (2009) Abstracts & chronology of American truss bridge patents, 1817-1900. Society for Industrial Archeology pp. 1-118.
[16] Baláž I (2014) Chapter 17: Bridge engineering in the Slovak Republic.In: Handbook of International Bridge Engineering, Editors: Chen, W.F. and Duan, L. CRC Press, Taylor & Francis. Boca Raton, FL. USA, pp: 747-821.
[17] Šimko P et al (2022) Košice - Bohumín Railway. The Big Book about the Steel Main Railway of Northern Slovakia. Žilina. Považské museum.
[18] Baláž I, Kubáček J and Koleková Y (2025) Beginnings of Railway Transport on Slovak Territory. COJ Technical & Scientific Research, COJ Tech Sci Res. 5(4). COJTS. 000620. 2025. DOI: 10.31031/COJTS.2025.05.000620. pp. 1-10.
[19] Bek J, Bek Z, Motyčka J Encyklopedie železnice - Parní lokomotivy ČSD, parts 1-5.
[20] Wagner J Encyklopedie železnice - Motorové lokomotivy ČSD, parts 1 and 2.
[21] Černý K, Jeschke R et al Historické železnice in different Czech areas, several parts.

BRIDGES AS ANCIENT CULTURAL SEMANTICS

Nikolay Tuleshkov*

Abstract: Bridge building is among the most ancient material cultural achievements of mankind. Inherent since ancient times to the population in all civilized geographical territories of the Earth, it has naturally left numerous archaeological traces and preserved specimens that have been the subject of research for centuries.
But bridges have excited people's consciousness, not only as paths for crossing dangerous waters, or as utilitarian constructions and aesthetics of architectural forms, but also as ideological messages carrying ancient legends and beliefs through time, and the subconscious feeling they bridge peculiar spiritual shores, the other side of which hides something new and unknown. It is no coincidence that the term bridge is used in human vocabulary to denote things quite far-removed from the shaping of forms in the material world.
Concerning the two essences of bridges – physical and spiritual – hundreds of thousands of purely scientific and popular-science pages have been inscribed in all human written languages. Bridges have been studied as structures, architectural images, mythology, semantics. They have been studied archeologically, architecturally, historically (art), from engineering points of view, ethnographically, mathematically and from all imaginable non-scientific aspects. Bridges have been entered into knowledge through bright, memorable artistic images, by means of visual arts and literary forms.

Historical visual manifestations from the fields of the above-mentioned issues are semantically examined herein, in their importance on the material and spiritual plains, from the territories of the Mediterranean world to other lands and peoples of Europe, North Africa and West Asia gravitating around it.

Key words*: History of Medieval European architecture, bridge preservation, old bridges, medieval bridges, ancient bridges, historical stone sculpture, ethnography*

Since ancient times, the overcoming of water obstacles has been considered, due to its hidden dangers, a sacrament related to religious beliefs about the urgent need for the help of divine forces against the forces of evil. River crossings were perceived by people not only as material goods, but also as possible portals to the afterlife, and therefore they performed certain rituals to ensure their survival. These beliefs have been held by all human cultures in the past. In addition, this sacral attitude and related rituals towards the places of passage through water bodies have been characteristic of the Bulgarians since ancient times. In the collection of Gregory the Theologian, compiled from a Bulgarian original from the 9th-10th century, it is noted: "*One calls the river a goddess*", and further follows a story about the pagan ritual remains in the already Christian Bulgaria[1]. About the deification of the waters

* Arch. Nikolay Tuleshkov, Academician, PhD/Prof. The Bulgarian Academy of Sciences and Arts (BASA)

1. The Bulgarian Kingdoms and People Throughout Mediaeval Times. Book II, Sofia, 2004, p. 41.

by another Iranian people - the Persians, Herodotus also writes, pointing out that in order to appease them, they offered sacrifices "*to the water as well*". But also, according to ancients beliefs of the Hellenic world, every river (even the smallest) had its own god (usually a nymph), who was often depicted as a man with a bull's head or directly as a bull. It is not by chance that the anthropomorphic images of a lion and a bull were placed in front of the entrance of the Bucoleon imperial palace (beginning of the 5th century) on the very bank of the Golden Horn in Constantinople as protective symbols against enemies and water elements. The ruins of a number of ancient nymphaeums, dedicated to the deities of springs and rivers, have been preserved. On the Balkan Peninsula, for example, the nymphaeums in Butrint have partially survived (Albania) or the ones near the village of Kasnakovo, Haskovo, in Bulgaria. On the arch over the spring of the latter is written: "*Good afternoon! Titus Flavius Beitucent Esbenerios and his wife Claudia Montana made and dedicated the fountain to the nymphs and Aphrodite.*"





Nymphaeum (II - III century) near the village of Kusnakovo, Dimitrovgradsko, Bulgaria. Archaeological condition and the water source with commemorative inscription

A very interesting Roman artefact was discovered at the ford across the Durance River near the French village of Noves (Roman: Oppidum) in Provence. It is a sculptural representation of the monstrous river god, today called Tarasque de Noves, which in French culture is associated with the legend of a water dragon tamed by St. Martha. The image is of a beast with six limbs, carrying human heads in two of its paws. There are traces of carmine paint on the teeth and nails. The Gallic culture of the period around 52 BC and the end of the century apparently required the offering of gifts. These beliefs, even in ancient times, were carried over from the fords and onto the bridges as places also for crossing over water, although the latter guaranteed to a much greater extent protection. But the power of the water element could always destroy them, along with those passing by. It is no coincidence that one of the reliefs on Trajan's Column depicts the god Neptune benevolently watching the Roman cohorts crossing a pontoon bridge. Making sense of all this, Davis Owen will point out that "*the bridge served not only as a practical crossing point of physical passage, but also as a spiritual point of access*".[2] And it is naturally connected with the belief that there one feels the greatest need of protection from the supernatural, which seeks to possess and destroy them, transferring their being to the afterlife. Even in the ancient world, oracles were sought for predictions of safe crossing of rivers. According to Herodotus, because of such

2. Davies, Owen. The Haunted: A Social History of Ghosts, 2007.







Gallo-Roman River god (c. 52 BC - c. 1st century BC) from the ford near the village of Noves, Provence, France

Image of the god Eurymedon on the bridge over the flowing into Eurymedon Aksu creek built in front of the Zindan rock sanctuary next to the ancient city of Timbrias, today in the province of Isparta, Turkey

Relief from Trajan's Column (113) in Rome, Italy. According to Frochner

an unfavourable prediction, the king of Sparta, Cleomenes, marching towards Argos, having reached the river Crassinos, "*offered a sacrifice to it*", but still, unconditionally believing the oracle, did not cross it, but turned back with his army. From these trusts derive a number of actions ensuring the protection of the bridge and hence the safety of those crossing it. From ancient texts we learn about religious rituals related to the protection of bridges from the passage of evil forces, including, of course, military ones. An ancient example is the Ponte Sublicus over the river Tiber, near Rome, which was built, because of ritualistic belief in an oracle's prediction, entirely of wood and with wooden fastening elements, and the city priests took care of it directly as a gateway to Rome.

In the last ruling of the Roman king, the Sabine Numa Pompilius (717–673/672 BC), the priests were assigned the task of repairing and rebuilding the bridge, and therefore they received the title Pontifices (bridge builders). Dionysius explains how "*if any part of it gives*





The Hittite capital of Hattusha (now Bogazkale, Asia Minor Turkey). Protective images of warriors from the Royal Gate (XIII - XII century BC)

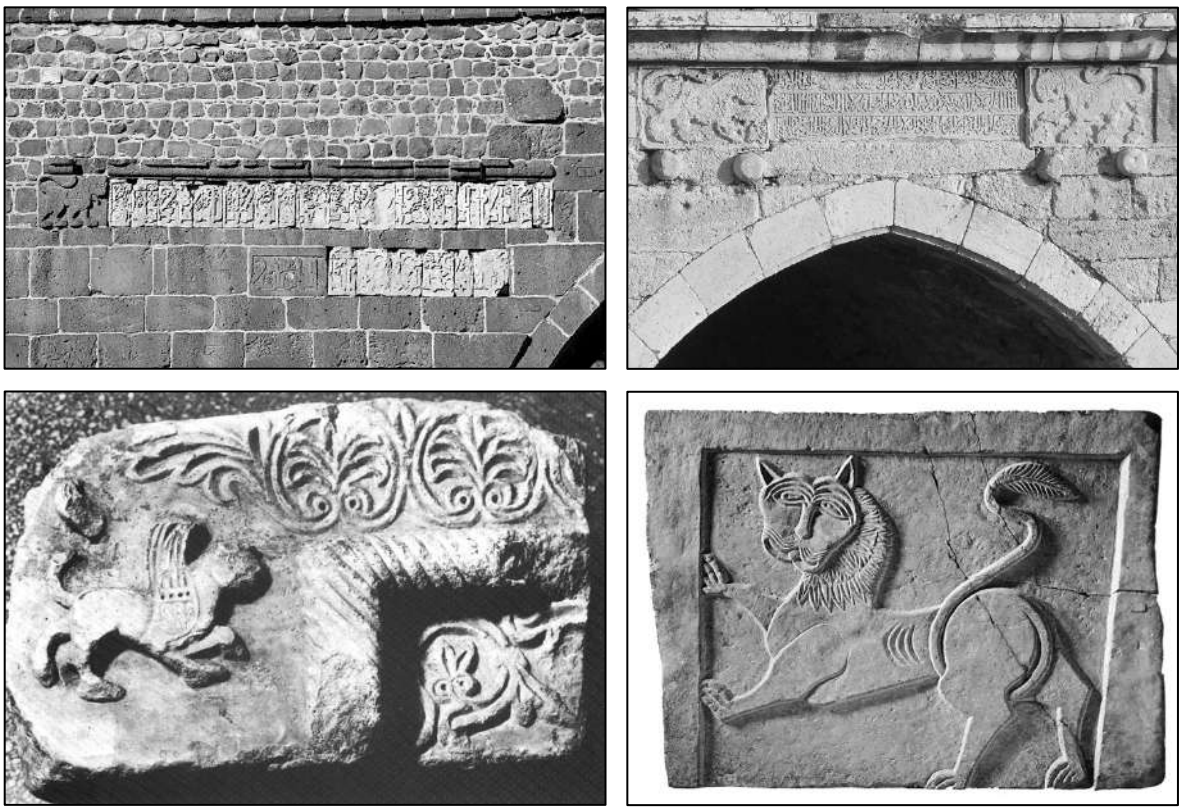
Horseman with Mace from Ain Diwar Bridge over the Tigris River (Dijla) between Al-Malkiyah, Syria and Cizre, Asia Minor Turkey. Seljuk bridge from the end of the 12th - beginning of the 13th century, on Roman construction from the 2nd century

Relief depicting a duel from Malabadi Kyopryusu (1146/7 – 1153/4) to the city of Silvan, Asia Minor Turkey. Master Abuʾl-Khair bin al-Hakīm al-Fāsūl

way, the pontiffs come (with masters) to it and perform certain traditional sacrifices while it is being repaired..." In his "*Roman Antiquities*" Dionysius of Halicarnassus will add that during the ritual, the priests "*threw from the sacred bridge into the stream of the Tiber thirty images resembling the people we call Argei...*", which is a ritual, substituting the human sacrifice. Varro specifies that the images were made of reeds and were 27 - a number equal to the Roman altars around the city (called argei), i.e. all the city deities were called upon to guard the bridge. So it is no accident that according to Livy, "*the Romans considered the destruction of the wooden bridge not only illegal, but sacrilegious.*" The construction entirely of wooden beams connected only with nails is "*in accordance to certain oracles saying the whole bridge should contain no iron*," adds Plutarch. All this is also explained in Pliny the Elder's "*Encyclopaedia*". In connection with these beliefs about the need for special protective actions, for example, is the depiction on the bridges of protective types associated with the relevant religious norm of a given nation. For the Eastern Balkans, and to a certain extent especially for the Bulgarians, these are the pagan and post-pagan guardian snakes, lions, lamias and dragons, heroes brandishing weapons or defeating hand-to-hand enemies or beasts of prey – ie. evil forces, mythical sphinxes, griffins and various other mystical winged creatures, subsequently the same role was fulfilled by Christian crosses and anthropomorphic images - fish, deer, etc. And all this has been here since ancient times. For example, Herodotus reports how "*the Athenians tell that in the sanctuary of the Acropolis there lived a great snake that guarded it...*", and the sacred temple hill dates back to the Mycenaean era (II millennium BC).

Some of these types, in addition to being found on several ancient buildings from Mesopotamia and other Asia Minor ancient cultures, are also described in early, pre-Byzantine texts. In "*Physiologist*", which is of archaic origin, but is also present in medieval transcripts and interpretations, including in the Bulgarian "*Hexaemeron*" of Exarch John (~893), it is stated that even "*when the lion sleeps, its eyes are awake*", which characterizes its "*protective-anthropeic meaning*", as rightly pointed out by Iva Ljubenova[3] Later in her book, she outlined the thesis that

3. [3]*Lyubenova, I. The Ancient Bridges of Bulgaria, Sofia, 1984, p. 127.
4. Same as 3..., p-p. 126–130.



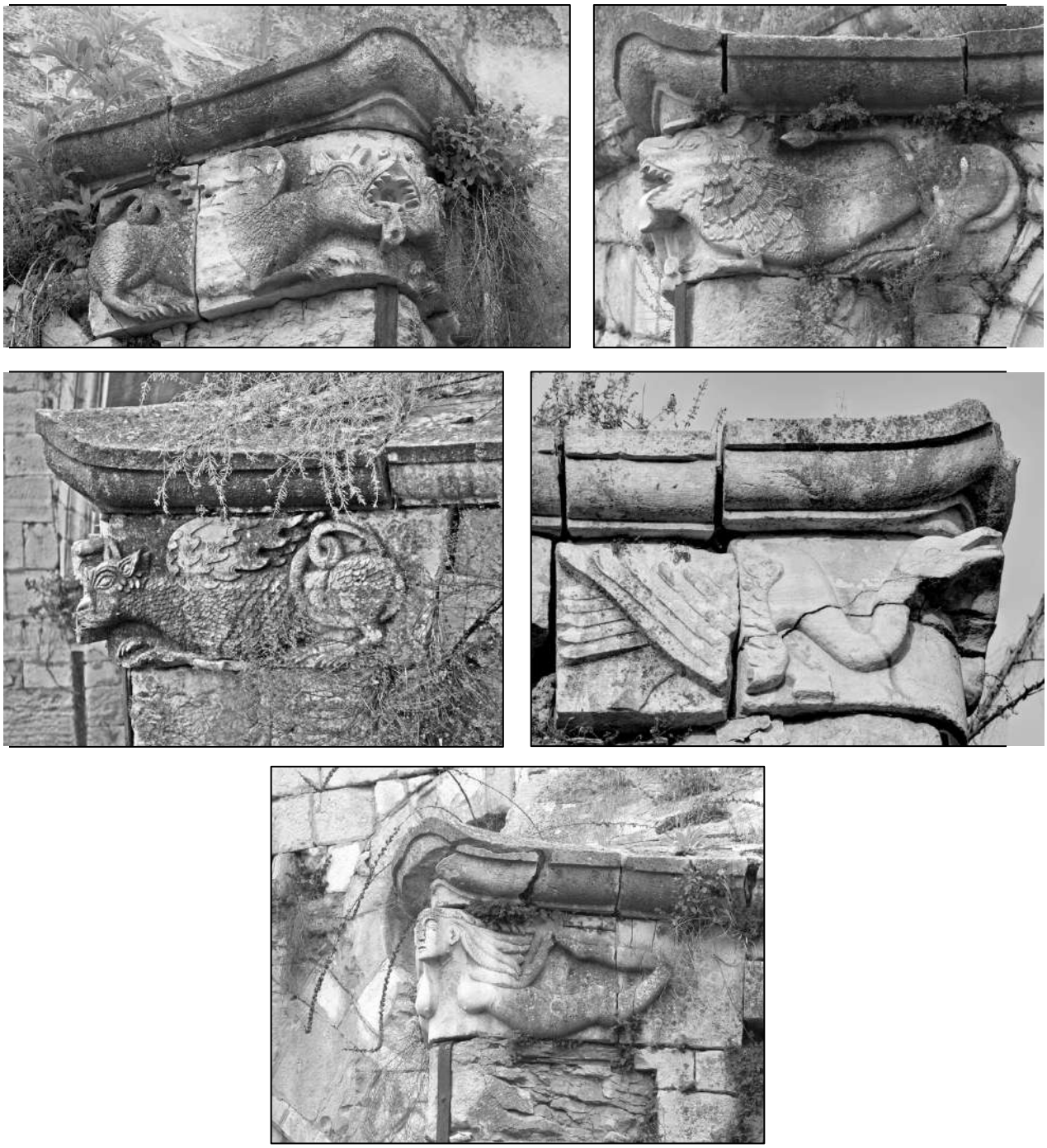
Lion relief from Gözlü Küprüsu (1064/5), above the Tigris (Dijle) River, near Diyarbakır, Asia Minor Turkey. Master Santsaroglu Ubeidoglu Yusuf

Lion reliefs from the Mamluk Jier Jinda Bridge (1273/4) over the Ayalon River on the road to Jerusalem from Tel Aviv, Israel. Master Alae-Din a-Suk

Preslav. The Palace Ensemble. Stone upper threshold of a portal, with an anthropomorphic image of a winged lion in relief (10th century), Bulgaria

Stara Zagora. Stone-plaster decoration with the image of a lion from a temple in the "Ayazmoto" area (8th - 10th century), Bulgaria

Nikola Fichev recreated a whole pantheon of anthropomorphic images on the abutments of the Belene bridge[4]. He also placed them on the abutments of the Covered Bridge in Lovech, but unfortunately, they have not survived. In fact, it is a gallery of popular beliefs in the protective forces of numerous real or mythical images, but on both bridges, there is the image of a lion as the main protective type. But this anthropomorphic image is often found even in the architecture of the First Bulgarian Kingdom, for example in the capitals Pliska and Preslav, Stara Zagora and other places. The appearance of elephants as protective types in the Seljuk bridge-building practice is very interesting. This is a new image for Asia Minor of undoubted eastern origin. It first appeared in India in the 7th–8th centuries in temple architectural decoration, but the best achievements were from the 9th to the 13th centuries, marked by the grandeur and magnificence of Khmer (Angkor) art. In Hinduism, including its Khmer denomination, the elephant is part of the essence of the highly revered deity Ganesha (Ganapati), embodying wisdom and prosperity. Another Buddhist god worshiped as a white three-headed elephant is Ervan, on which Indra, the lord of thunder and war, rode. And Buddha himself is believed to have arrived on a white elephant, and therefore the elephant was believed to be one of his incarnations. Therefore, in the Middle Ages in the Khmer Empire, the elephant began to be used as a sign of rulership. In

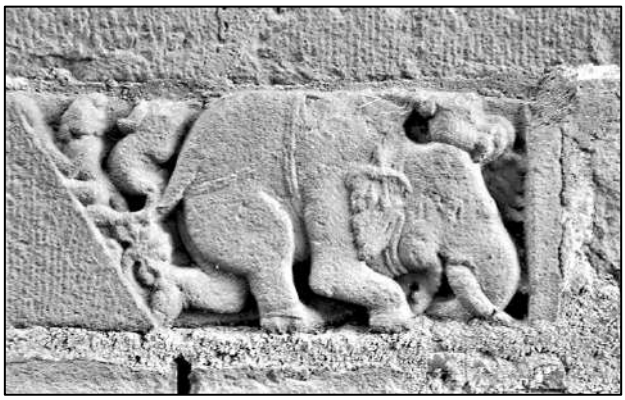


Protective images on the breakwaters of the bridge over the Yantra River near the town of Byala (1865 - 1867). Architect Nikola Fichev from Dryanovo, Tarnovo, Bulgaria

Buddhism, it is believed that as a talisman, Ganesha removes all dangers and obstacles, and the elephant symbolizes protective power and strength to withstand all kinds of elements and calamities. All this explains the meaning of his image - to preserve the steadfastness of the construction, resisting all dangers from natural and other disasters through his divine power.
The appearance of stone relief images of elephants on some Seljuk buildings is undoubtedly related to the activity of Buddhist stonemasons who appeared in Asia Minor perhaps as early as the time when, in the eleventh century, the eastern border of the Seljuk Empire reached the Hindu Kush. But it is also possible that this is a later infiltration of ideas, with the masters brought here as slaves captured in invasions of the East, even from other peoples (most likely the Mongols), then sold to Seljuk slave traders. In any case, throughout Anatolia, elephants are depicted as

stone carvings on buildings from the time of the early Ottoman state as well. One of the oldest images of an elephant is preserved on the ruins of the great Pisyar Kyopryusyu above the Garzan River, a tributary of the Tigris, near the city of Kozluk. Today, one of the two reliefs has survived. An Arabic inscription has also been preserved, indicating the year of construction – 1237/8 (634 according to Hajri). Other buildings dating from approximately the same time also contain images of elephants, for example the Inje (Karatai) Minar Madrasa (1251/2) in Konya or the Karatai Khan (1235/6–1240/1) on the Kayseri–Malatia road. The general plan and architectonics of the minaret of the madrasah are unmistakably Central Asian. Both the bridge and the other two buildings were built during the time of the Grand Vizier, the Islamized Greek Emir Celaleddin Karatay (Atabey Emir Celaleddin Karatay, 1214–1254).





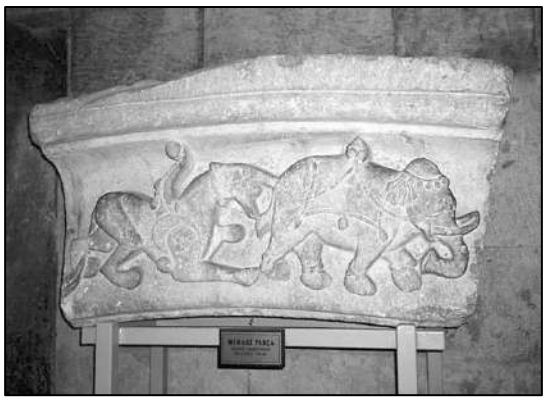
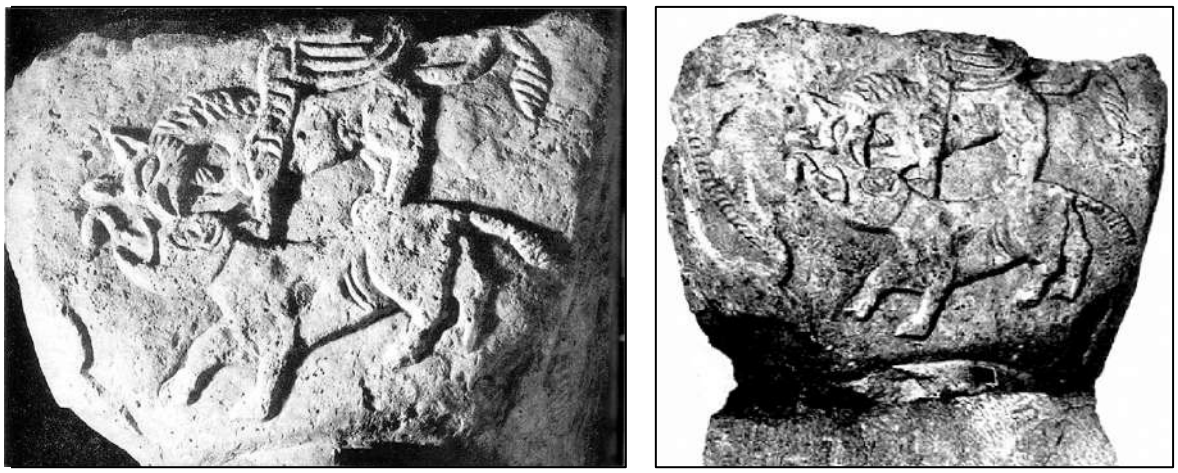


Image of an Elephant from Pisyar Köprüsü (1237/8) over the Garzan River near the city of Kozluk, Asia Minor Turkey, according to Rami Koneh

West Bengal, India. Image of an elephant from the old bridge (Sultan period) at the Adina Mosque from the Pandua archaeological site

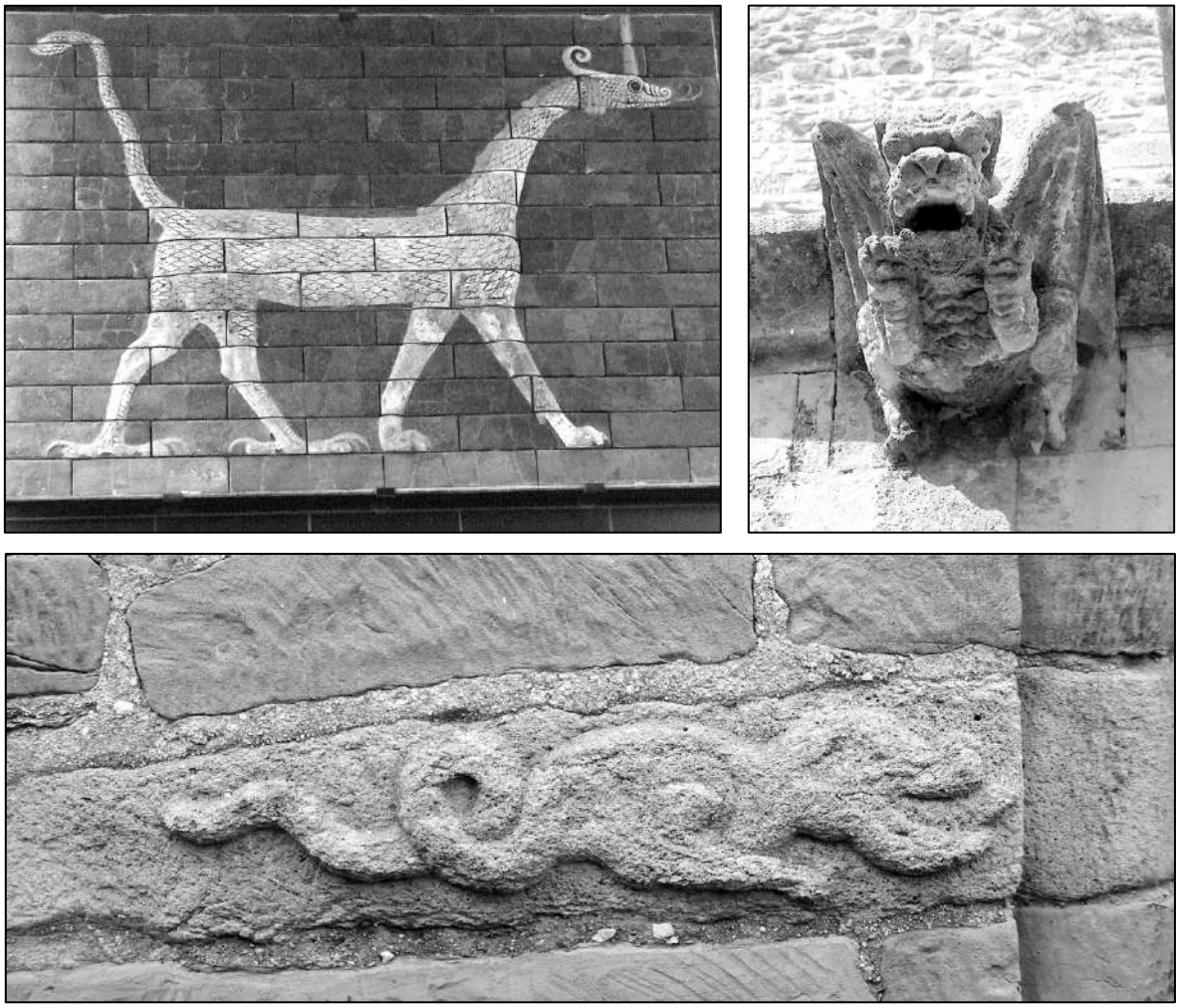
Fragment of an arch (XII-XIII century) depicting a battle between an elephant and a winged lion from Konia. Minar Museum, Asia Minor Turkey

The appearance and development of some of the mythological types, through which their very early anthropic design is revealed - for example, the dragons (dragons, lamias), whose initial image is related to the primordial chaos and the threatening chthonicity of their presence, and later also identified with the water elements have been thoroughly studied. Therefore, many of the images mentioned above can be found as protective signs placed even on pre-ancient city gates and other important buildings from Asia Minor, Egypt, the Minoan and Mycenaean cultures, and also in other lands of the Mediterranean. It can even be argued that most of them are converted through the millennia in a Pan-Mediterranean anthropeic pantheon and later appeared also among the peoples of the interior of the continents. They were used, for example, as elements and for the ritually meaningful layout of portals and other architectural details and for amulets of the proto-Bulgarians from the North Caucasus and Pre-Caucasus before the 7th century, in Volga Bulgaria and in Danube Bulgaria since the time of the First Kingdom (681–1018), and then throughout all the centuries until the end of the 19th, even in some places until the beginning of the 20th century. We also find them in the late architectural decoration of the Caucasian peoples, including those related to the proto-Bulgarians. For the Armenians, they are the same both in their Caucasian territories and mostly in Asia Minor Cilician Armenia, probably due to influence from Mesopotamian cultures. Perhaps mainly through the Bulgarians and the Caucasians, they will spread among the Slavs. They will be perceived as an anthropic architectural decoration by the Armenian builders and by the Seljuks in the 11th-12th centuries. As a protective type dragons were used throughout Western Europe during the Middle Ages, and in certain places even later. A finely crafted stone sculpture of a dragon is on the railing of the largest bridge over the Rhone in the town of Pont Saint Esprit (Bridge of the Holy Spirit) in the Garde department in southern France, built under the direction of the Hospitaller of the monastic branch of the Bridge masters (Pontifex) Jean Tensanges (or Tianges) between 1265 and 1309.



Capitals with images of battles, a griffin, a wolf and a snake with an elephant, from Preslav and of a griffin, a snake and an elephant from the area between Stara Zagora and Novi Pazar. First Bulgarian Kingdom (IX - X century)

But during the European Middle Ages, the images of dragons will undergo artistic transformations, where, especially during the Romanesque and Gothic periods, they will begin to be used as protective types not only in variations of their ancient incarnations, but even directly in the form of devils. And if in France, for example, on the bridge over the Rhone in the city of the same name, Pont Saint-Esprit de Avignon (1265–1309), the guard image is the traditional threateningly attacking dragon, then on the bridge tower in the centre of the Pont Valentre over the Lot river in Cahors (1308–1378) is also installed a voluminous



Dragon image from the Gate of Ishtar (575 BC) from Babylon

Dragon from the Pont Saint Esprit (Bridge of the Holy Spirit, 1265 – 1309), over the Rhone River, southern France. Pontifex Jean Tensanges, Hospitaller Monk

Image of a dragon from the church "St. Nicholas" (1842), Dupnitsa. Ustabashi Milenko Velev from the village of Blateshnitsa, Radomir region, Bulgaria

sculptural image of a devil, who from above no less fearfully looks down on passers-by and the river. On one of the coastal arches of the Ponte dell' Capello over the river Brembana to Alemeno (St. Lemine) in the river valley, the guard type is only a devil's head relief. On the facades of some bridges from Asia Minor and the Balkan Peninsula, there is also a pentagram placed, the pictorial origin of which has so far been established in Mesopotamia as early as the 4th millennium BC, and in Egypt, as it is understood, it signified the sky. Its depiction as a protective sign is widely practiced. Even in Babylon, they put it on the doors of all shops, and with such a purpose it will be applied throughout the Middle Ages all over Europe, in connection with the "*protection*" of homes. This sign in the biblical world, through its identification with the "*Pentateuch*", already refers to God's plan, his power to "*open a path to True Life*"[5]. Therefore, for example, in Israel and Palestine, architectural fragments of

5. A pentagram is, for example, depicted on The Devil's Bridge (1515) in the Rhodope mountains, and Uzunkyopryu (1451) near the former Bulgarian village of the same name, in present-day Thrace.

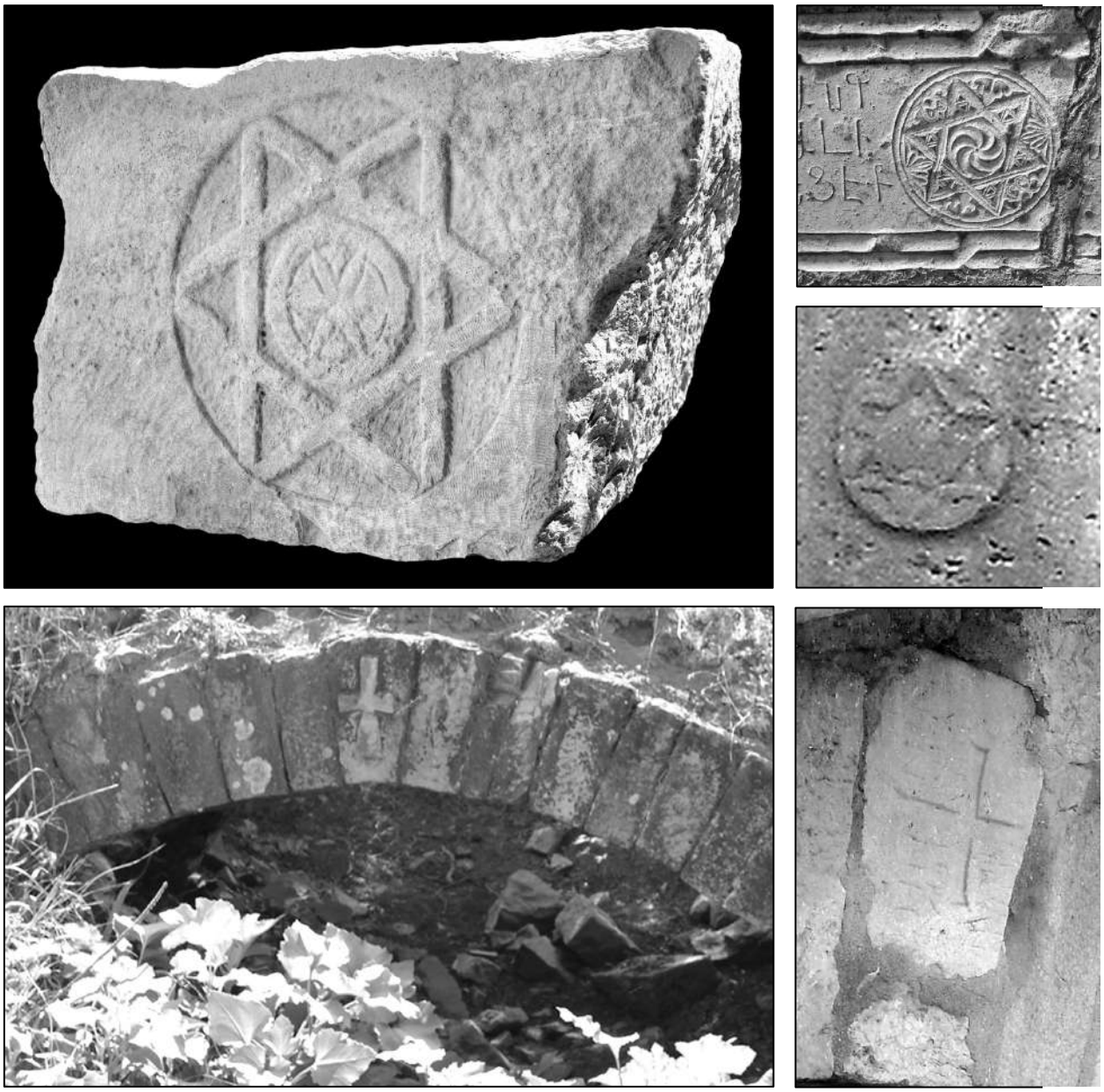


Image of a devil's head from the Ponte dell'Capello over the river Brembana near Alimeno (St. Lemine), Italy

The devil sculpture from the bridge tower on the centre of Pont Velentre (1308 – 1378) above the river Lot in the city of Cahors, France

portals "*protected*" by its stonework depiction have been archaeologically excavated. Undoubtedly, the pentagram on the later, already Christian buildings has the same as the original sacral meaning, conveyed by its inclusion by Constantine I the Great in the symbols of Christianity, who believed that thanks to it he discovered the Truth and accepted the Faith in his soul. Symbolically, it will be associated with the five wounds of Jesus Christ. Combined with some other images, we find it, perhaps initially as an expression of crypto-Christianity, also on buildings from the old Bulgarian capitals Pliska and Preslav (from the 8th to 10th centuries), as well as throughout the rest of the Bulgarian lands. And in Armenia it is carved along with a spiral solar rosette inscribed in it on the tombstone of the Grand Duke Hassan Jalalyan Vakhtangian (1214–1261) at the Mashtot Khairapet temple in Garni, which makes this connection between it and the heavenly a supreme common guard sign. In fact, in the Armenian lands during the Middle Ages, it was a common protective sign since the time of the construction of the Etchmiadzin temple in 303. The so-called Star of David (Hexagram) also acquires a strong protective significance. Its origin is associated with the Jewish king David, but under Solomon it was formed as a religious and protective symbol and is therefore also known as the "*Seal of Solomon*". According to legend, it is believed that since their creation by Solomon and the architect of his temple - the Assyrian Hiram, Freemasons will accept it as one of the signs of their idea. It will also be perceived by the Pythagoreans as their sign, the bearer of many mystical properties, the most important of which is the protection of man from evil spirits and magic. In antiquity, however, it is rarely found depicted on stone and metal, and mainly after the 2nd-3rd centuries.

The crosses that we find carved on quite a few, mostly Byzantine bridges since the early Middle Ages, are also depicted as protective signs, and those conceived as warding off evil from the place of passage, but now directly relying on the divine power of Jesus Christ. In some cases, however, we find them in combination with pagan beastly guardian types. For Byzantium, these are most often snakes and lions. Crosses were depicted throughout the following centuries until the end of the 19th century and on the Bulgarian lands - for example, on the keystones of the small pre-Ottoman single-arched bridges to Merichleri (V-



A hexagram square combined with a six-ray solar rosette, discovered next to the Adam Bridge (Jamiyeh), in the village of Tell-es-Samadi, between Jericho and Adam, Israel

Hexagram (Star of David) on the tombstone of Grand Duke Hasan Jalalyan Vakhtangian (1214 – 1261), from Mashtots Khairapet Church in Gandzasar, Armenia

Hexagram from the first large Ottoman bridge - Uzunköprü (1426 - 1443), over the Ergene river, near the former Bulgarian village of the same name in White Sea Thrace, now a city in Turkey. Mimar Muslihiddin

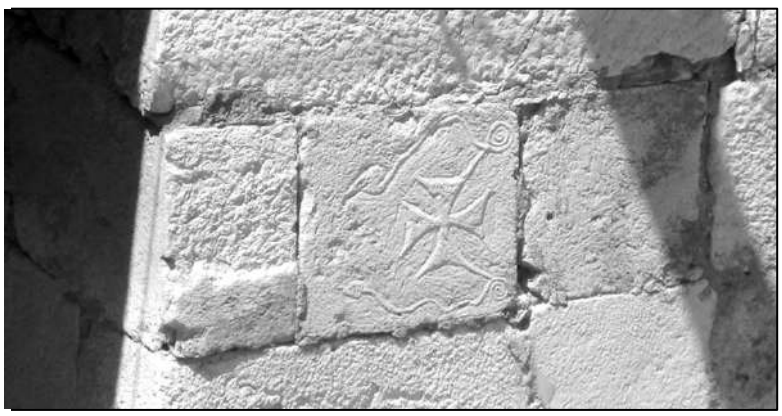
Cross from a medieval bridge between the villages of Stalevo and Yablkovo, Haskovo, from the route of the Via Militaris, Bulgaria

Cross from the central arch (width 5.55 m). on a triarch Byzantine bridge (Kemer Köprüsu), over the Charshamba River, in Bozkir, Konya, Asia MinorTurkey

VI and IX-X centuries) and to the village of Yablkovo (XIII-XIV centuries), Haskovo, from the route of the former Via Militaris (the Ottoman Tsarigradsky road), as well as on the large arch from Papaz Kyopryusu (XVII-XVIII century) to the Rhodope Bulgar-Mohammedan village of Stamatsko, Xanti (now in Greece), large crosses are carved. The Christian idea of providing protection for bridges and those crossing them found a completely new form in the V-IV centuries, further developed according to the time of the monastic building orders and in the construction of chapels. Often they are located on the coast or on nearby islands, at the ends of bridges, sometimes on many large buildings, for example at the Münsterbrüche (Münsterbrüche, XIII century) in Zurich, at Catterick Bridge in North Yorkshire (1222–1225) , at the neighboring Chantry Bridge (1342–1356), etc. Most of them however, are positioned on one of the supports. They are solved architecturally usually as stepping on or attached to one of them with different volumes, but also as built into the housings, under the roadway. This is, for example, the case with the Gothic chapel "St. Thomas' of old London Bridge.





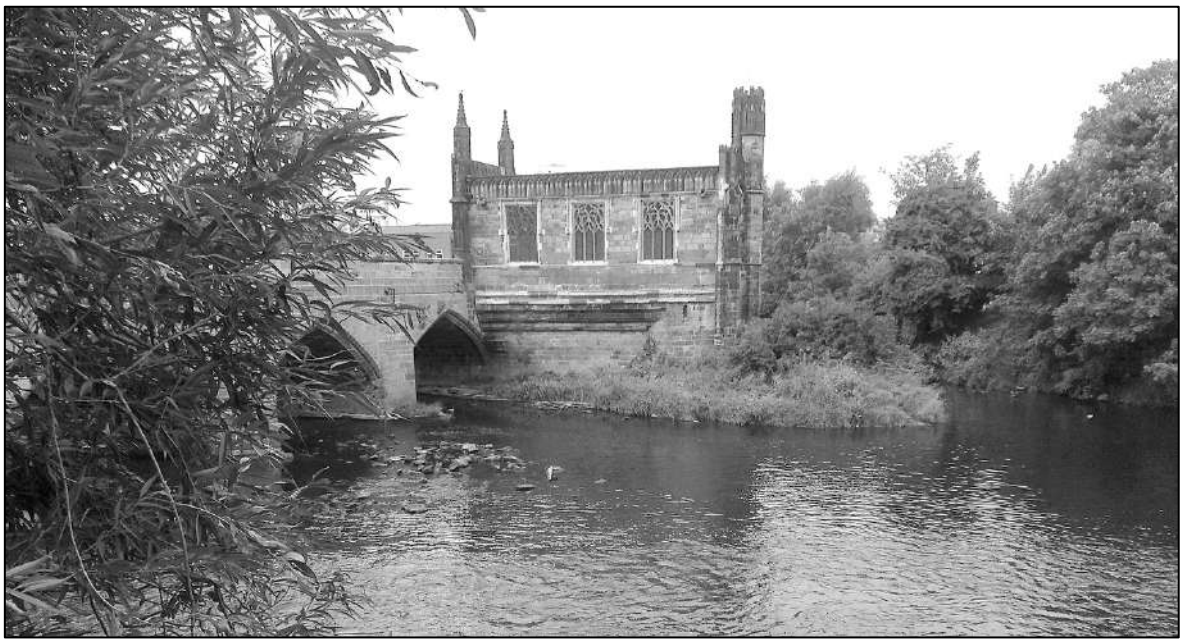




Stone bridge with guardian crosses and six-ray rosettes to the monastery of St. Antony of Gozhaia in the Kadisha Valley, Lebanon. French engraving from 1848

Crosses with rosettes and snakes from the abutments of a Byzantine stone-wooden bridge stepping on a Roman stone multi-arch bridge. Amazia, Asia Minor Turkey

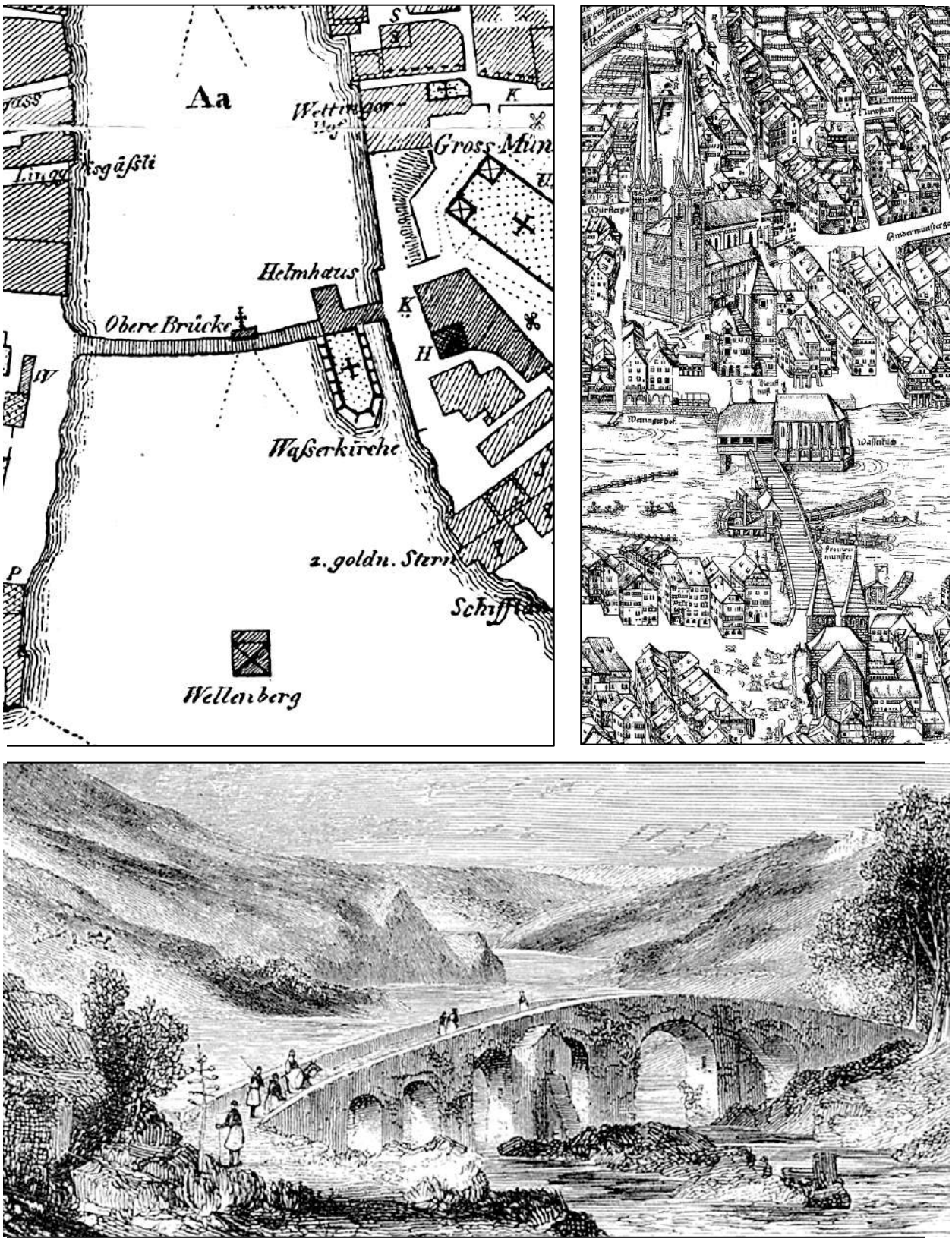
Cross from the "Popski Bridge" (17th - 18th century) near the Rhodope Bulgarian-Mohammedan village of Brestene (also Orayovo and Yasoren, now Oreo, Greece). It is located next to a medieval fortress



Chantry Bridge Chapel over the River Calder (1342 – 1356) at Wakefeld, North Yorkshire, England

The most large-scale construction of such chapels unfolded in England and France in the 12th-15th century, but such, although very rarely, were created in the Middle Ages also in Byzantium. The beginning seems to have been laid by the French monastic orders of the pontiffs. The most extensive of the early constructions is on the Pont Saint-Benezit in Avignon. In rare cases in the Byzantine Empire, state signs were also placed on bridges, perhaps when their construction was carried out directly by imperial order. Thus, on the arch of a bridge near Silivria in the 19th century, according to descriptions of Western European travellers, a plaster image of the imperial double-headed eagle is still visible, dating at the earliest to the time of Justinian I the Great (527–565), who will soon introduce this ancient Asia Minor sign as imperial. However, it is not known to me as depicted on preserved bridges built in his time. Moreover, afterwards it seems even to have entirely disappeared from use in its importance as a guardian placed on buildings, and it may therefore be regarded as more probable that this bridge was the work of an emperor of the Palaeologus dynasty (1261–1453), when the symbol at the end of the Comnenian reign came back into dynastic use. And this takes us to the 13th–14th centuries, and to the time before the 60s of the 14th centuries, when as a result of the Ottoman invasion of Europe, public and religious construction died out, with the exception of the partial fortress. Throughout the Byzantine Middle Ages, however, this image would be used frequently in the production of gold-woven fabrics for the needs of the Basileuses and the high aristocracy of the Empire, and it is believed that it was through this production that the double-headed eagles would also appear in the West, after the capture of Constantinople by the Crusaders. The first of the new holders of the protective mark for Western Europe will be the rulers of the Flemish dynasty. During the time of the First, but especially the Second Bulgarian kingdom, the double-headed eagle was widely used not only as a royal coat of arms, but also as a coat of arms of some high-ranking Bulgarian aristocrats. Therefore, we find it depicted on stone slabs and even voluminous sculptures of palaces, churches and other constructions, but so far it has not been found on the remains of a bridge.

As a royal coat of arms, it also appeared in Russia, which began to define itself as the successor of the Byzantine Empire. Later, they put this sign on the Borodino Bridge (1911–1912) in Moscow. Also of ancient origin are the protective compositions depicting combats of beasts, symbols of the mythological-religious opposition "*good versus evil*", but also visualizing the threatening superiority of the militant defense, which will defeat the weaker



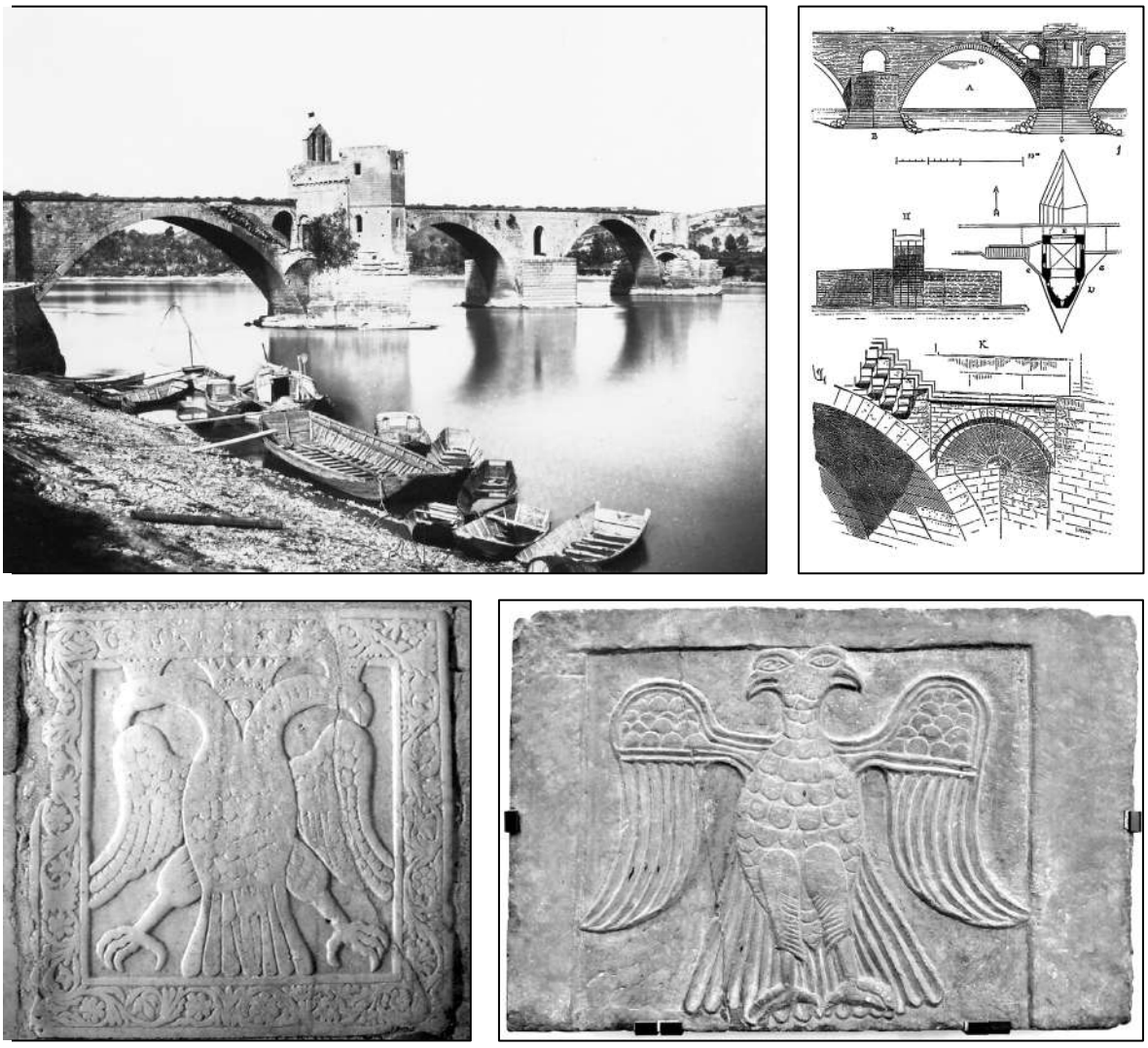
Zurich "Münster" bridge (old Obere Brücke, i.e. the Upper Bridge), with the so-called Water Church (Wasserkeirche, XIII century). Fragments of city plans by Keller (1504), and from 1576, with the bridge and Water Church

The "Byzantine Bridge" over the Aphios River near Megalopolis at Karitaina, Peloponnese, Greece, Engraving by Christopher Wordsworth, 1882



The Byzantine Chapel Bridge over the Aphios River near Megalopolis at Karitaina, Peloponnese, Greece. The bridge dates from the 5th - 6th centuries but was rebuilt during the Byzantine Empire and the Ottoman Middle Ages (15th - 18th centuries).

enemy, in the face of predatory creatures attacking the fleeing weak. There is a particular preference for this type of visions in early Christianity, which appeared naturally because of the rethinking of archaic pagan beliefs. An interesting later dualistic composition is of a hawk attacking a heron, or of a heron pecking a snake. We find the first image, for example, on the stone lid of a sarcophagus from the diaconicon of the Samuel Palace Basilica "*St. Achilles*" on the island of the same name in the Small Prespa Lake (9th century, now in Northern Greece), and the second - on the Byzantine by origin Leilikli köprü in the city of Nikshar (12th-13th century, now in Asia Minor Turkey). Undoubtedly, in both cases the heron is represented as a water spirit fighting evil forces, this time in the form of a hawk and a serpent respectively. It can be seen that during the late Middle Ages, the role of the snake as a positive anthropomorphic type in the pre-antique and ancient world began to sometimes become meaningfully blurred. And yet two variants of the "*wet - dry*" opposition are still legibly presented here, as a ratio of "*life - death*", "*health - disease*". A fairly widespread ancient protective role also has the single combat of a man with two predatory beasts or dragons attacking him. Variants of this image in Europe can be seen on many medieval temples, for example on a bricked-up opening from the facade of the church "*Santa Maria San Rocco*" in Pitigliano (Italy, c. 14th century), as well as in Bulgaria on a bridge in the village of Kumanite (15th–17th century), Veliko Tarnovo, or on the western facade of the church "*St. Trinity*" (1860) in the village of Izvor, Pernik. Since men are not depicted as patron saints in either case, it is most likely the old masters referred to the guardian spirit of the buildings. A man wrestling with two dragons, whose tongues he has firmly grasped, is depicted on the bridge fortress Gate-al-Talsim (Bab-al-Tilsim, 1221) of medieval Baghdad, which means that through the Syrians this ancient guard sign passed into the Islamic Arab culture, and later in Seljuk and Mamluk.



The chapel "St. Nicholas" on the Bridge of St. Benezet (1177 – 1185) over the Rhone River in Avignon, Provence, France. Photo from 1864 and architectural photography of arch. Violet le Duc from 1869

The double-headed eagle as the coat of arms of the Paleologi dynasty (1261 – 1453), a stone slab from the metropolitan church "St. Dimitar" in Mystra, Peloponnese, Greece

A stone tablet with a double-headed eagle from the Ayazmoto region in Stara Zagora, Bulgaria, from the time of the First Bulgarian Kingdom (IX - X century)

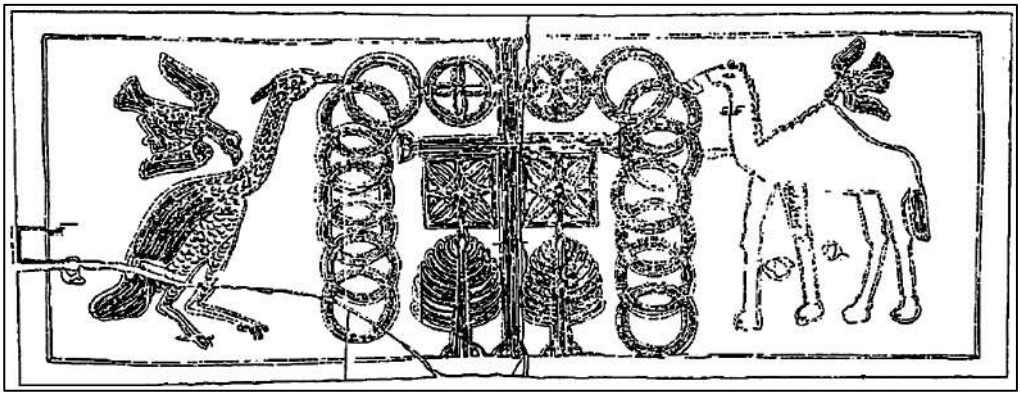
But at the same time, it should be noted that this symmetrically formed protective pictorial composition also has its very ancient beginning in the early Egyptian and later Asia Minor, Central Asian and East Asian cultures. It was used as religious symbols in the Persian, Mesopotamian, Hittite, Minoan, Greek, Thracian, Etruscan and many other civilizations. On a symmetrically developed Hittite stone relief from Karatepe (ancient Azatiwataya, Cilicia, Turkey, 8th century BC) a winged, falcon-headed deity (undoubtedly the Egyptian Horus) carries in his raised hands a winged solar image (the protective Shen ring), adequate not only to the Egyptian ones, but also to many others known to us from the excavated Sumerian and Assyrian cities or, for example, from the Persian Susa. Also in Persia, the goddess of water Anahita is mythologically understood in a compositionally similar symmetrical way - as calming lions attacking from both sides of her. In Assyria it is the goddess Astarte fighting











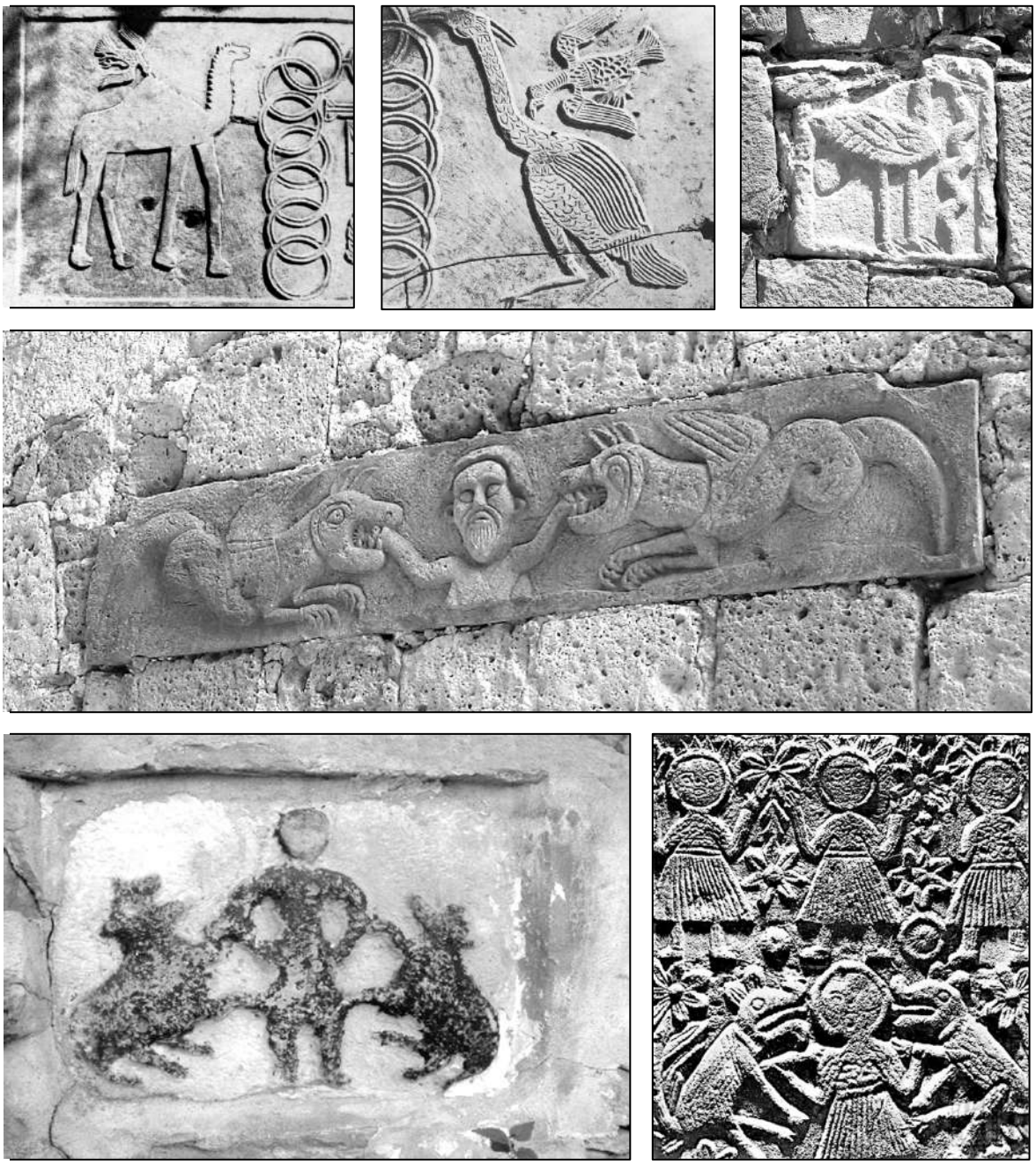
Sumerian keystone depiction of a battle between a lion and a bull with a human bearded face (2600 – 2500 BC). Metropolitan Museum

Depiction of a lion charging a bull from the fortress of Diyarbekir, Asia Minor Turkey. Armenian masters

Image of a lion attacking a bull from the Catholicon (1215) of the Geghard Monastery, Armenia

Image of a fight between a lion and a dragon from the Cathedral of St. Vigilius" (1207 – 1218) in Trento, Italy. Master Adamo d'Arongio (c. 1180 - c. 1240)

A stone slab from a sarcophagus in the diaconicon of the Bulgarian Patriarchal Church "St. Achilles" (IX - X century), on the island of the same name in Lake Prespa, Prespa (now in Greece). General view drawing by Mutsopoulos



A stone slab from a sarcophagus in the diaconicon of the Bulgarian Patriarchal Church "St. Achilles" (IX - X century), on the island of the same name in Lake Prespa, Greece. Fragments with camel and heron attacked by eagles

Stone relief depicting a heron pecking a snake from the medieval Byzantine bridge (Leilekli köprü) in Nikşar, Turkey

Image of a guardian spirit taming evil forces (as griffins, c. 14th century) from the Church of Santa Maria San Rocco in Pietgliano, Italy

Relief image of a guardian spirit taming evil forces (such as wolves) from the bridge (XV-XVII century) in the village of Kumanite, Veliko Tarnovo, Bulgaria. Master Rusin Bodurina

Image of a patron saint taming evil forces (wolves) from the church "St. Trinity" (1860) in the village of Izvor, Pernik region, Bulgaria



Dragons from Bab-a-Talasam Bridge Tower (1221), Baghdad, Syria.
Photo by Gertrude Bell (1917)

Stone relief with the Egyptian god Horus taming giant cobras (or dragons) with the help of the protective divine solar sign Shen, from the Hittite city of Atativada (modern Karatepe to Kadirla city, 8th century BC), Asia Minor Turkey

Sculpture of the Persian water goddess Anahita taming evil forces (depicted as lions, 500 BC). British Museum



"The Goddess with the Serpents" from the Palace of Knossos (c. 17th century BC), Crete

Stone relief of a man with a sword and a wreath on his head, between two leopards with snake-like tails (or two pairs of snakes and leopards, 8th-early 9th century) from the Shumen Fortress, Bulgaria





Ritual dance of saints with swords and wreaths on their heads, killing the evil force (in the form of a wolf) attacking the good (dove). Stone relief from the church "St. Todor" (1860) in the village of Izvor, Pernik region, Bulgaria

Image on silver Thracian ritual jug of the Great Mother Goddess taming evil forces (depicted as enraged leopards, 4th century BC), Bulgaria

off wolves with the help of snakes in both hands, and in Thracian culture this battle is fought - according to a symmetrical silver relief, between a winged god and two enraged leopards. Another silver Thracian relief from the Belintash sanctuary in the Rhodope Mountains depicts the god Sabazius, surrounded on both sides by snakes. We know this same scene from the earlier infamous Minoan sculptures of a snake goddess (known as Zerinti) dating to the 17th century BC. Such compositions of Etruscan origin are also known to me from Italy. A Proto-Bulgarian pagan stone-plaster relief from the Shumen fortress (VIII - beginning of the IX century), representing, as it is believed, a shaman, is surrounded on both sides by lynxes, whose long, upwardly winding tails have the image of snakes. The interesting crown on the man's head with its leaf-like furrowed tops, seems to represent a wreath of plants with large leaves, and in this form unexpectedly directly corresponds to the ritual images from 1860 of the church in the village of Izvor. In this case, the man also has another protective attribute - a huge sword, which perhaps represents him as an image of a mythical or even real "*godly ruler*" overcoming the evil directed against his people. Some scientists have been dealing with the question of the origin and distribution of these images, collectively called "*Lord of the Animals"* since the first half of the last century - Roger Hincks, Jacqueline Hittenden, etc. Lately, Richard Cassaro has also been doing a lot of collecting, and through numerous photographs on his blog, he proves that the type is spread throughout all the ancient human cultures on earth. He also came to the conclusion that these ancient images in the churches of Western Europe were the work of Masonic builders, but this leaves unexplained the fact why they are then present in all ancient cultures, including

from the American continents. So far, the more convincing assumption is that all these male and female deities (and later saints), taming evil forces, have their single ancient prototype in the so-called "*Horned God of the Hunt*" who is of possible Proto-Indo-European origin and has pervaded all Eurasian and North African cultures since ancient times. However, an interesting direction in the field of pictorial development of this religious image is provided by an Egyptian stone relief, on which, in the form of human stylization, the centre of the composition is occupied by the Ankh (later known as Crux Ansata or Egyptian Cross), clutching with attached arms two serpentine dragons with upright bodies. The ankh, this ancient specific Egyptian form, is considered a symbol of the fusion between Osiris and Isis, of the divine unity of heavenly and earthly, of immortality and eternity. Therefore, in this case there is a newer, now graphic version of the religious image of the divine battle with the forces of evil. In several other Egyptian reliefs this image is stylized only as an ankh without arms, with two dragons' bodies generalized to one degree or another in linear verticals. A new pictographic image of divine eternity fighting evil was obtained.

It turns out, however, that a pictogram similar in idea has been present in the culture of the Bulgarian lands since the Neolithic era. In 1997, in "*Notices of the National Museum in Varna*" (vol. 23, 92-95), Stamen Mihailov was the first to focus on the fact that the appearance of the sign "IYI", known in Bulgarian science under the name "*Upsilon with two hastas*", is depicted on pottery from the Vinča culture (6000–4000 BC), mainly from the territory inhabited by the Thracians and their neighbouring tribes from nowadays' Bulgaria, Romania and Serbia. He points out that it is also found on Minoan artefacts from the 16th century BC, as well as on those from the Hallstatt settlement (1200–450 BC) in the Czech Republic. It is also known to the Thracian tribes from a later time, but its greatest spread will be among the Bulgarians, even some time after their acceptance of Christianity. It is depicted as a divine magical sign with a protective purpose on various building elements - stone, ceramics, wood, even in the proto-Bulgarian lands in the North Caucasus and the Pre-Caucasus, and then later on the Balkan Peninsula. Its permanent presence in Danube Bulgaria over the centuries was undoubtedly helped by the religious views of the Thracians surviving to the 7th century, who integrated together with proto-Bulgarians and Slavs into a single Bulgarian nation.

Thus, it becomes clear that the image of the "*shaman*" near Shumen is a naturalistic replica of the IYI sign, i.e. divine power defeats evil. This religious idea will resonate after the adoption of Christianity in Bulgaria in 865 in the initial reconciliation of the sign with the cross. We see it on a seal from Pliska (end of the 9th century), where the Y - divine image is crowned with a cross, which itself resembles a crucifix. And finally, it cannot be deduced from this archaic anthropeic type and the appearance in Romanesque architecture of images related to the protective power of the female vulva. We find the beginning in Etruscan stone-plastic images, where there are also duels of naked female goddesses with spread legs, taming with their fertilizing femininity lions, snakes and other aggressive real or fantastic creatures attacking them from both sides. In a much later stone image originating from the Romanesque cathedral of Piacenza (1122–1233), the lions are depicted as broken by the sight of the goddess's fully exposed vulva. Thus, the archaic pagan iconography, based on the idea of the incessant battle of good against evil, was transformed by medieval Christian culture into the image of the all-conquering creational female beginning which tames the evil forces.

In this case, however, there is once again a transformation of an extremely ancient religious idea. It is also present in Neolithic rock paintings, even from Australia, and identical amulets dated to 7000-5000 BC have been excavated in Bulgaria and North Macedonia. An interesting Thracian rock sanctuary of the Mother Goddess, representing a cave artificially shaped like a vulva, can be found in the village of Ilinitsa, Kardzhali region, Bulgaria. It dates back to the 11th-10th centuries BC.





Egyptian stone relief of Ankh taming serpentine dragons





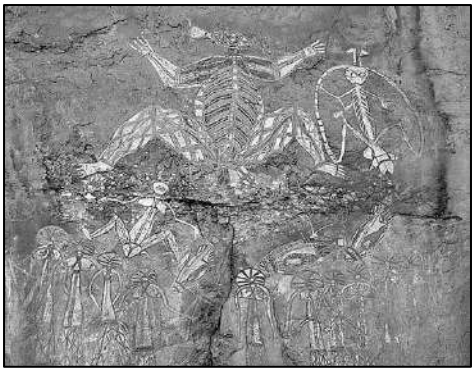
Image of the IYI sign as a crucifix and a cross on a lead seal from Pliska (9th century), Bulgaria

The sign IYI on stone squares from the fortress wall of the first capital of the First Bulgarian Kingdom - Pliska (8th – 9th century), Bulgaria

Image of the IYI sign with a cross on a stone slab from Pliska (9th century), Bulgaria

On Romanesque churches, and on utilitarian buildings and bridges mainly from the X-XIII century period, this idea is found most often in the form of only a naked female body, opening her vulva with her hands. This guardian type, known in the English literature as the Sheela Na Gig, is most commonly found in Ireland and less frequently in Scotland, Wales, Spain, France, England, Switzerland, the Czech Republic, and sometimes in other places around Europe, including its eastern parts, since ancient times. Such figurines were excavated, for example, in Lepenski Vir on the territory of today's Serbia, dated to the 7th millennium BC, and also in Croatia, where the archaeological layer is from the 3rd







Etruscan relief of the "Mother Goddess" taming lions and snakes with her vulva (c. 3rd century BC), Italy

Romanesque relief of the "Mother Goddess" taming lions with her vulva, from the Cathedral (1122 - 1123) of Piacenza, Italy

Rock image of the "Mother Goddess" in the exposed vulva pose (Neolithic) from Australia

Amulets from Vratsa region, Bulgaria and Macedonia depicting the "Mother Goddess" in the pose with the exposed vulva (7th - 5th millennium BC)

millennium BC. The archaic pagan origin of the image is considered, but the explanations most often given for its presence in medieval European culture are several - from a symbol of lust to an image of Mother Earth to, in my opinion, the most reliable - a figurative expression of the traditional medieval Western European belief that the devil cannot stand the sight of a woman's vulva and flees in panic.

In some old engravings, this ideological opposition is already depicted in a rather naturalistic form. Only explained in this way does it become clear why this image was attributed an anthropic power. According to Prof. Barbara Freitag, a dance called the Sheela Na Gig even existed in the British Isles for about 1,700 years.

The spread of this anthropic image has its eastern limit in India, where it is known under the name Laya Gauri, identical with the fertility goddess Aditi. In several stone sculptures from the 5th to 6th centuries, she is depicted either with a lotus head or with a fully human body, sometimes in a composition with four-legged horned creatures representing evil. And finally, it should be pointed out that this anthropomorphic type has its own incarnations in relation to the male fertile beginning.

On Bulgarian bridges you can also see the six-rayed ancient divine protective solar rosette carved in the stone, adopted in the Middle Ages as a variation of Christ's Chrism, but actually having its origins in the oldest pagan cultures of the Minoan civilization and Mesopotamia.

We see it, for example, depicted precisely as a protective sign on the ramparts of Ur. But it is also known from earlier as a component of the so-called "*Flower of Life*" depicted in the Temple of Osiris at Abydos (4th millennium BC, rebuilt c. 2300–2290), but also on many other Egyptian buildings. However, we find it very often, implanted in Christian culture, on early Christian architectural details, for example on the hull of the bridge at the monastery "*St. Anthony*" from the Kadisha Gorge in present-day Lebanon, where it is combined with








Thracian rock sanctuary of the "Mother Goddess" (11th - 10th century BC) shaped like a vulva, "fertilized" by a sunbeam on the day of the vernal equinox, Ilinitsa village, Kardzhali Region, Bulgaria

Protective image of Sheela Na Gig at the fortified medieval bridge of Fethord, Ireland (Encyclopædia Britannica) and of Kilcumber Bridge at Codonbillodge, Ireland

Sculptural image of the "Mother Goddess" from Lepenski vir (ca. 7000 BC), Bulgarian Morava Valley Voivodeship. Belgrade, Serbia. The earliest sculpture made in the Sheela Na Gig pose

Exorcising the devil (i.e. evil) with the power of the female vulva. Illustration from 1762 to Lafontaine's fables

Anthropomorphic representation of the Fertility Goddess Aditi in the Laya Gauri pose taming the forces of evil with her vulva, India

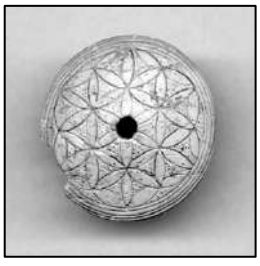
Jerusalem crucifixes. The interesting thing is that there it is in two symmetrically positioned groups, each of which has our familiar three-part pagan composition of a deity with the same protective types on both sides, in this case the rosettes surround the crosses on either side. The six-beam solar rosette is also present in Slavic decorations dating back to the 2nd-3rd centuries. And in the following centuries, it will become the main symbol of the Christian culture of the Bulgarians, starting from the 8th century, as well as of the cultures of the peoples of the North Caucasus connected by a common past with the proto-Bulgarians.

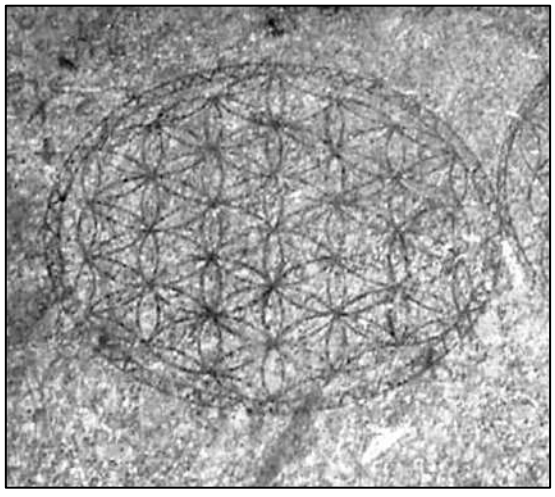
Perhaps the idea embedded in this rosette, which has become central to Christianity, is related to the application of the six-pointed star of David (David's shield, Solomon's sign) in the Middle Ages as a protective symbol. It is established this sign had a sacred meaning as early as the Bronze Age and for many other peoples besides the Jews - from Mesopotamia and the rest of the territories of Asia Minor, Egypt, the Phoenician enclave of Carthage, the Aegean world and Europe up to and including the northern lands of the Celts.

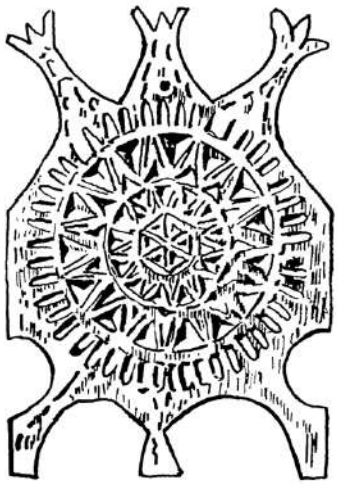
Even in the old Bulgarian mythological system, the six-pointed sign will be depicted in several types of stylizations in the form of the so-called "*Space Turtle*" both in embroidery ornaments on various fabrics and carpets, and in wood carvings from residential architecture. Arch. Slavi Donchev has been dealing with this question for a long time. He is looking for its primary appearance in the cultures of the ancient Asian Southeast, from where, according to Syrian and Armenian authors, the migration of the proto-Bulgarians to the Caucasus began no later than the 2nd century.

Since the Middle Ages, solar rosettes have been known as protective signs throughout the Bulgarian lands and in their several other types of images – spiral, swastika, circle, radiant circle, circle with a dot (or with a smaller circle) in its centre, etc. I believe that they also came to Europe, and in particular to the Balkans, from the ancient world of Asia Minor, and it seems as early as the second half of the 1st millennium BC, being implanted in the folk psychology of the Bulgarian people mainly through its Slavic, Thracian, ancient Macedonian









Tooth with six-rayed protective solar sign from the ramparts of Ur (c. 2000-1700 BC), Mesopotamia, modern-day Iraq and a stone "Flower of Life" amulet from Crete (1340-1950 BC) .), Minoan culture

The "Flower of Life" as a protection mandala of the Temple of Osiris (before 4th millennium BC, rebuilt between 1330 and 2290 BC) in Abydos, Egypt

Woodcarving image of the "Space Turtle" with an inscribed six-ray solar rosette from Babadjo's House (18th century), Zheravna, Bulgaria. According to Donchev

and Hellenic components that form it. It should not be forgotten that from the 5th to the 6th centuries there were resettlements throughout the Bulgarian lands of Syrians and Armenians, who are not only the bearers of these ideas, but also, as building peoples, directly apply them on the spot in the early Christian buildings they created by placing such stone-plaster elements on their facades. An interesting combination of a sculpted lynx with a solar rosette next to the head is found on the Armenian Sinai bridge in the Lori region, built in 1195. A similar idea was realized in the combination of a deer with a solar rosette in its horns from the portal of the church "*St. Vrachi*" in the medieval Bulgarian town of Kostur (now Kastoria, Greece, 10th century). Thus, the anthropic protective type with the solar magical sign, bearer of divine power, are combined in unity. The deer itself in the Bulgarian folklore tradition is a bearer of solar divine power and is known as the "*solar deer*". Another, and rather complex one, currently under study, is the question of the direct passage of these solar images into the culture of the proto-Bulgarians during the pagan period of their pre-state and state associations. In this connection, one must take into account their Iranian origin from the territory of the southern Central Asian cultures of paleohistoric Bactria (Balkhara) and its main city Balkh, as well as their coexistence and mutual overflows later for centuries in the Caucasus with Armenians and Georgians.

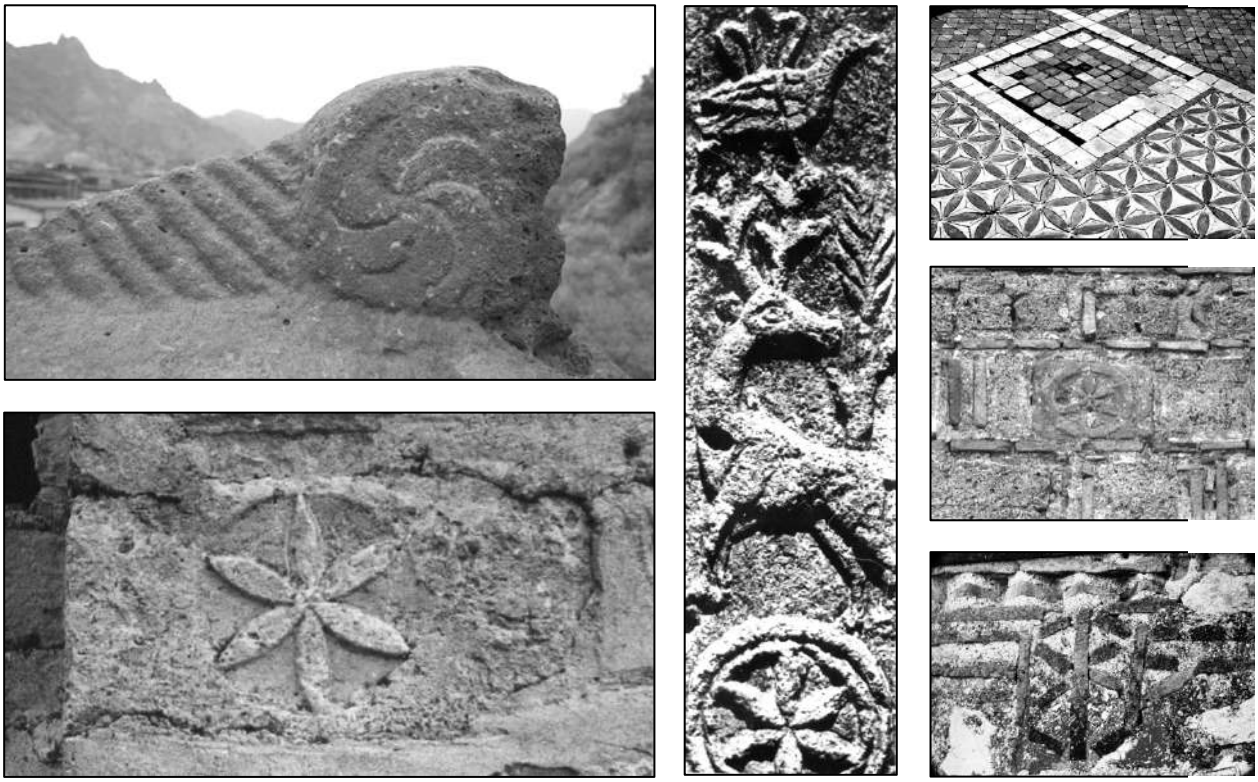
A solar rosette of the type of two inscribed circles is found on a trapezoid block from the heel of one of the arches of a Roman bridge from the 2nd century near the present-day town of Merichleri, Haskovsko, probably more extensively repaired during the Second Bulgarian Kingdom in the 12th-14th centuries. The relationship of this image to a largely identical sign from the Penmon area in North Wales, embedded in the walls of a monastic church of 1120–1123, is interesting. It features a stylized Sheela Na Gig type image, as correctly noted in the internet post on The Sheela Na Gig Projekt Word Press page. At the bridge near Merichleri, however, the image appears to be of male origin. A cross is carved in relief on the same block - if we assume that it is entirely from ancient times, then the dating of the bridge must be shifted as early as the 5th–7th centuries, if not a little later. Solar rosettes were also placed by the Bulgarians on various household items, fabrics and architectural details, both in single images and in groups of several different ones.

When talking about the solar rosettes, we can't help but look at some of their other ancient varieties - the spiral and the solar broken cross (swastika). Both are also of very archaic origin, again with earliest implementations from Mesopotamia, but also from the Neolithic cultures of Eastern Europe.

The spiral rosette goes directly into the Christian anthropeic pantheon, and as early as the 4th-6th centuries it will be depicted even on iconostasis partitions, often together with the six-beam. We find it on fountains, buildings and bridges - for example, the Stone Bridge over the Vardar River in Skopje, dating from the 6th century, when it was rebuilt after the great earthquake of 518, and rebuilt a second time on its preserved parts and foundation in the period between 1421 and 1451. There is also a later restoration from 1579 of four fallen arches from another great earthquake in 1555, but it is with bricks. The spiral solar rosette is on a vaulted arch preceding the middle of the bridge on the opposite side of the bazaar bank, which is of those rebuilt by the Ottoman administration in the 16th–19th centuries, but most likely dates from the first restoration in the 15th century.

So far, I am not aware of the use of the swastika as a protective sign on bridges, but it is one of the less commonly used images in the brick frieze ornamentation of the medieval Bulgarian pictorial architectural style (10th–14th centuries). We see it as in churches, the work of Mysian builders, as well as those created by Macedonian and Thracian.

One of the most beautiful buildings of the Northern Bulgarian construction school in the picturesque architectural style, protected by a wide frieze and swastika, is "*Jesus Christ Pantokrator"* in Nessebar.



Anthropomorphic sculpture of a panther with a spiral solar rosette at the head, on the parapet of the Sinai bridge from the Lori area (1195), Armenia

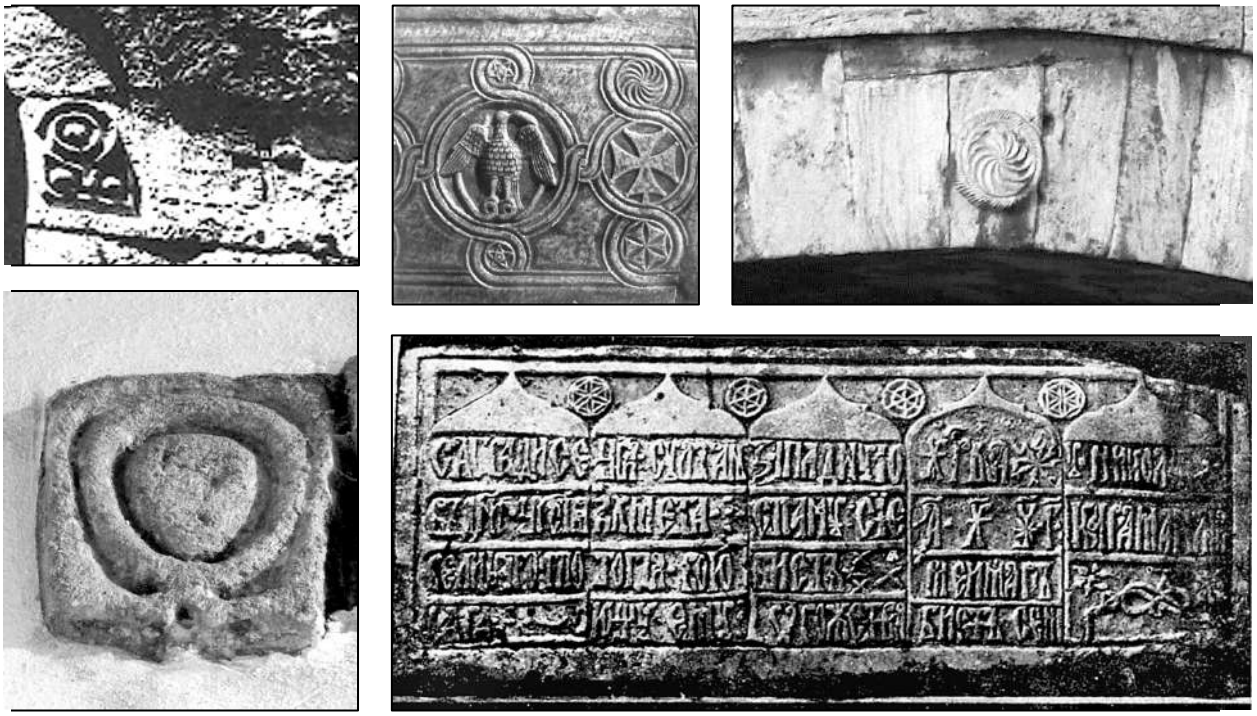
The solar protective six-ray rosette in its essence of Christ's chrism, on the western wall of the "Golden Church", beginning of the 10th century, capital of Bulgaria, city of Pliska

Image of a "solar deer" standing on a six-beam rosette next to the tree of life, from the church "St. Vrachi" (10th century), Kostur (now Kostoria, Greece)

Protective network of rosettes, painted Preslav floor pottery in the temple of the royal palace. Beginning of the 10th century, the capital Preslav, First Bulgarian Kingdom.

The solar protective six-ray rosette from Clement's Church (IX century), reinstalled on its converted mosque (Imaret jamesi) facade (XV century) in Ohrid, Macedonia and from "St. Metropolitan Archangels" (IX - X century) in Kostur, now Kastoria, Greece

A six-beam rosette is present on the commemorative plaques of several other Bulgarian bridges from the 17th-19th centuries. The flower of life, composed of geometrically intertwined six-rayed solar rosettes, is in fact one of the early incarnations of the ancient sacred symbol the Tree of Life, which, according to Genesis (2.9, Etz Chaim) of the Pentateuch, is a special species planted by God in the Garden of Eden. Passing over to Christianity, its meaning underwent changes through the beginning identification with Christ's crucifixion. In an Orthodox troparion it is sung how it "*bloomed first in the cave from the womb of the Virgin, appeared as a spiritual paradise in which the divine fruit was planted...*" From there Jesus Christ is identified as a vine from the Tree of Life, blooming on the cross. Jean Calvin, interpreting Genesis, argued that the Tree of Life "*may be a symbol and memorial of the life which he (man) received from God.*"
Thus, in the Christian religious system, the Tree of Life is also perceived as a sign of supreme divine protection. In Bulgarian culture since the Middle Ages, it has been depicted with the



Solar rosette with anthropomorphic male features of the Sheela Na Gig type together with a cross, from a Roman and medieval bridge to Merichleri, Bulgaria

Solar rosette with anthropomorphic female features of the Sheela Na Gig type from the monastery church (1120 - 1123) of Penmon on the Anglesey Peninsula, North Wales

Image of solar rosettes, pentagrams and crosses on a stone panel from the iconostasis partition (IX-X century) of the church "St. Sofia" in Ohrid, Macedonia

Spiral solar rosette from Kamen Most (probably 15th century) in Skopje, Macedonia

Solar rosettes from the stone commemorative plaque on the bridge over the Maritsa River in the village of Gabrovitsa, Pazardzhik from 1693. Mimar (architect) Nikola Karamanliata. Archaeological Museum, Sofia, Bulgaria

aim of protecting buildings, as if most often related to water, for example fountains, but also on churches, tombstones, belt loops and amulets. It is also an integral part of the early stages in the creation of the Bulgarian architectural painting style. We can see it on the western pediment of the cathedral (10th century) of the Kostur monastery "*Mavrotica*" or on the capitals of the ceramic painted iconostasis from the palace monastery in Preslav (end of the 9th - beginning of the 10th century). Its depiction is early and as part of the composition of a tombstone (10th - beginning of the 11th century) from the patriarchal basilica "*St. Achilles*" from the island of the same name in Lake Prespa (now in Greece), etc.

Perhaps, as I have already written in other places, the wide application of this protective model in the Bulgarian lands is also connected with the ancient Slavic pagan deification of trees, as well as with the beliefs of the Bogomils, who replace the depiction of the cross with the "*Cross Tree*". So far, however, the only case I know of the placement of The Tree of Life as a protective sign on a bridge outside Bulgarian lands is in Scotland, where its stone relief image is preserved on a slab from the destroyed Devorgilla Bridge (1430–1432, reconstructed 1621–1623) over the Nith River in Dumfries.



Brick frieze with solar swastikas from the church "Jesus Christ Pantocrator" (13th century - first half of the 14th century) in Nessebar, Second Bulgarian Kingdom. Miesian Bulgarian school in the Pictorial architectural style, Bulgaria

The implementation of sacrificial rituals during the construction of bridges, and in general any other buildings, has an ancient protective significance. Fortress systems were particularly important for ancient people, as their impregnability directly guaranteed their lives. And this belief, right from the beginning, was associated precisely with the creation of permanent magical protection from the deity of the place, achieved through the ritual of sacrifice. According to the legend of the founding of Rome and its magical protection, Romulus was obliged to kill even his brother Remus after he had the imprudence to jump over the wall they were building and thus destroy its magical protection. After this sacrifice, Romulus uttered the sacred words: "*Thus shall perish all who henceforth pass over my wall*". And the sacrifice restores, according to ritual belief, the magical strength and impregnability of the fortress. But even in the Bible, it is told how the pagan king of Ahab, Hiel Vitiletsa, during the construction of Jericho, for this purpose ritualistically embedded his own sons Aviron and Seguv in the construction.

Shafarzik rightly believes that the initial offering of human sacrifices was justified by the desire to propitiate the spirit of the land or to redeem the place from the deities[6]. During the construction of Byzantion, one of the two mythical founders of the city – the Thracian king Bizas (Buzas), sacrificed one of his wives, Phidalea. An 8th century text by Hesychius

6. Šafařik, P. Slovanske Starozitnosty, Book II, Prague, 1863, p-p. 178–179.

reports that even in his time there was still an ancient tradition of a statue of Phidalea being placed as a protective sign near the city walls[7].
But if we consider, for example, the drama "*Antigone*" (442 BC) by Sophocles, where the tyrant Creon, because of violation of his will, wants to have his son's fiancée embedded in a construction, it becomes clear that among the Greeks this act was not only connected with







The Tree of Life from the western facade of the cathedral church (10th century) of the "Mavrotitsa" monastery, Kostur (now Kastoria, Greece)

The Tree of Life from a tombstone in the Patriarchal Church "St. Achille" (10th - beginning of the 11th century), the island of St. Achilles, Prespa (today in Greece)

The Tree of Life stone slab on Devorgilla Bridge (1430 – 1432, rebuilt 1621 – 1623) over the River Nith, Dumfries, Scotland

7. According to another legend, also told by Hesychius, the town was saved by Byzas' wives, in his absence, who were led by the faithful Phidalea who released against the advancing conqueror – king Odrisis, the snakes from the settlement, i.e. the guardian spirits (Agathon, Damon, usually depicted as snakes), and being frightened of them the invader fled. Hesychius describes how in order to appease the spirits of the city walls, "Cucobitius the philosopher, the favorite of the idols (eidola), sacrificed his dearest loved ones - his wife, his two children, his mother Aglaida and his sister Grafentia". According to the author, during the sacrifices there was an earthquake "and people died in the days of Bizas and Ates", which explains why the rebuilding of the city walls was necessary, during which the king's beloved Phidalea was sacrificed along with the relatives of Cucobitius. (Urban Legends of Constantinople, translated by Ivan Vulpe ap. Anonymi Byzantini parastasies syntomai chronikai. Ed. T. Prager, 1898; Cameron, A., J. Herrin. Constantinople in the early Eighth Century. – In: The Parastaseis syntomoi chronikai, Leiden, 1984)

the sacrifice of a loved one, but also a way of revenge. So the act itself has meaning in the antiquity and undoubtedly many slaves and captives also became victims. The embedding of human beings in the foundations of buildings, fortifications and bridges as a sacrificial gift was a real fact in later Roman culture as well. In the foundations of the Roman fortress on Loughbury Hill in Berkshire, for example, an upright female skeleton was discovered during archaeological excavations[8]. And even during the Christian Middle Ages, and in two or three places until the 19th century, this was still a practice continued from pagan antiquity. In Scotland, at her request, St. Orosha was built in order to propitiate the spirits of the earth, who, according to general opinion, were constantly tearing down the foundations of a monastery founded by her. There are records of two brothers being buried alive in the foundations of Strasbourg Cathedral (1015). During the construction of the city walls of Copenhagen (end of the twelfth century), a child was embedded to the sound of music while he ate and played with toys[9]. During the restoration of Chillingham Castle in Northern England (XII century) the skeleton of a living bricked-up girl was discovered. A legend has been preserved about the haunting of the daughter of the count who built the Danish castle Dragsholm, who appeared as a ghost known as the White Lady. Even in 1865 it was rumoured in Dubrovnik (Ragusa) that Muslims were stealing local children to ritually embed them in the construction of new fortifications. There is a legend about the collapse of the building, which stopped after a girl was embedded into one of the abutments under the main arch of the Daedal Bridge (Kurd. Pira Dedal, i.e. the Beautiful/Precious Bridge, c. 116–117), over the Little Khabur river to Zaho in present-day Iraq. The name Daedalus itself has an Assyrian origin. In the Middle Ages, this pagan ritual lost its religious meaning.

This gradually led to the depiction of human figures or just heads as visible guardians of the building, but it is not known whether this also marked an actual embedding. For example, a human head is carved in relief on the keystone of one of the arches at Agen Bridge in South Yorkshire, England.

An interesting protective image is carved in relief on a block from the arch of the so-called "*New Kemer*" over the Topolnitsa river on the road from Pirdop to Panagyurishte, Pirdopsko, built in 1819 by master Kuncho (Kacho) Mihov from the village of Mirkovo. The bridge is actually a construction standing on preserved Roman foundations, and therefore it is called the New Kemer, but also Kadyn Bridge or Bulin Bridge, although legend says that it was built "*by the behest*" of a "*rich Kadyna from Zlatitsa*". It is not certain whether during the reconstruction of the upper part of the damaged old bridge (kemer) the remains of an embedded victim were found, or in connection with a local legend, the master depicted a reclining woman with relaxed, outstretched arms, in the pose of a dead person. After all, of course, this image was supposed to represent the patron spirit of the bridge, ie. its goblin, as his name is known from oral folklore.

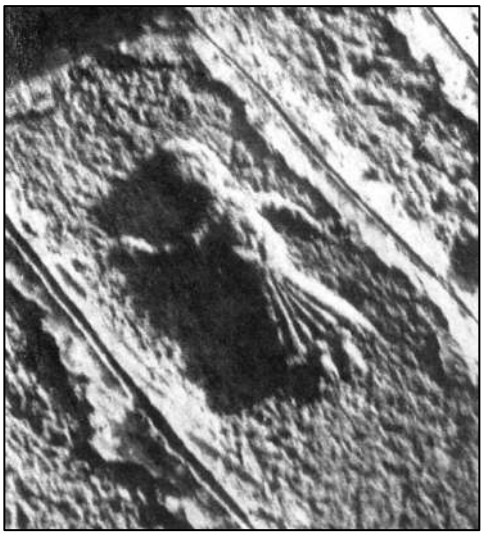
In his travelogue of 1702, Edmund Chischel noted that on the parapets of Uzun Köprü in the Turkish town of the same name he saw "*ten or twelve heads carved in the ragged parapets which enclose the bridge, in memory, as it is written, of so many distinguished worksmen strangled by Sultan Murad I (1362–1389), who built it…*" There is some probability that in this case we are talking about protective images of slaves embedded in the construction, perhaps deceased, but according to our historical knowledge of the manners of the Ottoman conquerors at the time, it is possible that they were embedded alive. There is also a stone sculpture of a chained lion on this bridge, which confirms the status of the masters as captive Christian builders and stonemasons, whose lives as slaves were of no value to the enslavers.

8. Gordon, J. E. Structures or why Things don't Fall Down. Harmondsworth, 1978. In Chapter 9 Something about bridges or St. Bened and St. Isambard.

9. Stoilov, A. P. Buildingliving people into the foundations of new buildings. – Rhodope Antiquities, 1901, 179 – 213.

On two of the bridges on the southern slopes of the Rhodopes, dating from the period of the 17th-18th century, there is an equally stylized image of a skeleton, and on a third bridge - a man carved like a child, which undoubtedly refer to the idea of embedding. Undoubtedly built by masters from presumably the same school, these bridges from the region of the Bulgarian-Mohammedan villages of Stamatsko (Xanti) and Yasmos (St. Yaskyoi, Gyumurdzhin region) have the typological characteristics of Bulgarian Rhodope bridge-building.





Relief of a human head from Agden Bridge (18th century), South Yorkshire, England

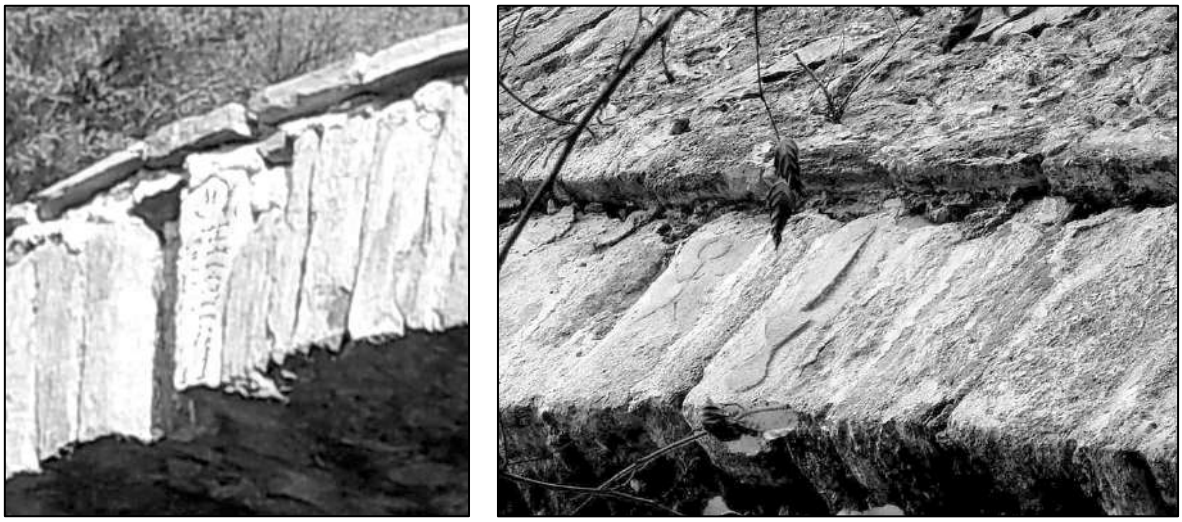
Relief of a reclining female figure from the "New Kemer" above the Topolnitsa River restored in 1819, on the Pirdop - Panagyurishte road, near Zlatitsa, Bulgaria. Master Kuncho Mihov from the village of Mirkovo

On the arch of one of them there is a primitive relief image of a human figure, and next to it a relief of a knife, suggesting the taking of life.

Probably the depictions of warriors characteristic of some early Seljuk bridges, such as at the bridge of Jazarat ibn Umar (twelfth century) over the Tigris near Cizre, present-day Syria, or at the so-called Old Bridge (Turkish: Eski Köprü) at Hasankeyf , Turkey, are also associated with ascension legends, in this case of fighters. In his article published in the Bulletin d'Études Orientales, the author David Nicol, based on comparative material from the twelfth and thirteenth centuries, connects one of the reliefs on the bridge at Cizre, depicting an armored horseman holding a sword and a severed head, with the astrological character "*al-Mirr*" (al-Mirr¯ıkh, the Arabic counterpart of the war god Mars, depicted with a sword and a severed head in his hands), and thus identifies some of the Islamic protective human types with the heavenly protective counterparts of the Arabs. It seems that this type of imagery has a direct connection with the sacral form inherent to the Assyrian god Ashur, which in turn was influenced by the Egyptian form of Osiris - as warriors associated with the sun disk, i.e. with the cult of the sun.

But the religious practice of ritual embeddings in buildings also existed throughout Asia. According to an ancient Chinese legend, believed to date back to the Qi Dynasty (221–206 BC), the lover of the maiden Meng Jian Nu, Fan Qi Lian, was captured and embedded in the Great Wall of China along with more many other people. This legend probably tells of the performance of a series of sacrifices along each stage of the creation of the 8,850 kilometers of the fortress structure. Some old texts even state a number of 10,000 people. That is why the wall is also called "*The longest tomb in the world*".

In the Middle Ages, this pagan ritual was gradually replaced by Christianity with animal sacrifices only. James Gordon suggests that the Benedictine construction monastic order of Fraters pountifices, which already professed only Christian values created around 1100 in France was initially responsible for this abolition of the pagan ritual.



High-relief stylized image of a human skeleton from a bridge (17th - 18th century) in the southern Rhodopes near the Bulgarian-Mohammedan village of Yasmos, Xanthi (now in Greece)

A high-relief stylized image of a man and a bas-relief of a sword from the Pope bridge to the village of Stamatsko (now Oreo), Xanthi region (now in Greece)

As a member of this brotherhood, St. Benezet (Benedict) is said to have overseen the construction of the bridge over the Rhône River at Avignon, and it may have been there that the bloody ritual was first replaced by mass dances appeasing the spirits of the place. This was so unusual for its time that it is preserved in people's memory as songs and legends. And the bridge also received a second name - Saint Benezet (1177-1185 and 1226). This practice was adopted elsewhere in Western Europe, although judging by the case of the construction of the Copenhagen fortress, it seems that music and dancing were combined with sacrifices by way of mourning for some time to come.

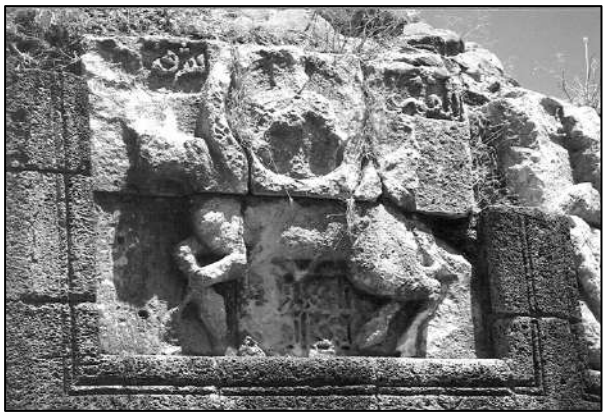
In Bulgarian lands, the protection of buildings through ritual dances continued to be practiced even until the end of the 19th century. An interesting example of this can be found among the stone-plaster images from the body of the church "St. Trinity" (1860) in the village of Izvor, Radomirsko, where we see festively dressed people with wreaths on their heads dancing with crosses, swords and knives in their hands, while at their feet a huge wolf (evil force, Islam) tries to kill a dove, Christianity. The story in this panel of the taming of evil, i.e. the wolf seeking to destroy the good, depicted as one of the Christian symbols - the dove, includes many protective actions - the magic of the cross of Christ, the power of weapons and the ritual dance. And about the wreaths - let's recall the stone-plaster image of the shaman with a wreath and snakes from the pagan times of the First Bulgarian Kingdom. Otherwise, the mass sacrificial ritual custom has finally passed only to look at the foundations of a sacrifice with a rooster or a lamb. In Croatia and Montenegro, the foundations were sprinkled with the blood of the slaughtered rooster. In 1515, "*a thousand goats*" were sacrificed during the construction of the foundations of an arched bridge of Korakas over the river Aspropotamos, near Vreštenitsa from the region of Arta[10].

10. Moutzali, A. Pirates from Algiers, the „Cat eater“and the Bridge of Arta. Legends, traditions and customs. – In: www. Archaelogy.wiki.

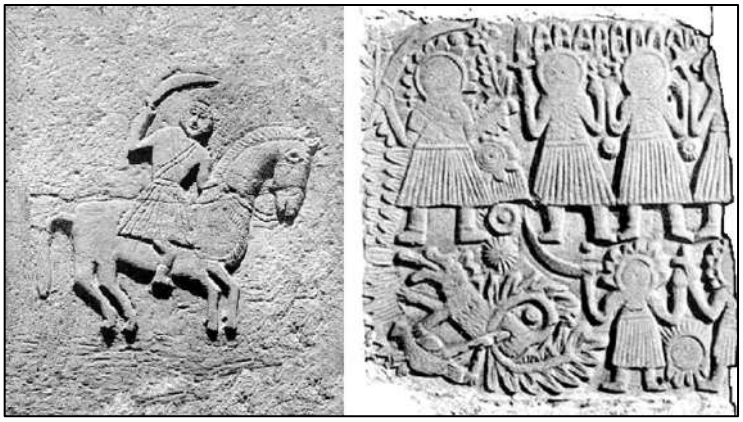
There are also reports of embedding of liturgical books, and in Germany – of old stone gravestones, i.e. according to some belief this was supposed to provide protection from the spirits of the departed.

The embedding of icons is also practiced in the Bulgarian lands. For example, in the wall of the cathedral church of the Lopushan Monastery, an embedded of "*The Passion of the Virgin*" was found, with images of the Tree of Life inscribed on the back surface in the form of cypresses surrounding a date palm, which is characteristic of the 17th-19th centuries. The icon probably originates from the medieval monastery church, burned down during the Chiprov uprising of 1688, discovered during the new construction 1850–1853 and embedded, no doubt with the idea that it carried into it the guardian spirit of the original church.

In many places around Europe, but mostly on the Balkan Peninsula, legends and old songs about bewitching people have been preserved, but often they speak not only of a physical act, but also of embedding only the shadow of a chosen one by the masters, usually a random but relatable person. However, it was believed that as a result of the embedding, even if only the shadow, he died soon after to become a guardian spirit. The belief is probably related to the ancient Greek ideas, also existing among the Thracians, that the soul of the victim - real or not - acquires supernatural powers and becomes the guardian spirit of a bridge or other building.







Relief protective image of "Al-Mirr" the Arabic analogue of the God of War from the bridge "Ain-Diwar" (Roman from the 2nd century, rebuilt 1146/7 - 1163/4), to the Turkish city of Cizre (now within the borders of Syria)

Fragment of a stone relief with the image of the North Assyrian (Semitic) warrior god Ashur, in union with the sun disc (9th – 8th centuries BC)

Horseman - defender from the Lopushan Monastery (1850), Montana region, Bulgaria, and a relief with a ritual dance killing the evil power (wolf) attacking a dove (i.e. Christianity), from the church of St. Trinity" (1860) in the village of Izvor, Pernik region,

In Bulgarian folklore, it is believed that on the fortieth day after the embedding of a person (or only the shadow of a person who died as a result of the act), he turns into a goblin (talasym). The goblin is called in the Rhodopes by the archaic "drakus", and in other Bulgarian lands it is also known under the names "senkya", "senishte", "vetroshchina", "buganets", etc. It is believed that the word "goblin" is derived perhaps from the Greek "telesma", "thalassa" (Θάλασσα) – "to pay" (ancient Greek goddess of the sea, i.e. of water), or from the Turkish-Arabic meaning as "talisman, magical object" , but these supposed concepts are by no means certain, but only working hypotheses. In his "Dictionary" (1904), Nayden Gerov gives three meanings of goblin, two of which are directly related to embedding. One explains that it means precisely the spirit of an embedded person, and the other that this spirit appears in the form of a snake or a hedgehog. Lyuben Karavelov adds that these snakes are considered guardians. There are also beliefs that, in addition to the image of a person, the goblin is also reincarnated as a cat, dog, goat or other animal. It was believed that the spirit of an embedded woman was often heard or seen singing, crying or spinning, and of a man - playing the kaval, less often the bagpipe. All these beliefs also explain why snakes or dragons (lamias) are depicted on buildings and structures.
Sometimes, however, it is believed that ghouls from dilapidated abandoned buildings are bearers of evil forces, and you can save yourself from them only with fire or a cross, prayer and incense. In general, however, bridge goblins are seen in a positive light as guardian spirits. This mystical dualism also formed two other, opposite in meaning, beliefs related to the supernatural forces hovering around bridges. On one hand, it is believed that under the bridge vaults live elves and devils, and on the other hand, that the water taken from there at the break of dawn cures all disease.





Embedded in 1850-1853, the icon of "St. Virgin Mary with the Child" ("The Passion of the Virgin", 17th century) from the cathedral church of the Lopushan Monastery, Montana region, Bulgaria

Stone relief of a snake, one of the incarnations of a goblin (spirit of an embedded person) guardian of bridges, fountains and other structures. From the Roman and Medieval Bridge near Merichleri, Bulgaria

In some places, goblins are also perceived as "undead", i.e. spirits hovering between worlds without rest. Thus, one of the legends related to the Kadin Bridge of Kyustendil tells how the embedded bride left behind a newborn child, and therefore her spirit is constantly looking for the cub to nurse him.

The legend of embedding in different variants regarding the event, but usually in the same narrative scheme, we find in connection with the construction of more than one, and mostly large bridges - Karlovy Vary in Prague (Czech Republic), the bridge to Arta (Greece), to Trebizond (Asia Minor, now in Turkey), to Curtia d'Arges (Romania), in Mostar (Serbia), in Visegrad (Bosnia), as well as for quite a few Bulgarian ones - for example, for bridges over Tundzha, Maritsa, Struma, etc.

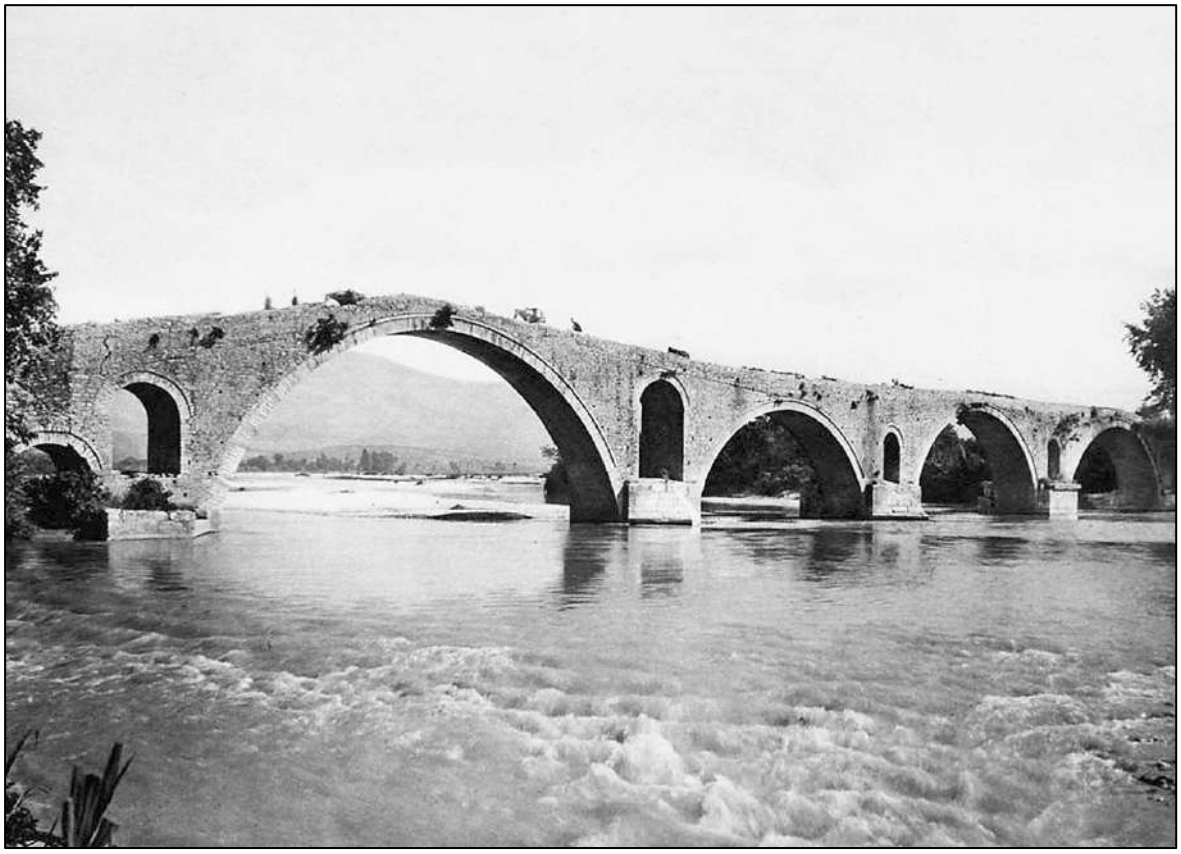
For the bridge to Arta, in addition to the Greek ones, there is also an Italian legend, according to which instead of her shadow, the chosen woman was phisically embedded into it. As a matter of fact, 333 versions of a song about embedding have been recorded for this bridge in Greece alone[11]. It is interesting, as can be seen from the collection of Georgios Megas, that the Greeks also preserved dozens of legends and songs about embeddings in the construction of bridges as far away as the Danube in Bulgarian Moesia. It is thought that this is probably an echo of the construction (circa 328) of Constantine the Great's bridge over this river, between Ulpia Escus to the village of Gigen, Pleven, Bulgaria, and Sukidava to Corabia, Romania. There are also many old Bulgarian legends and songs about the "embedded bride", according to which the woman who arrives at the construction site first to bring food is offered as sacrifice (physical or just her shadow), after a prior agreement between the craftsmen with her husband[1212]. In the present-day village of Nevestino, Kyustendilsko, it is said that at night the moans of the master's wife, embedded during the construction of one of the first Ottoman stone bridges (1469/70), could be heard. Efrem Karanov reports that, according to the legend, during the embedding, they left the woman's breasts out and her eyes open so that she can breastfeed her infant child. And in his time (circa 1883), the women who had just given birth, when they heard the moans of the embedded bride, broke off pieces of the keystone of the great vault, boiled them and drank the potion in order to have enough breast milk.

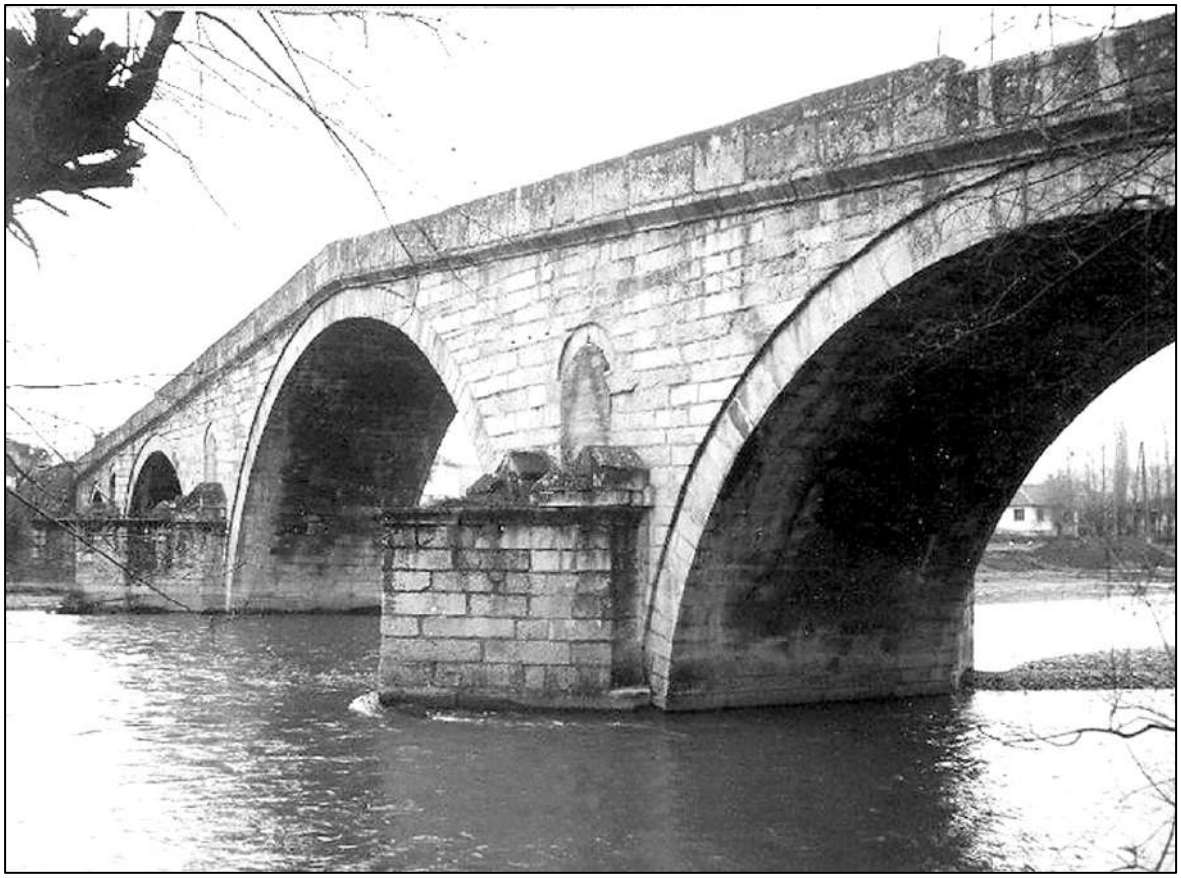
During the Middle Ages, a new belief was formed related to the devil's intervention in the construction of bridges in the event of any construction problems. Thus, for the bridge in the Tuscan city of Borgo a Mozzano, built during the time of Countess Matilde di Canossa (1046–1115), legend tells that due to some setbacks delaying its construction, the devil appeared to the craftsman who built it with a promise to help with the quick completion if the man gave him the soul of the first person who passed over the bridge. The builder agreed, but then, disturbed, asked the local priest for advice on what to do. The priest advised him to let a pig cross the bridge first. Enraged, the devil jumped into the river and disappeared. Since then, the bridge is called the Devil's Bridge (Ponte dell' Diavolo).

There is a similar legend about the Bulgarian Devil's Bridge (circa 1515–1518, reconstructed in the 18th - early 19th century), according to which a young craftsman unsuccessfully tried to build the structure over the raging river, when the devil appeared to him with the promise that he would teach him how to successfully complete the construction, but only if he depicts his face on it, such that the image is both visible and invisible, otherwise he would take the souls of the master and his bride. The craftsman, after building the bridge with the Devil's help, satisfies his demands. Only, immediately after that he dies and takes the secret with him to the grave. According to local legend the image of the Devil appears usually at noon and most clearly in the month of May.

11. Moutzali, A. Pirates from Algiers...

12. The above-cited study by Stoilov from 1901 is very detailed on the issue. Interesting positions are also developed by Megas, G. Die Ballade von dier Arta – Brucke. Thessaloniki, Institute for Balkan Studies, p. 204.





Bridge near Arta (1602 – 1607, or 1612 – 1615), Greece. Archive photo from 1928

Kadin bridge (1469/70) in Nevestino village, Kyustendil region, Bulgaria



The secret reclining face of the devil emerging according to local legend at noon, seen as a combination of reality and reflection, through the photographic lens of Petar Bakalov, connects with reality the mystery of the legend about the construction of the Devil's Bridge in the Rhodopes, Ardina, Bulgaria. Photo by Jumit Güner

It seems that there are similar legends about all bridges in Europe that bear the name "Devil's". It is another matter that these are quite bold, light and tall structures, which are assumed by people that they cannot be created and survive without the participation of some supernatural power. In accordance with medieval beliefs, since the intervention is constructive and therefore must be rewarded, this power can only come from the devil.

All these echoes of ancient, as well as more recent, religious and superstitious ideas, passed into superstitions, legendary narratives and oral song creation, even before the Middle Ages turned bridges into mythical, and often times even mystical buildings, which are especially addressed, to a great extent, with religious attention. Out of all human construction activity, it seems that after temples, bridges are most often commented on in any way, including sacred meaning, even deified.

STRUCTURAL DEFINITION OF PONTE EIFFEL, IN VIANA DO CASTELO, PORTUGAL, THROUGH ITS ARCHITECTURAL DESIGN

Yesim Kamile Aktuglu[1]

Dokuz Eylul University, Izmir/ TURKIYE

Abstract *:In Viana Do Castelo, Ponte Eiffel passes over Rio Lima, pours into Atlantic Ocean. Ponte Eiffel has two levels for transportation. The upper level is a highway for cars, while the lower level is a railway for trains. What is interesting is its straight direction through angles, over the river has some rotations at the beginning and at the end of the bridge. The bridge has a straight line and to continue over the bridge, there should be a return. It connects Viana Do Castelo with Darque.It has been opened on 30th of June in 1878. It has a length as 645m, with 9 points to let the loads to the foundations and then to the earth. The structural design of the Ponte Eiffel has a very elegant and simple construction principles, still enough to be in service as a very important connection between two sides of Rio Lima.In the paper, it will be defined the structural solution of Ponte Eiffel, through its architectural design.*

Key words*: Ponte Eiffel, steel, metal decking, Viana Do Castelo, highway, railway*

1. Introduction -

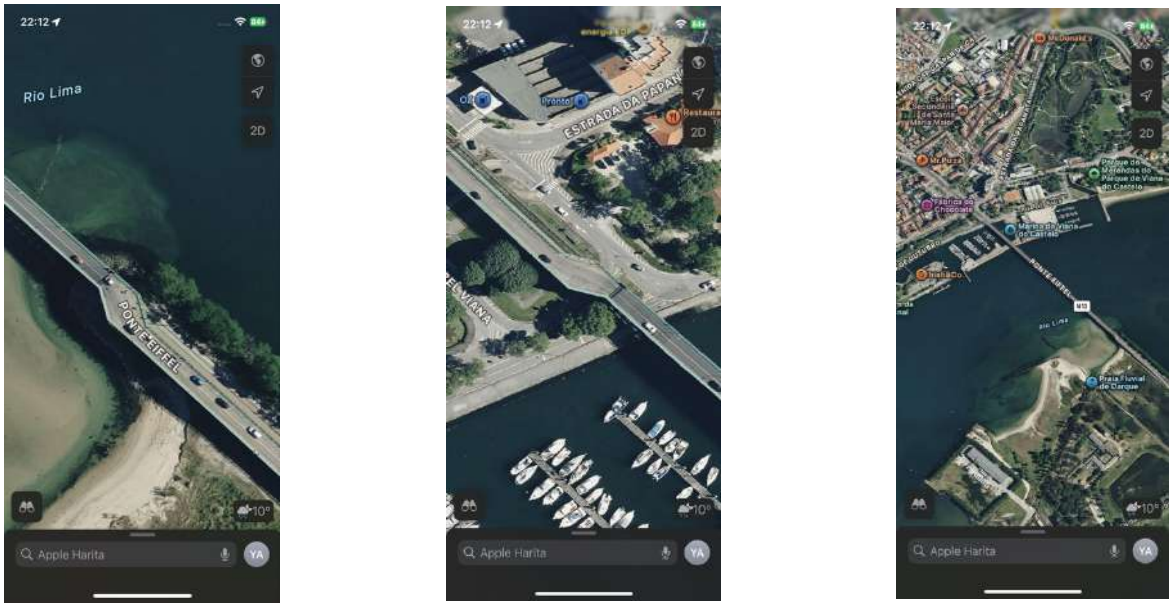
This steel bridge is connecting the two sides of Lima River, which gives environment double advantage through railway under the highway at the upper level. To have a double access, the planning of the railway and highway should not be overlapped at land sides to let the trains go forward easily, while this bridge is passing the river with double deck, one deck for highway is over the other deck for railway. For this strategic planning, the upper deck should rotate with a 45 degrees, first to left, then after passing the river to right, to make the trains go forward directly (Fig.1 a), b), c)).

While passing the land, for the columns could go to the earth surface, the height of the steel truss beams are very normal in size. But while passing the river Lima, for there are 9 granite masonry pillars that their bases could go on till 22m in depth, the steel truss beams are in a floor height for letting the trains pass through (1).

It is 563m in length and 6m in width (1).

Through its logical architectural planning and structural planning, it has a very elegant view not only at its place, but also from the land which is very far away, towards ocean (Fig.2.).

[1] Yesim Kamile Aktuglu, Prof.Dr.architect, Dokuz Eylul University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Tinaztepe Kampusu, Dogus Cad. No:207/K, yesim.aktuglu@deu.edu.tr



a) b) c)

Fig. 1. Layout plan of Ponte Eiffel: a) towards Darque; b) towards Viana do Castelo; c) total view of Ponte Eiffel over Lima River (Google-map,18.02.2026)



Fig. 2. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

2. The structural solution of the Ponte Eiffel

The bridge has a total length as 645m, where the main bridge has a length as 562.33m in description as 46.980m for two ends of the bridge and for there are 9 legs to distribute the loads to the earth, then each span has 58.440m. When we calculate all as 2(46.980m) + 8(58.440m)= 562.33m.(2). Through this calculation and also through the design of lattice girder, we can estimate the height of the trusses as approximately around 8m. Then we may refer it as a rectangular section with 6m in width and 8 m in height as a box girder to carry the highway at the upper level and railway inside the girder at lower level.

While passing the Lima River(3), the ways for road and trains are going on separately (Fig.3.) and for there could be columns, the beams are in normal sections for both slabs and columns are very slim at the same time.



Fig. 3. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel, with two transportation decks, separate in levels (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

Also the foundation of the cables to support the lattice trusses could be seen easily on the ground in Fig.4.

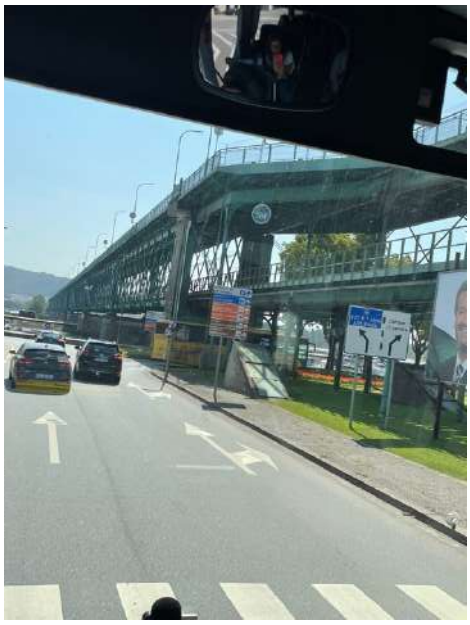


Fig. 4. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel, with two transportation decks, separate in levels closer (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

The end cables to support the end of the bridge, through saddles over the iron-steel column could be easily seen in Fig.5.



Fig. 5. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel, with the columns at both side of the end of the bridge together with cables (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

There are cables to carry the deck for trains at both sides of the bridge as double cables in inclined position and also there are double cables to span the river as in horizontal position, just under the cantilevered decks for pedestrian at the upper level, connected with the deck surface under in certain intervals to be able to let the horizontal steel cable stay in straight (Fig.6.).



Fig. 6. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel, with the cables, double, to carry the deck for the trains (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

The inclined double steel cables could be easily seen at both sides of the bridge (Fig.6., Fig.7., Fig.8., and Fig.9.).

Fig. 7. The view of Lattice Truss Bridge, Ponte Eiffel, with the columns at both side of the end of the bridge together with cables (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)



Fig. 8. The cables are supporting the lattice truss beams from both sides of the bridge (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025



Fig. 9. The cables are supporting the lattice truss beams as inclined and horizontal position are double, and the inclined cables are carrying the loads of the bridge by hanging as if on a swing (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

In Fig.9. the cable-stayed position of the bridge support the whole rectangular section in a hanging manner, through both sides of the lattice girder,

As it is a classical structural solution of Gustave Eiffel and his school, here also the corners as structural elements in small sections are being used to build the bridge (Fig.10.).

By using the small sections in construction, the bridge gets a more elegant and light looking (Fig.11.).



Fig. 10. The corners are composing the whole truss between the piers (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)



Fig. 11. The view of the lattice trusses of the bridge over the marina (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

Even though the highway bridge has a solid section iron beam, carried by very tiny iron columns in circular sections in two story height and also the truss beam of railway bridge, carried by again very tiny iron columns in circular sections in one story height, the composition of the both transportation roads is having a very light outlook, having supports as crosses over the highway and the crosses over the decks of both decks (Fig.12.).



Fig. 12. The view of the columns to carry the highway and railway separately (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

The view of the highway over the deck is pure from all structural solution under, only having quadrails. And the turning direction of the highway, how the highway and railway are being overlapped, could be easily seen (Fig.13.).



Fig. 13. The highway is turning to the direction where the railway is just under on its own direction with the same as highway has (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

In Fig.14., it could be easily followed how the highway goes forward.



Fig. 14. The highway and railway are passing together over the river Lima (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025

Again the two roads would be separated in construction also (Fig.15.).



Fig. 15. The highway is leaving the railway by turning right to let it go on its own way (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025

To define the Marina, it is declared through the settlement of Ponte Eiffel in Marina (Fig.16.).



Fig. 16. The drone photo of the Ponte Eiffel over the marina (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025

The total view of the Ponte Eiffel, behind the ship, parked on the next small harbour land could be seen as a full construction frame, easy on eye (Fig.17.).



Fig. 17. The view of the one end of Ponte Eiffel (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025)

Through the view from next small harbour, the presence of the Ponte Eiffel is looking like a green line over the landscape (Fig.18.).



Fig. 18. The total view of Ponte Eiffel (photo taken by Y.K.Aktuglu, on 5th of September 2025

4. Conclusion

Gustave Eiffel, himself or some students from his school, have wonderful buildings and structures, built by iron and steel in construction.

Through the years and different type of buildings and structures in different scales, mostly in urban scale and still in the service of the people, by Eiffel, there are a huge amount of knowledge about how to build with iron in a better solution for the next project, Ponte Eiffel has a very strong identity, similar to most of the landmarks, designed and constructed by Eiffel, as not only aesthetical view but also its situation that it is still in service for the people in safety and it is original.

Ponte Eiffel calls for the next proposals with iron and steel to be done to define a better future in construction.

Acknowledgement

To know Ponte Eiffel, there was a final conference meeting of MODENERLANDS, Cost Action CA 20109, chaired by, Action Chair/ Prof.Carlos Rebelo, and Action Vice Chair/ Prof.Charalampos Baniotopoulos, approved in 25.05.2021, started in 11.10.2021, ended in 10.10.2025, in Figueira Da Foz on 03-05.09.2025. And during this conference, while visiting the environment to know the companies, dealing with off-shore structures, Ponte Eiffel has been passed over.

Thank you very much for this visit, organised by Prof.Rebelo and his team on 5th of September, 2025.

REFERENCES

[1] https://www.smart-guide.org/destinations/en/viana-do-castelo/?place=Eiffel+Bridge 01.03.2026
[2] https://structurae.net/en/structures/eiffel-bridge-1878 02.03.2026
[3] Technical visit to Ponte Eiffel, 05.09.2025

ADVANCED COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR THE NONLINEAR ANALYSIS OF IMPERFECT BEAM-COLUMNS, THIN-WALLED SECTIONS, AND COMPOSITE SHELLS

Agüero Antonio[1], Baláž Ivan[2], Koleková Yvona[3]

Department of Continuous Medium Mechanics and Theory of Structures, Universitat Politècnica de València, c/Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain;
Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, The Slovak Republic;
Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, The Slovak Republic.

Abstract: *This article presents a comprehensive suite of web-based computational tools developed for the advanced structural analysis of complex members. The software ecosystem addresses critical challenges in modern structural engineering: geometric imperfections (in-plane, out-of-plane, and torsional), variable cross-sections, and material non-linearity. The tools range from the analysis of curved beam-columns with axial variation to the evaluation of local buckling in class 1–4 thin-walled sections and the multi-physics analysis of multi layered composite shells. By integrating elastic and plastic resistance models with second-order effects, these tools provide a robust platform for both academic research and high-end structural design according to modern Eurocode-aligned philosophies.*

Key words*: beam-column buckling, geometric imperfections, thin-walled sections, composite shells, non-linear analysis, structural stability*

1. Introduction

The assessment of structural stability requires moving beyond simplified linear models. Real-world structures are characterized by initial geometric imperfections, load eccentricities, and non-uniform cross-sections. This paper describes a series of specialized software applications designed to solve these non-linear problems, specifically focusing on beam-column buckling and the resistance of thin-walled profiles.

2. Development and Features

2.1 Advanced Beam-Column Buckling and Imperfections

The core of the software suite lies in its ability to model curved beam-columns with variable sections. Unlike standard solvers, these tools account for:

[1] Agüero Antonio, Department of Continuous Medium Mechanics and Theory of Structures, Universitat Politècnica de València, c/Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain, anagra@mes.upv.es
[2] Baláž Ivan, emeritus Prof. Ing. PhD., Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, The Slovak Republic, ivan.balaz@stuba.sk
[3] Koleková Yvona, Assoc Prof. Ing. PhD., Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, yvona.kolekova@stuba.sk

- Geometric Imperfections: Integration of sine-based and parabolic imperfections in y, z, and torsional directions.
- Non-linear Effects: Analysis of N, M_y, M_z, and bimoment B interactions.
- Variable Geometry: The ability to define sections and materials that vary along the axis, essential for optimized tapered members.
- General Boundary Conditions: Support for various load positions and restraint types, including "fork" supports for lateral-torsional buckling.

2.2. Thin-Walled Section Resistance (Class 1 to 4)

A significant portion of the development is dedicated to Thin-Walled Structures. The algorithms manage the transition between elastic and plastic behaviour:

- Local Buckling: Calculation of effective widths for Class 4 sections.
- Complex Loading: Simultaneous consideration of axial force N, shear forces V_y, V_z, torsional moments T_t, T_w, bending moments M_y, M_z and bimoment B.
- Material Diversity: Capability to analyse sections composed of different materials and curved thin-walled geometries.

2.3. Composite Shell Analysis

Expanding into surface structures, the suite includes a module for Orthotropic Composite Shells. This tool performs:

- Static and Dynamic Analysis: Determining deformations under constant or time-varying loads.
- Vibration and Stability: Calculation of natural frequencies and critical buckling modes for multi layered rectangular, circular or elliptical with a hole shells.

3. Methodology and Numerical Implementation

Hybrid The tools are hosted via a web-based interface (UPV LabMatlab), allowing for high-accessibility without local installation. The underlying engines utilize:

- Finite Element Formulations for beam-column stability.
- Cross-sectional Integration for defining plastic surfaces in thin-walled profiles.
- Iterative Solvers to account for P-Delta effects and material non-linearity.

4. Discussion of Applications

These softwares bridge the gap between simplified "hand-calculation" formulas and heavy, general-purpose FEM software, have been used in references [1] to [8].

- Structural Optimization: By allowing variable sections, engineers can reduce material weight while ensuring stability against global and local buckling.
- Regulatory Compliance: The inclusion of effective width methods for Class 4 sections makes the tools highly relevant for Eurocode 3 and Eurocode 9 (Aluminium) designs.
- Safety Assessment: The ability to input specific buckling modes as initial imperfections allows for a "worst-case scenario" analysis in sensitive structures.

Conclusions

The developed software suite provides a versatile and precise environment for the analysis of structural stability. By accurately modelling the interaction between geometric imperfections and non-linear material behaviour, the tools allow for a more realistic prediction of the ultimate limit state of beam-columns and shells. Future developments will focus on expanding the library of composite materials and further automating the optimization of tapered thin-walled members.

Acknowledgement
Research project No.1/0155/23 was supported by Slovak Grant Agency VEGA.

REFERENCES

[1] Aguero, Antonio, Robert Glauz, Ana Almerich-Chulia, Yvona Kolekova, and Pedro Martin-Concepcion. 2025. "Resistance of Steel Sections (Classes 1 to 4) Including Bimoment Effects" Buildings 15, no. 21: 3894. https://doi.org/10.3390/buildings15213894

[2] Agüero, Antonio, Ivan Baláž, Torsten Höglund, and Yvona Koleková. 2024. "Plastic Design of Metal Thin-Walled Cross-Sections of Any Shape Under Any Combination of Internal Forces" Buildings 14, no. 12: 3890. https://doi.org/10.3390/buildings14123890

[3] Agüero, A., Almerich-Chulia, A., Kolekova, Y. and Martin-Concepcion, P. 2024. Metal beams susceptible to out-of-plane instability due to combined compression and bending with geometric imperfections. Advanced Steel Construction, 20(4), 424–436. https://doi.org/10.18057/IJASC.2024.20.4.10

[4] Agüero, A., Baláž, I. and Koleková, Y. 2021. New method for metal beams sensitive to lateral torsional buckling with an equivalent geometrical UGLI imperfection. Structures, 29, 1445–1462. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.030

[5] Agüero, A., Baláž, I., Koleková, Y. and Lázaro, M. 2022. New interaction formula for plastic resistance of channel sections under combinations of bending moments $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ and bimoment B. Structures, 44, 594–602. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.039

[6] Agüero, A., Baláž, I., Koleková, Y. and Lázaro, M. 2023. New Interaction Formulae for Plastic Resistances of Z-Sections under Combinations of Bending Moments $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ and bimoment B. Buildings, 13(7), 1778. https://doi.org/10.3390/buildings13071778

[7] Agüero, A., Baláž, I., Koleková, Y. and Martin, P. 2020. Assessment of in-plane behaviour of metal compressed members with equivalent geometrical imperfection. Applied Sciences, 10(22), 8174. https://doi.org/10.3390/app10228174

[8] Agüero, A., Baláž, I., Koleková, Y. and Moroczová, L. 2021. New interaction formula for the plastic resistance of I- and H-sections under combinations of bending moments $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ and bimoment B. Structures, 29, 577–585. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.11.049

[9] Baláž, I., Koleková, Y. and Agüero, A. 2023. Elastic and plastic resistance of thin walled HVH sections. AIP Conference Proceedings, 2928(1), 150012. https://doi.org/10.1063/5.0170340.

[10] Dowel, R. K.mAlthaft Shajihan: AI vs. Hand Calculations. Structure, December 2025, pp. 15-119.

APPENDIX

A LINKS

A.1 Buckling of beam column including geometric imperfection.

a) Variable section and materials along axis, curved beam-column, including buckling (in & out) of plane imperfections: https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Variable_Section_Curved_beancolumn_imperfection_general.html
b) Beam Column Analysis, including Buckling (in & out) of plane imperfections I-section: https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Beamcolumn_imperfection.html
c) Buckling resistance. Under any loading, any section and boundary condition. Nonlinear effects due to N, M_y, M_z, B. Including load and support position (different imperfections allowed buckling mode, combination of sine and parabolic in direction y, z and torsional): https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Bucklingresistanceopenclosed_imperfections_new_nel.html
d) Buckling resistance steel & aluminium. Simply supported (fork). Under compression. Imperfections. Open & closed sections: https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Bucklingresistanceopenclosed.html

A.2 Thin walled section resistance elastic and plastic.

e) Sections open & closed Class 1 to 4 (local buckling {effective width}) (different materials) N, V_y, V_z, M_y, M_z, T_t, T_w, B (Class 4 works with 1 layer): https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/thinwallsectionmaterials_class4.html
f) Thin wall section elastic & plastic Class 1 to 3: https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/thinwallsectionelasticplastic.html
g) General curved sections, variable thickness. https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Thin_wall_section_elastic_plastic_curve_general.html
h) General (including sections made up of different materials) https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Curved_thin_walled_section_elastic_and_plastics.html
i) Sections open & closed Class 1 to 3 N, V_y, V_z, M_y, M_z, T_t (Suggested if $I_w = 0$): https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/thinwallsectionopenclosed.html

A.3 Composite Shell analysis static , dynamic, vibration, buckling:

j) Composite (material orthotropic in several layers) Shell static , dynamic, vibration and buckling modes (Top view rectangular).

https://labmatlab-was.upv.es/webapps/home/Shell_vibration_dynamic_composites.html

A.4 Source code:

k) https://es.mathworks.com/matlabcentral/profile/authors/3792691

A.5 More software at:

l) https://antonioagueroramonllin.blogs.upv.es/

B EXAMPLES

Nomenclature is according to Eurocode 3. Additional examples can be found in references [1] to [9].

Example 1: Title of software: Thin Wall section elastic plastic curve general
Possibility to calculate: see A.2 g).
Goal: analysis of cross section made out of circular and elliptical part, obtain stresses and section properties. See Figs 1a,1b and 1c.

Section properties:
A = 99.776 cm², = 5020.954 cm⁴, I_z = 8426.624 cm⁴, I_{yz} = -0.000 cm⁴, I_w = 12266.455 cm⁶, I_t = 4307.000 cm⁴, y_{SC} = 2.513 cm, z_{SC} = -0.000 cm, y_G = 3.519 cm, z_G = 0.000 cm.
Cross-section plastic resistances:
N_{pl} = 1956.543 kN, $M_{y,pl}$ = 13500.620 kNcm, $M_{z,pl}$ = 14740.929 kNcm, B_{pl} = 18679.446 kNcm².

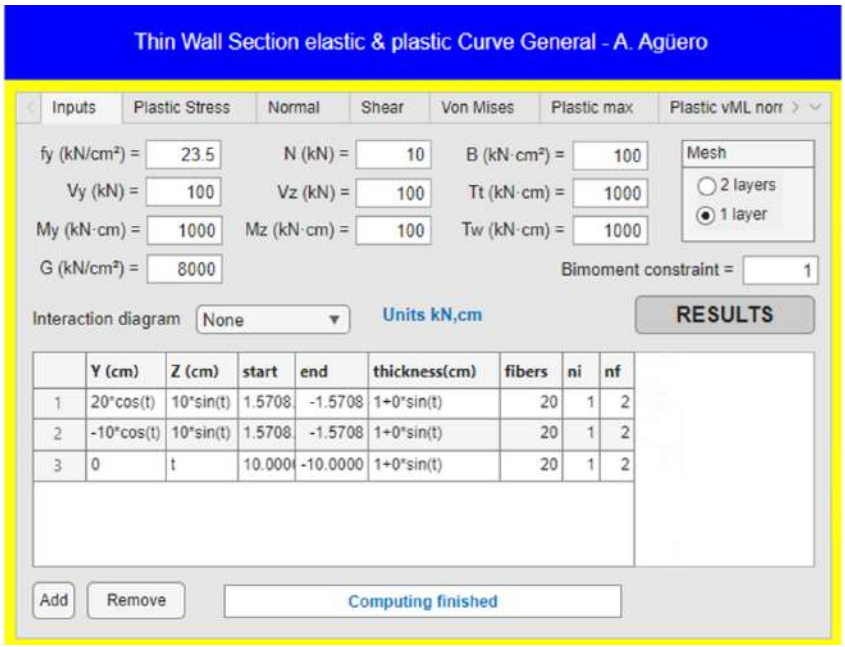


Fig. 1a. Inputs for example 1.

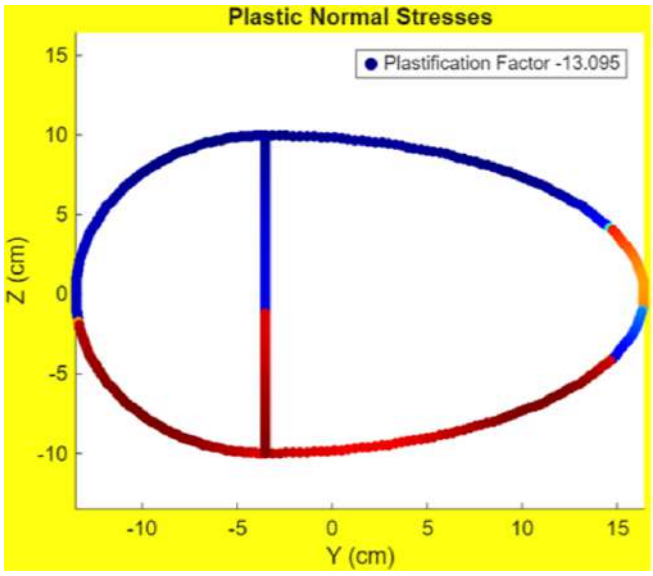


Fig. 1b. Section drawing for example 1.

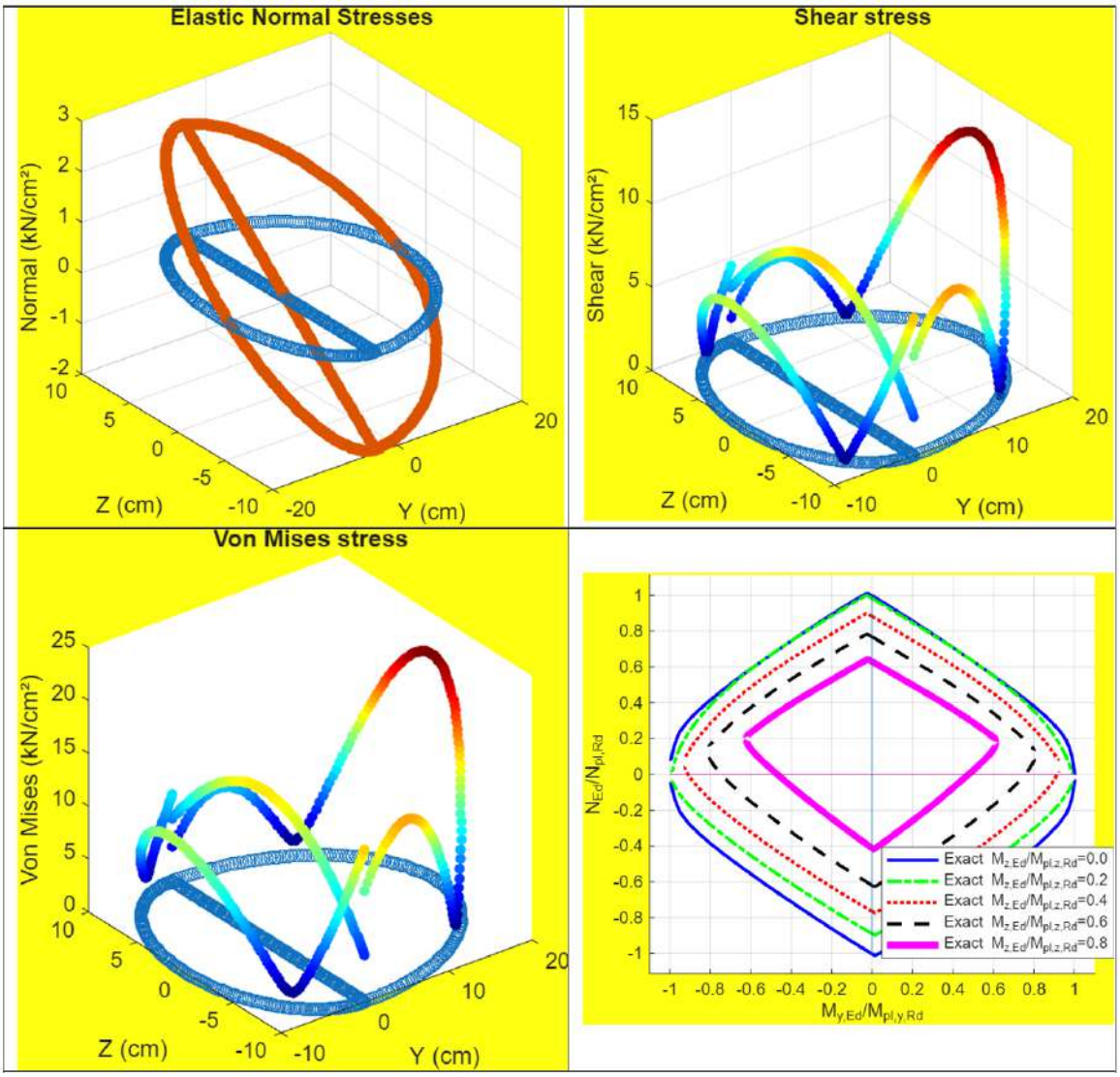


Fig. 1c. Elastic stresses and interaction diagram N-My-Mz for example 1

Example 2: Title of software: Thin walled section elastic and plastic
Possibility to calculate: see A.2 f).
Goals: section analysis stresses
Units kN, cm. B = 500000 kNcm^2, T_w = 10000 kNcm. See Fig. 2a. and 2b.

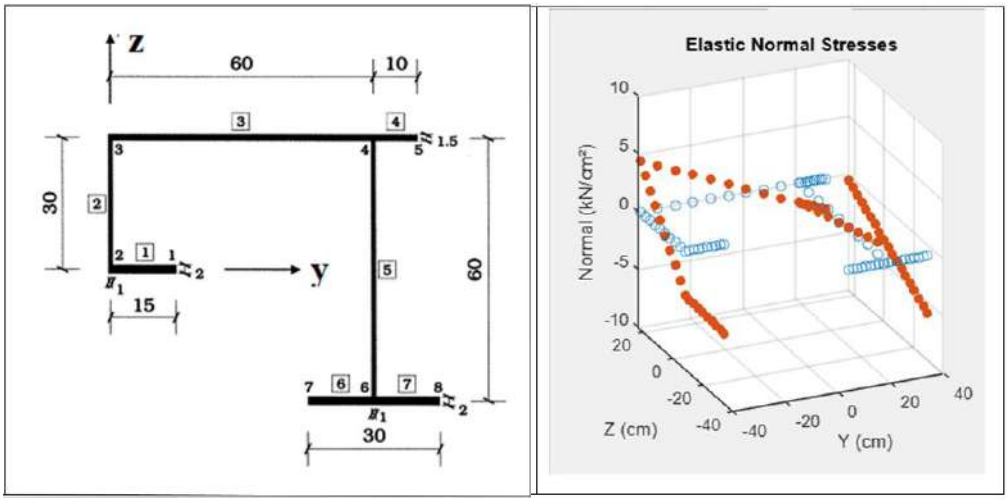


Fig. 2a. Inputs and results for example 2.

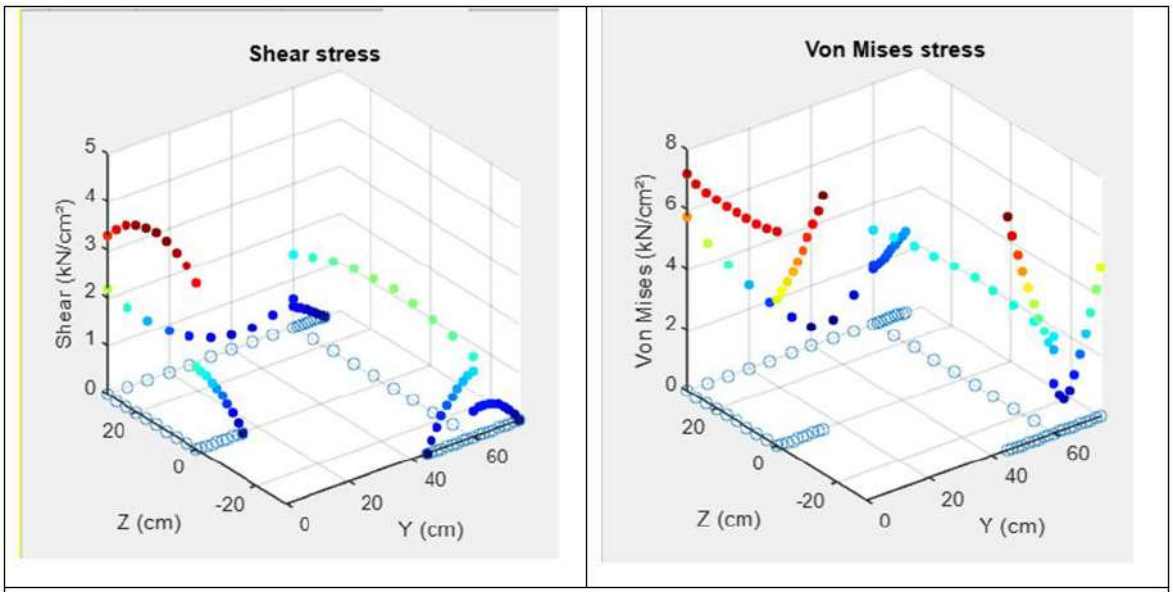


Fig. 2b. Results for example 2.

Example 3: Title of software: Buckling imperfection open closed
Possibility to calculate: see A.1 d).
Goal: buckling analysis under compression obtain equivalent imperfection (UGLI) of a fork supported J-shaped section. See Figs. 3a and 3b.

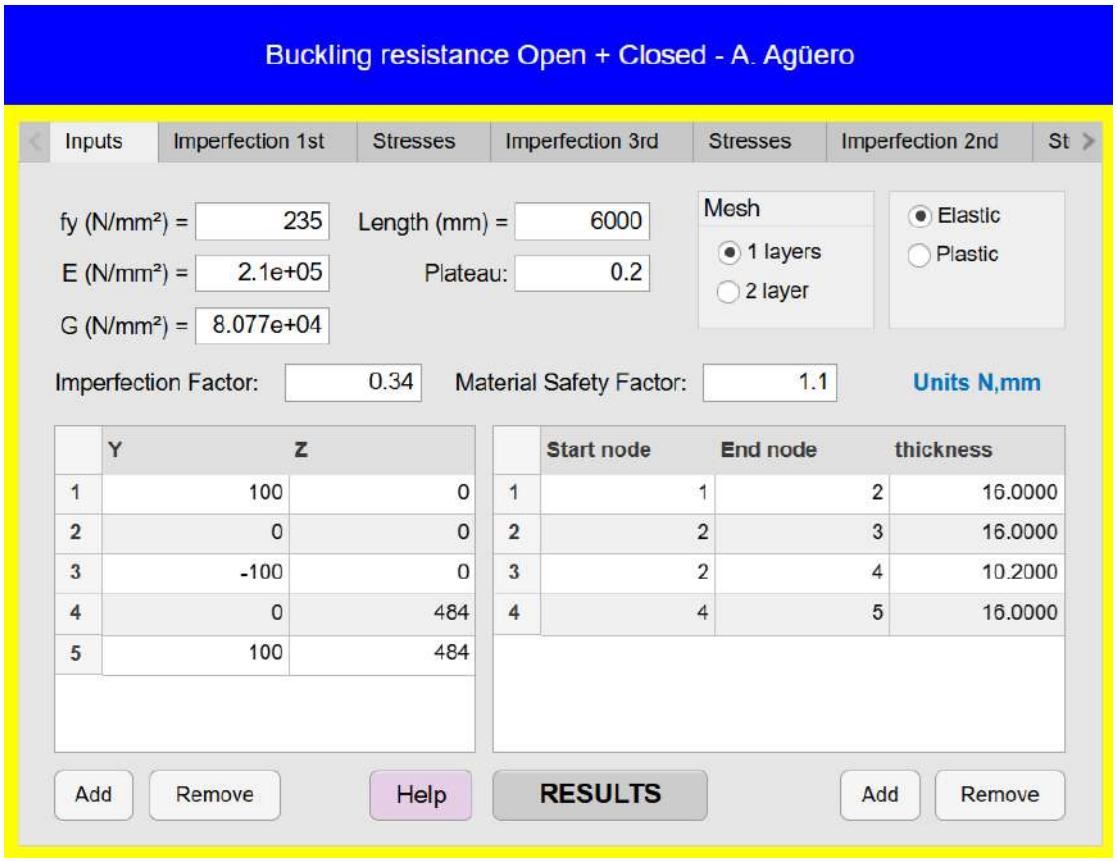


Fig. 3a. Inputs for example 3.

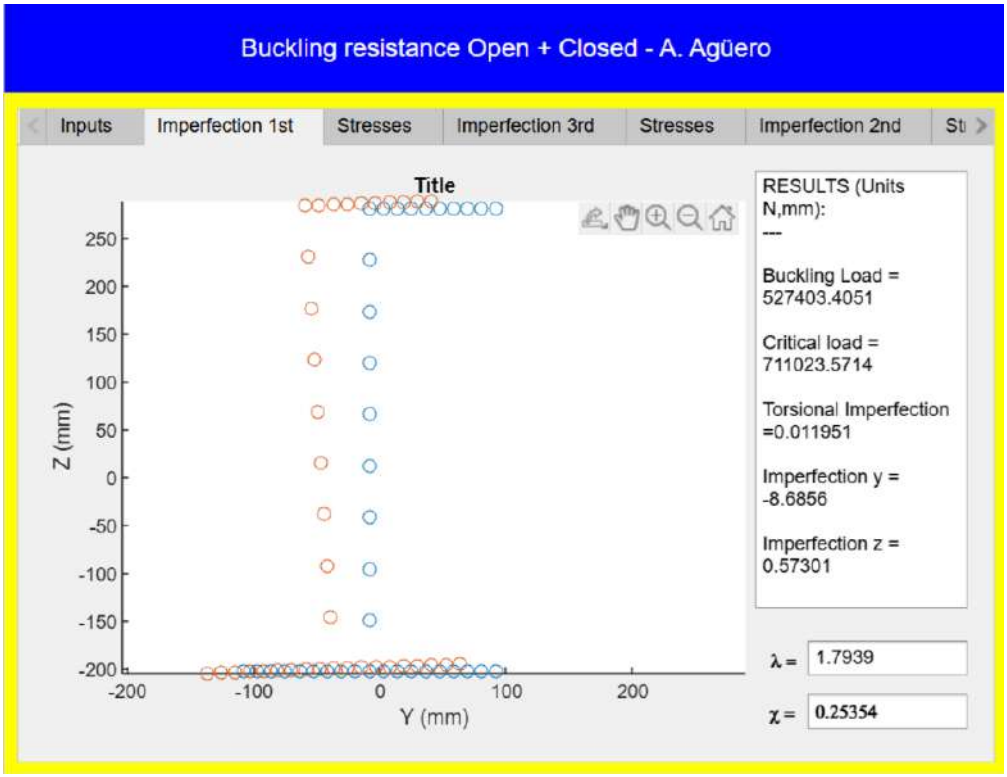


Fig. 3b. Results for example 3.

Example 4: Title of software: Beam column imperfection
Possibility to calculate: see A.1 b).
Goal: Beam column analysis with UGLI imperfection, simply supported element under compression and moments at the ends, lateral support at mid span. See Fig. 4a.-4.d.

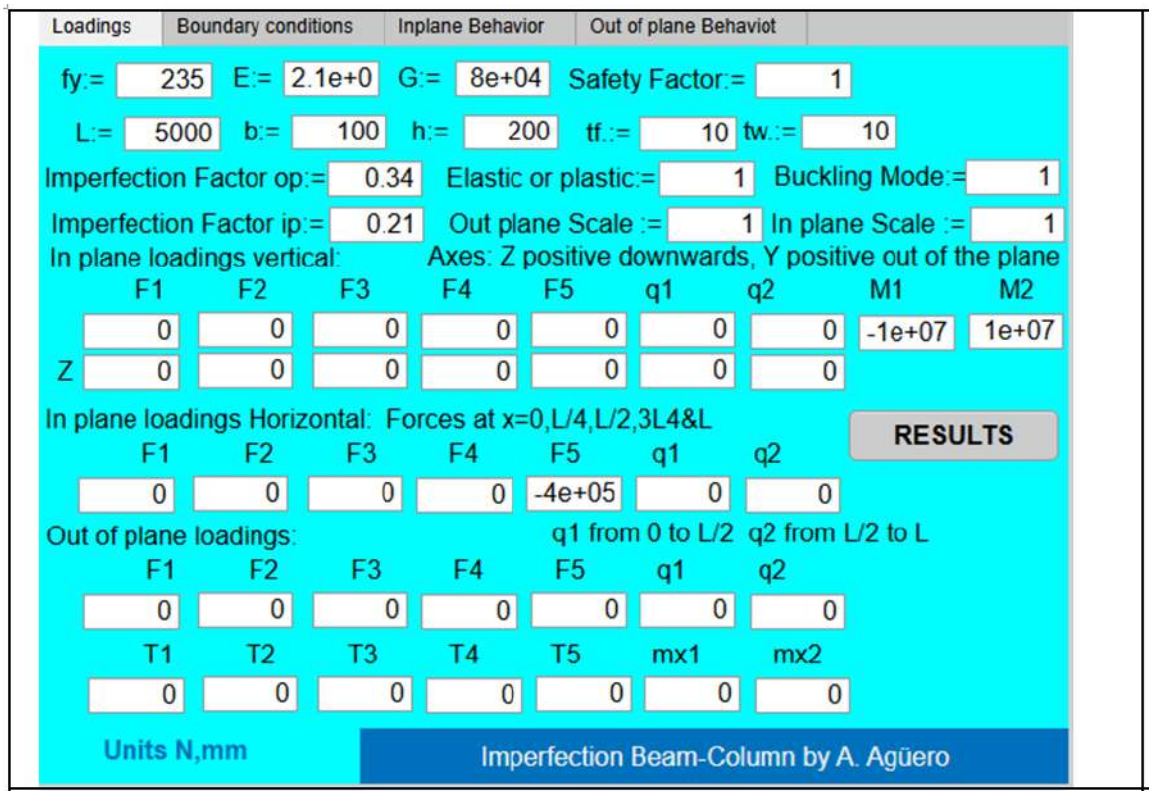


Fig. 4a. Inputs for example 4.

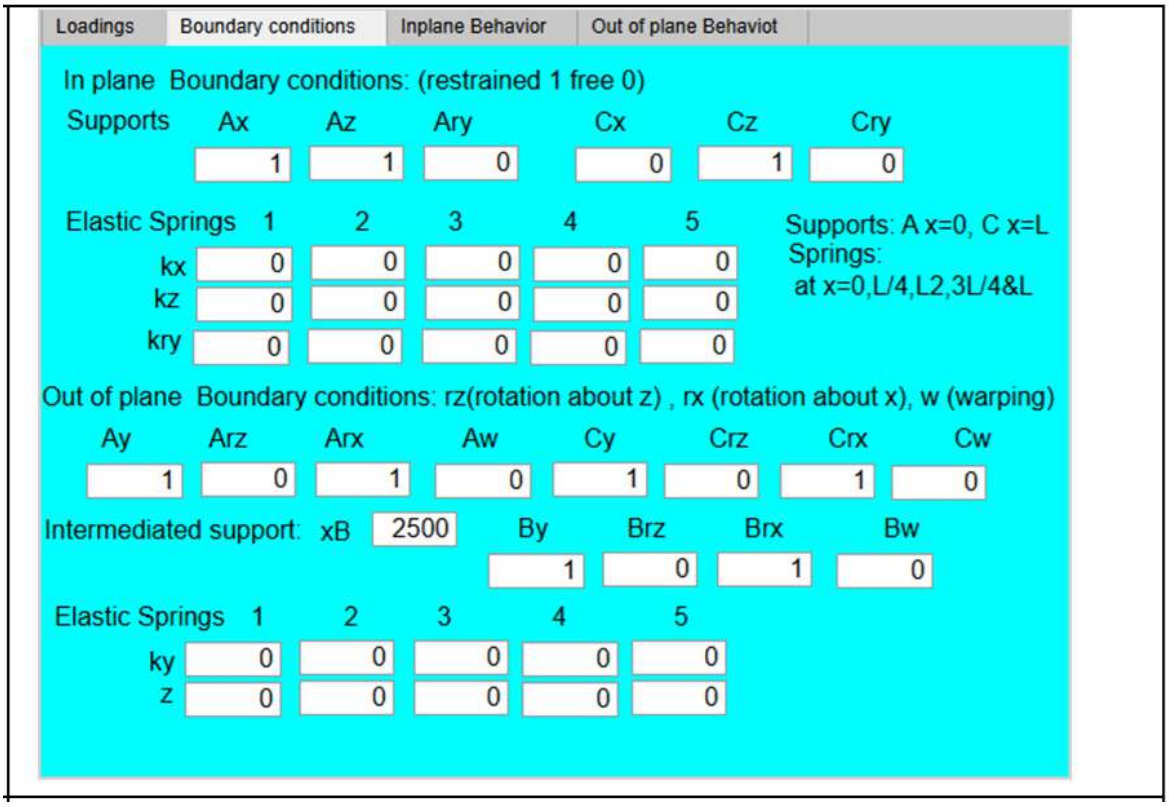


Fig. 4b. Inputs for example 4.

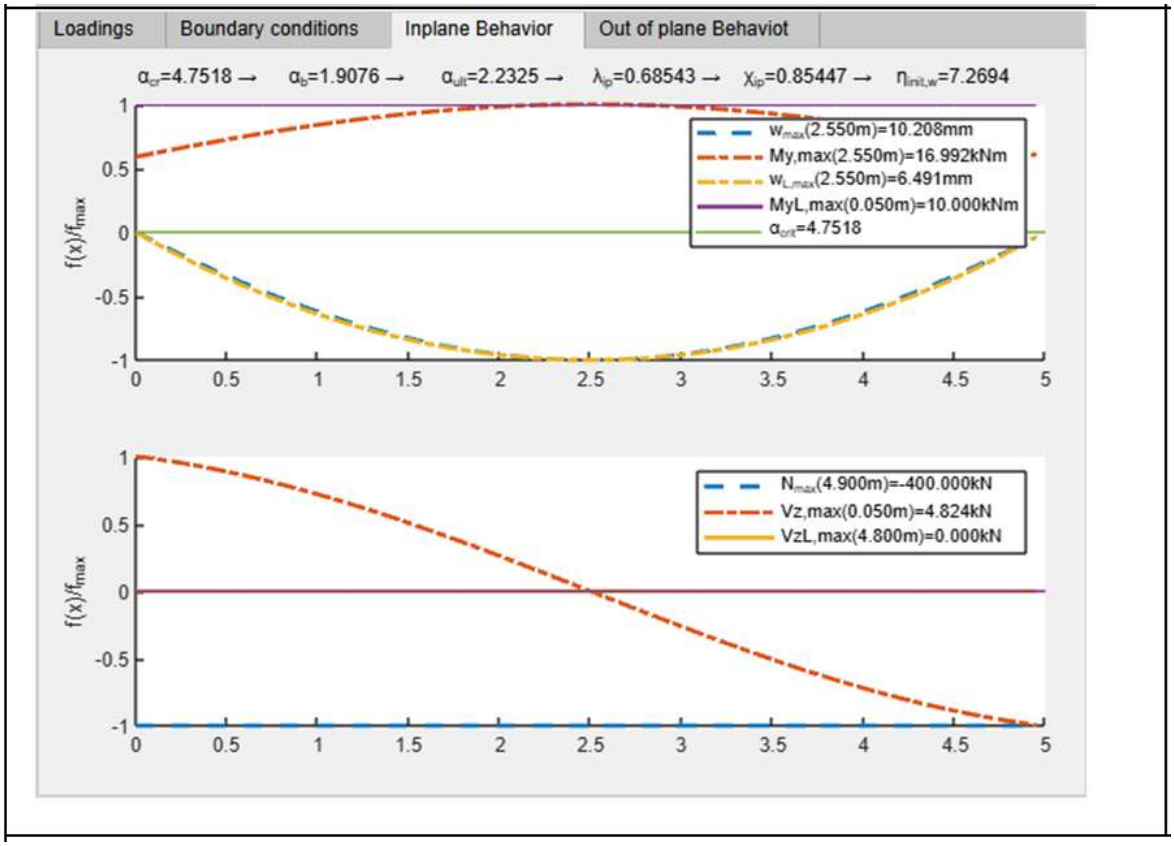


Fig. 4c. Results for example 4.

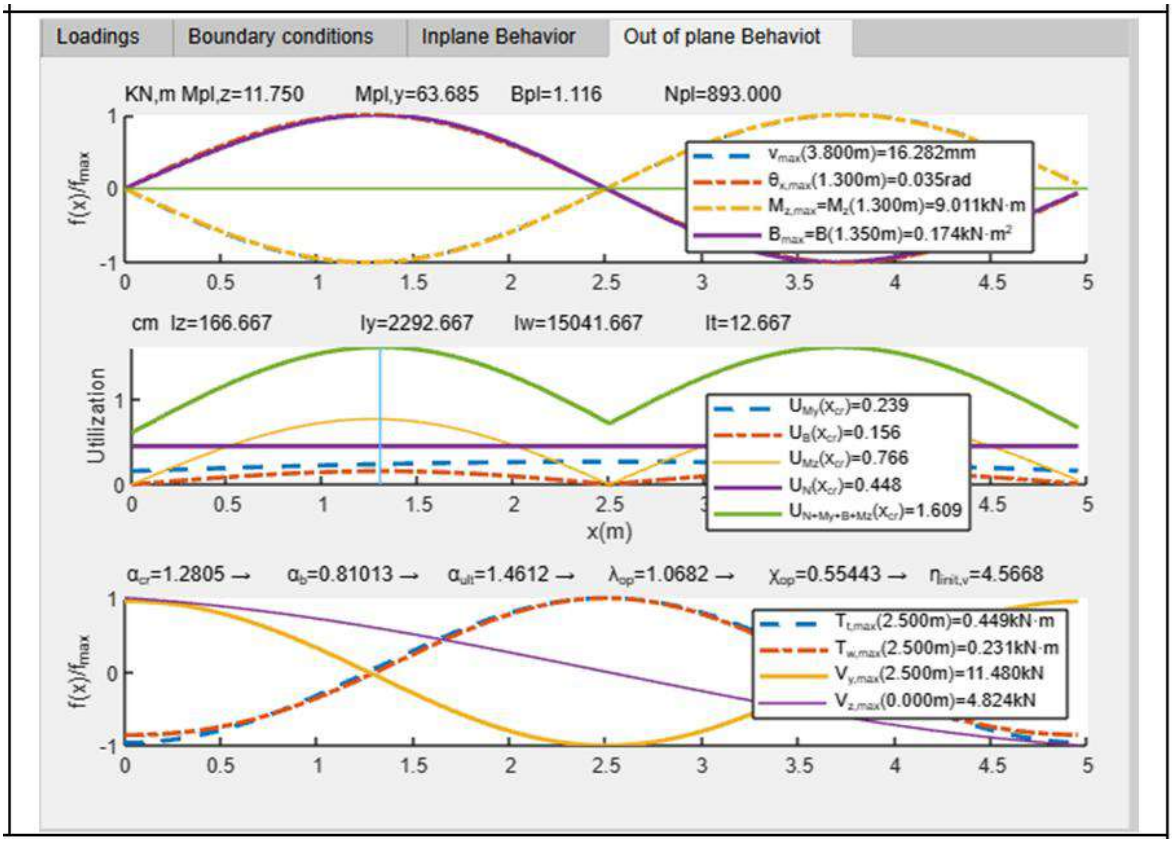


Fig. 4d. Results for example 4.

C AI VS. HAND CALCULATIONS [10]

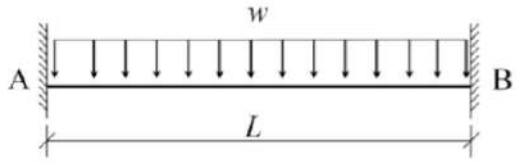
Engineers have three possible ways to solve structural engineering problems:
a) hand calculation,
b) developing a computer model of the structure and solving it on a computer with dedicated structural analysis software,
c) using generative AI.

Use of the newest open-to-public from OpenAI is GPT-5 with more sophisticated capabilities for solving problems using the deeper reasoning model (GPT-Thinking) and GPT-Pro with research-grade intelligence see here [10]:
https://www.structuremag.org/article/ai-vs-hand-calculations/

Five problems were solved and analysed in [10]. See two of them in Fig. 5.

NOTE: The structural engineer, the human, is responsible for the analysis and design of structures and proper use of any computer programs and AI as well, computer modelling and hand calculation.

Problem 1. Find the final member-end-moments, symbolically, in terms of *w* and *L*, for the beam with fixed ends given below. Consider only flexural deformations (no shear deformations).



Solution:

Attempt	*Model and Approach by AI*	*Result Accuracy*	*Comments*
1	(GPT-5 Thinking) First principles, Euler-Bernoulli beam theory	✓	Correct final member-end-moments of $wL^2/12$; matched hand calculation from compatibility method.
2	Same as above	✓	NA: problem solved correctly in first trial.
3	Same as above	✓	NA: single attempt sufficient.

Summary: For this simple fixed-fixed beam, ChatGPT quickly produced the correct symbolic solution for final member-end-moments, matching the well-known closed-form hand-calculation result of $wL^2/12$.



Problem 4. Find final shear flows on all walls for the box-girder bridge cross-section given here, with applied torsion of 20,000 kip-ft. The lengths in the figure below are in ft units. Ignore the cantilevers at the overhangs. Solve this as three cells of a multi-cell, statically indeterminate, cross-section. Provide shear flow results in units of kips/ft.

Attempt	*Model and approach by AI*	*Result Accuracy*	*Comments*
1	(GPT-5-Pro) Bredt-Batho model for multi-cell torsion	✗	Approx. 10% error in shear flow; incorrect torsion area for exterior cells.
2	(GPT-5 Thinking) Bredt-Batho model	✗	Same error; used simultaneous equations for torsion compatibility.
3	(GPT-5 Thinking) Bredt-Batho model	✗	Same as above; consistent but incorrect.

Summary: All three ChatGPT attempts produced similar but incorrect shear-flow distributions. The error was traced to the AI's use of the exterior surface instead of the girder centerline for calculating effective torsion areas in the end cells. Despite the mistake, ChatGPT correctly applied the Bredt-Batho compatibility equations and wrote Python code to solve the system.

Fig. 5. Two examples taken from [10]: Problem 1 and Problem 4.

THE MAJOR RESORT COMPLEXES OF THE BULGARIAN BLACK SEA COAST

Assoc. Prof. Maria Davcheva, PhD, Arch.[1],

New Bulgarian University

***Abstract**: On a global scale, long-term planned recreation as a mass phenomenon emerged at the beginning of the 20th century and developed more intensively in the second half. While a lack of prior experience and continuity in the design and implementation of resort buildings and complexes presented challenges, it also provided an extraordinary opportunity for all participants in the process. Innovative models and revolutionary technologies were researched, developed, and applied, transforming this segment into one of the most successful evolutionary processes in the global architecture. The rapid development of tourism further catalyzed and sustained the high level and scale of this process. Bulgarian architects, engineers, and builders participated in this intensive development at a pace comparable to that of the most advanced European nations. This resulted in the creation of genuine masterpieces characterized by contextuality, a sophisticated interpretation of local identity, and a global conceptual scope. The privilege of inheriting this rich legacy is accompanied by a responsibility to preserve it today and for the future. Defining key characteristics that allow for a proper assessment of the qualities of a site is the only fundamental platform on which to base the preservation of architectural heritage, regardless of its historical and geographical affiliation.*

***Key words**: Bulgarian Black Sea resorts, history, key characteristics, preservation during renovation.*

1. Introduction

The emergence and development of holiday activities, and the resulting design and implementation of individual and group hotels and from the mid-20th century, the creation of entire resort complexes is a significant global phenomenon. It stands as one of the distinguishing features of the culture of the recent past. Activities related to medical treatment, recreation, and travel led to the construction of buildings and facilities at a much earlier historical point; however, a comprehensive policy for implementing large-scale resort complexes worldwide only emerged in the middle of the last century. This was a consequence of the rapid exchange of information, goods, and services, increased population mobility, the opening of international borders, intensified interest in specific destinations, and the reflection of rapid scientific and technological progress alongside metamorphoses in socio-cultural layers [1].

In Bulgaria, the year 1956 was a turning point. Following the April Plenum, fundamental changes occurred in the state, reflecting quickly and clearly in new directions for the development of art and, consequently, architecture. The removal of certain dogmas from the preceding period allowed the cultural development of every nation particularly those of the Eastern Bloc to simultaneously unfold their potential and the unique

[1] Maria Davcheva, Assoc. Prof. PhD, Arch., New Bulgarian University, Sofia, e-mail:miodesign@abv.bg

authenticity of their local identity. The emergence of new types of buildings serving tourism, production, culture, sports, and education, as well as new functions and activities accompanying life processes during this historical period, placed architecture in a dynamic, experimental environment. The lack of experience, both nationally and globally, deprived projects and their authors of continuity, but conversely provided unlimited freedom and the opportunity to develop the model in real time. Bulgarian architects succeeded in unleashing their potential to build large-scale complexes numerous masterpieces of Late Modernism, local Brutalism, and contemporary interpretations of traditional Bulgarian architecture all of which remain inspiring and timeless to this day [2].

From their inception to the present, seaside resorts have been an inspiration for architects and artists across generations. Many Bulgarian feature films have been shot on the territory of our Black Sea coast, including "With Children at the Seaside" (1972), "Orchestra Without a Name" (1980), "The Past Master at the Sea" (1982), "Whale" (1969), "Vasko da Gama from the Village of Rupcha" (1986), "Forecast" (2008), "Sneakers" (2011), "Holidaymakers" (2016), "Living Legends" (2014), and others.



Fig. 1. Collage of postcards and movie posters, Maria Davcheva,2020



Fig. 2. Holiday Village Rusalka;Albena Resort Complex;Hotel Pliska-Golden Sands; International House of Scientists- Druzhba;Restaurant Hanska Shatra-Sunny Beach.

The Resort Complex "Golden Sands" has long hosted international auto rallies, while "Albena" continues to host renowned beauty and fashion competitions. In the mid-20th century, "Sunny Beach" was famous not only for conference and sports tourism but also for the annual international pop music festival "The Golden Orpheus" (1965-1999).

A sustained interest in our Black Sea resorts beyond their direct tourist function can be observed. Evidence of this includes the episode "Concrete Dreams" (Urlaubstraume in Beton) from 2020, the Franco-German TV channel ARTE/MDR-Art trilogy on 1960s European summer tourism. Prof. Stella Tasheva, PhD Arch. and Assoc. prof. Maria Davcheva PhD Arch., discussed the history, development, and key sites of "Sunny Beach", while Arch. Vladimir Popov led the tour of "Albena ". Another sign of the timelessness of our maritime architecture is the Wave Hotel, completed near Aheloy in 2019. It has received numerous architectural awards and serves as an example of a contemporary interpretation of a hotel from the recent past specifically, Hotel "Kuban" (1968) in "Sunny Beach ". The existence of an authentic substrate, even after the two construction invasions in Bulgarian resorts (2003-2009 and post-2012), along with the emergence of more positive examples in the reconstruction of individual hotels, simultaneously raises questions and provides answers regarding the correct and incorrect approaches to this issue.

This material aims both to retrospectively construct a comprehensive architectural picture from the inception and authentic development in the second half of the 20th century to its current state and to derive leading success markers for contemporary reconstructions through positive examples. An important fact to note is that Bulgarian resorts were initially created for and used exclusively by foreign tourists. The inability of Bulgarians to vacation in Bulgarian resorts until 1989 would deeply reflect on the national psychology. This impossibility is captured in the essence of many Bulgarian films, and countless stories have been written about the feeling of being unwanted in the resorts of one's own country—one of the most harrowing being Georgi Markov's "The Sting and the Honey of Tourism" [3]. Bulgarians would not identify the native Black Sea coast as their place for summer vacation, even after its "opening" after the year 2000. The full decentralization of the economy, combined with the relatively small investment capabilities of private business, led to a disastrous defragmentation of tourism and its material base. This resulted in unplanned and expansive overdevelopment of resort complexes and the overloading of communication arteries and hubs, which inevitably diminished the quality and irrevocably destroyed the potential of the complexes themselves.

2. Emergence and Development of Sea Resorts in Bulgaria

Officially, the resort industry in Bulgaria began in the 1920s with the declaration of Varna as the "first Bulgarian Black Sea resort," granting the Varna municipality the right to collect resort fees and contract loans for the development of the letovishte (the terms letovishte and kurort will be clarified in the following passage). Data on long-term health-oriented recreation in the region existed prior to this. In 1890, under Mayor Krastyu Mirski, solid sea baths were built, and even earlier, wealthier Bulgarians (and Greeks from Varna) rented rooms in the "St. Constantine and Elena" monastery to spend long summer days by the sea and mineral springs.

The term letovishte originates from a place for rest, usually associated with summer holidays (letuvanie). This terminology is still used today, although the expansion of the resort industry has long since exceeded the etymological boundaries of "summer rest." The word kurort (resort) comes from the German Kurort, meaning "a place for healing or recovery." Today, the term "resort" encompasses a wide range of functions and activities characterizing the modern requirements of tourism and recreation. It is important to clarify that planned, long-term vacationing evolved from a privilege for a select few into a mass practice with broad accessibility during the second half of the 20th century. Bulgaria participated in this trend with the same dynamics as highly developed Western countries like France, Germany, and Italy.

One parameter measuring the social commitment of developed industries and institutions is the ability to provide annual leave for employees in departmental buildings specifically constructed for this purpose. From the mid-20th century, the development of the resort industry shifted from the construction of departmental buildings to the realization of entire new complexes intended for free rental, either individually or in groups. Simultaneously, the opening of borders allowed international tourism to become one of the most dynamic channels for cultural exchange and stable financial relationships. Bulgaria successfully joined the trend already underway in most European countries, led by France of designing and implementing large-scale, comprehensive urban planning solutions and architectural models to meet new requirements for recreation, which developed most rapidly in coastal areas.

In Bulgaria, this process was catalyzed and defined by two other important factors. One was the founding of the first Bulgarian tour operator, "Balkantourist" (1948), which became the organizer and investor in Bulgarian and international tourism. Within its structure, specialized units were created for the design ("Tourist Project"), implementation, monitoring, and management of hotels. The other important factor was the conscious and consistent state policy pursued after 1955. Specific tasks for the upcoming five-year plan are regulated by Decree No. 6 of the Council of Ministers, dated 6 January 1948, evolving from the construction of individual architectural objects for recreation to the planning and construction of entire resort complexes. The true beginning of territorial and urban planning processes for the Bulgarian Black Sea coast resulted from the subsequent Decree of the Council of Ministers on December 1, 1955, regarding the cultural development of the Varna coast as a first-class maritime and climatic resort of national and international significance. Urban plans were prepared in short order, and the phased construction of the first three seaside resorts began:

• **Resort Complex "Druzhba"** (originally Resort Complex "Varna," now Resort Complex "St. St. Constantine and Elena"), from 1948-55, led by Arch. Kosta Nikolov with designers Arch. Georgi Ganev and Arch. Ivan Nikolov.
• **Resort Complex "Golden Sands"**, from 1956, led by Arch. Georgi Ganev with designers Arch. Dorian Morozov, Arch. Racho Stoyanov, and Arch. Milko Mateev.
• **Resort Complex "Sunny Beach"**, from 1957, led by Arch. Nikola Nikolo).

Additionally, holiday villages such as Rusalka, Elenite, and Dyuni were established.

- **"Rusalka"**, from 1968, Arch. Marin Marinov
- **"Elenite"**, from 1985, Arch. Stoian Velkovski, Arch. Stefan Orozov
- **"Duni"**, from 1986, Arch. Nikolay Damov, Arch. Selma Tupareva

3. The Large Seaside Resorts of Bulgaria

3.1. Resort Complex "Druzhba"

With the construction by "Balkantourist" of the hotels "Roza" (1949), "Odessos" (1950), and "Prague" (1951) (authors: Arch. Vasil Tiholov and Arch. Nikolay Marangozov) in the area near the St. St. "Constantine and Elena" monastery north of Varna, the foundation for the first coastal complex and integrated resort construction in Bulgaria was laid [4]. The complex has successively borne the names "Varna," "Druzhba," and, since 1992, "St. St. Constantine and Elena." The rich cultural-historical heritage and numerous mineral springs have attracted people to this area since ancient times.

The official decision to use the area for resort activities was made in 1907 by the Council of Ministers. Between 1913 and 1918, the famous park designer Anton Novak worked on the landscaping and greening of the future modern resort. The first newly built building was a children's sanatorium (1911), established on the initiative of Queen Eleonora and Dr. Paraskev Stoyanov. As early as 1929, the construction of the first seaside departmental holiday homes began. The lack of experience in designing such buildings logically led to the use of familiar neoclassical and modernist forms. Functional schemes were simple—unilaterally and occasionally bilaterally built corridors with small rooms containing single beds and shared sanitary facilities on each floor.

By Decree No. 470 of December 15, 1955, "Balkantourist" was designated as the investor for Resort Complex "Druzhba," with design assigned to "Glavproekt" Sofia under Arch. Kosta Nikolov and a team, including Arch. Georgi Ganev and Arch. Ivan Nikolov. By 1960, the hotels "Chaika," "Bor," "Prostor," "Lebed," "Emona," "Narcissus," "Nezabravka," "Rusalka," and "Lotos" were built. These were low-rise and successfully integrated into the surrounding park environment. The volumetric-spatial solutions of the buildings were distinct, featuring the ribbon glazing, recessions, and projections characteristic of Modernism. Facades possessed a prominent grid and well-proportioned scales. Functional schemes were enriched, and interior solutions were fresh in color and form.

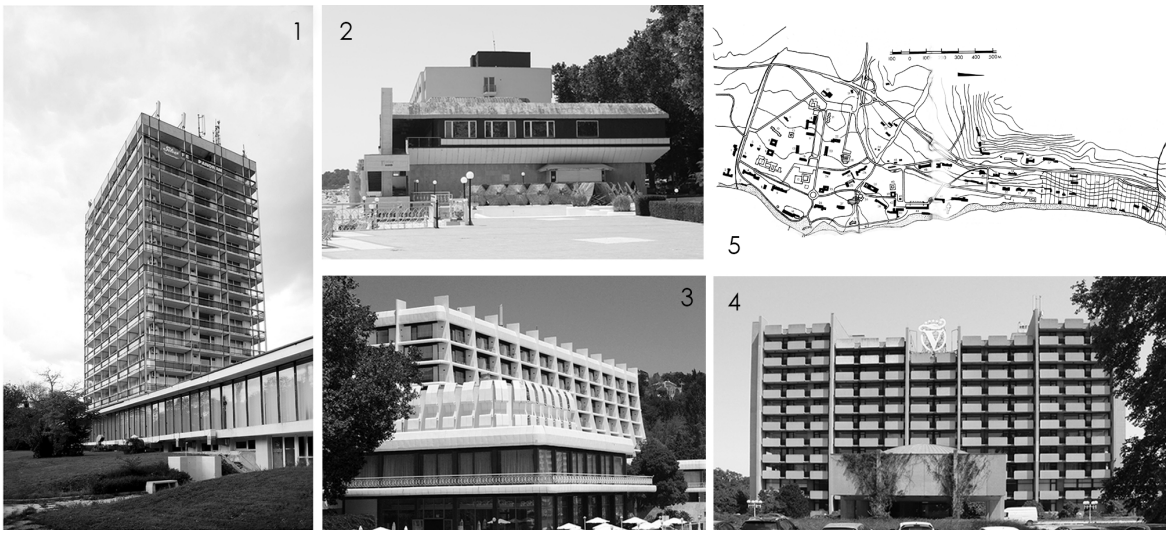


Fig. 3. Druzhba Resort Complex: 1. International House of Scientists, 1966, arch. Georgi Ganev, photo 60s; 2. House N 5, 1974, arch. Ivan Mitsov; 3. House N 6, 1979, arch. Milena Yordanova; 4. Grand Hotel "Varna", 1977, arch. Georgi Ganev;

Photos Maria Davcheva, 2022

5. Urban development plan of Resort Complex "Druzhba", 60s, arch. Kosta Nikolov, arch. Georgi Ganev, arch. Ivan Nikolov, Glavproekt

Important objects with distinctive aesthetics and innovative structural solutions in the Resort Complex "Druzhba" include:

• International Scientists' Home "Frederic Juliot Curie" (1966, Arch. Georgi Ganev): Designed according to a classic scheme a high hotel block resting on a broad area service block. The facade grid of the high block is defined by the exposure of the building's structure (reinforced concrete cantilevered slabs and metal railings/tensioners) across four equivalent facades. As a counterpoint, the low block is designed as an elongated glazed volume enclosed between two horizontal planes. Through the asymmetrical displacement of the two blocks and the use of different grids, both dynamism and a richness of

architectural image and harmonic unity were achieved. Today, the building remains in its authentic form but requires comprehensive reconstruction.

• Hotel "Rubin" (1970, Arch. Georgi Stoilov): Also stood out for its overtly exposed structure, defining a rhythmic grid and asymmetry in the front facade. Unfortunately, this building has not been preserved.

• Grand Hotel "Varna" (1977, Arch. Georgi Ganev): The first five-star hotel in Bulgaria. The building possesses a monumental symmetrical appearance and a rhythmic volumetric grid characteristic of Metabolist solutions. It is distinguished by a complex functional structure developed in simple volumes and monumental facades of exposed concrete. Today, the building and park are in their authentic state, with long-awaited renovation pending.

• The Central Committee of the Bulgarian Communist Party Complex: Consisted of six hotel structures. Only "House 6" (1979, Arch. Milena Yordanova), now Hotel "Palace," remains in its authentic form. It is notable for the skillfully proportioned integration of volumes from various functions, its "lace" railing, and a unique vision reminiscent of a floral object. Its streamlined forms, clever perforations, and numerous open staircases descending to the shore integrate the building into its context.

From this overview, it can be stated that within a very short period, holiday homes and hotels with individual visions and evolving functional concepts were implemented in the Resort Complex "Druzhba" in harmony with the natural environment. Buildings with revolutionary structural-technological solutions were constructed alongside those interpreting traditional Bulgarian architecture and maritime themes through a local reading of the tenets of Modernism, Brutalism, and Metabolism.

3.2. Resort Complex "Golden Sands"

The resort is situated along the Uzun Kum (Long Sand) beach—stretching 2,000 meters in length and between 80 and 100 meters in width—chosen for its unique natural features: fine sand, a wide bay, and longoz (floodplain) forests on steep terrain. The Shkorpil brothers were the first to identify the area's potential for resort activities. By a Decree of the National Assembly, the state reallocated 180 decares of the sandy strip from municipal ownership to the Varna Archaeological Society, led by Shkorpil, for its management, cultivation, and the establishment of a park and maritime complex. For this purpose, the society formed a committee consisting of an agronomist and an engineer to develop a conceptual framework (1931). In 1924, Karel Shkorpil described the sand of Uzun Kum as "golden," thereby providing the name for the future resort.

The official commencement of Resort Complex (RC) "Golden Sands" occurred on December 1, 1955, following a Ministerial Decree and the approval of the urban plan for Varna and its coastline (from Trakata to Golden Sands) in 1956. The design competition for the future resort was won by a collective led by Arch. Georgi Ganev, with a team including Arch. Racho Stoyanov, Arch. Dorian Morozov, and Arch. Milko Mateev [5].

Initial plans envisioned the construction of 17 hotels with a total of 2,000 beds, wooden chalets with 1,000 beds, a restaurant, and a casino. The groundbreaking ceremony took place on August 11, 1956, at the site of Hotel "Serdika" (now "Lilia"). In 1957, the first hotel, "Rodina" (now "Obzor"), was inaugurated.

During the first construction stage (1957–1958), 11 hotels and 4 restaurants were built. The earliest hotels were positioned parallel to the sea, immediately adjacent to the beach, within the narrow boundary zone between the sands and the steep, rugged terrain covered by dense longoz (floodplain) forest. The buildings were low-rise (up to 4 floors), mostly featuring a horizontal grid emphasized by railings. Subsequently, the facades of some buildings transitioned toward orthogonal segmentation due to the solid vertical walls between deep loggias. None of these small hotels exist in their authentic form today. All

beachfront hotels were "absorbed" during the first major construction invasion along the Bulgarian Black Sea coast between 2003 and 2009. For instance, hotels "Akatsia" and "Gladiola" were merged, heightened, and poorly repainted in a brick colour, leaving no trace of the cheerful, light architecture of the originals.

By 1962, the total capacity of Resort Complex "Golden Sands" reached 2,000 beds. Due to the intensive implementation processes in the other two major resort complexes, "Druzhba" and "Sunny Beach," a Regional Coastline Plan was approved, developed by a team led by Georgi Atanasov (Institute of Territorial Planning).

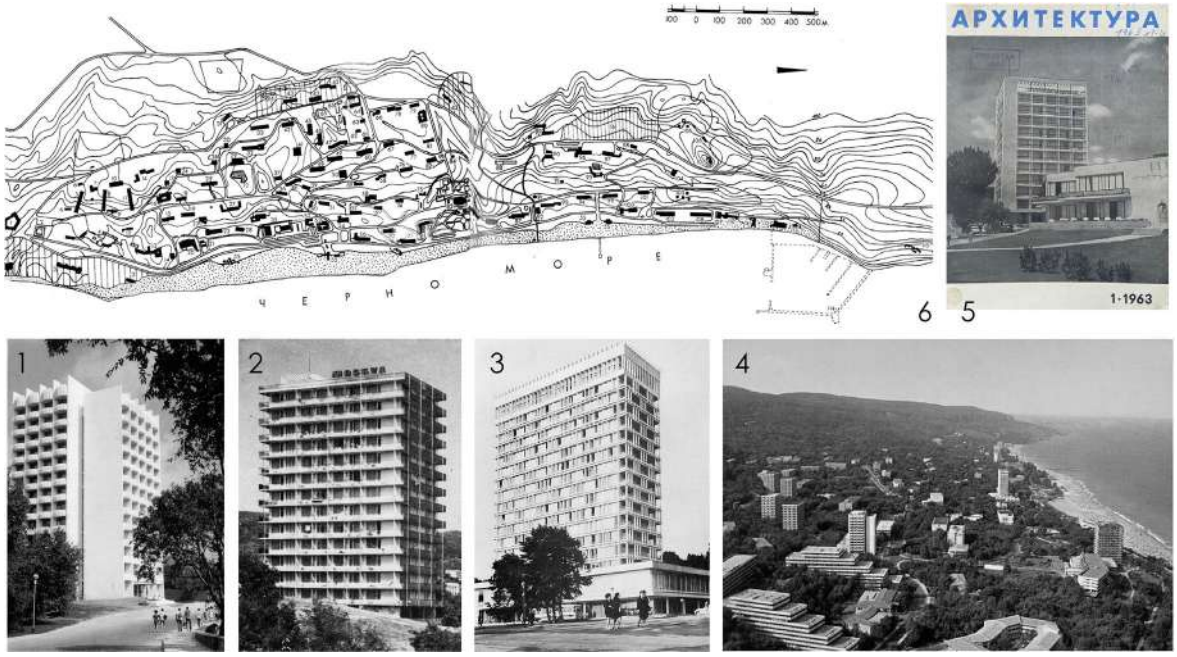


Fig. 4. Golden Sands Resort Complex: 1. Hotel Shipka, 1962, arch. Milena Yordanova; 2. Hotel Moscow, 1965, arch. Kosta Kozhuharov; 3. Hotel International, 1968, arch. Georgi Stoilov; 4. panoramic photo from the 60s; 5. cover of Architecture magazine 1/1963

Photos: archival Aneta Kamenova-Bulant and contemporary Maria Davcheva,2022

6. Urban development plan of Resort Complex "Golden Sands", 1956, arch. Georgi Ganev, arch. Racho Stoyanov, arch. Dorian Morozov, arch. Milko Mateev

Construction proceeded with high intensity during each one-year building period until 1975, marking the completion of the realization of the Resort Complex "Golden Sands." The shift in this period was that while the number of built objects was nearly halved, their capacity tripled or quadrupled. This densification of the territory was made possible by larger-scale hotels. Some occupied a larger footprint and formed complex ensembles of several volumes (e.g., "Preslav," designed like a monastic courtyard; "Pliska" and "Veliko Tarnovo," which terraced down the terrain; and "Glarus," "Mimoza," and "Excelsior," featuring characteristic sawtooth-like projections of terraces or entire hotel rooms). Other high-capacity hotels were high-rise, tower-like structures built after 1960 and dispersed throughout the complex ("International," "Shipka," "Moskva," "Astoria," "Metropol," "Tsarevets," "Trapezitsa," "Varshava," and "Berlin").

Between 1956 and 1961, 29 hotels and 10 restaurants were built; from 1962 to 1965, 18 hotels and 10 restaurants were added, totalling 47 hotels and 20 restaurants over these nine years. During the subsequent nine years (1966–1975), 17 hotels were constructed nearly one-third of the previous period along with only three restaurants.

We can conclude that although the apparent repetition in architectural concepts unified the volumetric-spatial solutions of the hotels in Resort Complex "Golden Sands" a

point frequently noted in architectural criticism—this text highlights several distinct models and undisputed individual exterior designs. These include hotels like "Shipka" and "International" (not preserved in their authentic form), "Pliska" and "Preslav" (preserved authentically), and "Astoria" and "Metropol" (successfully reconstructed).

A distinguishing feature of the overall concept of Resort Complex "Golden Sands" is that, unlike the resorts of "Sunny Beach" and "Albena," the hotels are not grouped. Their rotation and combinatorics resulted in a vibrant puzzle of buildings, picturesquely perched on steep slopes amidst longoz (floodplain) forests, nestled between the meanders of the main communication arteries. The primary infrastructure follows the terrain's contours like meanders, while the compositional axes intersect them orthogonally, following an east-west direction.

3.3. Resort Complex "Chaika"

Resort Complex (RC) "Chaika" is situated between the resorts of "Druzhba" and "Golden Sands" and was developed concurrently with them. It was initiated by the Trade Unions with the objective of constructing departmental holiday bases for institutions from across the country. Although eight holiday homes had been built in "Druzhba" as early as the 1930s, and an equal number in "Golden Sands," the primary goal of Resort Complex "Chaika" was to provide summer recreation facilities for the Bulgarian workforce (as previously noted, the major maritime resorts were almost exclusively designated for international tourism). Numerous holiday stations are integrated into the landscape of the steep terrain descending toward the beaches of "Kabakum" (Soft Sand), "Armutlukum" (Pear Sand), and "Baba Alino".

The metamorphoses of the architectural image and functional schemes are analogous to the resorts discussed thus far. The earliest structures are more massive, featuring neoclassical facade interpretations. Subsequent buildings exhibit diverse variations of a lighter aesthetic, frequently employing modernist approaches such as ribbon glazing, solid segments, deep ground floor recesses, the seamless integration of nature into the building, overt structural expression, orthogonal grids, and a limited palette of materials.

• Complex "Strandzha" (now part of the COOP chain), "Sport Palace," and the International Journalist House represented the three most luxurious holiday facilities in Resort Complex "Chaika." The first two are positioned on the steep forested slope in the upper part of the complex, relatively distant from the shore but offering breathtaking views. Hotel "Strandzha" consists of three landscape-integrated three-story hotel buildings and a central service core containing the reception and a restaurant designed with multi-level indoor halls and outdoor terraces. The entire complex is terraced to follow the natural incline of the terrain. Authenticity has been preserved in its entirety and details (stone retaining walls, fountains, pergolas, arches) despite the subsequent integration of additional functions and architectural elements.

• Hotel Complex "Sport Palace" is situated on a plateau high above the beach line. In accordance with its function (indoor and outdoor spaces for sport and recreation), it is designed with simple, orthogonally arranged volumes featuring rhythmic facade grids without ornamentation. The candid reflection of function in the architectural solution, although reaching a degree of asceticism, serves as a commendable example of a complex flourishing within its authentic conceptual framework.

• The International Journalist House comprises one high-rise and one four-story building without a pronounced physical connection. The buildings are immersed in the greenery of the adjacent park and botanical garden, which extends to Kabakum Beach. The low-rise body features the clean, orthogonal facade characteristic of the period, with recesses on the top and ground floors. The high-rise building was constructed in two stages and possessed an innovative vision that remains distinctive today. The ten hotel floors are

contained within a framed volume, topped by a significantly recessed attic floor with an openwork cornice along its entire periphery. The sea-facing facade is extensively glazed. The opposite facade, though serving as the entrance front, is blind but skillfully treated with louvers and stone cladding featuring geometric plastic textures. The hotel volume rests on a two-story glazed service block, whose cantilevered sections are supported by two memorable oval "M"-shaped columns. The building remains in its authentic form but has unfortunately been long abandoned and is currently in a state of disrepair. The low-rise building is occupied but falls far short of contemporary standards for recreation. Today, the International Journalist House stands as an example of irresponsibly squandered anthropogenic and natural potential.

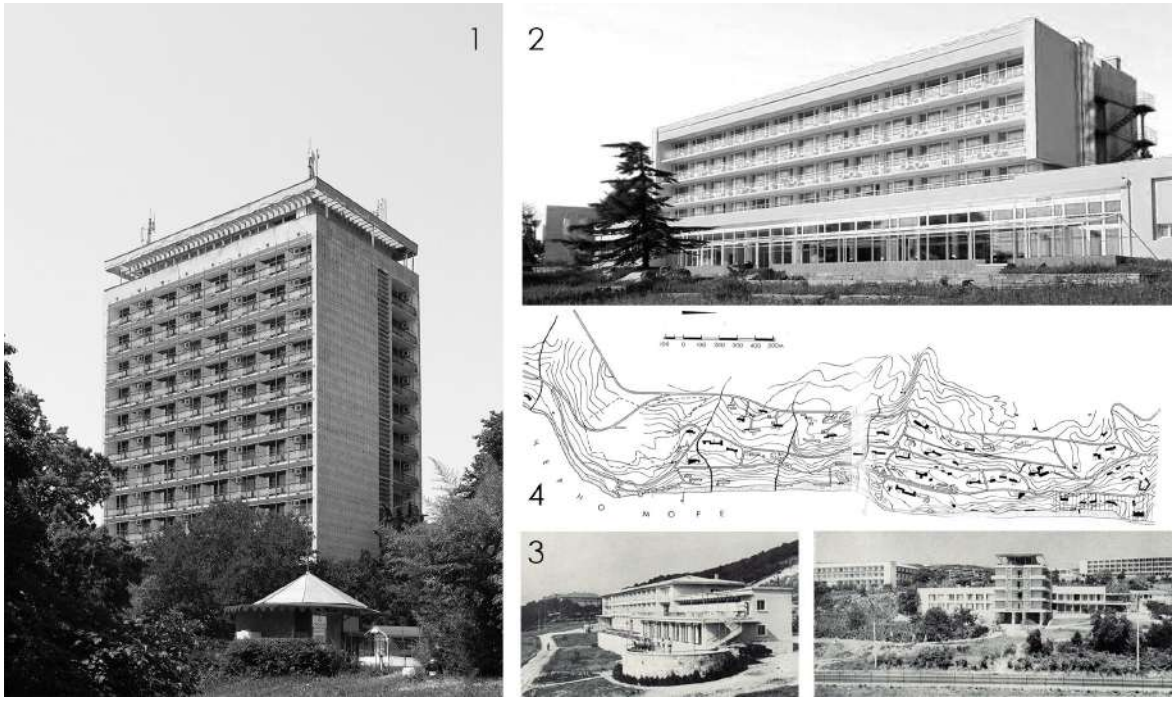


Fig. 5. Resort Complex "Chaika": 1. International House of Journalists, 1963-68, arch. Nikola Nikolov, arch. Alexander Belokapov; 2. Sport Palace, 1968-70; 3. The first holiday resorts in the 50s and 60s;

Photos: archival Aneta Kamenova-Bulant and contemporary Maria Davcheva,2022

4. Urban development plan of Resort Complex "Chaika", 60s

Resort Complex "Chaika" has undergone intensive development since its inception. In addition to numerous holiday stations, it has been densified with smaller departmental buildings and private villas of varying volumes and aesthetics. This has overburdened the communication network, overpopulated the area, and destroyed unique natural assets, while the uncontrolled diversity of buildings, styles, and materials has created an inharmonious material environment.

3.4. Resort Complex "Sunny Beach"

The comprehensive concept and major buildings of Resort Complex "Sunny Beach" (1960) were developed by a team led by Arch. Nikola Nikolov, Arch. Lilyan Stoynova, Eng. Lyutsiya Lyutskanova, and Neli Yordanova. The initial hotels were low-rise, integrated into the landscape among newly planted forests and sand dunes. Both hotel and service buildings utilized simple, clear grids, exposed slender reinforced concrete structures, and unique openwork decorative panels and elements made of metal and wood [6]. Virtuoso architectural quality was achieved through innovative designs for cornices,

roofing, arches, railings, and decorative grilles (e.g., the Casino by Arch. Nikola Nikolov; restaurants "Orpheus" by Arch. Maria Mileva and "Neptune" by Arch. Ivan Kasarov; hotels "Chinar," "Mak," and "Venera" by Arch. Damyan Damyanov; "Zheravi" by Arch. Loti Damyanova; "Tintyava" and "Orion" by Arch. Lili Staynova; "Yavor," "Akatsia," and "Astoria" by Arch. Teofan Nikiforov; "Chaika" by Arch. Kunka Tsakova; "Bor" and "Narsis" by Arch. Stefka Vasileva; "Zornitsa" and "Kalina" by Arch. Nikola Nikolov; "Koral" and "Biser" by Arch. Dimitar Salabashev).

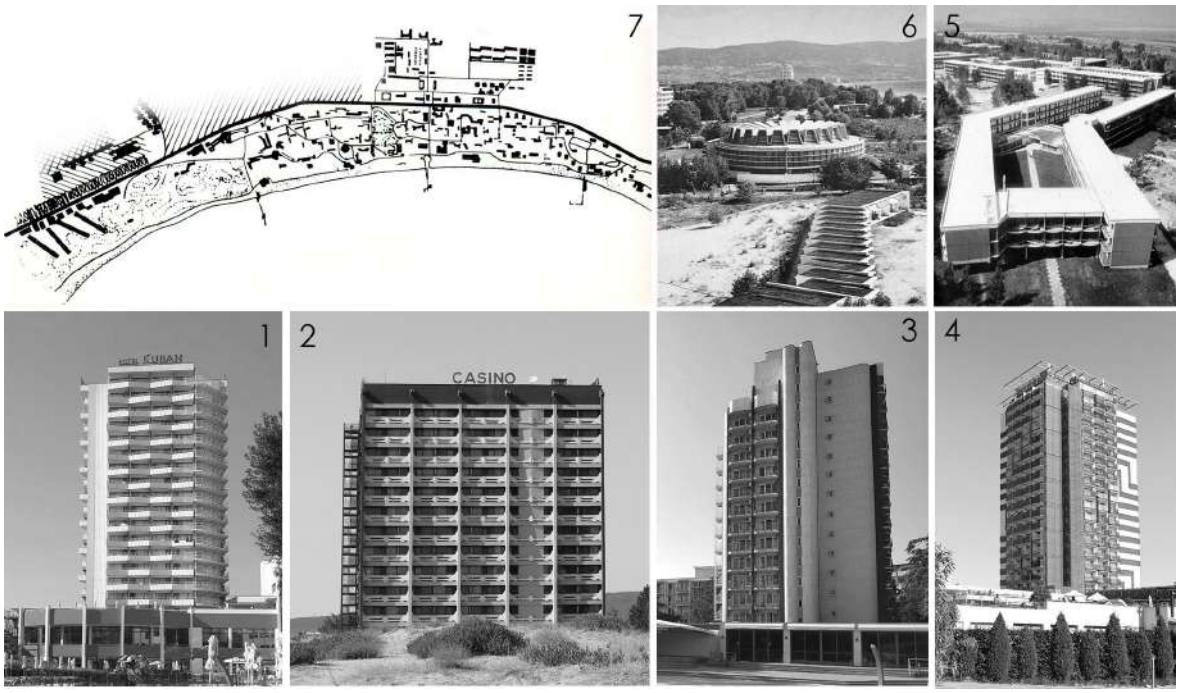


Fig. 6. Resort Complex "Sunny Beach"; 1.Hotel Kuban, 1968, arch. Dimitar Salabashev; 2. Hotel Europe, 1964, arch. Nikola Nikolov; 3. Hotel Iskar, 1970, arch. Ivan Kasarov; 4. Hotel Burgas, 1965, arch. Alexander Ovcharov; 5. Hotel complex Belasitsa, 1968, architect V. Kovacheva ; 6. Bar Variete, 1965, arch. Evgeni Zidarov

Photos: archival Aneta Kamenova-Bulant and contemporary Maria Davcheva, 2022

7. Urban development plan of Resort Complex „Sunny Beach"

In Resort Complex "Sunny Beach," the first high-rise hotel was "Globus" (1958, Arch. Nikola Nikolov), followed by "Europa" (1964, Arch. Nikola Nikolov), "Burgas" (1965, Arch. Aleksandar Ovcharov), and during the third construction stage, hotels "Kuban" (1968, Arch. Dimitar Salabashev) and "Iskar II" (1970, Arch. Ivan Kasarov). Their placement as landmarks in the composition of the complex was a primary reason for their unique and memorable exterior treatments.

With the intensification of construction during this period, the first attempts at industrialization were made. Between 1964 and 1965, three 300-room hotels—"Balkan," "Baikal," and "Balaton" were built using prefabricated panels (Arch. Nikolay Nenov and a team from the Institute of Information Technologies and Systems). Another distinguishing feature of Resort Complex "Sunny Beach" is the high-quality interpretation of National Romanticism combined with Brutalist exposed concrete (e.g., Restaurant "Magura," Bar "Orient," hotels "Continental," "Karlovo," "Kalofer," and the "Sozopol-Nessebar" and "Cherno More" complexes by Arch. Stefka Georgieva) [7].



Fig. 7. Hotel Group Cherno More, "Sunny Beach", 1972-73, arch. Stefka Georgieva

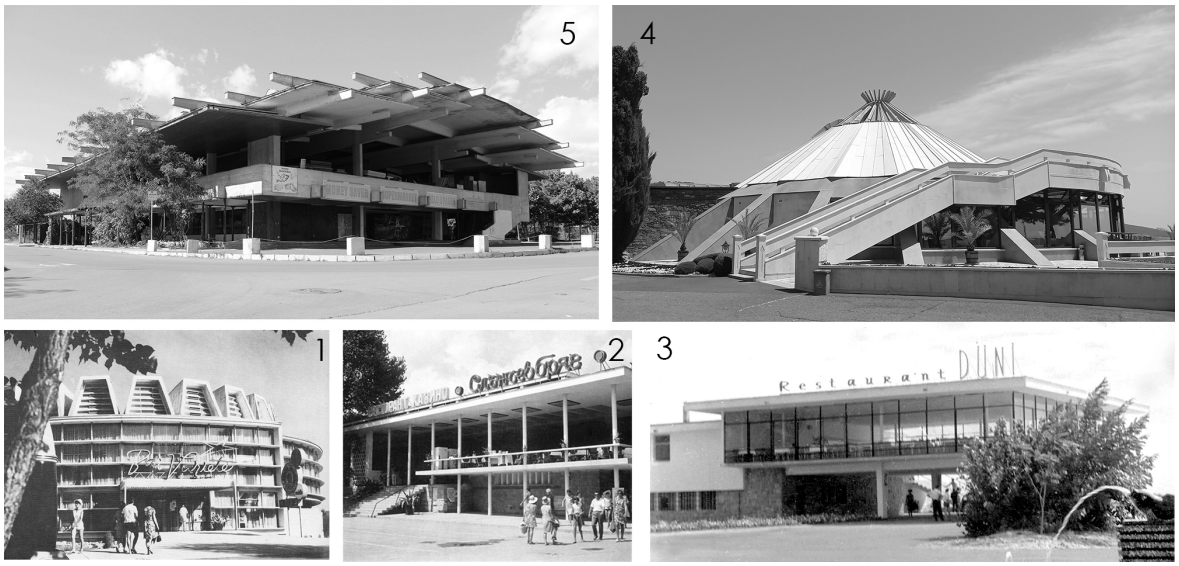


Fig. 8. Resort Complex "Sunny Beach": 1. Bar Variete, 1965, arch. Evgeni Zidarov; 2. Sunny Beach Confectionery, 1966, arch. Nikola Nikolov; 3. Duni Restaurant, 1965, arch. Stefka Georgieva; 4. Khanska Shatra Restaurant, 1970, arch. Stefan Stefanov; 5. Magura Restaurant, 1963-65, arch. Nikola Nikolov;

Photos: archival Aneta Kamenova-Bulant and contemporary Maria Davcheva,2022

It can be argued that the diversity of aesthetic, structural, and technological solutions in this resort creates one of the richest palettes in Bulgarian architecture. The approach toward local Bulgarian architecture and historical heritage, through then innovative technologies and materials, resulted in perfected forms and sustainable models that remain relevant today, comparable to global benchmarks.

3.5. Resort Complex "Albena"

Resort Complex "Albena" is the youngest Bulgarian maritime resort, with implementation starting in 1971. Its architectural image reflects accumulated Bulgarian experience in hotel design but is distinguished by an innovative approach: constructing an entire complex using unified, modular, and prefabricated structures. Favourable natural features—horizontal terrain with all-day sun exposure, moderate air currents, a wide beach, and the professional work of the design team led by Arch. Nikolay Nenov were key factors in the success and proven sustainability of the model.

Beyond the urban plan, the architectural team established a silhouette that initially included only one high-rise point block (Hotel "Dobrudja," 1970–1984, Arch. Nikolay Nenov), while the rest of the complex consisted of low-rise hotels arranged in landscape

groups. The primary module for the volumetric-spatial structure was the scale of the hotel room, utilizing a 60 cm increment. The standard room dimensions (3 m width and 4.20 m depth) formed the basis for the large-panel construction scheme with transverse load-bearing walls. Only 50 types of prefabricated elements were used. By arranging room modules not only at 90 degrees but also at 45 degrees relative to the corridor, dynamic structures reminiscent of a coral reef were achieved [8].

The terraced (step-like) design became the hallmark of Resort Complex "Albena." Most of the complex buildings are named after heroines from Yordan Yovkov's short stories (Albena, Ralitsa, Gergana, Boryana). Unexpectedly for modular production, the complex acquired a characteristic and memorable vision through reflections of fairytale characters and the maritime environment [9].

The only comprehensive urban plan was developed in 1966. Between 1968 and 1975, 90% of the hotels were built. During the second stage (1974–1978), the key Hotel "Dobrudja" was realized using monolithic construction. After 1979, only reconstructions and modernizations were carried out.

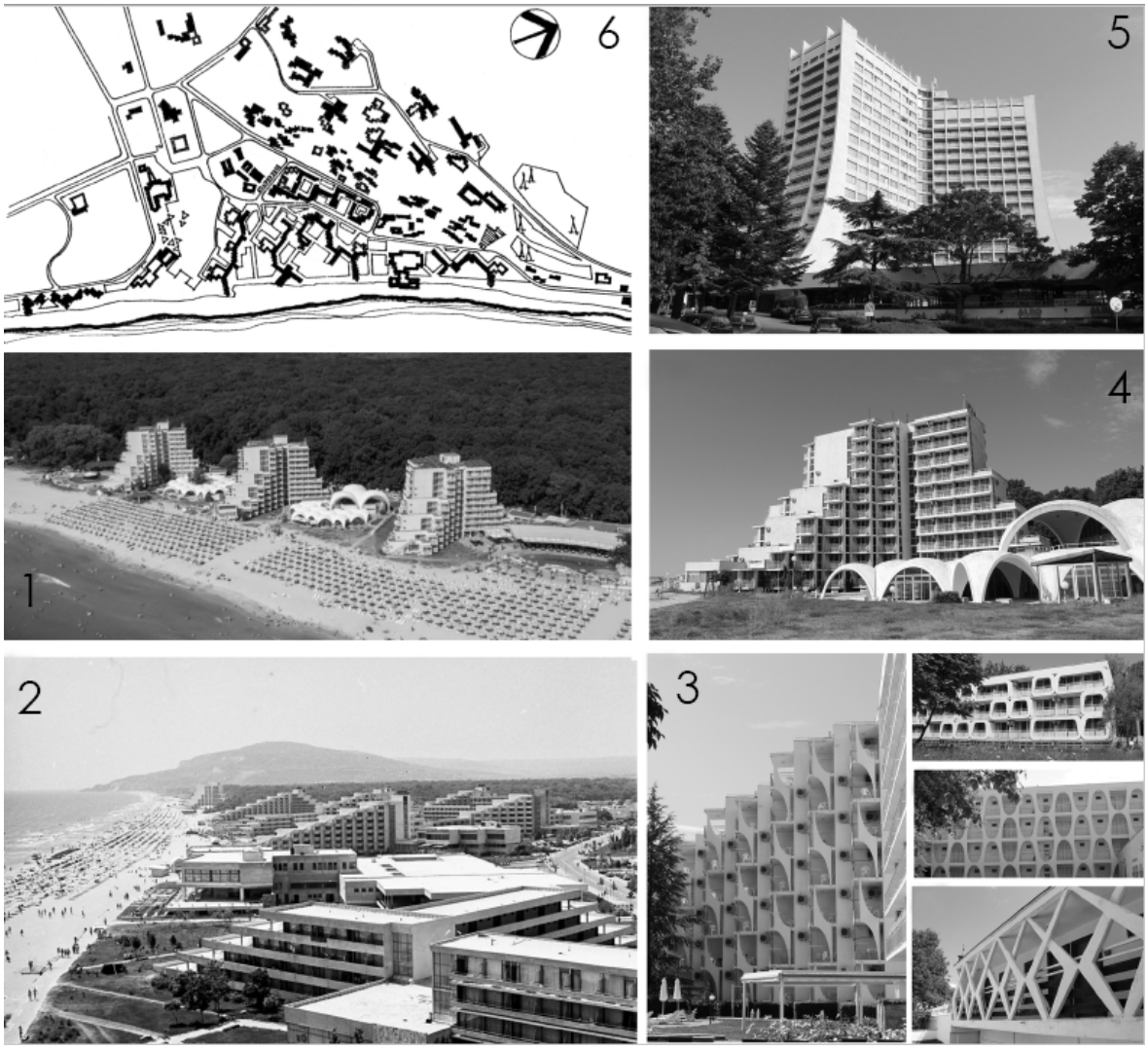


Fig. 9. Resort Complex "Albena": 1 -2 Panoramic photo; 3. Decorative facade panels; 4. Hotel Nona, 1980, arch. Nikolay Nenov;5. Hotel Dobrudzha, 1970-84, arch. Nikolay Nenov;

Photos: panoramic photos - archive Albena AD; Maria Davcheva, 2022

6. Urban development plan of Resort Complex, 1971, arch. Nikolay Nenov

The decorative concrete panels and elements utilized in the hotels of Resort Complex "Albena" reached a level of virtuoso uniqueness, becoming a hallmark of the period's architecture and a symbol of the location [10]. The skillful combinatorics of concrete elements, featuring plastic surfaces with stylized geometric reliefs, imbue the architectural image with individuality and a sense of completion. Typically, the hotel facades facing the sea are extensively glazed and designed with a stepped (terraced) structure. On the opposite side, open galleries or service and technical premises are situated, cleverly concealed by openwork concrete panels. The variations of these panels correspond to the number of hotels within the complex; however, the individuality derived from the diverse plastic concrete facade elements is best illustrated by: hotels "Dobrotitsa" (Arch. Nikolay Nenov, Arch. Rayna Shopova), "Dorostor" (Arch. Nikolay Nenov, Arch. Todorka Popova), "Kaliopa" (Arch. Nikolay Nenov, Arch. Maria Savadzhieva), the first hotel group (Arch. Nikolay Nenov, Arch. Todorka Popova, Arch. Dimitrina Vasileva; and Arch. Nikolay Nenov, Arch. Rayna Shopova), and the third hotel group (Arch. Nikolay Nenov, Arch. Kosto Kostov).

Resort Complex "Albena" stands as an example of architecture that was both innovative and unique for its time, preserving its most significant characteristics and authenticity to this day while evolving in accordance with contemporary tourism requirements.

4. Construction Stages

• **During the first construction stage (from the mid-1950s to the early 1960s)**, hotels were primarily small, low-rise buildings (containing 10–20 rooms across 2–4 floors), bungalows, and centralized service cores shared by the entire complex (including dining, recreation, sports, and entertainment facilities). These structures were integrated harmoniously into the surrounding natural landscape. The architectural image remained simple with modest volumes; the functional scheme most frequently utilized a double-loaded corridor (typical of almost all hotels in the "Druzhba" and "Golden Sands" resorts) and, less commonly, a gallery-type layout with rooms situated on only one side of the horizontal circulation axis (as seen in most hotels in Resort Complex "Albena"). Gallery-type hotels became more characteristic of later periods, when the increasing complexity of macro- and micro-level concepts led to the realization of larger-scale structures, such as hotels with 200–300 rooms. This approach was adopted for most hotels in Resort Complex "Albena" and major hotel groups in Resort Complex "Sunny Beach" (e.g., "Continental," "Sozopol–Nessebar"). The structural axes of these initial hotel buildings were typically 2.70–2.80 meters. The trend toward increasing and pairing structural axes began in the subsequent period. During the 1970s and 1980s, as the construction of the maritime resort complexes neared completion, numerous unique buildings and experimental variations were realized, reflecting the individual creative signatures of architects such as Nikola Nikolov, Stefka Georgieva, Nikolay Nenov, Ivan Kasarov, Milena Yordanova, Marin Marinov, and others.

• **In the second period (1960–1968)**, the complexes expanded, enriching not only the architectural image and functional schemes but also the overarching urban planning concepts. Structural axes defining the hotel rooms were increased, and high-rise hotels began to emerge. Some of these point-block buildings featured double-loaded corridors, while others utilized a compact vertical communication core surrounded by hotel units on four sides. Most commonly, the volumetric-spatial solution consisted of a high-rise volume housing the guest rooms and a low-rise, expansive plinth containing the primary service areas. It is an indisputable fact that these high-rise hotels (both coastal and urban) possess a unique architectural and aesthetic vision and were designed using innovative structural technologies. This elevates them to the status of global architectural icons, serving as

symbols of their time and place and remaining inspiring examples to this day. High-rise hotels often served as the primary compositional elements within the urban plan. A significant phenomenon associated with their emergence was the integration of new, diverse functions, which elevated service standards and enhanced the vitality of the respective resort complexes. Through congress, medical, and entertainment tourism, some high-rise hotels managed to ensure year-round operational activity.

• **During the third period of the maritime resorts' development (1968–1970),** in addition to territorial expansion, there was an intensifying trend toward high-capacity hotels (200–300 rooms or more). This was facilitated by an increasing number of high-rise hotels ranging from 14 to 20 floors (such as "Kuban" and "Iskar II" in Resort Complex "Sunny Beach," and "Shipka" and "International" in Resort Complex "Golden Sands") and ensemble building groups (e.g., the "Cherno More" and "Pomorie" hotel groups in Resort Complex "Sunny Beach," the "Preslav" hotel complex, and the three terraced hotels "Pliska," "Veliko Tarnovo," and "Gdansk" in Resort Complex "Golden Sands"). While experiments in "Sunny Beach" and "Golden Sands" primarily concerned exterior treatment and the rotation of hotel units relative to the main horizontal and vertical circulation, the comprehensive solution for the Resort Complex "Albena" was the result of a successfully executed modular combinatorics based on the principles of industrial construction.

5. Distinctive Characteristics of Bulgarian Black Sea Resorts

The urban and architectural development of Bulgarian seaside resorts underwent a unique metamorphosis. It began with a successful synthesis of the laconic forms characteristic of Late Modernism and the traditional elements of Bulgarian national architecture alongside a picturesque and skillful integration into the surrounding environment. The "backbone" of each resort was defined by primary communication arteries and landmark buildings. Within each complex, distinct zones with local centers were established, which simultaneously enhanced vitality, service efficiency, and the phased implementation of the overall urban planning concept [12]. In Resort Complex "Sunny Beach," these consisted of service cores and point-block buildings that served as the functional and compositional axes for their respective zones. In Resort Complex "Golden Sands," although the buildings are dispersedly situated across the amphitheater-like forested terrain, they are also organized into local zones with centralized service cores. To achieve the serene silhouette of Resort Complex "Albena," the design emphasized low-rise and terraced construction without high-rise buildings. The hotels are rotated relative to one another and organized into small clusters, resembling coral reefs, which creates a natural connection with the environment. Hotel "Dobrudja" is the only high-rise building in the complex; situated at the entrance, it serves as both a trademark and a compositional centre. The building's form also adheres to the complex's general architectural concept of height diminishing toward the periphery.

The flat terrain and phased realization logically led the urban planning of "Sunny Beach" and "Albena" toward a polycentric network composed of micro-districts. Each micro-district consists of a group of hotels clustered around a local center (offering restaurants, sports, parks, entertainment, and other service functions). On the steep slopes of "Golden Sands," this model was inapplicable; consequently, the hotels are not grouped but are instead picturesquely perched along the steep incline between the meanders of the main infrastructure.

A significant difference between the three complexes lies in the utilization and compositional purpose of high-rise hotels. In Resort Complex "Sunny Beach," point-block buildings serve as the compositional center of each micro-district. Resort Complex "Albena" is also organized into micro-districts, but it was decided to have only one vertical accent Hotel "Dobrudja." In Resort Complex "Golden Sands," high-rise hotels are

numerous and dispersedly scattered throughout the territory, but as previously clarified, they do not function as compositional landmarks.

With the intensification of construction during this period, the first attempts at industrialization were made. Between 1964 and 1965, three 300-room hotels "Balkan," "Baikal," and "Balaton" were built in the Resort Complex “Sunny Beach" using prefabricated panels (Arch. Nikolay Nenov and a team from the Institute of Information Technologies and Systems). It was Arch. Nikolay Nenov’s team that subsequently realized the entirety of Resort Complex “Albena" using the principles of large panel construction. A distinguishing feature of Resort Complex “Sunny Beach" is the application of exposed concrete in the Brutalist style, utilized in unique and original interpretations of National Revival and exotic architecture, natural forms, and maritime themes.

6. Notable Reconstructions in Recent Years

The Bulgarian Black Sea resort complexes in their entirety, along with their landmark hotels, constitute a rich heritage that is currently not being managed with sufficient prudence or efficiency. Of paramount importance is the question of what portion of this legacy, and in what form, we will bequeath to future generations.

As established at the outset of this study, renewal processes in tourism are an inherent part of contemporary dynamics. The suboptimal reconstructions of hotels in our Black Sea resorts, which commenced in 2003, simultaneously destroyed a significant cultural and historical layer while burdening the specific environment with complex urban planning, infrastructural, and aesthetic challenges. Despite the continued absence of a comprehensive state policy for the development of the Bulgarian coast, several successful reconstructions from the last five years have defined a framework that provides a suitable foundation for upcoming renewal processes, regardless of their scale. Only when clear criteria are established for evaluating the valuable—and consequently essential—characteristics to be preserved, supported by a regulatory legal framework, can we ensure that we leave future generations a heritage that is further developed, enhanced, and vibrant, yet with its identity and uniqueness intact.

To date, some of the successful reconstructions involve only "cosmetic" architectural and structural interventions (including completely renovated or entirely new electrical, plumbing, and HVAC systems), while others involve a significant increase in volume while maintaining the characteristic exterior aesthetic or preserving valuable interior elements and materials. It is precisely this preserved vision or the skillful references to the original prototype that serve as the criteria for selecting these examples of best practices in renovating the architectural tourism heritage from the second half of the 20th century. While these examples do not claim to be exhaustive, they possess undeniable qualities that illustrate possible answers to the question of how we can transmit heritage to the future by simultaneously preserving and modernizing it.

6.1. Reconstructions that have fully preserved the authentic exterior, architectural, and structural vision of the hotel include "Pliska" and "Preslav" in Resort Complex “Golden Sands"; "Europa," "Kuban," "Balaton," "Cherno More," and "Pomorie" in Resort Complex “Sunny Beach"; and "Dobrudja" along with most of the smaller hotels in Resort Complex “Albena." To a certain extent, this preservation has safeguarded an important architectural substrate; however, it is an indisputable fact that the listed hotels cannot meet contemporary requirements for tourist site categorization. This deprives them of the opportunity to accumulate the necessary funds for their modernization, both now and in the future.

6.2. Reconstructions in which the authentic vision has not been preserved, but successful references to the original prototype have been made, include hotels "Astoria," "Griffid," "Excelsior," and "Malina" in Resort Complex "Golden Sands"; "Sozopol-Nessebar," "Bor," "Longoza," and "Iskar II" in Resort Complex "Sunny Beach"; and the groups of beachfront hotels in Resort Complex "Albena" - "Nona," "Elitsa," "Boryana," "Gergana," "Slavuna," "Dorostor," among others.

The renovations of hotels "Astoria" and "Griffid" are from recent years, and consequently, their vision is the most refined and mature. The original coffered facades have been consolidated (to accommodate larger hotel rooms) into elegant L- and U-shaped cantilevered terraces. While contemporary materials are utilized (HPL, composite panels/bond, glass, aluminium), the entirely white solution for the solid sections and the rhythmic grid provide a sense of authenticity. The original concept of lightness and serenity in the facades, evoking maritime themes, has been both preserved and further developed.



Fig. 10. Selection of successful reconstructions – "Pliska," "Astoria," "Malina" (IBIS), and "Metropol" in Resort Complex "Golden Sands"; "Europa" and "Sozopol-Nessebar" in Resort Complex "Sunny Beach."

In the reconstructions within Resort Complex "Albena", the structural challenges encountered while increasing the area of the hotel units did not negatively impact the exterior. Although some of the openwork railings and partitions on the hotel terraces were

replaced with less successful metal and glass panels, almost all decorative concrete panels (facing the open galleries and service areas) have been preserved. Furthermore, the monochrome aesthetic—specifically the whiteness of the hotels has been maintained, and the park environment has been further enhanced. These facts justify a high evaluation of all reconstructions carried out to date, both for the individual hotels and for Resort Complex "Albena" as a whole.

Unfortunately, very few positive examples can be found among the reconstructions in the Resort Complex "Sunny Beach". One reason is that most renovations of existing hotels took place during the period of mass, unregulated privatization and expansion of the material base between 2000 and 2010. A large portion of the smaller hotels was demolished and replaced by massive structures. Additionally, all dining and entertainment establishments were destroyed; the only remaining sites are the "Magura" restaurant and the "Orient" bar, both of which are in a dilapidated state. A hotel was constructed around the "Variety" bar, effectively "swallowing" it. Another reason for the lack of good examples in contemporary renovations within the Resort Complex "Sunny Beach" is the lack of experience in working with exposed concrete, which served as the primary means of architectural expression during the construction of the most significant hotels from our recent past.

7. Conclusion

The lack of experience in the planning, design, and implementation of large-scale hotel structures during the 1950s finds a contemporary parallel in the current deficit of expertise regarding their reconstruction. Far from obstructing the process, the novel requirements of that era provided an expansive platform for experimentation and interdisciplinary collaboration among specialists from various fields and nations. The primary objective in formulating the urban and architectural concepts for the Bulgarian Black Sea resorts was the meticulous integration of environmental assets to generate a unique and individual identity. The construction process itself was treated as a powerful metaphor for the broader social evolution. Key public figures were characterized as "builders" [11], and due to the high international visibility and representative nature of these projects, the design and construction of hotels and resorts received substantial funding while remaining under rigorous state oversight.

The emergence and evolution of urban and architectural concepts within the Bulgarian Black Sea complexes was a dynamic and productive process. The resulting heritage remains inspiring for professionals and culturally enriching for society, yet it is currently more endangered than ever by the spontaneous and unplanned overdevelopment of the last two decades. The recognition and acceptance of architecture from the recent past is a measure of societal maturity. The ideological burden often associated with late 20th-century architecture frequently causes it to be relegated to the periphery of contemporary sociocultural priorities. This neglect often results in the loss of the architectural substrate, identity, and, ultimately, collective memory. The indisputable architectural masterpieces of this period—seen in their environmental integrity and their synthesis with the plastic arts—represent examples commensurate with global standards. This imposes a contemporary obligation to preserve and socialize these sites without compromising their essential characteristics.

REFERENCES

[1] Davcheva, M., Kovachev, A. Historical development of the Bulgarian Black Sea Resorts. Bulgarian Academy of Sciences. Engineering Sciences, LIX, 2022/4, pp.3-24.
[2] Pandzharova, V. Razkaz za edin panelen grad. Arhitekturni obrazi. Bulgaria prez vtorata polovina na HH vek. Kontekst, 2022, pp. 292 – 398.
[3] Markov, G. Zhiloto i medat na turizma. Zadochni reportazhi za Bulgaria. 1978
[4] Stoilov, G., Sharliev, A. Arhitekturata na nashite chernomorski kurorti. Varnensko kraybrezhie. Tehnika, 1971.
[5] Petkov, N. Katsarski, G. Izgrazhdaneto na kurortnia kompleks „Zlatni pyasatsi", Varna. Arhitektura i stroitelstvo 1944–1990–2020, 2020, pp. 46 – 47
[6] Nikolov, N. Proektiraneto i realizatsiyata na MKK „Slanchev bryag", Razmisli za arhitekturata. Kolibri, 1999, s. 73 – 88.
[7] Tasheva, S., Davcheva, M. Die locale Entwicklung des Brutalismus in Bulgarien, Stefka Georgieva – Architektin im staatlichen Planungswesen in Bulgarien, Wien, 2017, pp. 79 – 91.
[8] Popova, T. Elementi na sglobyaemoto stroitelstvo. //Arhitektura, 1971, 7, pp. 12 – 18.
[9] Rahnev, I. Albena – prekrasna i vdahnovena tvorba na savremennata balgarska arhitektura. // Arhitektura, 1971, 1, pp.4.
[10] Tasheva, S., Davceva, M. The Brand: Sunny Beach and Albena, Bulgaria, Central Asian Journal of Art Studies N3/2016, Kaza, pp. 94 – 104.
[11] Tasheva, S. Ideologia i arhitektura, Balgarskiyat HH vek v izkustvata i kulturata, IIIzk, BAN, S.2019, pp. 334-341, pp. 336.

STRUCTURAL SYSTEMS OF 29 HISTORICAL COVERED TIMBER BRIDGES IN THE SLOVAK TERRITORY

Baláž Ivan[1], Koleková Yvona[2], Cantarero Pavla[3]

Abstract.
The oldest set of photographs of the timber covered bridges on the Slovak territory may be found in the book written by Kolář, J. in 1926 [1]. A large investigative study of the historical timber bridges was done by Dutko, P. and Ferjenčík, P. in 1955-1984 [2-8], who identified 29 timber covered bridges in Slovak Territory These publications enabled to the first author to identify bridges and their details by studying more than 100 photographs of originally unknown bridges, which are property of The Monuments Board of the Slovak Republic in Bratislava (PÚ SR – Pamiatkový úrad Slovenskej republiky). The results of this investigation is given in publication [24] accompanying presented paper.

Keywords: *historical bridge, timber covered bridge, structural system, construction*

1. Introduction

The authors of [2-8] found that in 1954 there were only 9 bridges from originally 29 timber covered bridges (Fig. 1). The most bridges were built over rivers Hnilec – 10, Poprad – 5 and Hornád – 5. The only bridge which survived till today after several reconstructions is the bridge over Hornád river at Kluknava.

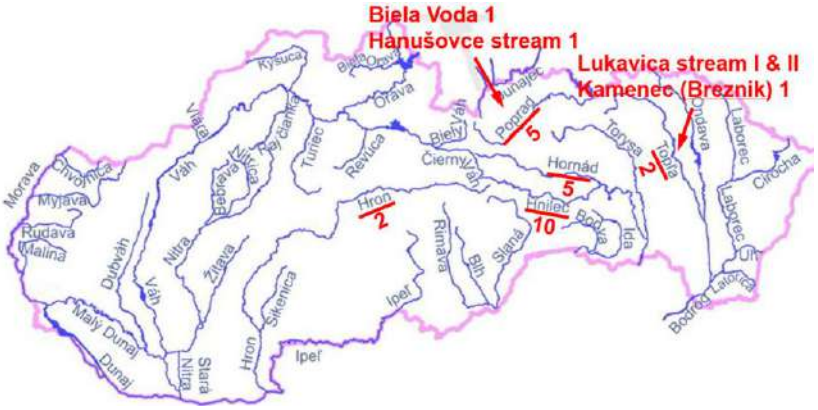


Fig. 1. Location of 29 historical covered timber bridges on the rivers: Biela Voda, Hnilec, Hornád (Hernád in Hungarian), Hron, Poprad, Topľa, on the stream at Hanušovce, on the stream Kamenec (Breznik) and stream Lukavica. See maps in Appendix.

[1] Baláž Ivan, Prof. Ing. PhD., Professor emeritus, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia, ivan.balaz@stuba.sk
[2] Koleková Yvona, Assoc. Prof. Ing. PhD., Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia, yvona.kolekova@stuba.sk
[3] Cantarero Pavla, Asst. Prof. Mgr. Bc. PhD., Department of Languages, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, pavlacantarero@gmail.com

No.	Name of obstacle (river or stream) and location of bridge structure [1]	Total bridge structure length (m)	Number of spans	Clearance (m)	Structural system	Year of construction [2]	Year of destruction/ removal [2]	Bridge additionally supported
1	Topľa river at Bardejov	78,50	7	5,70	combined	1870	1944	no
2	Topľa river at Hanušovce	72,60	3	6,25	Howe-Žuravský	1887	1944	no
3	Poprad river at Stará Ľubovňa	69,96	2	5,80	Howe-Žuravský	1867	1939	yes
4	Poprad river in Plaveč	68,20	2	4,00	Howe-Žuravský	approx 1850	1945	yes
5	Poprad river at Holumnica	42,64	1	?	Howe-Žuravský	1876	1945	yes
6	Hornád river in Margecany	42,33	2	4,70	combined	not known	1945	no
7	Poprad river between Podolínec and Lomnička	cca 40,00	2	3,90	combined	1931	1945	no
8	Hanušovce stream. betw. Spiš. Belá - Spiš. St. Ves	19,70	1	5,60	Howe-Žuravský	1884	1945	yes
9	Hornád river in Spišská Nová Ves	21,30	1	6,00	Howe-Žuravský	1887	1925	no
10	Kamenec (Brežnik) stream at Bardejov	35,50	3	5,60	combined	1883	1940	no
11	Poprad river between Huncovce and Veľ. Lomnica	35,00	1	6,45	Howe-Žuravský	1884	1945	yes
12	Hornád river at Kolinovce	28,50	1	5,60	Howe-Žuravský	1870	not known	yes
13	Hnilec river in Hnilec	14,80	1	5,45	combined	1881	approx 1930	yes
14	Hnilec river in Nálepkovo (Vondrišel)	12,58	1	3,40	strut frame & king post	1889	1927	yes
15	Lukavica stream at Bardejov, bridge I	cca 26,10	2	6,60	combined	1872	1945	yes
16	Hornád river in Spiš. Nová Ves (way to brickyard)	21,96	1	4,75	combined	approx 1770	approx 1936	no
17	Hnilec river at Mnišek nad Hnilcom	28,00	1	5,10	Howe-Žuravský	not known	not known	yes
18	Hron river in Zvolen	25,00	5	?	not known	before 1599	not known	?
19	Hron river in Brezno	cca 25,00	2	?	combined	not known	approx 1936	no
20	Biela Voda between Spiš. Belá and Spiš. St. Ves	23,00	1	5,60	Howe-Žuravský	1886	not known	yes
21	Hnilec river in Švedlár	19,30	1	2,85	queen post truss	approx 1840	1974	yes
22	Hnilec river in Gelnica - upper bridge	35,79	1	4,80	combined	1831	1957	yes
23	Hnilec river in Gelnica - lower bridge	24,60	1	3,80	queen post truss	1901	1960	no
24	Hnilec river in Nálepkovo (Vondrišel), bridge II	14,40	1	4,60	king post truss	before 1900	1961	no
25	Hnilec river in Mnišek nad Hnilcom - upper bridge	13,05	1	2,90	queen post truss	approx 1900	1963	no
26	Hnilec river in Mnišek nad Hnilcom - middle bridge	17,50	1	3,10	queen post truss	approx 1900	1965	no
27	Hnilec river in Mnišek nad Hnilcom - lower bridge	20,20	1	3,00	queen post truss	1921	1963	no
28	Lukavica stream in Bardejov, bridge II	10,60	1	3,00	queen post truss	before 1883	after 1954	yes
29	Hornád river at Kluknava	27,07	1	3,42	combined	1832	exists	no

Table 1. Overview of 29 historical covered timber bridges built from 1831 till 1931 in Slovak territory [1, 2-8].

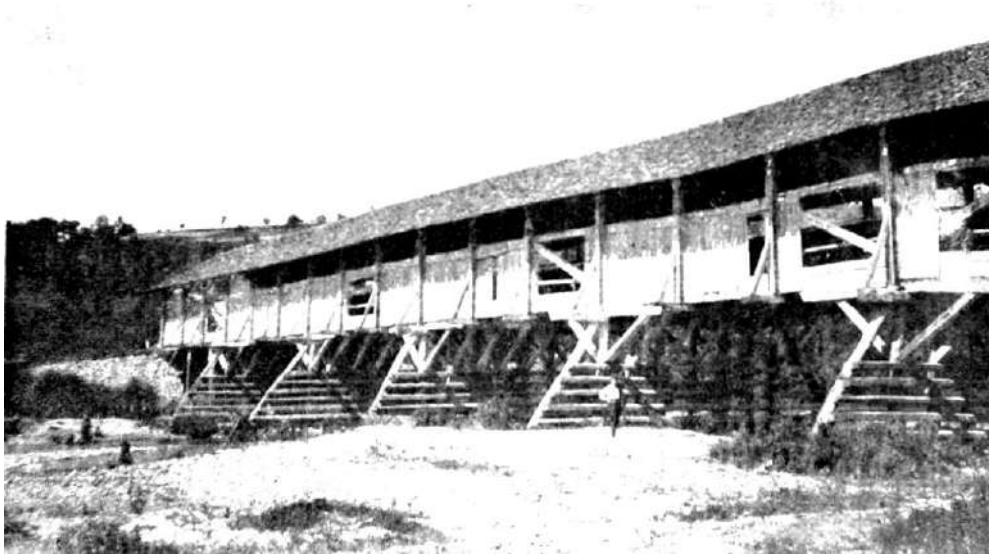


Fig. 2. Bridge over Topľa river at Bardejov. No.1 in Table. [1].



Fig. 3. Bridge over Topľa river at Bardejov. No.1 in Table. [1].

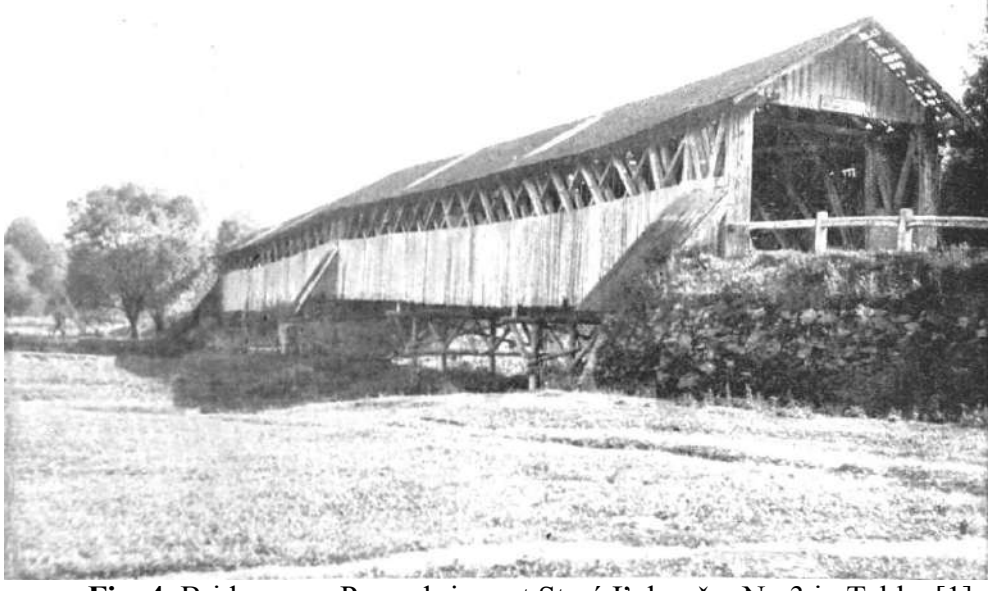


Fig. 4. Bridge over Poprad river at Stará Ľubovňa. No.3 in Table. [1].



Fig. 5. Bridge over Topľa river at Hanušovce. No.2 in Table. [1].

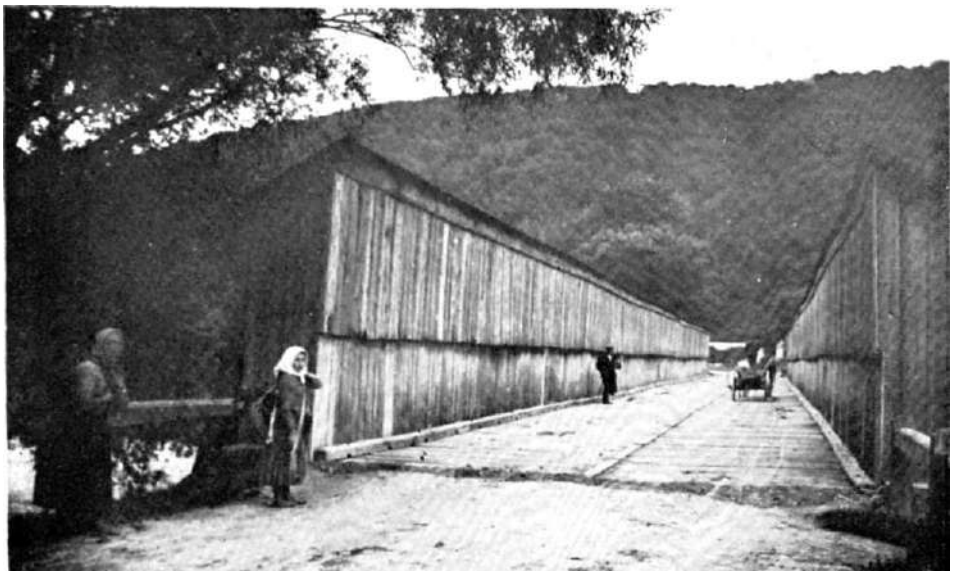


Fig. 6. Bridge over Topľa river at Hanušovce. No.2 in Table. [1].



Fig. 7. Bridge over Poprad river at Holumnica. No.5 in Table. [1].



Fig. 8. Bridge over Poprad river in Plaveč. No.4 in Table. [1].



Fig. 9. Bridge over Poprad river in Plaveč. No.4 in Table. [1].



Fig. 10. Bridge over Hanušovce stream between Spišská Belá and Spišská Stará Ves. No.8 in Table. [1].

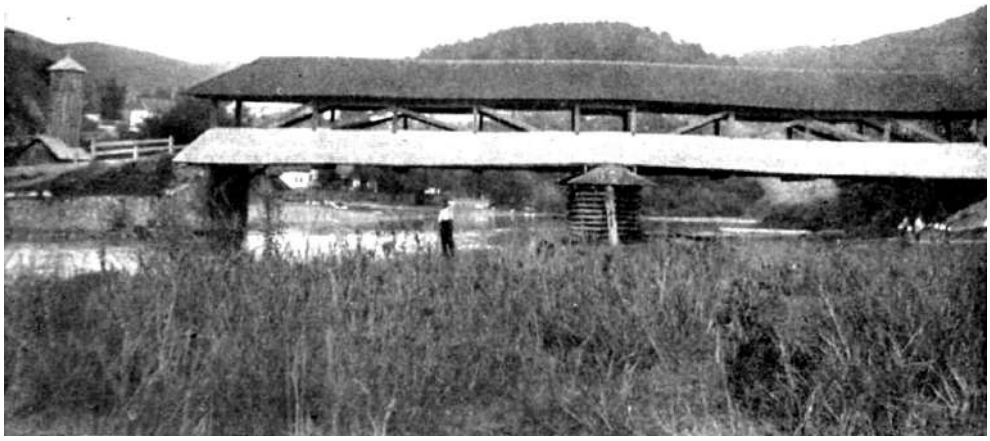


Fig. 11. Bridge over Hornád river at Margecany. No.6 in Table. [1].

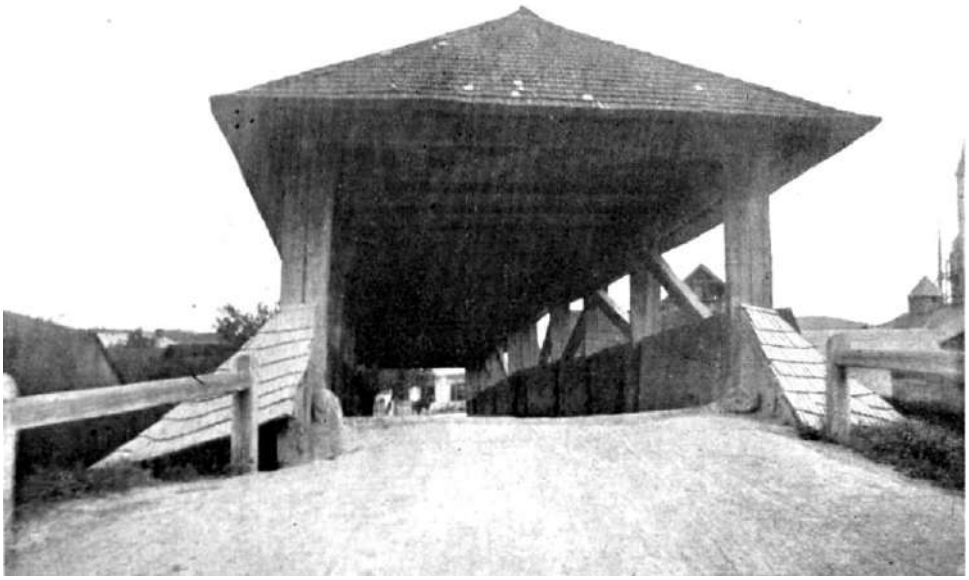


Fig. 12. Bridge over Hornád river at Margecany. No.6 in Table. [1].

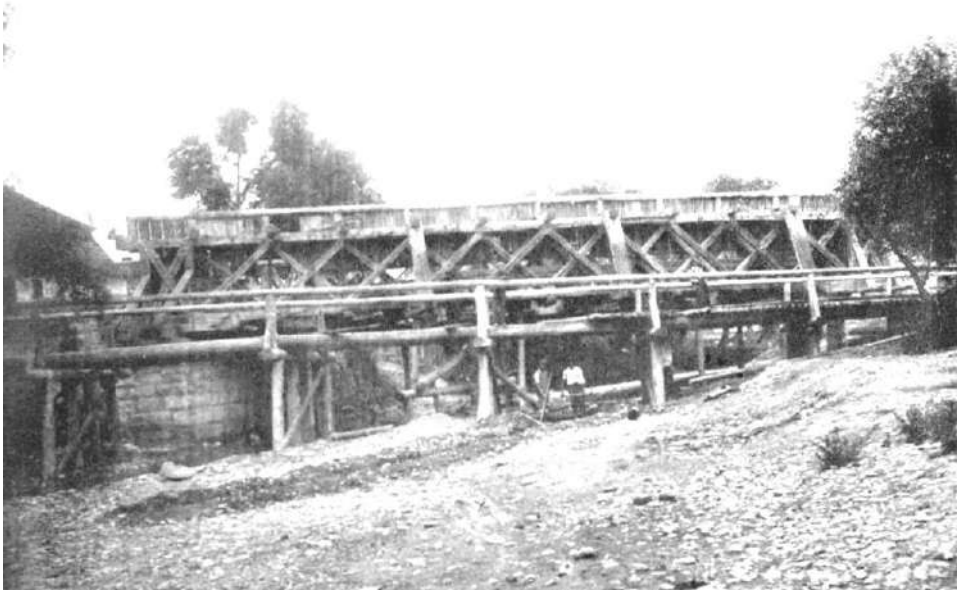


Fig. 13. Bridge over Honrád river at Spišská Nová Ves. No.9 in Table. [1].



Fig. 14. Upper and lower (see Fig.) bridges located in the past over river Hnilec in Gelnica [12].



Fig. 15. Upper bridge over Hnilec river in Gelnica. No.22 in Table. [1].



Fig. 16. Upper bridge over Hnilec river in Gelnica. No.22 in Table. [1].



Fig. 17. Covered timber upper bridge over Hnilec river in Gelnica. [12].

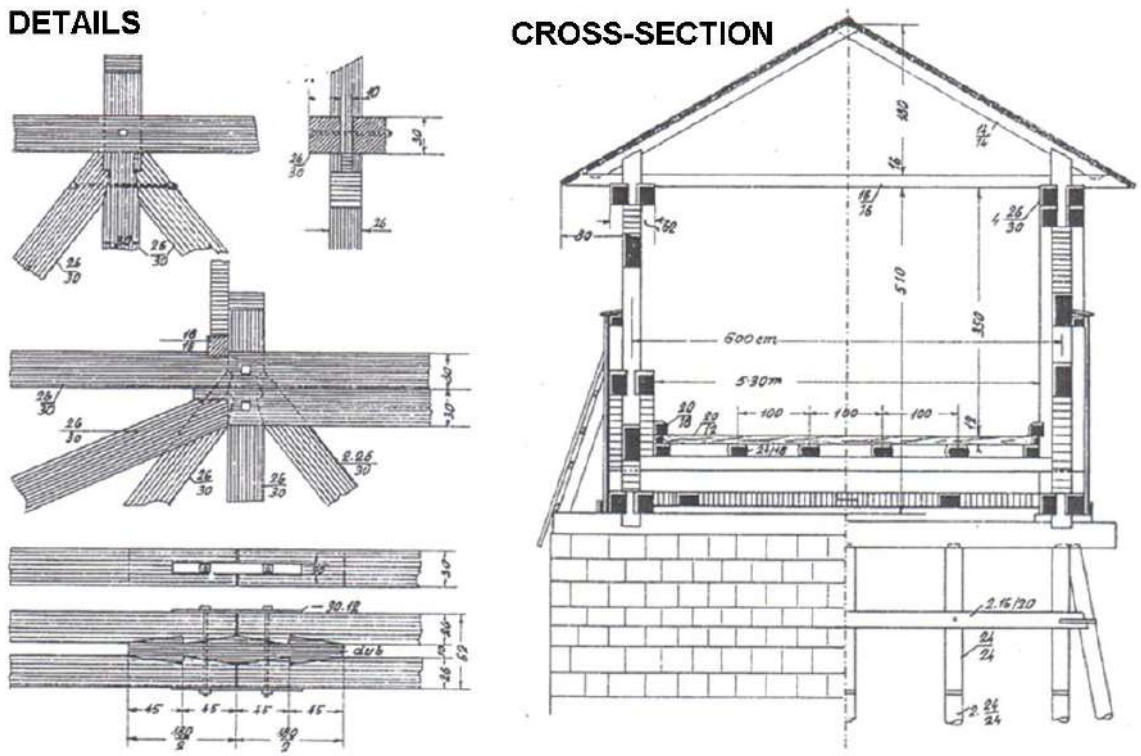
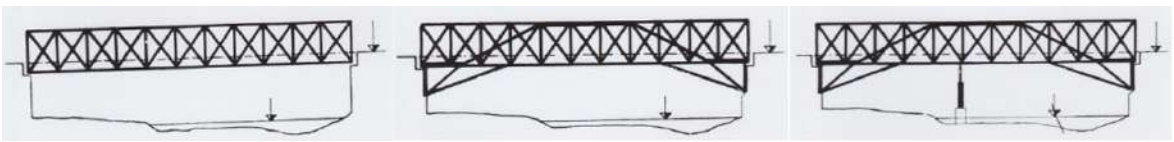


Fig. 18. Cross-section and details of upper bridge over Hnilec river in Gelnica. [12].



a) b) c)

Fig. 19. a) original structure, b) strengthening by strut frame & queen post truss, c) added support. [12].

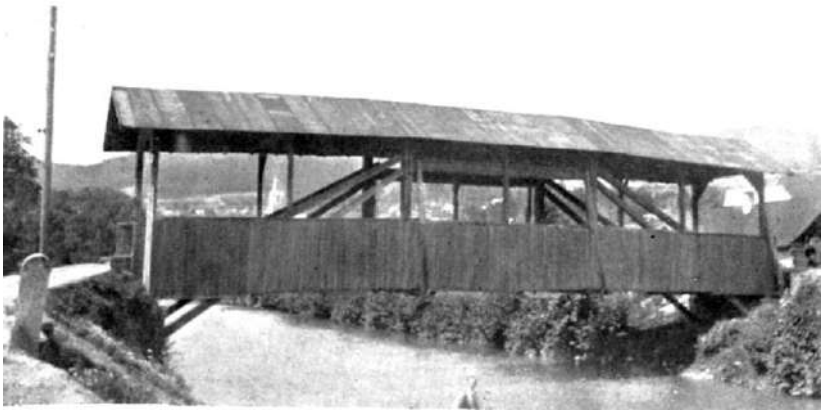


Fig. 20. Lower bridge over Hnilec river near railway station in Gelnica. No.23 in Table. [1].



Fig. 21. Lower bridge over Hnilec river near railway station in Gelnica. No.23 in Table. [1].

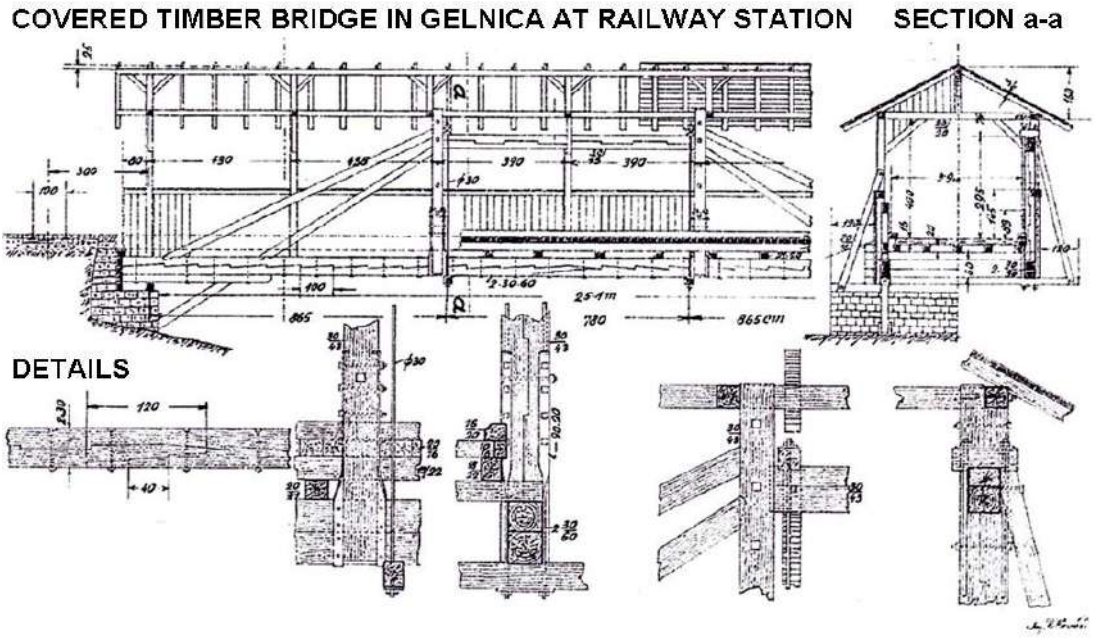


Fig. 22. Lower bridge over Hnilec river near railway station in Gelnica. No.23 in Table. [12].



Fig. 23. Bridge over Kamenec (Breznik) stream at Bardejov. No.10 in Table. [1].



Fig. 24. Bridge over Kamenec (Breznik) stream at Bardejov. No.10 in Table. [1].



Fig. 25. Bridge II over Lukavica stream at Bardejov. No.29 in Table. [1].



Fig. 26. Bridge over Poprad river between Huncovce and Veľká Lomnica. No.11 in Table. [1].



Fig. 27. Bridge over Poprad river between Huncovce and Veľká Lomnica. No.11 in Table. [1].

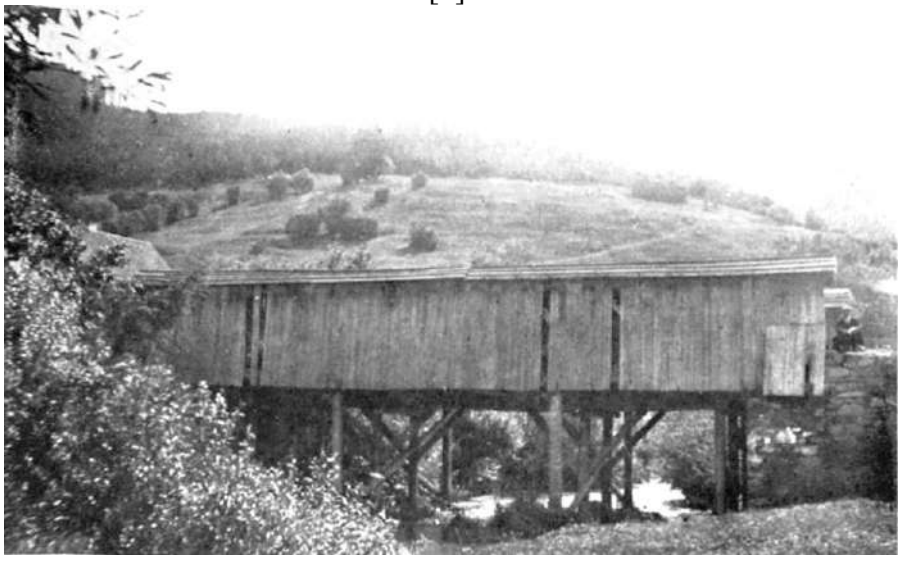


Fig. 28. Bridge over Hnilec river at Hnilec. No.13 in Table. [1].



Fig. 29. Bridge over Honrád river at Kolinovce. No.12 in Table. [1].



Fig. 30. Bridge over Honrád river at Kolinovce. No.12 in Table. [1].



Fig. 31. Bridge over Hornád river at Nálepkovo (Vondrišel). No.14 in Table. [1].

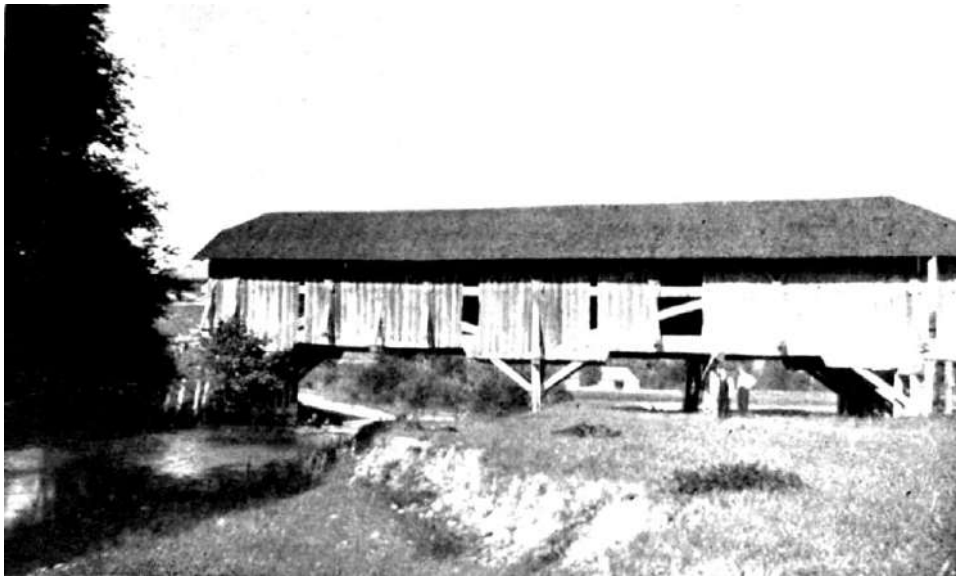


Fig. 32. Bridge I over Lukavica stream at Bardejov. No.15 in Table. [1].



Fig. 33. Bridge over Lukavica stream at Bardejov. No.15 in Table. [1].



Fig. 34. Bridge on the way between Buštino and V. Sinevir in km 63,85. Subcarpathian Ruthenia. It was part of Czechoslovakia in 1919-1938. In 1946 Subcarpathian Ruthenia was incorporated into the Ukrainian Soviet Socialist Republic.



Fig. 35. Bridge over Hornád river near brickyard in Spišská Nová Ves. No.16 in Table. [1].



Fig. 36. Bridge over Hornád river near brickyard in Spišská Nová Ves. No.16 in Table. [1].

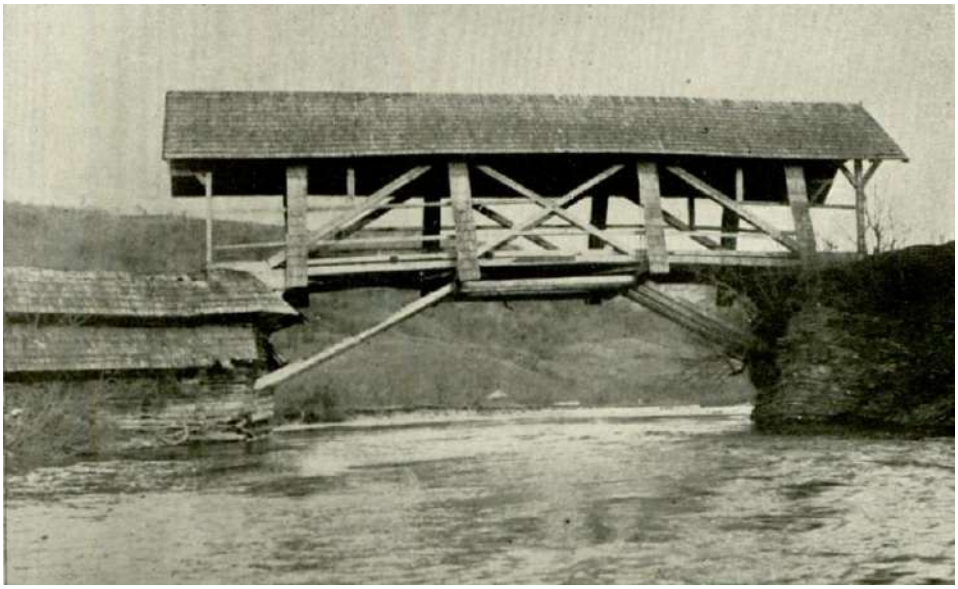


Fig. 37. Bridge on the way between Buštino and V. Sinevir in km 60,605. Subcarpathian Ruthenia. Structural system: strut frame combined with queen post truss. [1].

4. Conclusion

Probably the oldest set of photographs of the timber covered bridges on the Slovak territory may be found in the book written by Kolář, J. in 1926 [1]. A large investigative study of the historical covered timber bridges in the Slovak territory was later done by two professors of Slovak University of Technology in Bratislava, Dutko and Ferjenčík in the period 1955-1984, who identified 29 covered timber bridges in Slovak territory. They published their results in the fifties [2, 3, 4], sixties [5], seventies [6] and eighties [7, 8]. The authors of [2-8] found that in 1954 there were only 9 bridges from originally 29 timber covered bridges in the Slovak territory.

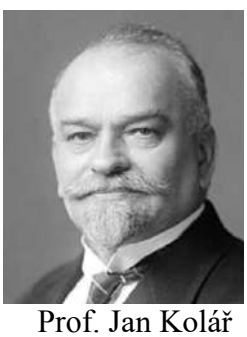
The authors of the papers [9-14] have collected historical data about: erection, opening, strengthening, reconstruction, destroying of bridges, geometry, details and other characteristics of bridges and their designers from archives, chronicles, owners, the oldest inhabitants, contemporary engravings, paintings of cities, old photographs and various publications. It was very difficult to gain or to verify some data.

The results of detailed analysis of all structural elements of the lower bridge in Gelnica and global analysis of upper bridge in Gelnica obtained by computer program IQ 100 were published in papers [12, 14]. The structural analysis using modern computer program confirmed very effective bridge design by carpenter Kriwacsy in 1901 which was based on his knowledge and experience. The distributions of the axial forces and bending moments (see [12, 14]) confirmed that historical covered timber lower bridge in Gelnica over Hnilec river located at the railway station was perfectly designed.

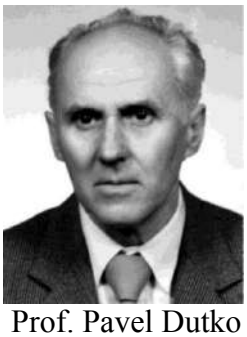
Also publications [1-8] enabled to the authors [9-14] to identify all bridges and their details on the more than 100 photographs of originally unknown bridges, which are property of The Monuments Board of the Slovak Republic in Bratislava (PÚ SR – Pamiatkový úrad Slovenskej republiky). The results of their investigation is given in paper [24] accompanying presented paper. Many timber bridges may be found also in [15-23].

Dedication

On the occasion of the 100th anniversary of the book's publication [1], we dedicate presented and the accompanying contributions [24] to the memory of Prof. Ing. Jan Kolář, Dr.h.c. (1.4.1868-18.4.1958), ČVUT in Prague, Prof. Ing. Pavel Ferjenčík, CSc. (1.7.1929-26.3.1992) and Prof. Ing. Pavel Dutko, CSc., (23.10.1928-29.3.2000), both SVŠT (STU) in Bratislava who devoted their time and effort to preserving the legacy of ancient masters and designers of historical covered timber bridges built on the Slovak territory. In [1] there are 30 tables and 63 bridge photos in the territories of Bohemia, Slovakia and Subcarpathian Ruthenia that formed the first Czechoslovak Republic in the period 1918-1938.


Prof. Jan Kolář


Prof. Pavel Ferjenčík


Prof. Pavel Dutko

Acknowledgement

Research project No.1/0155/23 was supported by Slovak Grant Agency VEGA.

REFERENCES

[1] Kolář, J.: Dřevěné mosty kryté v Republice Československé. (Timber covered bridges in Czechoslovak Republic, Prague, 1926. (In Czech).
[2] Ferjenčík, P.: Timber covered bridges in Slovakia, Naša veda, 1955. (In Slovak).
[3] Ferjenčík, P.: About our interesting bridges, Technické noviny, 1955. (In Slovak).
[4] Ferjenčík, P.: Timber covered bridges in Slovakia, Pamiatky a múzeá, 1956. (In Slovak).
[5] Dutko, P., Ferjenčík, P.: Timber structures in Czechoslovak Socialist Republic, in: Proceedings of scientific works of Faculty of Civil Engineering, 1965, SVŠT Bratislava, Slovakia. (In Slovak).
[6] Ferjenčík, P., Dutko, P., Chladný, E.: The oldest metal and timber structures, Vlastivedný časopis, 1979. (In Slovak).
[7] Ferjenčík, P., About important timber covered bridges in Slovakia, in: Proceedings of 2nd International Conference Timber in Civil Engineering Structures, September 8-11, 1980, Bratislava – Kočovce, Slovak Republic, FCE SVŠT in Bratislava, pp. 197-213. (In Slovak).
[8] Ferjenčík, P., Dutko, P.: Timber load-carrying structures in Czechoslovak Socialist Republic, in: Proceedings of 3rd International conference Timber in Civil Engineering Structures, September 4-6, 1984, Bratislava – Kočovce, Slovak Republic, FCE SVŠT in Bratislava. (In Slovak).
[9] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Timber Covered Bridges on the Slovak Territory. 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design. Recent Advances in Mechanics and Materials in Design M2D`2015. Ponta Delgada/Azores, 26-30 July 2015, paper 5743, p.2373-2388.
[10] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Historical timber bottom bridge in Gelnica over Hnilec river. Proceedings of 13th International Conference: New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj]. Bratislava, SR, October 15.-16. 2015. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015. CD, s. 570-574.
[11] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Drevené kryté mosty na Slovensku. In Zborník prednášok zo 40. aktívu pracovníkov odboru oceľových konštrukcií: Oščadnica, SR, 22. - 23. 10. 2015. 1. vyd. Kysucké Nové Mesto: Miroslav Gibala – Reklamný servis, 2015, S. 29-34. ISBN 978-80-89619-01-6.
[12] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Slovenské historické kryté drevené mosty. Zborník príspevkov z 21. konferencie: Statika stavieb 2016. 10.-11. marec 2016. Hotel Sorea Piešťany, s. 250-257. ISBN 978-80-89842-00-1.
[13] Baláž, I., Kamenická, Z., Koleková, Y.: Historical Covered Timber Bridge in Gelnica near Station. Trends in Statics and Dynamics of Constructions II, Applied Mechanics and Materials Vol. 837, p. 44-51, on line June 2016, Trans Tech Publications inc., ISBN-13: 978-3-03835-538-0.
https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.837.44
[14] Baláž, I., Koleková, Y.: Two Historical Covered Timber Bridges in Gelnica. In BASA 2016: proceedings of the International Scientific Conference. 23-25 november 2016, Sofia, Bulgaria = BANI 2016, dokladi. Meždunarodna naučna konferencija po opazvane na nedvižimoto kulturno nasledstvo. 1. vyd. Sofia: Bulgarian Academy of Science and Arts, 2016, S. 331-338. ISBN 978-954-8931-50-2.
[15] Paulík, P.: Bridges on the territory of Slovakia, History and present of more than 250 the most beautiful bridges in Slovakia, JAGA GROUP, Bratislava, 2012. (In Slovak)
[16] Paulík, P.: Bridges in Slovakia, JAGA GROUP, Bratislava, 2014.
[17] Baláž, I.: Chapter 17 Bridge Engineering in the Slovak Republic, in: W.F. Chen, L. Duan (Eds.), Handbook of International Bridge Engineering, CRC Press, Taylor & Francis, USA, 2014, pp.747-821.

[18] Dušan, J.: Our historical and present bridges, NADAS, Prague, 1984, pp. 1-226. (In Czech)
[19] Dušan, J.: Czech Republic Bridges, Map. B.A.T. Program, 2000.
[20] Dušan, J.: Timber bridges in Czech and Slovak Republic, F.R.Z. Agency, Brno, 2011, pp. 1-54. (In Czech)
[21] Dušan, J.: Slovak bridges, third ed., F.R.Z. Agency, Brno, 2012. (In Czech)
[22] Pechal, A.: Bridges, Antonin Pechal, Brno, 2009. (In Czech)
[23] Maillard, M.: Constructing bridges, History of bridge engineering, Publishing house Karel Synek, Prague, 1946. (In Czech).
[24] Baláž, I., Koleková, Y.: Structures and details of 9 historical covered timber bridges in the Slovak territory. In BASA 2025: proceedings of the International Scientific Conference. 2026, Sofia, Bulgaria = BANI 2016, dokladi. Meždunarodna naučna konferencija po opazvane na nedvižimoto kulturno nasledstvo. 1. vyd. Sofia: Bulgarian Academy of Science and Arts, 2026. In print.

APPENDIX

Locations of 24 timber covered bridges in Slovak territory.



Fig. A1. Ten timber covered bridges over Hnilec river: 1. bridge in Hnilec; 2. upper bridge and 3. lower bridge in Nálepkovo (former name Vondrišel); 4. in Švedlár; …



Fig. A2. …5. upper bridge, 6. middle bridge, 7. lower bridge in Mníšek nad Hnilcom; 8. at Mníšek nad Hnilcom; 9. upper bridge and 10. lower bridge.



Fig. A3. Five timber covered bridges over Hornád river: 1. bridge in Spišská Nová Ves; 2. at brick factory in Spišská Nová Ves; …

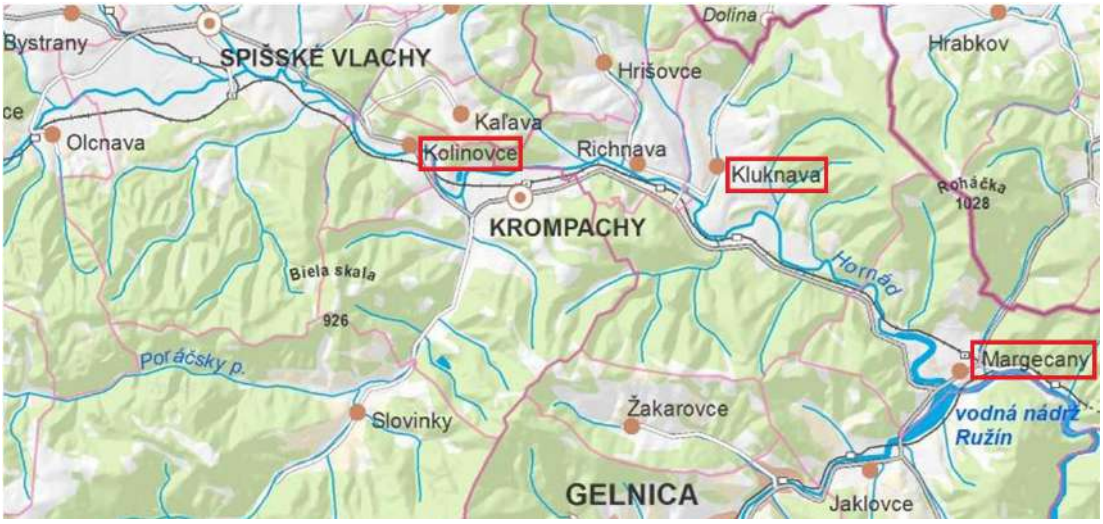


Fig. A4. …3. bridge at Kolínovce; 4. at Kluknava; 5. at Margecany.

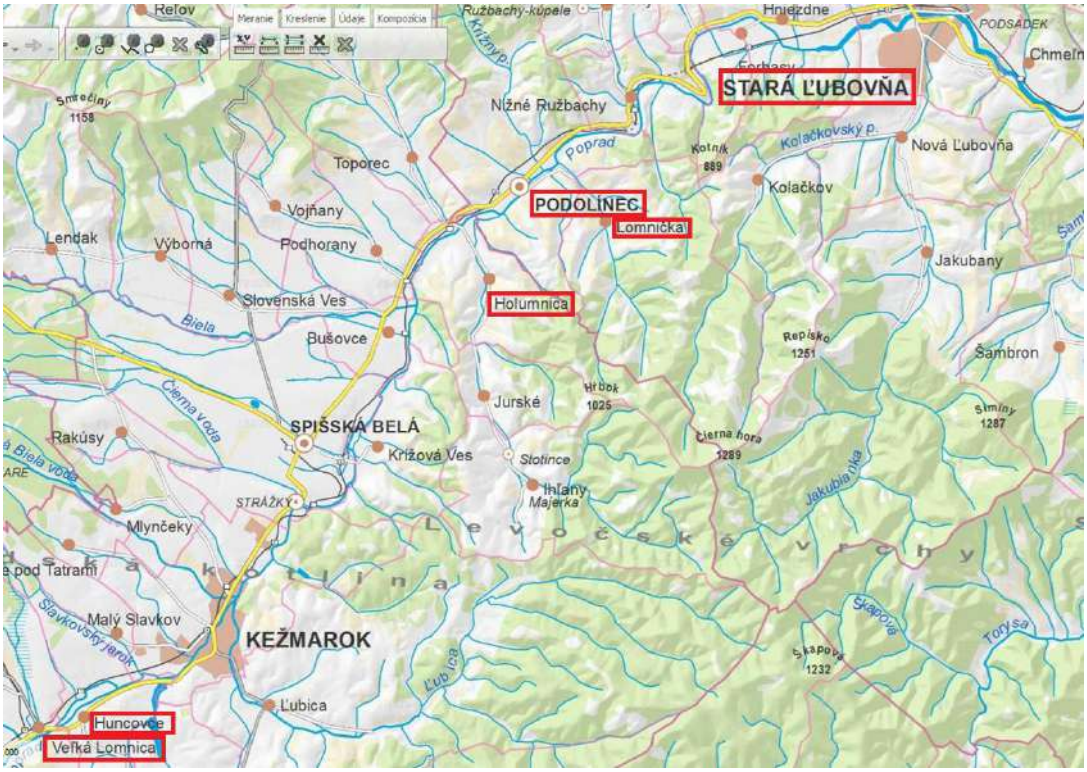


Fig. A5. Five timber covered bridges over Poprad river: 1. bridge between Huncovce and Veľká Lomnica; 2. at Holumnica; 3. on the road between Podolinec and Lomnička; 4. at Stará Ľubovňa; …



Fig. A6. …5. bridge in Plaveč.

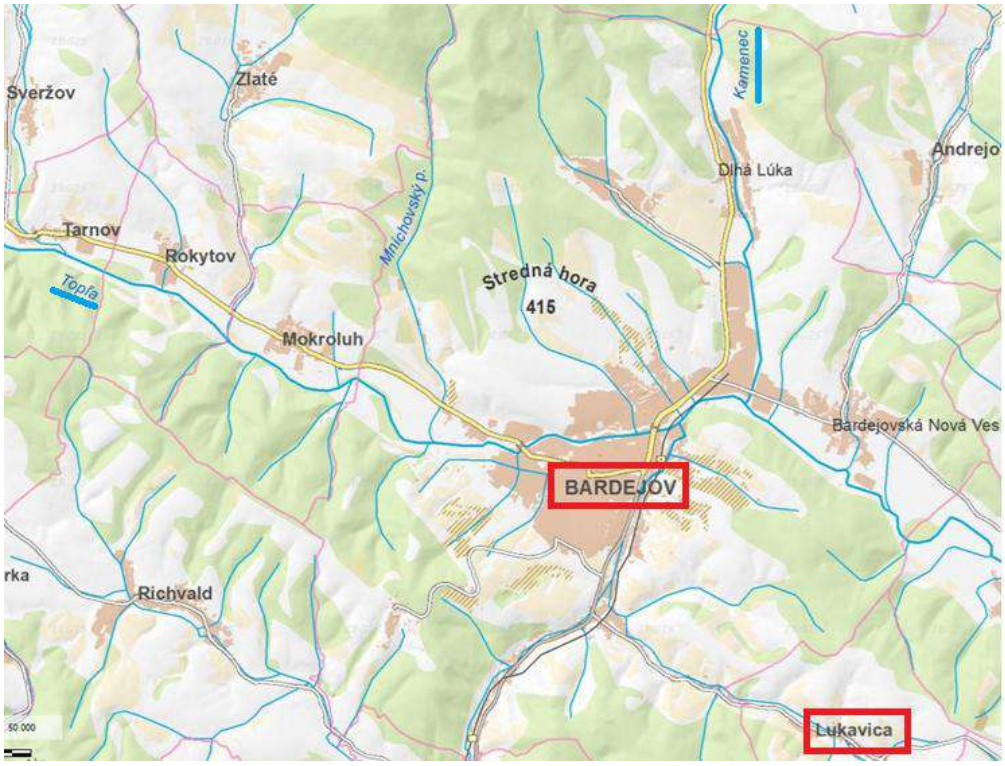


Fig. A.7. Four timber covered bridges at Bardejov: 1. bridge over Topľa river; 2. over Kamenec (former name Brezník) stream; 3. over Lukavica stream in Bardejov; 4. over Lukavica stream at Bardejov.

WORKSHOP FOR CERAMICS IN THE MEDIEVAL TOWN OF LYUTITSA

D-r Filip Petrunov

Bulgarian Academy of Science, National Archaeological Institute with Museum, Department of Medieval Archaeology
Correspondence address: Filip Petrunov, MA Bulgarian Academy of Science National Archaeological Institute with Museum, Department of Medieval Archaeology, 1000 Sofia 2, Saborna Str.

***Abstract**: Lyutitsa is at about 6 km in a straight line from the modern town of Ivaylovgrad, Haskovo region. This medieval fortress is strategically built on the southernmost slopes of the Eastern Rhodopes and is only 45 km away from present-day Adrianople. Situated on one of the last hills, at an altitude of 560 m, the location affords good communication and observation in the north, east, and south directions. During regular archaeological excavations in 2024, two 14th c. structures were documented in the medieval town of Lyutitsa. Their layout and organisation are related to making earthenware. Their stratigraphic position suggests dating to the middle and second half of the 14th c. It was exactly in the period 1331-1371 that Lutitsa was in its last stage of existence as an urban unit. The two structures under consideration largely represent the different technological stages in the making of ceramics. The unearthed ceramic fragments range from coarse kitchenware and storage vessels to luxury tableware with and without underglaze decoration. One of the most highly representative types exhibiting outstanding technical characteristics is the "Zeuxippus" type, widespread in the region of Adrianople and southern Thrace during the reviewed period. Here, we will present mainly the architectural characteristics and design features of an open-fire chain kiln for ceramics and a building with a drainage channel and drainage shaft.*

***Key words**: Middle Ages, Zeuxippus ware, ceramic production, ceramic kilns, sewerage system, Thrace, Second Bulgarian Empire.*

The medieval town of Lyutitsa is located 5.73 km southwest, in a straight line from the centre of present-day Ivaylovgrad, Haskovo District (Fig. 1). With its strategic location, the fortified town straddled the southernmost slopes of the Eastern Rhodopes and was only 45 km away from the present-day Edirne, Republic of Türkiye. Situated on one of the outermost hills, at an altitude of 560 m a.s.l., the fortification afforded good communication and observation in all directions, especially towards the lowlands of Thrace and medieval Adrianople (Петрунова, Петрунов 2018).

We have to point out at the very beginning that the facilities in question are not completely excavated. It is quite possible that further archaeological excavations could provide more information. In the 2023 and 2024 seasons, two structures were documented that fall within sector XX of the overall grid-plan of the site (Fig. 2). Their location allows for direct communication with two other buildings to the north and west. A slight elevation

begins from their location with Structure 1 still on flat ground and Structure 2 on a slope of over 2 m elavation (Fig. 3). Structure 1 is connected to a residential building by way of a stone pavement, from the north. It is not well preserved, but individual slabs are visible, preserved in situ, which made it possible to establish this connection, during the excavations. Structure 1 was recorded in 2023 as a stone cluster (Figs. 4 and 5). The stone cluster measured N-S 3.74m and E-W 1.85m. Dozens of tools and iron workings were documented within it, indicating that it must have been a production facility. As the capacity for complete excavation has been used up, the structure was packaged and saved for the future season. Thus, in 2024 the excavations of the previous season continued in square Ж4.

To fully document the monument, the control profile aligned in W-E direction has been removed. As a result, a rectangular-shaped chain structure with four separate compartments emerged on its eastern side (Fig. 6). It is a multi-chambered kiln measuring North-South: 5.10 m and East-West: 2.20 m. Three of the compartments are 0.50 m wide, along the N-S axis, and one is 0.80 m wide, while only the southernmost compartment has survived with a combustion chamber depth, W-E, of 0.80 m. The three 0.50 m wide compartments were used for thermal processes, whereas only the northernmost one shows traces of the clay dome. At all three combustion chambers there was a burnt layer of charcoal and charred plaster, and at the 0.80 m wide compartment - fragmented kitchenware and a single stone from a potter's wheel. A fragmented potter's wheel was also found along the south wall of the structure. The potter's wheels, unlike the millstones which have a burnished surface, on both sides, are burnished only on the upper side, relative to their location. The two stone wheels in Structure 1 have a flat cross-section and no second hole for a handle, as is typical of cereal grinding millstones (Fig. 7). The food thermal processing function of the facility, which cannot be ruled out, is most likely secondary. This conclusion follows from the fact that the animal bone material found in this area is negligible compared to the quantities found in and around other structures in the sector and considered largely to be related to cooking. The structure should rather be considered a pottery making unit (Fig. 8).

Structure 1 of 2024, which we will refer to as Structure 2 in this paper, is 5 m long N-S and 2.70 m wide E-W. The structure was stone on mud, with two courses of large stones for the foundation, and was of perishable materials in height (Fig. 9). Small stones up to 0.10 x 0.10 m were used as drainage around the structure. The building might have been covered with flat stones, of which only a few slabs have survived. Two 0.50 m wide by 0.40 m deep thermal niches were documented to the southwest, where isolated fragments, secondarily charred pottery, melted material and animal bones were found. After clearing away the stones, a fragment of a potter's wheel was identified on the surface above the niches. The third potter's wheel that was found has a biconical cross-section, which definitely rules out the option that this stone might have been used for grinding. Structure 1/2024 has a severely compromised plan due to the terrain's denivelation, which is nearly 2 m from west to east. Nonetheless, it can be safely assumed that the building was rectangular in plan, its long walls aligned along the N-S axis. Structure 1/2024 resembles Structure 2, which is notably better preserved, with a rectangular plan and a recessed east wall. Structure 2/2024, within squares З4 and И4, has not been excavated, however, a heavily truncated Venetian silver coin of the 1360s-70s was found while clearing away the stone fill. In Square И5, a stone pavement was documented running along the north and east walls of Structure 1/2024. Following its removal, a shallow, elliptical pit emerged that contained a high concentration of animal bones, pottery, production waste, fragmented sgraffito pottery and a pottery firing tripod. This pit with drainage was connected to the north-east corner of Structure 1 through a narrow ditch lined by vertically placed slabs

measuring 1.80 m by 0.20 m (Fig. 10). Eight spots were documented around it, probably of posts structure. The spots are unevenly spaced around the pit on the southeast and northwest, ranging from 10 x10 to 25 x 25 cm in size. Thus, the drainage system, the canal and the pit appear to be the first documented sewerage system of Lyutitsa. Although it is a local structure, it represents a technological innovation that stands out compared to any other known to date.

The two examined structures largely represent the different technological stages how pottery was made. This situation is similar to that of the structures unearthed at Sozopol in 1984 (Манолова 2022, 130). The unearthed pottery fragments are from both coarse kitchenware and storage vessels (Fig. 7), and luxury tableware pieces, with or without underglaze decoration (Fig. 11, Fig. 12) (Манолова 2021, 272-274). One of the most representative types is the "Zeuxippus" type. It has technically advanced features and was widespread in the area of Adrianople and southern Thrace. The stratigraphic position of both structures, as well as the collected archaeological material, dates them to the middle and second half of the 14th c. It was precisely in the period 1331-1371 that Lyutitsa reached its last period of existence as an urban unit, being mentioned by John Cantacuzenus as a small town subordinate to the throne of Tarnovo (Cantacuzenus, 1980, p. 351).

As a conclusion, I attach a reconstruction by the artist N. Rusev, which reflects as closely as possible the parameters of the uncovered layout plans of the two structures (Fig. 13).

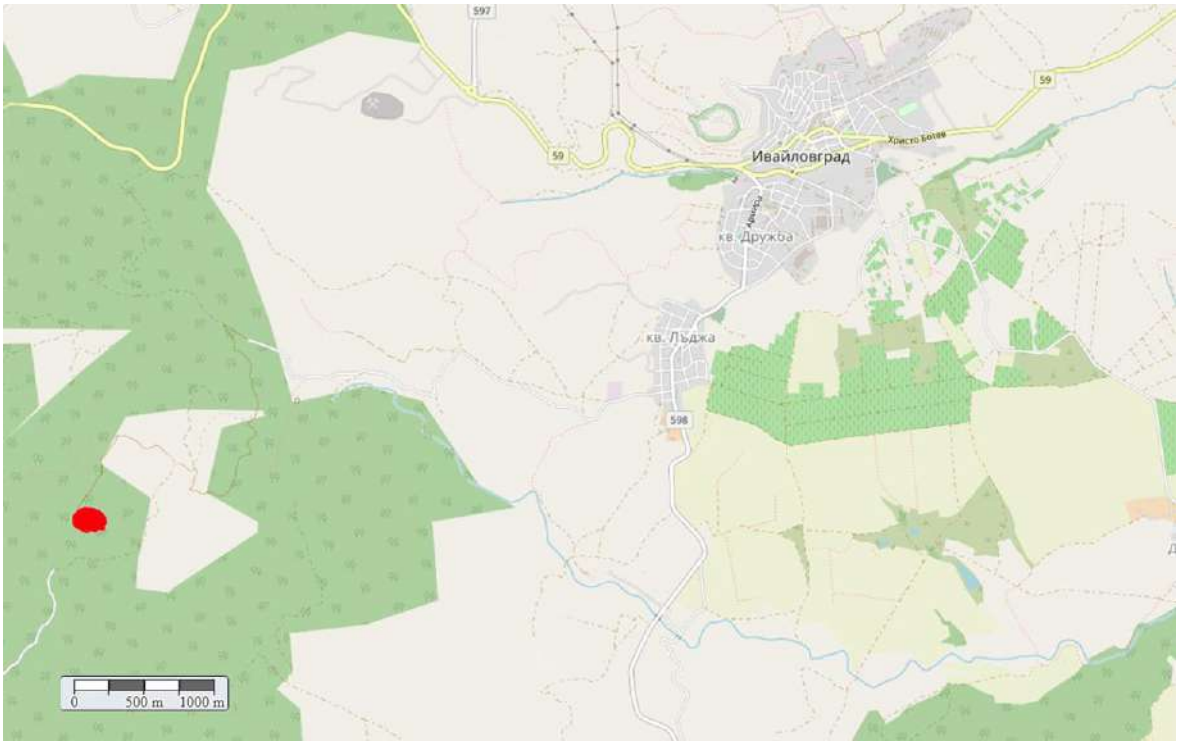


Fig. 1. Map with the location of Lyutitsa, relative to the town of Ivaylovgrad.

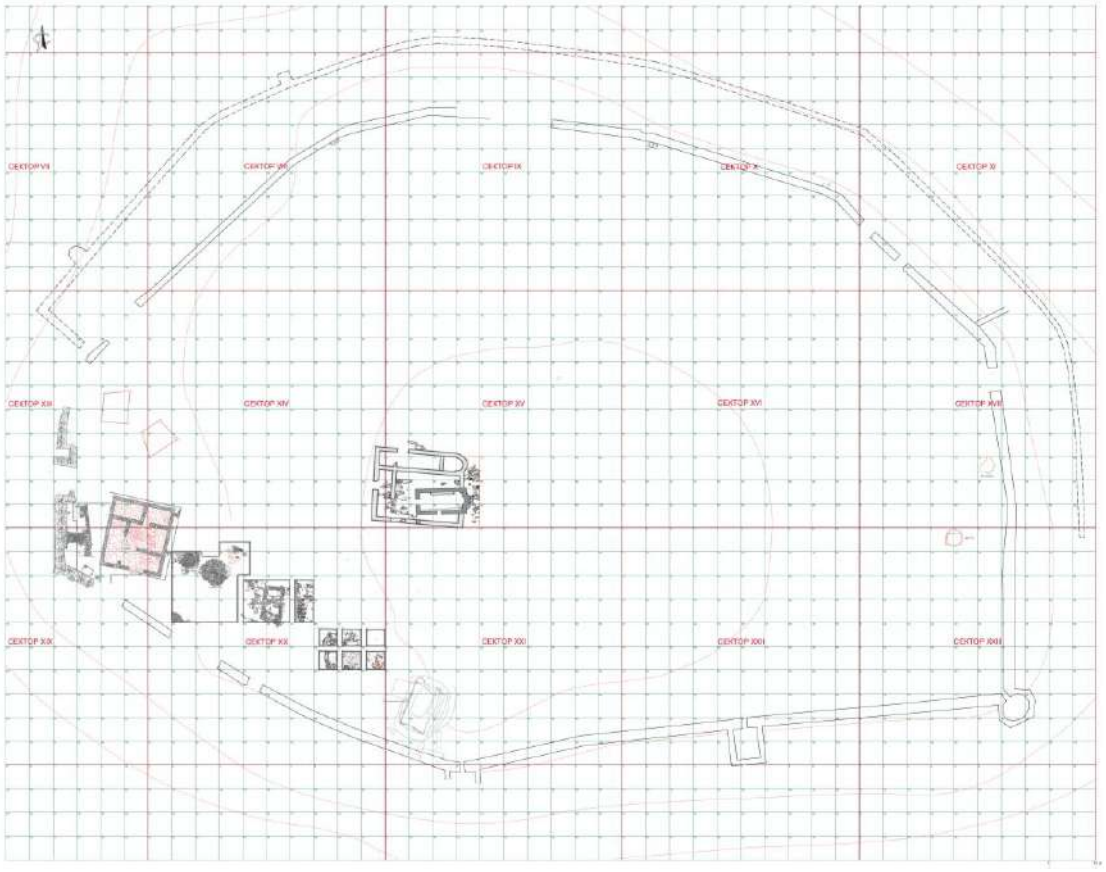


Fig. 2. Grid-Plan and the unearthed architecture of Lyutitsa.

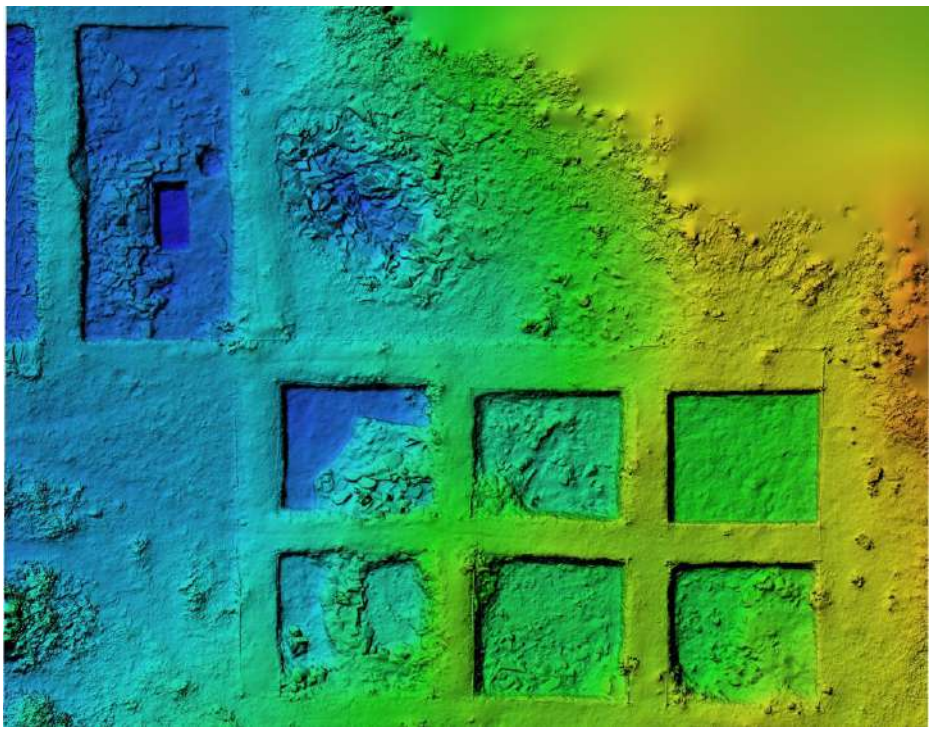


Fig. 3. Digital Elevation Model of the excavations in 2024.



Fig. 4. Registration level, Structure 1 in 2023.

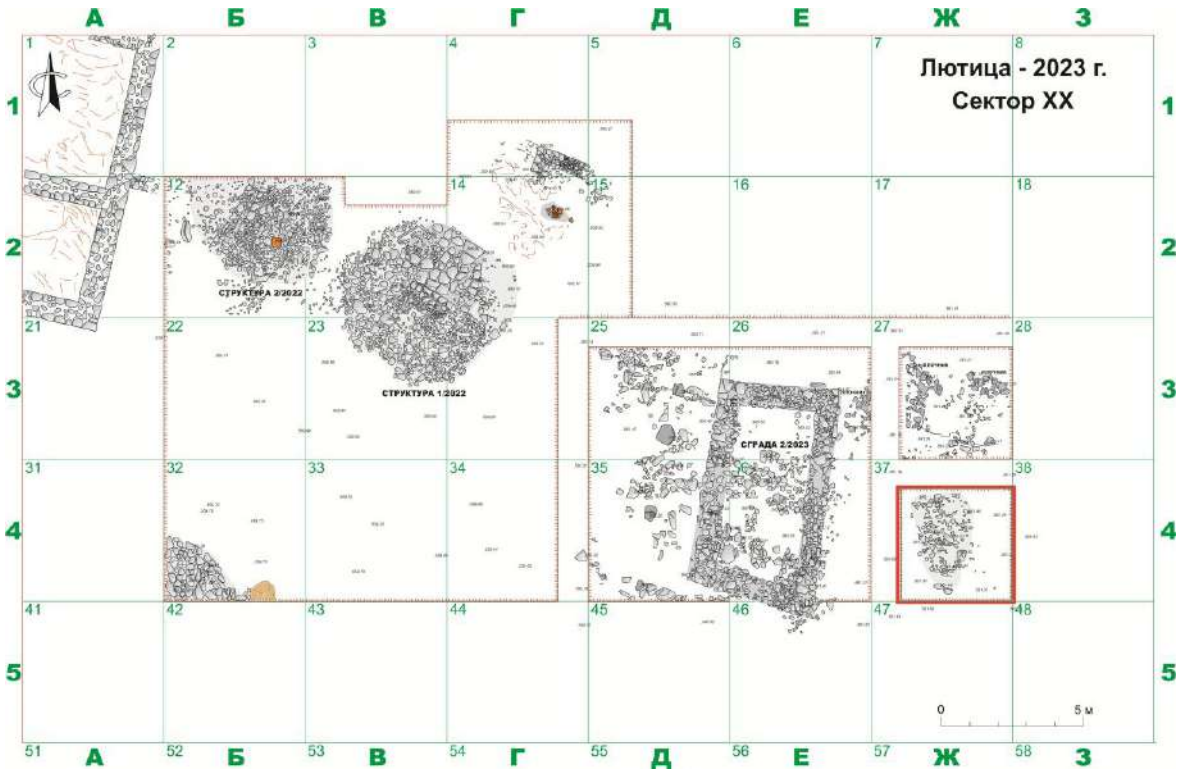


Fig. 5. Location of Structure 1 and level reached in 2023.

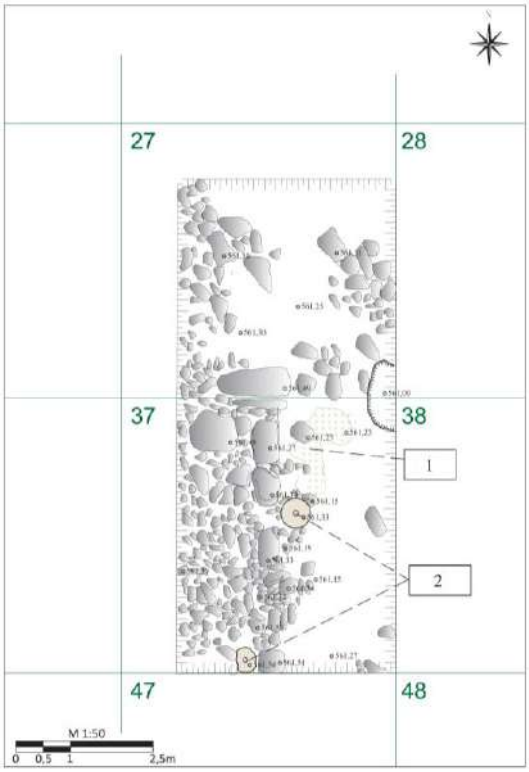




Fig. 6. Structure 1 and level reached in 2024. **Fig. 7.** Millstone and storage vessel, 19th c. Photograph in private property, the town of Ivaylovgrad.



Fig. 8. Structure 1 and the two potter's wheels, excavation in progress.

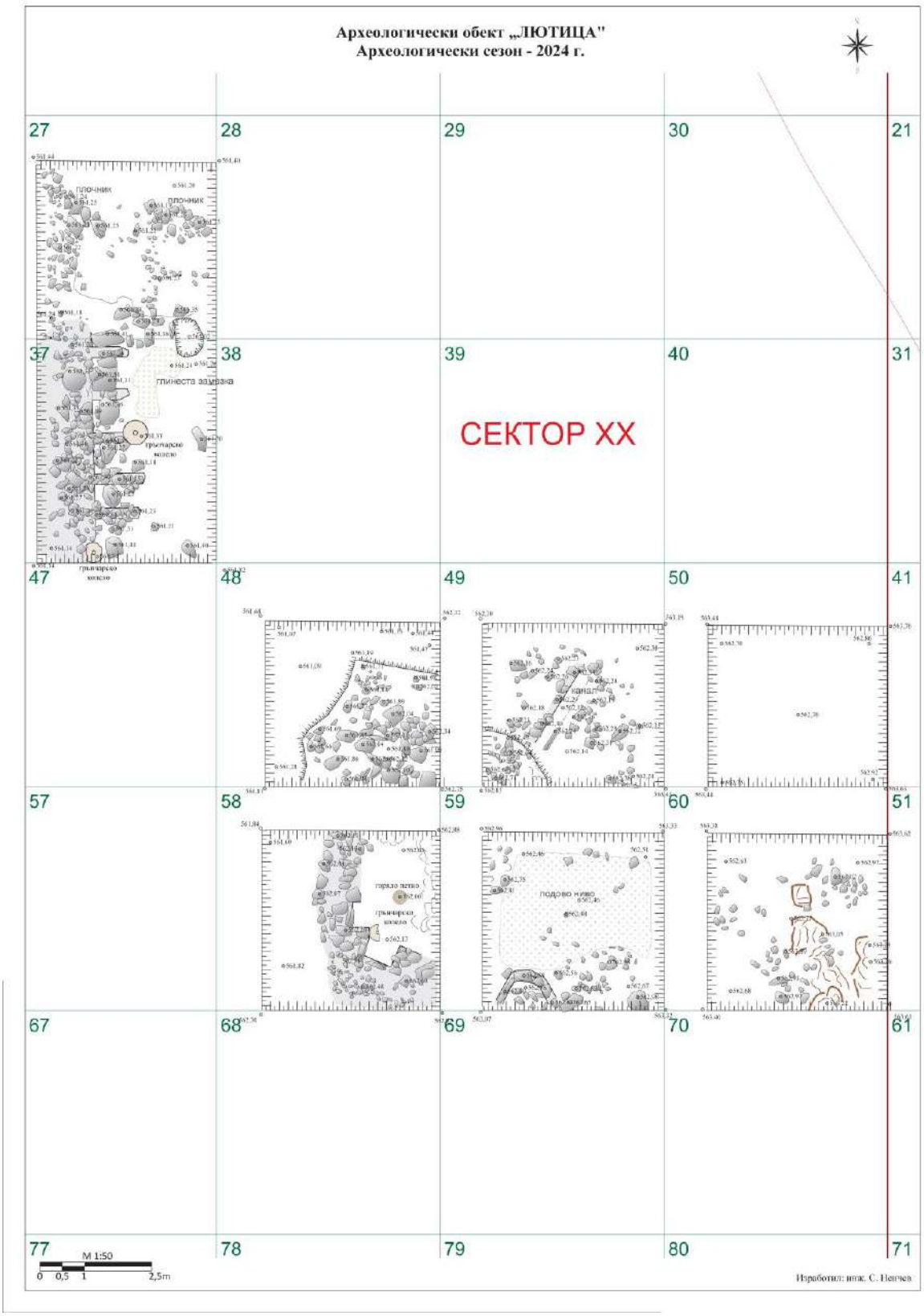


Fig. 9. Unearthed level of the production structures reached in 2024.



Fig. 10. Canal and pit with part of the drainage stones, level reached in 2024.



Fig. 11. Small earthenware water-pitcher spout featuring a wild cat or another large cat, 14th c. sgraffito pottery.



Fig. 12. Tripod for pottery production.

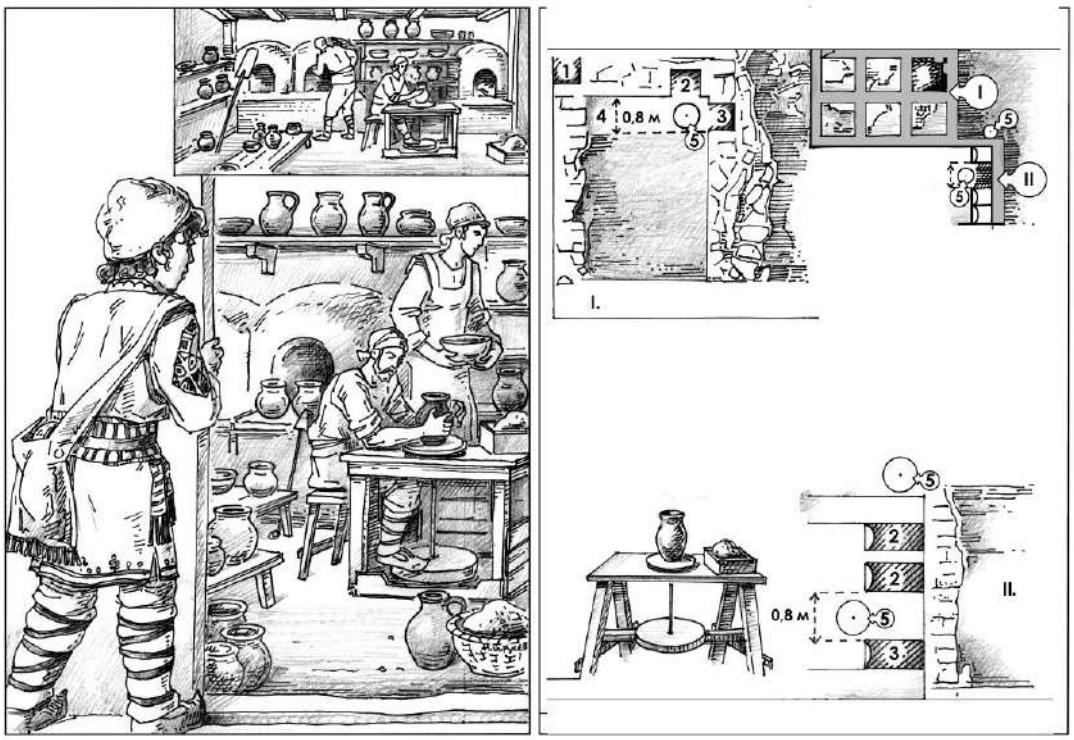


Fig. 13. Artistic reconstruction of the pottery workshop, artist Nikolai Rusev
Pottery workshop and shop
Legend: I - Workshop (5 x 3m) II - Shop (4 x 1,5m)
I. Workshop
1. Kiln with a pavement 2. Kiln. 3. Kiln 4. Work site 5. Potter's wheel
II. Shop Three kilns and two potter's wheels. All kilns are 0,5 m wide.

REFERENCES

[1] ГИБИ: Cantacuzenus, I. (1980). Ioannis Cantacuzini imperatoris bistoriarum libri IV. Войнов, М и др. (съст.) Гръцки извори за българската история, т.10. София: БАН, 219-396.

[2] Манолова 2021: М. Манолова, Средновековната керамика на Терма – В: Aquae Calidae 1, Бургас, 2021, ISBN: 978-619-91678-4-7, 272-274.

[3] Манолова 2022: М. Манолова, Продукцията на созополската работилница за сграфито керамика От XIII – XIV в. (предварителна публикация) – В: Известия на бургаския музей, том VIII, Част I, Бургас, 2022, Печатно издание: ISSN 2738-7933, Онлайн издание: ISSN 2815-4010, 130.

[4] Петрунова, Петрунов 2018: Б. Петрунова, Ф. Петрунов, Лютица мраморният град - закрилник на Източните Родопи, книга първа, 2018, ISBN 978-954-2953-84-5.

PLANTS PASSPORTIZATION IN HERITAGE PARKS - ESSENTIAL BASELINE INFORMATION FOR CONSERVATION AND FUTURE RESTORATION PROJECTS

Tsvetelina Yordanova, PhD landscape architect[1]

"The examples of cultural heritage in the creative work of a nation are among the most important criteria for its spiritual essence." [3].

Abstract:
Bulgaria still lacks clearly defined methodology of surveying and filing parks. In order to have properly maintained and managed cultural landscapes, it is really important to survey not only the terrain, tracks, walkways and architectural elements, but also (if not even more important) the plants, making the park park. Completeness of such studies would allow proper exposition and the ability to monitor and protect the territory, future reconstructions, as well as restoring its original appearance in case of improper interventions on the park grounds.

Keywords: *Plants passportization, phytosanitary assessment, plants monitoring, heritage parks survey, heritage parks restoration, documenting plants in heritage landscapes*

1. Introduction

Royal parks, heritage parks, large urban parks and urban gardens are among the primary indicators of the development and quality of the habitat and recreational environment of any society. Therefore, they may be defined as significant cultural landscapes. They represent some of the most valuable examples of garden and park art and serve as evidence of the development of landscape architecture, constituting a complex and dynamic assembly of architectural elements and a living "green fabric".

While architectural elements are relatively static and do not undergo significant changes over time, green systems are dynamic, actively changing even within a single vegetative season. Over the course of decades plants, and particularly trees, can repeatedly increase or decrease (in the case of suffering/death) their volumes, which can lead to significant changes in the volumetric-spatial composition of the park. Documenting the changes that occur, as well as the condition of the vegetation, is essential not only for conservation but also for development and, above all, for the safety of the green environment. This, together with the collection and accumulation of information about their compositional and dendrological characteristics, as well as their development and condition over time, forms a fundamental database, contributing to the creation of a better, more harmonious and sustainable contemporary green system. [4]

In Bulgaria, the identification, declaration, and granting of cultural heritage status are regulated; however, these regulations merely outline the general framework of the process.

Although the legislatively required data enables administrative registration, it is insufficient to accurately reflect the current condition of the site, neither to provide the

[1] **Tsvetelina Yordanova, PhD landscape architect, cveti@landscape-bg.com**

technical information, necessary to support future conservation and restoration interventions, or the proper management.

In order for heritage parks, palace complexes, and the initial urban vegetation to be properly managed and maintained, it is extremely important to carry out comprehensive documentation. This should include historical research, detailed surveying of the territory, and passportization of the plants of the studied site. The completeness of the historical research, together with detailed surveying and passportization, is of exceptional importance when deriving general principles for the developing of strategies for the conservation, restoration, and utilisation of existing parks, as well as for restoring the original appearance after inappropriate interventions or damage resulting from disasters or accidents.

Historical research and documentation should follow the chronology of the construction and development of the park and should include all available schemes, drawings, photographs, plants lists and other materials. The entire collected information must be analysed and documented.

The surveying of the site represents one of the most important databases and plays a significant role in determining the compositional characteristics of the park. As described in the PhD thesis of 2017 [6], the term "surveying" refers to the collection of information about the physical parameters of the studied subject and its components - location, form, dimensions and condition. The surveying of a park is a combination of surveys of the individual structure-defining components: boundaries, terrain, tracks, walkways, small and large architectural elements and vegetation. For maximum reliability of the collected information, it is recommended that measurements are carried out using high-precision methods approved for cartographic purposes.

1. Boundaries - Detailed surveying of the boundaries of the site.
2. Terrain - It is most appropriate the information about the relief to be collected simultaneously with the surveying of the location of individual components, in addition to geographic coordinates, altitude/elevation differences are also recorded. During the survey, or after graphical representation of the already recorded elements, the necessity of registering additional elevation data in areas of the park, lacking in other components - lawns, rock formations, agricultural areas - is assessed.
3. Tracks and walkways - Measurements are carried out along the borders of the track and the centre of the walkway at intervals, allowing reconstruction either through direct tracing or through the use of mathematical models, in the latter case the models are to be described during the survey. The type of pavement, its condition, and curbs are documented as well. When necessary, photographic surveying is also performed, and the photographs are filed with the documentation.
4. Architectural elements
    a. Large architectural element - The location, form, and dimensions are measured. Detailed photographic documentation is carried out, subsequently allowing a complete understanding of the compositional role of the element. If necessary, photogrammetric surveying is conducted.
    b. Small architectural elements - The location is measured, and the elements are documented in ways allowing the subsequent production of an identical copy - photography, measurement, and photogrammetry.

Vegetation, as the primary structure-defining element of spatial composition, should be correctly passportized and represented both graphically and in tabular form. These surveys are based on precise geodetic measurements including coordinates, plant diameter, height, canopy diameter (measured as its projection onto the ground surface), approximate age (providing information regarding the authenticity of the composition as well as its

historical development and deformations), remarks (indicating historically significant or valuable species, etc.), and an assessment of phytosanitary condition. For each specimen, the genus, the species, and the form (if such) are recorded.

In 2001 Metodieva, Pencheva and Radilova [1] presented a scale developed for assessing the overall phytosanitary condition; however, at present it has not been fully adopted, and many municipal services use their own sample tables for vegetation passportization. It is necessary to unify the format and to refine the assessment so that it provides the complete information about the condition in a standardized and easily comprehensible manner, regardless of the source, while improving possibilities for graphical representation.

The survey of the Royal park "Euxinograde" [6] is represented as an example of plants passportization. The complex occupies 95 hectares, of which 61.7 are park areas. The park is one of the richest dendrariums in the Balkans. Within its territory 174 tree species and 115 shrub species have been identified and described, and during the historical research a list was discovered for ordering more than 320 species. During the passportization, 3559 tree and shrub specimens were surveyed and documented according to the following criteria:

- Ornamental and rare species (according to this criterion all solitary species were surveyed), regardless of plant condition
- All trees located at the periphery of massifs within the historical borders of the park
- Trees forming the structural skeleton of the massifs (i.e., trees from the first plantings in the park)
- Trees of historical significance
- All topiary forms
- Specimens in extremely poor condition that should be removed or replaced

During the surveying and documentation of Euxinograde the following five-level scale was used:

6 - Plants in very good condition. No dry branches are present; the plant has a good habitat; it is assumed that in a leafed state the canopy is dense and compact (for deciduous species). If diseases are present, they affect no more than 10% of branches or leaves and do not affect the ornamental qualities.

5 - Plants in good condition. Overall, the plant is in good health. If dry branches are present, they are very few and do not significantly affect the appearance of the plant. Development is normal for the age. Almost no diseases are observed; if present, they affect no more than 20% of branches or leaves.

4 - Plants in satisfactory condition. Dry branches are observed, but damage to skeletal branches is minor. Canopies are airy or irregularly formed. In conifers, yellowing of needles in the canopy periphery up to 30% or bareness at the base up to 30% is observed.

3 - Plants in unsatisfactory condition. Broken or decaying skeletal branches are observed, as well as damage to the bark. Damage to the canopy affects more than two-thirds of it. Overall the appearance of the plant is unsatisfactory. If diseases are present, they affect a large portion of the plant. A significant number of basal shoots are observed.

2 - Dying or completely dead plants. Skeletal branches are desiccated, current/recent growth is absent, partial bark shedding is visible, massive yellowing or needle drop occurs (in conifers), and large hollows or rot affect a significant part of the plant.

For graphical representation, different symbols are used for each type of habitat. To represent compositional influence in plans, the symbols are shown with a size

corresponding to the canopy projection at scale. In plans presenting the phytosanitary condition of vegetation, symbols are coloured according to the assessment.

In her evaluation scale, Assoc. Prof. Dr. Anelia Pencheva uses ratings from 0 to 4 and colours respectively red, blue, green, brown, and yellow. For improved readability of graphical representations, internationally accepted hazard colour codes (red, yellow, green) can also be used:

- **Drying or completely dead plant** - red (indicating that the plant is extremely dangerous)
- **Plant in unsatisfactory condition** - orange (indicating that the plant is highly dangerous)
- **Plant in satisfactory condition** - yellow
- **Plant in good condition** - light green (no risk of structural branch breakage or falling; the plant is safe)
- **Plant in very good condition** - dark green (plant with very good indicators, completely safe)

This colour scale was used when documenting Euxinograde, since even a quick overview of the graphical representation makes it much easier to perceive and interpret the overall condition of the park.

During the electronic processing of graphical images, objects were created that store both the symbols at the corresponding scale and all other parameters. This allows all data related to an individual specimen to be reviewed simply by selecting the graphical symbol, without searching additional databases.

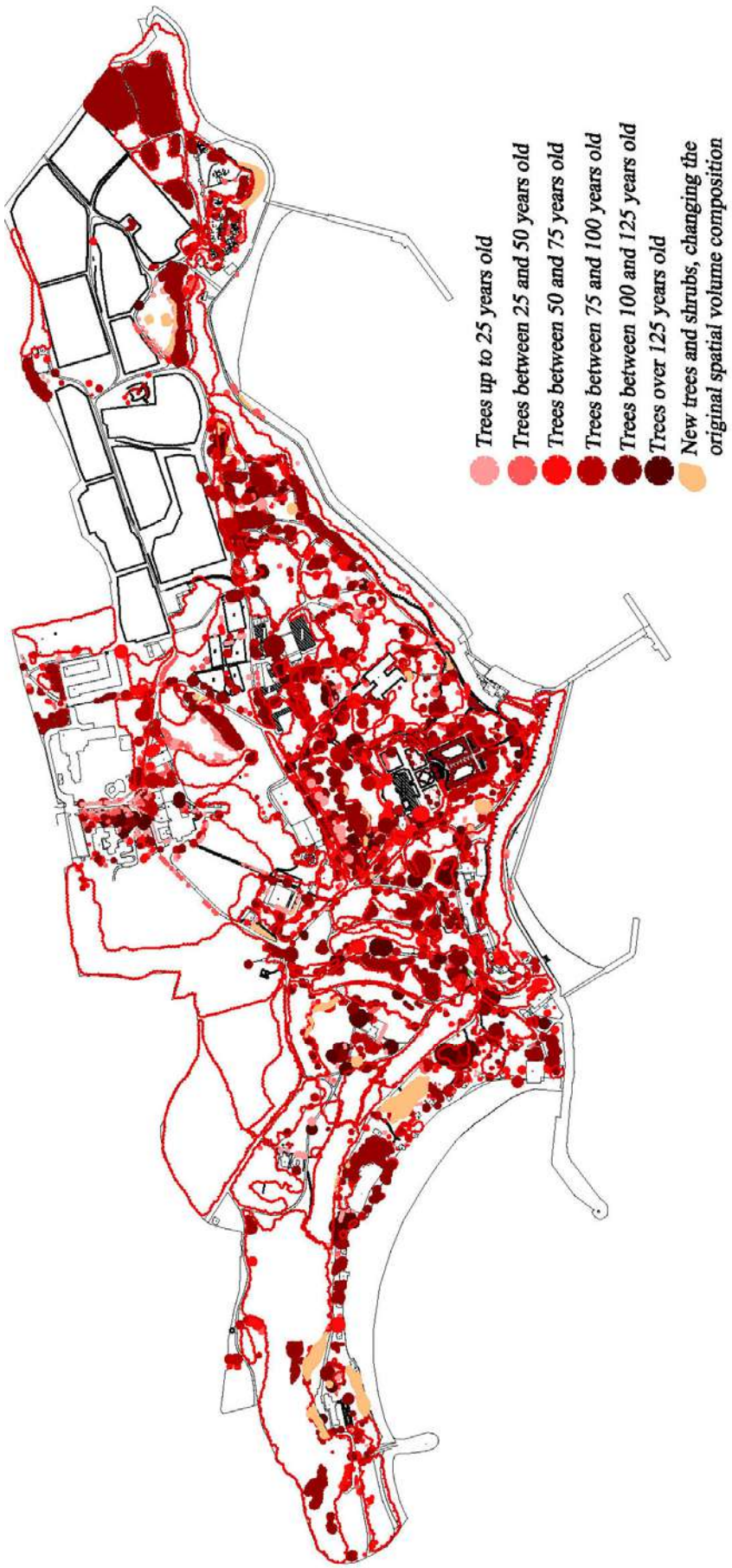


Fig 1. Heat map by plants age (Anogram)

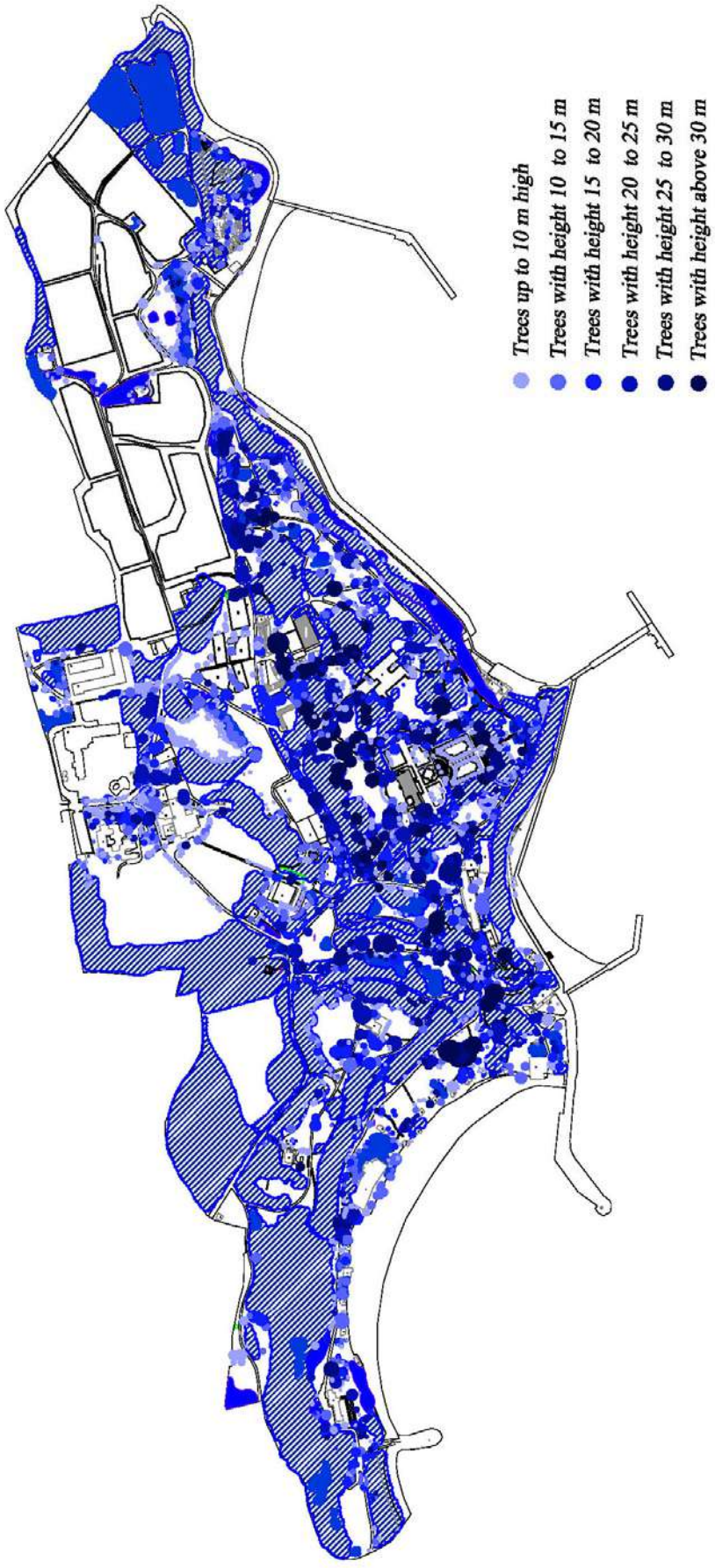


Fig 2. Heat map by plants height (Altogram)



Fig. 3. Graphic representation of plant dispersion in the park, displaying the composition

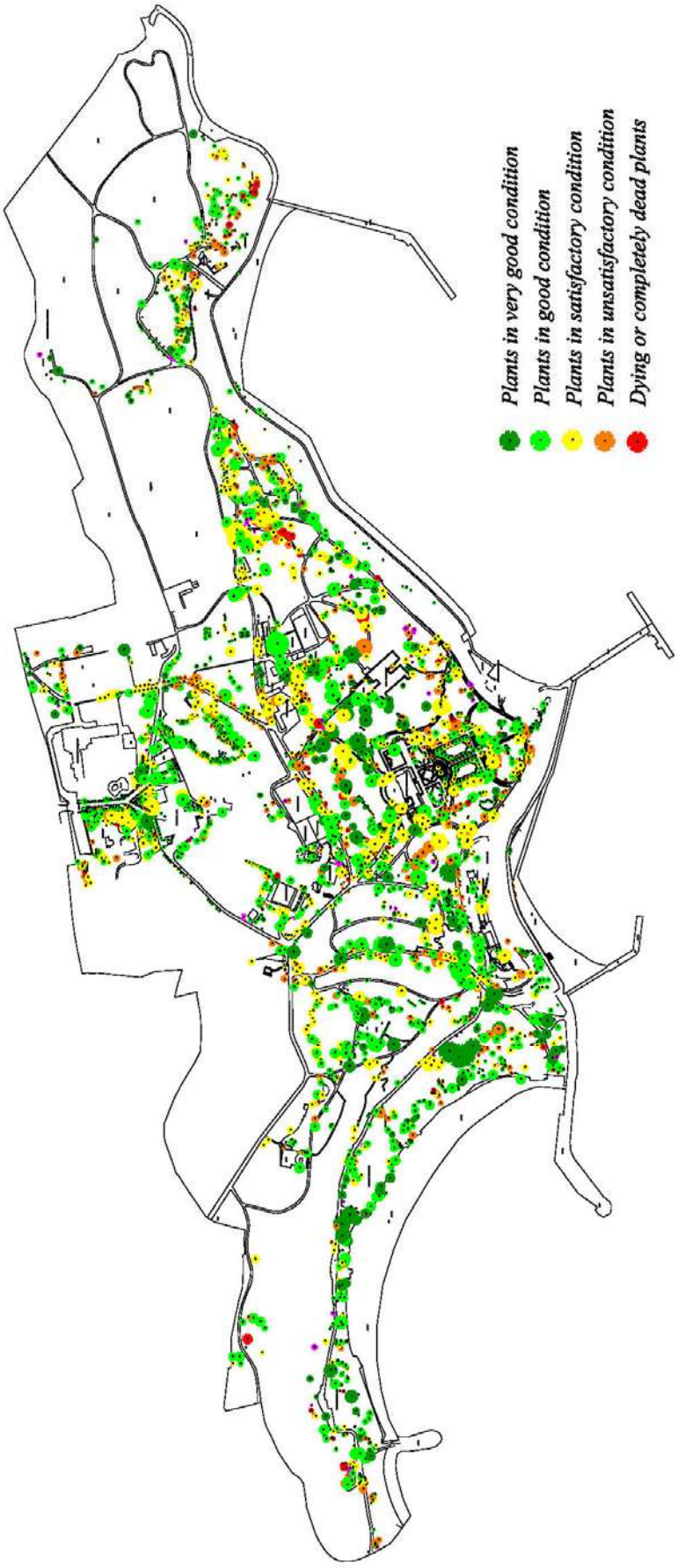


Fig. 4. Graphic representation of the phytosanitary condition of the park vegetation.



Fig. 5. Extract of the plants passportization of the Euxinograde park

Based on these graphical representations, it is possible to confirm the historical borders of the park, its compositional framework, as well as the relationship between the age of the park, the condition of the vegetation, and the resulting compositional deformations.

In addition to serving as a graphical model of the condition of the park vegetation, the assessment of the overall phytosanitary condition can also present the general percentage distribution of vegetation condition.

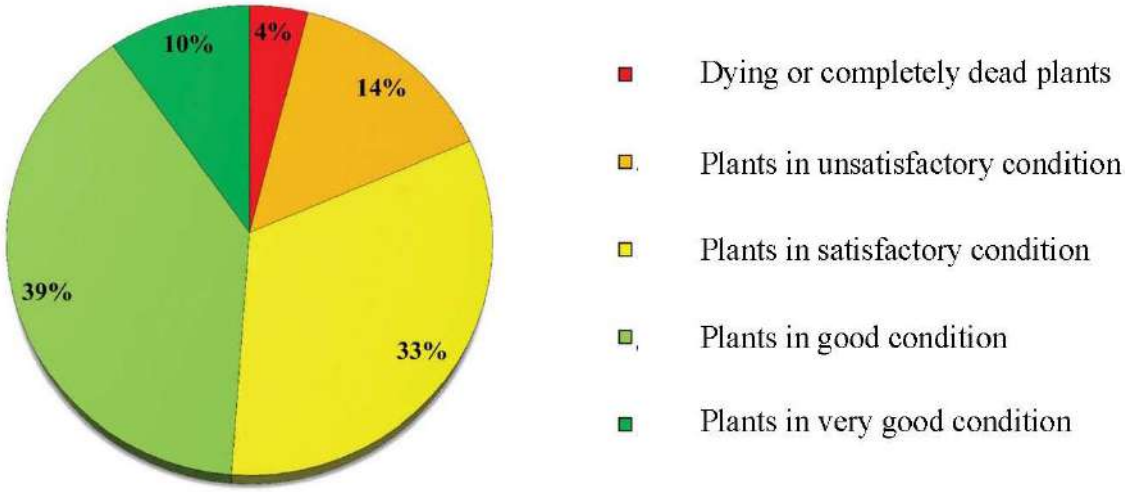


Fig. 6. Balance of the phytosanitary condition of the Euxinograde park

Both the graphical representation and the chart clearly demonstrate the deterioration of the park vegetation, which leads not only to a reduction in ornamental qualities but also to changes in the volumetric - spatial composition caused by deformation of tree canopies or the death of some plants.

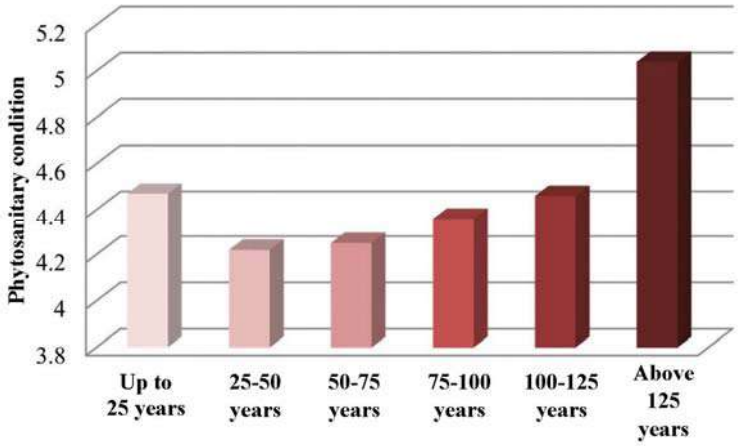


Fig. 7. Relation between plants age and phytosanitary condition.

Vegetation passportization can also easily provide information on the **quantitative distribution of different tree species** (dominant species, limited-use species, etc.).

In **Euxinograde Park**, the dominant coniferous trees belong to the following genera:

- **Pinus** - represented mainly by *Pinus nigra* (over 230 specimens), but also by the rarer species *Pinus coulteri*, *Pinus halepensis*, *Pinus heldreichii*, *Pinus jeffreyi*, *Pinus maritima*, *Pinus ponderosa*, and *Pinus pinea*.
- **Abies** - over 100 specimens, primarily *Abies alba*, *Abies pinsapo*, *Abies cephalonica*, *Abies concolor*, *Abies nobilis*, and *Abies nordmanniana*.
- **Cedrus** - represented mainly by *Cedrus atlantica* (more than 40 specimens), as well as *Cedrus libani* and *Cedrus deodara*.
- **Cupressus** - represented primarily by *Cupressus sempervirens* (31 specimens) and its highly ornamental form *Cupressus sempervirens* var. *pyramidalis* (over 60 specimens). *Cupressus sempervirens* var. *pyramidalis* is frequently used as a solitary specimen or in small groups.
- Other species used as solitary trees or in small groups include *Cedrus deodara*, *Libocedrus decurrens*, *Larix europaea* and *Sequoia gigantea*.

The dominant deciduous tree species include:

- *Tilia argentea* - over 100 specimens
- *Tilia platyphyllos* - over 50 specimens
- *Sophora japonica* L. - over 70 specimens
- *Aesculus hippocastanum* L. - over 60 specimens
- *Fraxinus ornus* - over 60 specimens
- *Koelreuteria paniculata* - over 50 specimens

Exotic tree species are predominantly used as solitary specimens, including *Albizia julibrissin*, *Magnolia grandiflora*, *Melia azedarach*, *Parrotia persica*, *Fagus sylvatica 'Atropunicea'*, *Maclura aurantiaca* and *Paulownia tomentosa*. An exception is *Lagerstroemia indica*, which in most cases has been planted in groups of three or more specimens.

Using the data obtained from passportization, a comprehensive assessment of the overall phytosanitary condition of different genera and species can easily be conducted. This provides information for each species regarding its current development and overall condition—whether it can be successfully used in the region or whether it exhibits declining health in the given habitat.

Such information is extremely valuable when preparing projects for new green systems in the region and when planning reconstruction or restoration interventions within the respective park. Based on these data, it is also possible to evaluate the success of the introduction of valuable ornamental species and to monitor which newly introduced species demonstrate invasive behaviour.

To determine the optimal spacing between plants, the relationship between plant height, phytosanitary condition, and the distance between individual specimens was analysed. The statistical analysis yielded the following results.

Table 1. Average spacing between plants, depending on their height and phytosanitary condition.

Group		Average spacing			
		Unsatisfactory	Satisfactory	Good	Very good
1	Shrubs up to 30 cm high	0.153	0.217	0.234	0.271
2	Shrubs up to 60 cm high	0.358	0.422	0.531	1.493
3	Shrubs up to 120 cm high	0.821	1.356	1.441	3.249
4	Shrubs and trees up to 2 m high	0.955	1.275	1.458	2.547
5	Shrubs and trees up to 3 m high	1.334	1.825	2.733	4.425
6	Trees up to 5 m high	2.035	2.259	2.519	4.743
7	Trees up to 15 m high	2.955	3.987	4.917	7.983
8	Trees above 15 m high	4.092	5.687	7.437	12.563

During statistical processing, some non-linear deviations were observed in shrubs of medium and large height. After further analysis of the elements included in the study, it became clear that these deviations were caused by the presence of a relatively large number of groundcover species within the respective groups.

A functional relationship between plant spacing and plant height was established. In order to determine optimal planting distances for designing a sustainable park environment, data from specimens in good and very good condition were selected.

Due to the distortions observed in shrub data, the analysis of spacing between trees paid particular attention to columnar forms. Calculations were carried out both with and without their inclusion; however, it was determined that the statistical distortion caused by these forms was insignificant due to their relatively small number.

All identified deviations were taken into account in defining the final parameters.

Table 2. Recommended spacing between plants for healthy vegetation development.

Group		Spacing
1	Shrubs up to 30 cm high	0.25
2	Shrubs up to 60 cm high	1.00
3	Shrubs up to 120 cm high	2.35
4	Shrubs and trees up to 2 m high	2.00
5	Shrubs and trees up to 3 m high	3.58
6	Trees up to 5 m high	3.63
7	Trees up to 15 m high	6.45
8	Trees above 15 m high	10.00

The information collected through vegetation passportization can also be used for comparative analyses of spatial distribution, including land-use distribution, the ratio between open and wooded spaces, the relationship between the alley network and park environment, etc. [5]

By overlaying the original park plans or early aerial photographs from the initial years of the park's creation with a graphical model of the current tree canopy projections, it is possible to trace changes in the ratio between open and closed spaces, as well as the disappearance of characteristic viewpoints or panoramic perspectives. In 2001 Tepeliev et al represent a similar analysis – overlaying aerial images, taken in the period 1942 – 1991 they study the alterations of the park composition and growth of groves[2].

All these studies and analyses clearly demonstrate the importance of conducting vegetation passportization in heritage parks.

When implemented in this manner, passportization can generate extremely valuable information. Through analysis of the collected data, it can be continuously supplemented through monitoring, and the resulting information can be used in the development of methodologies both for designing sustainable green systems and for the restoration and conservation of heritage parks.

The design itself represents only the starting point from which the life of each park begins. The subsequent construction phase is essential for materializing the project in physical space. Unlike architectural volumes, however, green volumes are not static. They undergo continuous development, changing their dimensions, volumes, and forms over time.

The dynamic nature of parks, and the fact that their primary structural and compositional elements are plant species, leads to the conclusion that the future of a park system depends directly on the proper management and maintenance. These, in turn, can

only be effectively achieved through high-quality vegetation passportization, combined with regular monitoring.

References

[1] Metodieva, E., Pencheva, A., Radilova, I. Influence of biotic factors on the health condition of woody vegetation in Euxinograde Park, pp. 118–128. Jubilee Proceedings: 50 Years of Landscape Architecture Department, Sofia, 2001
[2] Tepeliev, Y, Metodieva, E., Pencheva, A. Analysis of the changes in the projected composition of Evksinograde Park for the period 1942-1991 through overlapping of aerial images from different periods. pp. 178-187, Jubilee Proceedings: 50 Years of Landscape Architecture Department, Sofia, 2001
[3] Radoslavov, G. Classical and Compositional Principles in the Construction of Knyaz Borisova Garden, Dissertation for KTN, VLTI, Sofia, 1993
[4] Yordanova, Ts. Cultural landscapes survey and filing. XIV-th International Scientific Conference VSU, 2014.
[5] Yordanova, Ts. Horizontal Projection of the Composition of Royal Park “Euxinograde”. Classical Compositional Principles Used in Its Planning. XV-th International Scientific Conference VSU, 2015.
[6] Yordanova, Ts. Landscape planning, compositional and dendrological characteristics of royal parks in Bulgaria. Analogies with Crimea, PhD Thesis, VSU, 2017.

РОЛЯТА НА ИНЖЕНЕРСТВОТО В ОПАЗВАНЕТО НА АРХИТЕКТУРНОТО НАСЛЕДСТВО

Марио Алберто КИОРИНО

Академия на науките в Торино, Политехнически университет в Торино

THE ROLE OF ENGINEERING IN THE CONSERVATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE

Mario Alberto Chiorino [1]

Accademia delle Scienze di Torino; Politecnico di Torino

The paper contains the text of the Opening Lecture by the Author of the Academic Year 2019-2020 of the Turin Academy of Sciences and was published in the Proceedings of the Academy, Atti della Accademia delle Scienze di Torino, Volume 154, 2020. Courtesy of the Turin Academy of Sciences

***Abstract**: The conservation of architectural heritage represents a significant challenge for contemporary society. This paper aims to highlight the progressively increasing role of structural and geotechnical engineering in this task.*
The first part highlights the gradual recognition of this role in the international intercultural debate, and the consequent progressive reference to this role in charters and guidelines formulated at national and international level for advanced conservation strategies of architectural heritage, with increasing attention to the evaluation and mitigation of seismic risk.
In the second part a few relevant case studies are illustrated showing how these disciplines can effectively contribute to the processes of reliability analyses and of conservation strategies in the case of structurally complex and challenging important monuments of the architectural heritage. After a concise presentation of the recent outstanding intervention - after a long historical debate - for the safeguard of the celebrated monument of the leaning Tower of Pisa, some case studies are illustrated concerning the conservation of both historical as well as contemporary architectural heritage in the Turin area, with a special focus, in the second case, to the recent project of retrofitting and reuse of the celebrated modern spatial structural architecture of Hall B of the Turin Exhibition Center designed and built by Pier Luigi Nervi in the years 1948-1954 and representing the first application at large scale of his innovative ferrocement construction system.

[1] Prof. Mario Alberto Chiorino, Turin Academy of Sciences, ACI American Concrete Institute Hon. Member, *fib* Life Member, ACI Faculty Network, Hon. President ACI Italy Chapter, Professor Emeritus of Mechanics of Solids and Structures, Politecnico di Torino - Viale Mattioli 39 - 10125 TORINO, Italy,
E-mail: mario.chiorino@polito.it

A special attention is dedicated in the end of the paper to the case study of the Sanctuary of Vicoforte, a monumental building of the 17th and 18th century of great historical, architectural, and structural significance, characterized by one of the largest masonry domes in the world, and by far the largest oval one. Mention is made of the damage suffered by the monument along the years related in part to the differential settlements of the foundations due to the unfavorable geotechnical characteristics of the foundation layers and, to a large extent, to the daring structural configuration of the dome and drum system.
The paper illustrates the strengthening cerclage intervention of about four decades ago of the dome and the drum, and discusses the recent strategies adopted - within a scientific program coordinated by the Politecnico di Torino in the context of a wide international debate and cooperation - for the structural modelling and analyses and for the monitoring of this outstanding monumental building in the static domain, for the reliability assessments under gravity loads including the effects of the differential settlements of the foundations, as well as in the dynamic domain for both model updating processes and the evaluation of the seismic risk of the monument.

***Key words**: architectural heritage, monumental buildings, conservation strategies, charters and guidelines, structural and geotechnical engineering, seismic risk, modelling, monitoring, case studies, Tower of Pisa, Turin Exhibition Center, ferrocement, Pier Luigi Nervi, Vicoforte largest oval masonry dome.*

Въведение

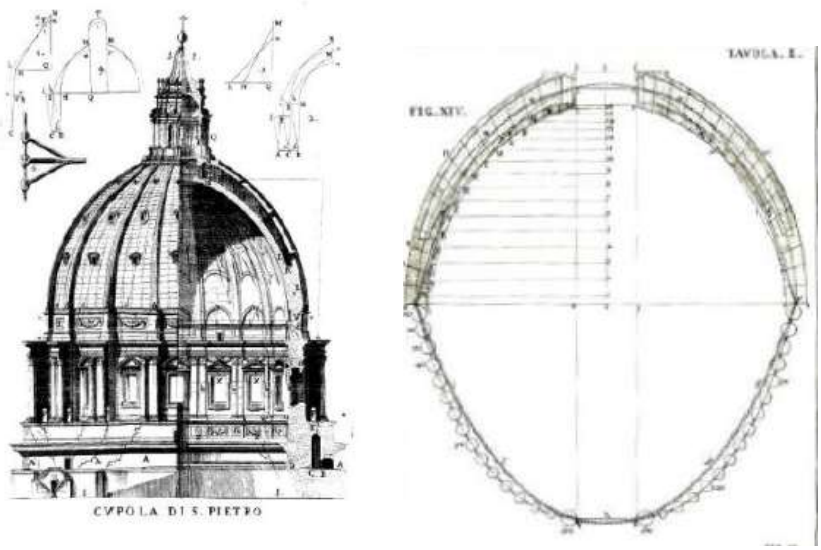
Защитата на архитектурното наследство налага в реалността приноса на различни направления в науката. Този доклад предлага за обсъждане значителната и прогресивно нарастваща роля на конструктивните и геотехническите дисциплини в стратегиите за консервация и реставрация на исторически конструкции и монументални сгради. Обръща се внимание на постепенно нарастващото признаване на важността на тази роля в рамките на международната дискусия [1], и съответното отражение в принципи и насоки, последователно включени в харти и документи, формулирани на национално и международно ниво. Процесът, който бе подчертан през последните години, във връзка по-специално с перспективата за установяване на научно обосновани глобални стратегии за оценка и смекчаване на сеизмичния риск са за някои от най-значимите архитектурни културни наследства, разположени в сеизмично активни зони, като например тези в Италия и Индия [2].

Във втората си част докладът е фокусиран върху няколко релевантни казуса, подходящи да демонстрират как тези дисциплини могат ефективно да допринесат за процесите на анализ на надеждността и консервация на конструктивно сложни и предизвикателно значими паметници, както от историческата, така и от съвременната архитектура.

В края е отделено специално внимание на историческия пример със Светилището на Викофорте, монументална сграда с голямо историческо, архитектурно и конструктивно значение, характеризираща се с най-големия овален зидан купол на света. Споменават се стратегиите, възприети за структурно моделиране и анализи в статическата област, за оценките на надеждността при гравитационни натоварвания, както и за анализите в динамичната област, както за процесите на актуализиране на моделите, така и за оценката на сеизмичния риск на тази забележителна историческа конструкция, и свързаната с това изследователска програма, координирана от Политехническия университет в Торино в контекста на широка международна дискусия и сътрудничество.

1. **Исторически аспекти**

Корените и ранното развитие на приноса на техническите и инженерните науки за консервацията и реставрацията на исторически паметници могат да бъдат открити в цялата строителна история на минали векове. Тъй като подробен преглед на този интригуващ и вълнуващ маршрут излиза извън рамките на тази лекция; може да се направи препратка към специализирана литература по история на механиката и строителната наука [3]. Един от най-важните епизоди е ранното прилагане, въпреки и с някои грешки и ограничения, на кинематичния и статичния подход на съвременния граничен анализ към проверките на условията за сигурност на купола на Свети Петър в Рим, проведени съответно от Тримата математици [4], (фиг. 1) и от Poleni [5], (фиг. 2), придружени предварително и паралелно с укрепващата интервенция, извършена от Poleni [5] и Vanvitelli през 1743-48 г. [6].



Фиг. 1. Кинематичен анализ на купола на „Свети Петър“,от Тримата Математици”
Фиг. 2. Статичен анализ на купола на „Свети Петър“от Giovanni Poleni.

2. Принципи и насоки, постепенно включени в харти и документи

В търсене на по-нова историческа перспектива на прогресивно нарастващото взаимодействие и взаимно обогатяване между, от една страна, изкуството, културата и науката за консервация и реставрация и, от друга страна, инженерните науки и техники, в рамките на широката визия за политехническата култура, първо може да се проучат основните принципи и правилата за концептуално ръководство, в края на 19 век и през първата половина на 20 век“, в националната и международната среда на конгреси и дружества на архитекти и инженери.

Като пример, първата италианска Харта за Реставрация, разработена – с водещата роля на италианския архитект Camillo Boito (1836-1914) – в рамките на 3-тия конгрес на италианските архитекти и инженери през 1883 г. [7], след като постановява, за основен принцип зачитането на автентичността на паметниците на архитектурното наследство, взема предвид проблемите, произтичащи от необходимостта от подобряване на тяхната конструктивна надеждност. В това отношение тя препоръчва подходяща стратегия, основана на минимални интервенции, а в случай на необходими допълнения, на лесна възможност за

разграничаването им от оригиналните части. Атинската Харта за Реставрация на исторически паметници, приета на Първия международен конгрес на архитектите и техниците на историческите паметници, Атина 1931 г. [8], представлява основният документ в тази област, разработен през първата половина на 20-ти век, установяващ основни принципи и насоки. В основните си уводни резолюции за първи път ясно се заявява принципът, че „съвременни техники и материали могат да се използват при реставрационни работи", като същевременно в последваща точка IV „Реставрация на паметници" се препоръчва „разумно използване на всички ресурси, с които разполага съвременната техника и по-специално стоманобетон" (донякъде двусмислено и може би прекомерно доказателство, дадено в полза на тази нова техника, чието използване днес се очаква да се разглежда с необходимото внимание, особено когато рехабилитационните интервенции са предназначени да намалят сеизмичния риск от зидани и каменни конструкции на историческо архитектурно наследство, поради евентуално нежелано увеличение на масата и коравината в някои части на тези конструкции [9]).

Атинската Харта също така препоръчва в точка VI „преди да се предприеме каквато и да е консолидация или частична реставрация, да се направи задълбочен анализ на дефектите и естеството на разпадането на тези паметници", като се признава, че всеки случай трябва да се третира индивидуално: очаквана препоръка за съвременен интегриран подход и методологична последователност, които, както е обсъдено по-нататък, понастоящем определят подходяща последователност от последователни стъпки, подобни на използваните в медицината [10].

Италианската Харта за Реставрация, създадена през 1932 г. от „Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti" [11], е до голяма степен вдъхновена от Атинската харта от 1931 г. След като заявява, че „реставрацията […] е резултат от комбинация между наука, изкуство и техника", Хартата препоръчва да се обърне най-голямо внимание на дейностите по поддръжка и рехабилитация, за да се възстанови правилната здравина и дълговечност на паметниците. По-нататък в текста се препоръчват следните други водещи критерии:

– „по отношение на допълненията, които ще са необходими за постигане на укрепване […] критерият, който трябва да се следва, освен ограничаването на тези интервенции до възможния минимум, трябва да бъде и тяхното замисляне по възможно най-простия начин и в съответствие с оригиналната конструктивна концепция";

– с цел подобряване на конструктивната сигурност и надеждност на даден паметник „могат да се използват най-модерните съвременни техники, когато използването на техники, подобни на древните, изглежда неадекватно за този обхват", а процедурите за конструктивна консервация трябва да се основават на „строго научни подходи".

През първите десетилетия на втората половина на миналия век, най-важното културно събитие в прогресивното развитие на международно ниво на съвременни политики за опазване и реставрация на културното наследство е представено от Втория международен конгрес по реставрация, проведен във Венеция през 1964 г. [12], който събра архитекти и техници на исторически паметници от цял свят. Основните резултати от този конгрес бяха създаването на Международния съвет на ИКОМОС за паметници и обекти [13] и изготвянето на Международната харта за опазване и реставрация на паметници и обекти[14].

Що се отнася до ИКОМОС, трябва да се отбележи, че неговата мисия подчертава приноса на науките към процеса на опазване, като се посочва, че „това е единствената глобална неправителствена организация от този вид, която е посветена на насърчаването на прилагането на теория, методология и научни техники за опазване на архитектурното и археологическото наследство" [15].

Що се отнася до Венецианската Харта, Piero Gazzola, председател на организационния комитет на Конгреса и главен автор, заедно с Raymond Lemaire, на Хартата, заявява в предговора към протоколите от конгреса, че:

Преди всичко, трябва да се признае, че най-важният положителен резултат от това събрание е формулирането на международния кодекс за реставрация: не просто културен епизод, а текст с историческо значение […]. Всъщност, отсега нататък, Хартата на Венеция ще бъде в целия свят официалният кодекс в областта на опазването на културните ценности [16].

Потвърждавайки някои от принципите, вече заявени в предишни харти [17], Венецианската Харта декларира в член 2:

Консервацията и реставрацията на паметниците трябва да се основават на всички науки и техники, които могат да допринесат за изучаването и опазването на архитектурното наследство, и в член 10 от него;

Когато традиционните техники се окажат неадекватни, консолидирането на паметника може да се постигне чрез използването на всяка съвременна техника за консервация и строителство, чиято ефикасност е доказана от научни данни и от опит.

Ако прегледаме обемния том с протоколите от Венецианския Конгрес [18], можем да забележим, че някои от обсъжданите теми показват прогресивното нарастване на влиянието на ролята на строителното инженерство и геотехниката в опазването на историческите паметници. Само за да цитираме няколко, можем да посочим дискусията за реконструкцията, ремонта и опазването на паметници в Скопие, разрушени или силно повредени от катастрофалното земетресение от юли 1963 г.; използването на съвременни техники като укрепване чрез прилагане на активно предварително напрягане със стоманени арматурни елементи при реставрацията на структури от архитектурното наследство; обсъжданият проблем за намирането на адекватни решения за подобряване на прогресивно влошаващата се по това време устойчивост на наклонената Кула в Пиза и свързаните с това конструиктивни и геотехнически въпроси [19].

3. Принципи и насоки на ИКОМОС-ИСКАРСАХ

Повратен момент в създаването на специфична среда за дебат върху ролята на конструктивните и геотехнически дисциплини във възстановяването на архитектурното наследство беше основаването през 1996 г. от ИКОМОС на ISCARSAH, International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of the Architectural Heritage (Международен научен комитет по анализ и реставрация на конструкции от архитектурното наследство), като световен форум и мрежа за всички, участващи в областта. След няколко години дебати, ISCARSAH изготви Принципите на Хартата на ИКОМОС за анализ, консервация и конструктивна реставрация на архитектурното наследство, ратифицирани от ИКОМОС през 2003 г., които бяха последвани от Насоки, които да се използват заедно с Принципите като глобални препоръки в тази област [20].

Тези два фундаментални документа все още представляват основния международен ориентир за избор на подходящи стратегии за консервационни и конструктивни реставрационни интервенции. През последното десетилетие те също така представляваха концептуалната рамка за установяването от научната общност на усъвършенствани критерии и стратегии за насочване, които са разгледани по-нататък, за по-специфичното и все по-актуално предизвикателство на оценката и избягване на сеизмичния риск за архитектурното наследство.

Основните концепции, включени в Принципите на ИКОМОС, са следните:

– „Опазването, укрепването и реставрацията на архитектурното наследство изисква мултидисциплинарен подход“;
– „Особеността на конструкциите на историческото, с тяхната сложна история, изисква организиране на проучвания и анализи в стъпки, подобни на използваните в медицината. Анамнеза, диагноза, терапия и контрол, съответстващи съответно на търсенето на значими данни и информация, индивидуализиране на причините за повредите и разпадането, избор на коригиращи мерки и контрол на ефективността на интервенциите“.

По отношение на диагнозата, Принципите посочват, че тя „се основава на исторически, качествени и количествени подходи“ и че количественият подход изисква „материални и конструктивни експерименти, мониторинг и конструктивен анализ“.

Що се отнася до коригиращите мерки и контрола, е посочена ясно формулирана рамка за добър подход, доказваща, наред с други аспекти, необходимостта от „справяне с коренните причини, а не със симптомите“, от основаване на мерките за опазване и укрепване на адекватна „оценка на безопасността и разбиране на значението на конструкцията“ и от свеждане на „интервенцията до минимум, за да се гарантира безопасност и дълготрайност с най-малка вреда за ценностите на наследството“. Също така е посочено, че „изборът между „традиционни“ и „иновативни“ техники трябва да се преценява за всеки отделен случай и да се дава предимство на тези, които са най-малко инвазивни и най-съвместими с ценностите на наследството, като се имат предвид изискванията за безопасност и дълготрайност“. И се отбелязва, че „понякога трудността при оценяването на реалните нива на безопасност и възможните ползи от интервенциите може да предполага „метод на наблюдение“, т.е. постепенен подход, започващ от минимално ниво на интервенция, с евентуално последващо приемане на серия от допълнителни или коригиращи мерки“.

Накрая, принципите настояват върху концепциите за а) *обратимост*, препоръчвайки „където е възможно, всички приети мерки да бъдат „обратими“, така че да могат да бъдат премахнати и заменени с по-подходящи мерки, когато се придобият нови знания. Когато те не са напълно обратими, интервенциите не трябва да ограничават по-нататъшни интервенции“; и б) *съвместимост*, изискваща „характеристиките на материалите, използвани при реставрационни работи (по-специално новите материали), и тяхната съвместимост със съществуващите материали да бъдат напълно установени“.

Свързаните с тях Насоки представляват разширен органичен глобален документ, предназначен да помогне за установяването на рационален подход и свързани с него подходящи стратегии за анализ, консервация и конструктивно възстановяване на архитектурното наследство. Последователните теми: 1) Общи критерии, 2) Събиране на данни: Информация и проучване, 3) Структурно поведение, 4) Диагностика и оценка на сигурността и 5) Структурни повреди, разпадане на материалите и коригиращи мерки, са разгледани подробно, предоставяйки ценни критерии за насоки. Решаващата роля на съвременния конструктивен анализ е подчертана в точка 4), доказваща, наред с други аспекти, че:

Същността на проблема е идентифицирането на смислени модели, които адекватно изобразяват както структурата, така и свързаните с нея явления с цялата им сложност, което прави възможно прилагането на теориите, с които разполагаме.

Подходящо доказателство за важната роля на математическите интерпретативни модели и за напълно признатата в момента фундаментална роля на техниките за

идентифициране и актуализиране на модели, както е посочено по-подробно и по-точно в продължението на текста:

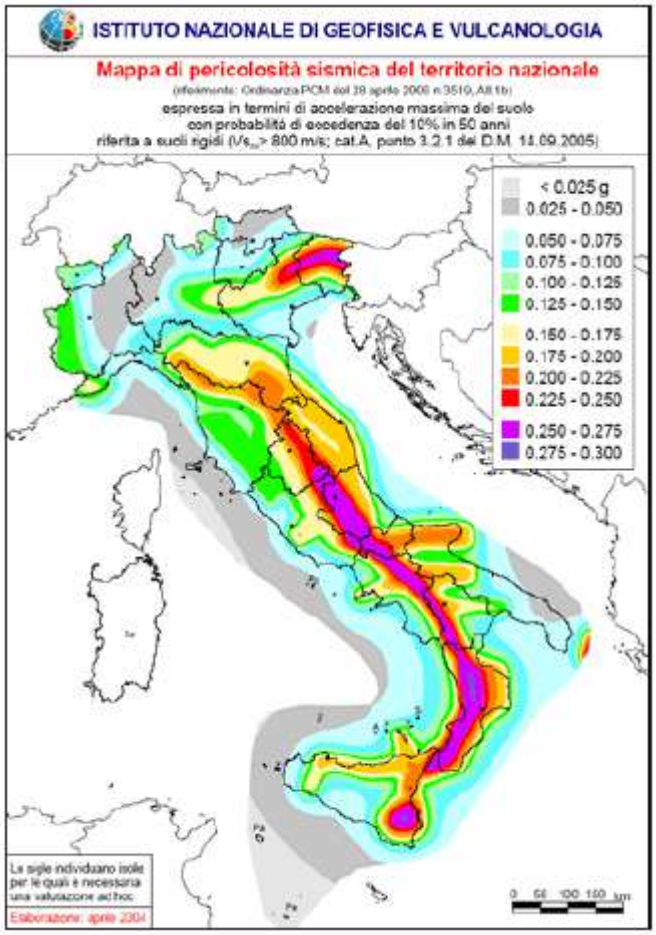
Математическите модели са често използвани инструменти в конструктивния анализ. Моделите, описващи оригиналната конструкция, ако са правилно калибрирани, позволяват сравнение на теоретичните щети, причинени от различни видове въздействия, с действително изследваните щети, предоставяйки полезен инструмент за идентифициране на причините за такива щети. Математическите модели както на повредената, така и на подсилената конструкция ще помогнат за оценка на настоящите нива на сигурност и за оценка на ползите от предложените интервенции.

4. Насоки за оценка и избягване на сеизмичния риск за културното наследство

Един важен повод за по-интензивно признание на ролята на строителното инженерство и геотехниката в опазването на историческите паметници се оказа развитието, особено през последните повече от две десетилетия, на задълбочен дебат на международно ниво относно стратегиите за опазване на архитектурното наследство в сеизмични райони и последващото редактиране през последните години на съответните ръководни документи в областта, целящи да допринесат за избягване на риска, свързан със сеизмичната уязвимост на това наследство. Такива действия бяха предприети по-специално с оглед на големите загуби, понесени през миналия век и в първите години на новия век от обширни части и важни шедьоври на архитектурното наследство в някои региони, характеризиращи се едновременно с наличието на изключително ценно многовековно наследство от това архитектурно богатство и значителна сеизмична активност, като например и особено в Италия и Индия (вижте картата на сеизмичния риск в Италия на Фиг. 3).

Италианското ръководство за опазване на културното наследство и ландшафта [21], редактиран през 2004 г., в член 29, „Опазване“, вече признава основната стратегическа концепция, че „в случай на исторически сгради, разположени в региони с обявен сеизмичен риск, реставрацията трябва да включва конструктивни подобрения“ за намаляване на този риск. В резултат на това ново прогресивно осъзнаване на важността на опазването на културното наследство, по-специално на историческите конструкции и паметници, от сеизмичен риск, един важен и ценен документ, резултат от интензивен интердисциплинарен дебат, са Италианските Насоки за оценка и намаляване на сеизмичния риск за културното наследство [22]. Изготвени от група академични и професионални експерти, от една страна, в областта на изкуството и науката на реставрацията, а от друга, в областта на конструктивното и геотехническо инженерство, тези Насоки бяха създадени за първи път през 2006 г. и впоследствие прередактирани и актуализирани в съответствие с развитието и прогресивната еволюция на националния Технически Правилник за конструкции и присъщите му предписания за анализи и проверки за безопасност и надеждност по отношение на сеизмичните въздействия.

На международно ниво важен референтен документ представляват съвременните Насоки за Опазване на Исторически Зидани Конструкции в Сеизмични Райони, публикувани през 2006 г. в рамките на Икономическата Междинна Културна Програма: ЕС-Индия [23], заедно с две други насоки съответно за стратегии за мониторинг и укрепване.



Фиг. 3. Карта на сеизмичния риск в Италия. INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2004). http://zonesismiche.mi.ingv.it/
За допълнителна информация вижте Ръководство за сайта на INGV: http://terremoti.ingv.it/en/help

Съвсем наскоро, на Европейско ниво, текстът на Европейските насоки за сеизмично съхранение на обекти на културното наследство беше представен в рамките на изследователския проект PERPETUATE (*Performance-based approach to the earthquake protection of cultural heritage in European and Mediterranean countries*-- Подход, основан на ефективността, към защитата на културното наследство от земетресения в Европейските и Средиземноморските страни), подкрепен от Европейската Комисия [24]. Паралелният изследователски проект NIKER (*New integrated knowledge-based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk* - Нови интегрирани, базирани на знания подходи към защитата на културното наследство от риск, индуциран от земетресения), също финансиран от Европейската комисия, има за цел да разработи интегрирана методология за системно подобряване на сеизмичното поведение на обекти на културното наследство [25].

Подробното разглеждане на съдържанието на всички горепосочени документи е извън обхвата на тази лекция. Достатъчно е да се каже, че комбинирайки най-модерните резултати от съвременните изследвания в областта на сеизмичното инженерство и строителната механика (с особен акцент върху традиционните строителни техники и материали, като например каменна и тухлена зидария и дърво [26]) с изискванията за консервация и реставрация, преследвайки сложната и дискутирана цел за съгласуване на изискванията за безопасност и консервация, насоките и критериите, разработени във всички тези документи, разглеждат следните последователни аспекти: дефинирането на гранични състояния на

експлоатационни характеристики, специфични за обектите на културното наследство, дефинирането на сеизмичния вход с подходящо внимание към ефектите от усилването на обекта, познаването на разглежданото историческо строителство, техниките за анализ на сеизмичния отговор и оценка на сеизмичната безопасност чрез адекватно моделиране и, накрая, дефинирането на подходящи стратегии за рехабилитация.

Що се отнася до математико-конструктивните модели за оценка на сеизмичната безопасност, освен обсъждането както на различните възможни подходи за методи за сеизмичен анализ, така и на нивата на сеизмична оценка, вниманието е отделено, по-специално от италианските правилници, върху опростени модели за оценка по конструктивните видове схеми на сградите. Тези модели са подходящи за качествен анализ от първо ниво за оценка на сеизмичната безопасност на цялото архитектурно наследство в регионален мащаб.

Като се има предвид особената сеизмична уязвимост на важното архитектурно наследство, представено в Италия от църквите [27] (характеризиращи се, особено в случая на монументалните, с предизвикателна конструктивна архитектура, обхващаща широки вътрешни пространства, големи арки и сводове, важни фасади със свободно стоящи тимпани и в доста случаи смели конфигурации на куполи и барабани), специален акцент е поставен върху този тип конструкции. Определен брой типични механизми за повреди, свързани с различни макроелементи, които показват почти независимо поведение, са представени подробно в италианските ръководства.

В един от гореспоменатите документи, PERPETUATE European Guidelines, са акцентирани няколко усъвършенствани критерия за концептуално ръководство [28]:

Първата водеща идея е, че опазването на културното наследство се нуждае от подобрение в методите за анализ и процедурите за оценка, а не в техниките за интервенция. Втората водеща идея е, че подходът за проверка по отношение на капацитета на преместване, а не по отношение на якостта, е по-надежден и ефективен за сградите от историческото наследство, и че гъвкавостта, пластичността и лекотата са положителни фактори за тяхното сеизмично поведение. Третата идея е, че надеждната процедура за оценка на сградите с исторически контекст изисква оценка както на архитектурните, така и на художествените активи, които се съдържат в тях.

5. Среда за прогресивен дебат, изследвания и образование

През последните две десетилетия на национално и международно ниво се развиха интензивна дейност за създаване на подходяща среда за прогресивен дебат, синтез на изследвания и образование относно ролята, която трябва да играят строителното инженерство и геотехниката в мултидисциплинарен подход към опазването на архитектурното наследство. Един основен форум за обсъждане на постиженията в изследванията и за анализ на забележителни казуси е представен от поредицата международни конференции на SAHC за конструктивен анализ на исторически конструкции. Първите две издания се проведоха в Барселона през 1995 и 1998 г., последвани от дву - годишни издания в Европа и други места по света. Последните места за провеждане бяха в Куско, Перу през 2018 г., в Барселона през 2021 г. (онлайн издание, координирано от Международния Център за Числени Методи в Инженерството CIMNE), в Киото през 2023 г. и в Лозана през 2025 г.

На ниво научна литература, едно от съответните основни средства за разпространение на изследвания и дебати в тази област в момента е представено от International Journal of Architectural Heritage (Международно Списание за Архитектурно Наследство). В различни университети и академични институции в Италия и другаде, както и в рамките на международни мрежи от тези институции, са създадени мултидисциплинарни програми за научни изследвания и образование на

високо ниво, които обединяват напреднали технически и научни постижения в областта на строителната механика и геотехниката с науката, културата и етиката на консервацията и реставрацията (вижте например SAHC: Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions[29] и, в по-специфичната област на защитата на културното наследство от риск, предизвикан от земетресения, горе-упоменатите европейски програми NIKER и PERPERTUATE).

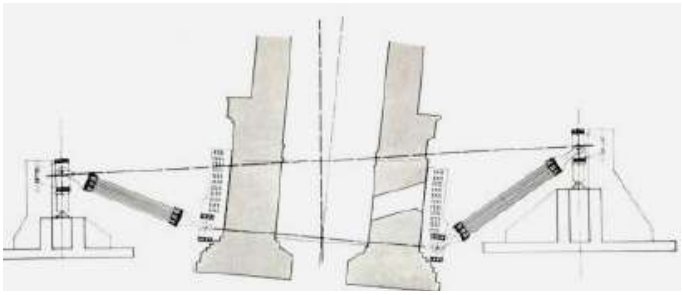
6. Забележителни от близкото минало примери, подчертаващи ролята на строителното инженерство и геотехниката в опазването на историческите паметници

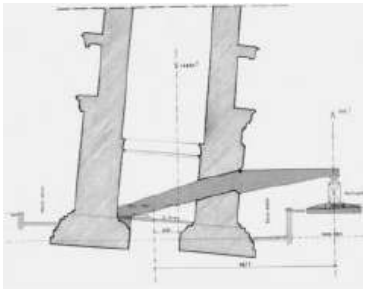
През последните години бяха успешно извършени няколко забележителни случая на интервенции за конструктивно възстановяване с фундаментален принос на строителното инженерство и геотехниката, в рамките на целенасочен мултидисциплинарен подход.

Един от най-забележителните случаи, сред другите, беше интервенцията, след дълъг исторически дебат [30], за опазване на известния паметник - наклонената Кула в Пиза (1173). Изключителна и уникална интервенция, основана на използването на най-съвременните научни знания и техники, както в областта на геотехниката, така и на строителната механика, извършена с конкретната цел да се възприемат по-малко инвазивни подходи при пълно зачитане на историческите, художествени и архитектурни ценности на паметника и етиката на реставрацията.

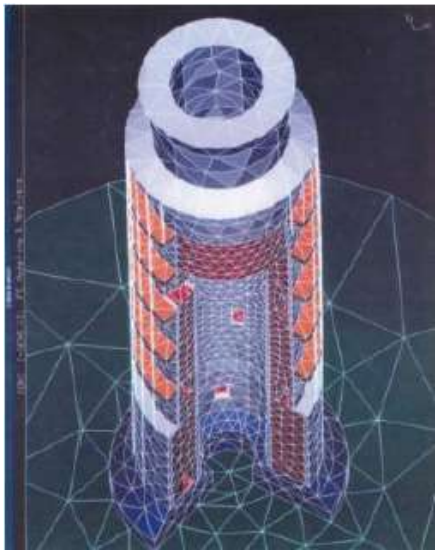
Разработена с дълбоко разбиране на строгите връзки в риска от конструктивното верижно разрушаване на Кулата между прогресивното наклоняване, ветровите и сеизмични въздействия, както и наличието на някои критични сечения в зиданата конструкция на Кулата поради неадекватност на размерите на съпротивляващите се секции, окончателната интервенция – която се основава на контролирано извличане(отстраняване) на почвата под Кулата (т.н. подкопаване под Кулата) от фундаментните слоеве и активна обратима интервенция за локално укрепване на конструкцията на Кулата, с прилагане на опънни армировъчни пръстени от неръждаема стомана, след задълбочен механичен анализ и изследване на конструкцията (фиг. 5) – бе резултат не само от интензивен дебат, но и, и по-специално, от синтез и интеграция между различни култури [31].

Други забележителни случаи на конструктивен анализ, мониторинг и в някои случаи на укрепващи и рехабилитационни интервенции на важни исторически конструкции са свързани с други известни паметници, като например, за да цитираме само няколко сред многото други, катедралата в Мексико Сити (където е извършен разширен мониторинг и моделиране по отношение на слеганията на почвата и сеизмичния риск, а мярката за отстраняване на недостатъчни изкопни работи, която впоследствие е приложена за Кулата в Пиза, е тествана за първи път за противодействие на различните слягания [32]; куполът на Санта Мария дел Фиоре във Флоренция, за който са предприети внимателни действия по моделиране и мониторинг [33], както и други забележителни паметници по света.





Фиг.4.1. Устройство за преместване Кулата с цел да позволи изграждането на нова основа (Gustavo Colonnetti with Riccardo Morandi, 1963).
Фиг. 4.2. Устройство за намаляване на напрежението върху почвата под основата на Кулата (Gustavo Colonnetti, 1965).



Фиг. 5. Модел с крайни елементи за структурен анализ на Кулата в Пиза (G. Macchi in S. Settis *et al*., 2005, cit.)

7. Относно няколко значими примери, свързани с опазването на историческото и съвременно архитектурно наследство в Торино

Архитектурното наследство на Торино се характеризира с наличието на някои важни примери на барокова архитектура, както и, в последно време, със забележителни шедьоври на съвременната структурна архитектура. По-долу са накратко разгледани няколко значими примери, свързани с опазването на някои забележителни произведения на изкуството от това наследство.

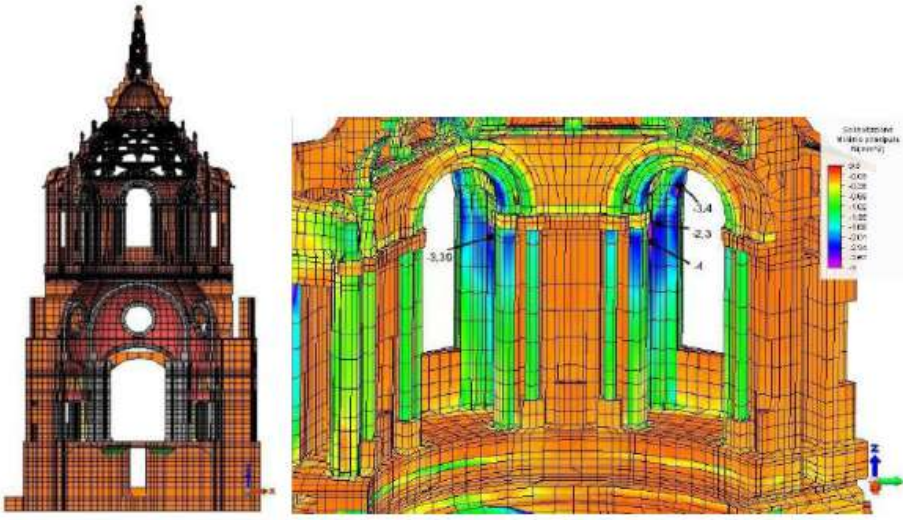
Cappella della Sindone (Параклис на Светата Плащеница; *Guarino Guarini 1679***)**

Консервационната интервенция е свързана с укрепване и частична реконструкция на Параклиса след опустошителния пожар от 1997 г. и е завършена през 2018 г. (фиг. 6). Проектът изискваше анализ и разбиране на първоначалната концепция на сложната структура и по-специално на нейния купол, изработен от мрамор и тухлена зидария, свързани помежду си с много железни връзки, с добавяне на периметърни серклажни връзки на много нива. Всички железни връзки са били силно засегнати от пожара, което е причинило разкъсването на основния периметърен серклаж в основата на купола, пресичащ основните прозорци на барабана. Структурният анализ е извършен на базата на прецизиран модел с крайни елементи (фиг. 7).

Рехабилитацията, освен укрепването на зидарията и свързаните мраморни артефакти, които бяха частично заменени с нови артефакти, изработени от същия тип мрамор (като например повечето носещи колони и пиластри), включваше замяната на оригиналните железни връзки с нови връзки от неръждаема стомана и поставянето на два хоризонтални свързващи прът, изработени от натоварени на опън прът от неръждаема стомана, поставени под пода на Параклиса, за да се свърже Параклисът С портика на Кралския Дворец и двете корави стени на апсидата на Катедралата с цел сеизмично подобрение. Новите серклажни връзки поставени по периметъра включват главна закотвяща система позволяваща контролиране на опъна и допълнителни напрягащи интервенции [34].



Фиг. 6. Cappella della Sindone (Параклис на Светата Плащеница). Оригинална рисунка от Guarini и вътрешен изглед на купола след реставрация.



Фиг. 7. Cappella della Sindone (Параклис на Светата Плащеница). Модел с крайни елементи за конструктивен анализ (вляво) и резултати от анализа на нивото на прозорците на купола (вдясно). *С любезното съдействие на Паоло Наполи*.

Collegio dei Nobili, тогава Дворец на Академията на Науките и дом на Египетския Музей

Collegio dei Nobili е замислен от йезуита Carlo Maurizio Vota под влиянието на Guarino Guarini (1624-83). Строителството на двореца е започнато през 1679 г. от Michelangelo Garove (1650-1713), най-вероятно с надзора на Guarini, под патронажа на херцогинята на Савоя Maria Giovanna Battista (фиг. 8). През 1773 г. Савоя премахва ордена на йезуитите и в резултат на това колежът е затворен през 1796 г. Лявото крило на двореца е дадено на Академията на науките, основана през 1783 г. В основната част на сградата са разположени музеи и художествени галерии, с преобладаващо присъствие на египетско изкуство след придобиването през 1824 г. на колекцията Drovetti, която става ядрото на Египетските музеи в момента заемат цялата част от сградата, с изключение на частта, отнасяща се до Академията на науките.

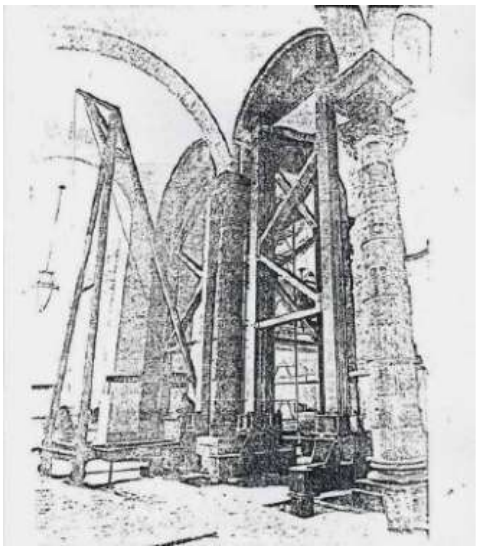
През последната половина на миналия век са извършени две големи интервенции при конструктивната рехабилитация.

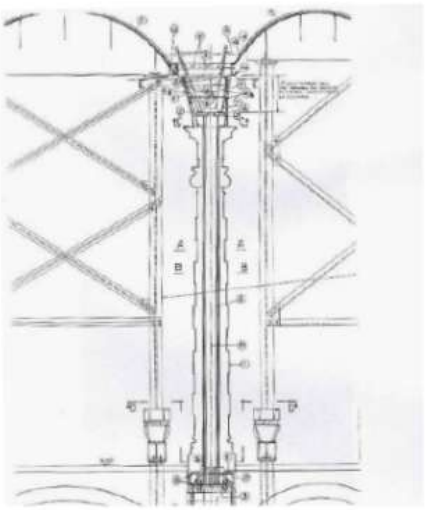
а) Укрепване на колоните на атриума

Атриумът на двореца се характеризира с наличието на четири много тънки колони, направени от прецизно монтирани, един върху друг каменни цилиндрични елементи с различен диаметър. Двете колони към двора са по доста необичайна схема разположени по оста на основната вътрешна стена, която се простира от първия етаж до върха на покрива. През 1981 г. се появяват признаци на статическо неудовлетворяване на равновесните условия в конструкцията, подсказано с появата на локализирано разрушаване на каменната основа на една от колоните. Внимателният анализ на натоварването показа високи натоварвания и стойности на напрежението върху двете колони, несъвместими с настоящите критерии за безопасност за конструктивни елементи от този тип. Серия от безразрушителни тестове, проведени върху елементите на колоната с помощта на ултразвуково оборудване, дават резултати, които се характеризира със забележима дисперсия, така че наличието на вътрешни повреди в каменните елементи (започване на пукнатини) не може да бъде изключено. Комбинацията от тези резултати предизвикаха безпокойство по отношение на състоянието на устойчивостта на сградата, като се има предвид и използването на сградата като музей, отворен за обществеността, и доведе до приемането на предпазни мерки (временна спомагателна стоманена носеща конструкция, фиг. 9) в подготовка за укрепване на колоните.



Фиг. 8. Collegio dei Nobili, тогава Дворец на Академията на Науките и дом на Египетски Музей.





Фиг. 9. Временно укрепваща стоманена конструция
Фиг. 10. Каменната колона, подсилена с вмъкната опорна конструкция от тръбна стоманена колона

Операцията по окончателното укрепване [35] (1990) се състои в монтирането на тръбни стоманени колони, които да поемат целия товар, вместо двете каменни колони, поемащи общия товар над тях (фиг. 10).

Тук е мястото да се каже, че е изпълнена временна, спомагателна, стоманена опорна конструкция, с чиято помощ да се отстранят временно оригиналните каменни колони, които според направените изчисления не са достатъчни, за да поддържат с необходимата сигурност вертикалните товари действащи върху тях. С цел да се отстрани вертикалното натоварването върху каменните колони, временната спомагателна конструкция е монтирана под дъгите и повдигната до пълното и прилепване към дъгите на зидания свод, Това притискане на помощната стоманена конструкция е осъществено чрез активиране на крикове, разположени в основите на временната спомагателна конструкция. По този начин каменните колони, остават ненатоварени и свободни във вертикалното пространството и могат да бъдат демонтирани. Каменните колони, които първоначално са били изградени, чрез наслагване по височина на различни каменни цилиндрични блокове, се отстраняват, като всички техни съставни части-блокове са отстранени от проектното им положение. При това положение на обекта са доставени и монтирани стоманени тръбни колони, проектирани да поемат цялото вертикално натоварване, а каменните блокове, предварително обработени за нов монтаж , са върнати отново на старото им място, в съседство на стоманените колони. След това криковете се деактивират и цялото вертикално натоварване е прехвърлено върху новите стоманени колони, „обгърнати“ от оригиналните каменни блокове.

С други думи интервенцията е изисквала премахването на оригиналните каменни колони (след придвижването на спомагателна конструкция с крикове, поставени в основата им, с цел да се отстранят товарите над тях), изрязване на техните каменни цилиндрични елементи преди повторното им позициониране около стоманената колона. Основното условие, което се спазва по време на целия процес, е винаги да се гарантира безопасността на двореца и неограничен достъп на публиката до музейните колекции, също и по време на деликатните операции по окончателното укрепване.

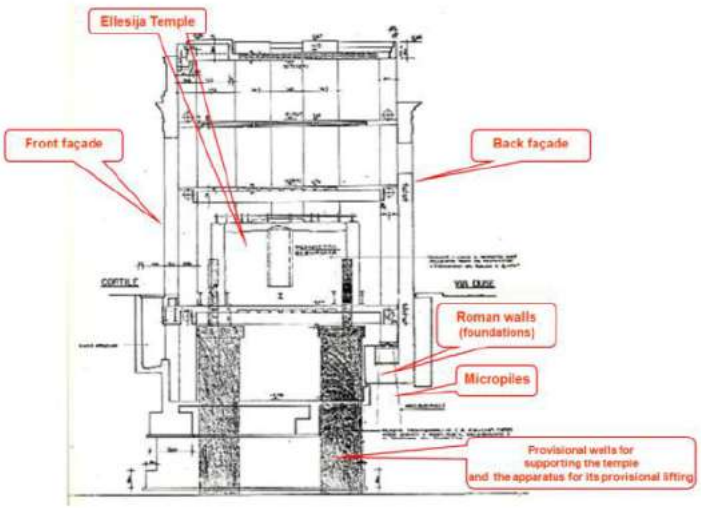
б) Архитектурно и конструктивно обновяване на задното крило на Египетския Музей (Ala Schiaparelli)

Целта на проекта беше да се осигурят значително по-широки използваеми повърхности, както за изложбени цели, така и за настаняване на административни офиси за Египетския Музей, чрез изграждането на два подземни етажа (които не съществуват в оригиналната сграда), долният за технически инсталации и добавянето в рамките на сградата на още един надземен етаж. По същество ще бъдат поддържани само двете основни предна и задна зидани фасади.

Двете основни ограничения са представени от 1) присъствието на приземния етаж на храма Елесия[36] и 2) факта, че задната фасада е фундирана върху основите на римските стени на античния град Аугуста Тауринорум, чиято основа е разположена на: -4,25 m по отношение на нивото на земята, докато разкопките трябва да бъдат предприети до дълбочина от: -10,35 m.

Индикациите, предоставени от Управителя на културното наследство, са: а) необходимостта да се запази цялостта на храма, както първоначално е сглобен отново, и б) необходимостта да се гарантира запазването на двете зидани фасади и по-специално цялостта на основите на римските стени под задната фасада. По отношение на тези два аспекта, представляващи основните ограничения на интервенцията за конструктивното възстановяване [37], следните стратегии, наред с други, са установени в сложната последователност от строителни фази:

- използване на завеса от микропилоти за защита и опора на основите на римските стени по време на разкопките, като завесата впоследствие се вгражда в новите стоманобетонни конструкции, и на микропилоти, пробити през основите на римската стена за опора на новите стоманобетонни колони, поставени над основите,
- временно повдигане на храма Елесия, за да се позволи процесът на разкопки и последващото изграждане на стоманобетонните конструкции на приземните етажи,
- изграждане на четири временни кладенеца за поддържане на храма и апарат за временното му повдигане.





Фиг. 11. Напречно сечение на Ala Schiaparelli с посочване на структурните интервенции
Фиг. 12. Челна фасада на Ala Schiaparelli по време на структурните интервенции



Фиг. 13. Разкопки под храма Елесия
Фиг. 14. Апаратът за временно повдигане на храма Елесия



Фиг. 15. Храм Елесия: окончателна настройка и вътрешна украса

Апаратът за повдигане на Храма се състои от гредоскара от стоманени греди, поставени под Храма и повдигнати чрез система от вертикални въжета и крикове, поставени върху стоманобетонни колони, изградени на върха на четирите временни кладенци. Горните сложни стратегии са документирани на фигури 11 до 15.

Кралски дворец във Венария Реале – Галерия на Диана *(Filippo Juvarra 1716 г.)*

Последният интересен пример на конструктивна рехабилитация, при интервенцията в бароковото архитектурно наследство на Торино, се отнася до укрепващото вмешателство в Galleria di Diana, построена от *Filippo Juvarra* в Кралския дворец на Венария Реале, един от най-амбициозните кралски дворци в широката група селски резиденции на династията Савоя около Торино (фиг. 16).

По повод на разкопки във вътрешния двор отстрани на Galleria за някои предварителни интервенции за преоборудване и инсталиране на отоплителна система, през 1986 г., за повторно използване на двореца, който по това време беше почти изоставен, важна надлъжна пукнатина се отворя в средата на приземната конструкция на Galleria. Това се дължи на загубата на обрамчващия ефект за подпиране на конструкцията от почвата отстрани и доказателство за ниската ефективност на обърнатите връзки, поставени от Juvarra, по разбираеми естетически причини, в екстрадосите на горния свод на Galleria.

Аварийната интервенция се изразява във временно поставяне на стоманени скоби с висока якост на нивото на подземния етаж. Накрая в пода на Galleria (Фигура 17) са поставени постоянни нови стоманени свързващи пръти с висока якост, а стоманобетонният канал, поддържан от вертикални диафрагми, който е изграден за инсталациите на тръбите на отоплителната система, е закотвен към почвата под сутерена с дълги свързващи пръти [38].



.

Фиг. 16. Кралски дворец във Венария Реале. Основна сграда от А. Кастеламонте в центъра и Galleria di Diana вдясно от нея.



a b c

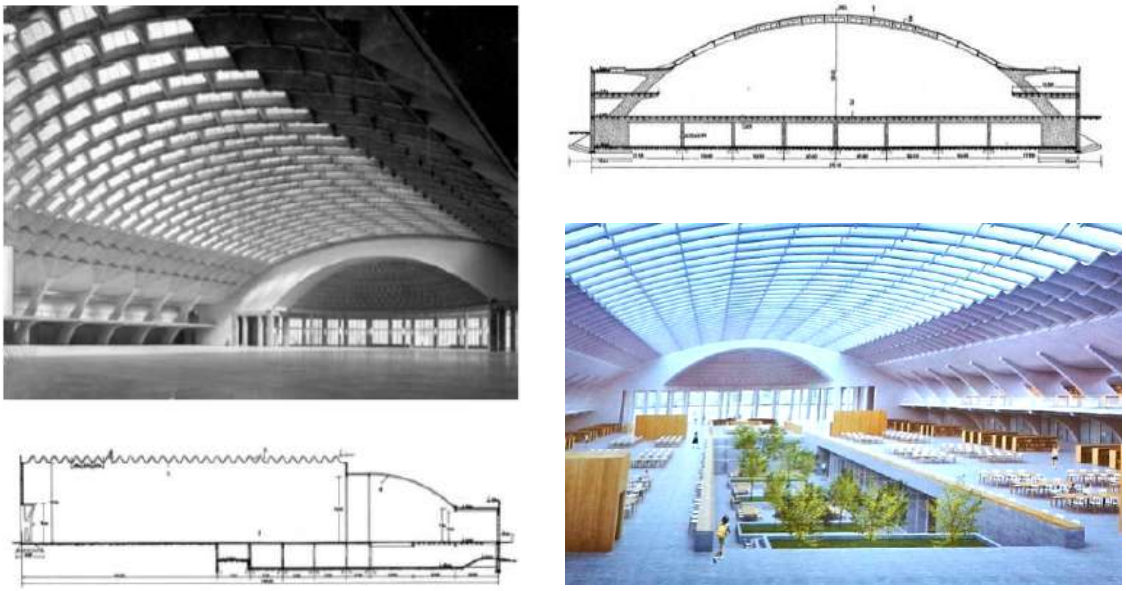
Фиг. 17. Галерия „Диана" във Венария Реале; а: Оригинални обърнати свързващи пръти в екстрадоса на свода (синьо), Аварийни свързващи пръти (червено), Крайни свързващи пръти и дълбоко закрепване на бетонния канал към почвата (зелено); б: Поставяне на крайните свързващи пръти в пода на Галерията; в: Галерията след структурната рехабилитационна интервенция.

Изложбения Център в Торино, зала В (Pier Luigi Nervi, 1948-1954 г.)

Зала В на Изложбения Център в Торино, проектирана от известния инженер и строителен специалист Пиер Луиджи Нерви (1891-1979), представлява прочут шедьовър на съвременната строителна архитектура (фиг. 18) [39].

След години на изоставяне, скорошен проект за преоборудване и повторно използване на Гражданската Библиотека в Торино е в ход в рамките на по-широка програма за възстановяване на целия комплекс на Изложбения Център [40]. В този контекст е предприета широка програма за конструктивно моделиране и анализи и конструктивен мониторинг на зала В [41], за да се изследват аспектите на конструктивната надеждност и дълговечност на тази много специална смела пространствена архитектурна структура, оформена като катедрала с огромен кораб и апсида, характеризираща се с първото широко мащабно приложение от Nervi на

неговия новаторски фероцимент, като строителна система и да се създаде подходящ План за Опазване [42].



Фиг. 18. Изложбен център в Торино, зала В (Пиер Луиджи Нерви, 1948-1954 г.). Оригинален вътрешен изглед и надлъжни и напречни сечения, и настоящ проект за повторно използване (2023).

Що се отнася до аспектите на конструктивната надеждност, внимание се обръща по-специално на конструктивния отговор на сеизмичните въздействия (които не са взети предвид в първоначалния проект на залата съгласно техническите стандарти по време на нейното изграждане), за да се отговори на изискванията за безопасност на настоящите насоки, със специално внимание към сградите, използвани като обществени пространства, както в случая с библиотеката.

За целта е изграден крайноелементен модел на конструкцията и са извършени предварителни динамични анализи (фиг. 19).

Тези анализи показват, че основните форми на трептенията попадат в зоната на усилване на спектъра на сеизмичния отговор. Най-сериозно критичните отговори на трептенията са тези, свързани с вълно-образния тънък свод, извън равнинните движения на тимпаните и наличието на апсида, които предизвикват взаимодействие с основното тяло на залата. Освен това предварителните проверки за огъване и срязване показват, че повечето елементи, по-специално наклонените колони, не са в безопасност по отношение на срязващите усилия.

Динамичните анализи също са необходими за определяне на оптимална стратегия за поставяне на сензорни датчици (виж: бележка 41). Когато се извърши адекватно поставяне на сензорни датчици, ще се получи полезна информация за актуализиране на числените модели на конструкциите.

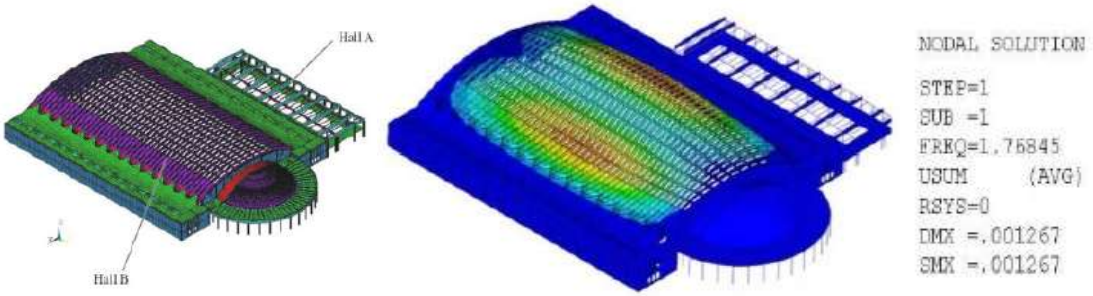
Освен това в момента започват инспекции на място и неразрушителни или частично разрушителни тестове и лабораторни тестове за оценка на свойствата на материала (бетон и стомана) и ще осигурят допълнителна важна информация за подобряване на изчислителните модели и оценката на работата на конструкцията, нейния остатъчен експлоатационен живот и необходимостта и вида на интервенциите за рехабилитация и надграждане, по-специално по отношение на сеизмичните въздействия.

Специално внимание се отделя на аспектите на дълговечността с оглед на много специалните характеристики на фероциментната строителна система - широко използван в пространствената структура на зала В - характеризиращ се с много

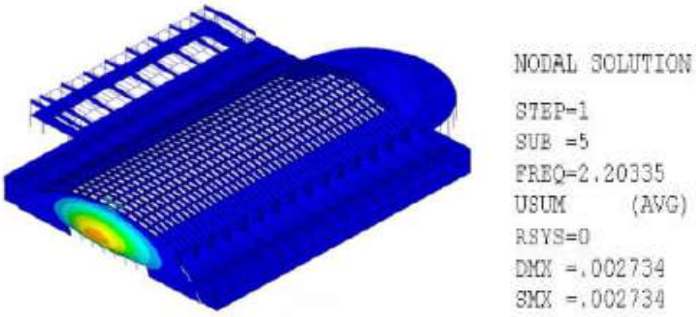
тънки конструктивни елементи с плътна мрежа от тънки армировъчни пръти и изключително тънко бетонно покритие, докато бетоновият разтвор се характеризира със значително високо съдържание на цимент.

Обсъждането на всички тези аспекти надхвърля обхвата на тази лекция и се прави справка, освен изключително обширната литература и набор от ръководни документи, отнасящи се до запазването и укрепването на стоманобетона като цяло [43], към някои изследвания и насоки, специално посветени на фероцимента [44].

Що се отнася до аспектите на дълговечността на фероцимента, скорошно изследване е разработено в Northwestern University в САЩ в рамките на дипломна работа на Politecnico di Torino [45]. Накратко може да се каже, че това изследване е разработено на нано-мащабно ниво за фероциментния материал и, че използването на тетраетил ортосиликат като защитен материал изглежда обещаваща възможност за подобряване на дълговечността на фероцимента.



Модел на крайните елементи и първа форма на трептене



Пета форма на трептене

Фиг. 19. Модел на крайните елементи и форми на трептене

8. Изследователски пример със Светилището на Викофорте и неговия голям овален купол

В тази заключителна част се прави препратка към подходящ изследователски пример относно приноса на строителното инженерство и геотехниката за опазването на забележителен паметник на архитектурното наследство а именно: Базиликата «Regina Montis Regalis», известна още като Светилището на Викофорте, разположена близо до Мондови в провинция Кунео в северозападна Италия. Базиликата е паметник с голямо историческо и архитектурно значение, дължащ славата си предимно на големия си зидан овален купол (оси 37,15 m x 24,50 m), най-големият от тази форма в света и един от най-големите куполи като цяло (фиг. 20) [46].

От най-ранните етапи на строителството, започнало през 1596 г. въз основа на проект на архитект Ascanio Vittozzi (1583-1615), голямата и масивна овална сграда на Базиликата е била неблагоприятно засегната от важни абсолютни и различни по степен слягания на основите, поради неудачен избор на мястото, което се характеризира с наклон (от изток-североизток до запад-югозапад) мергелна скала,

покрита с меки глинесто-наносни слоеве с нарастваща дълбочина (само в североизточната част основите на Базиликата достигат мергелната скала; виж Фиг. 21 вляво). Строителството е забавено и почти спряно през 17-ти век, докато в началото на 18-ти век работите са възобновени и поверени на архитекта Francesco Gallo (1672-1750), който разрушава изградената преди това част от барабана, изравнява основата му и издига нов тънък и прозрачен барабан с тясно разположени прозоречни отвори. Изграждането на тънък, леко оребрен бароков купол от зидария, с широки кръгли отвори в основата му, обхванат от система - кръгли железни пръстени натоварени на опън, разположени в зидарията на три различни нива в същата тази зона на купола, е започнато през 1731 г. и Базиликата е открита през 1735 г. при завършването на върха на фонара [47].

Системата купол-барабан страда от самото начало от значителни конструктивни проблеми, свързани отчасти с допълнителните слягания на терена, предизвикани от ново възникналите тегла на сградите, и до голяма степен със смелата конструктувна конфигурация на самата система. През годините след строителния етап се развива разширена система от широки пукнатини по меридианите на купола и барабана (фиг. 21 вдясно), постепенно трансформирайки структурната система в ансамбъл, типичен за тези зидани архитектурни конфигурации, от тънки зидани резени, разделени от меридианни равнини и сближаващи се към върха на купола. Значителните странични харизонтални усилия, предизвикани от тези конструктивни елементи с приблизително дъгообразна форма, недостатъчно уравновесени от железни, натоварени на опън околовръстни пръстени, предизвикват значителни диагонални, вследствие срязването, пукнатини във вертикалните стени, на осемте тънки опорни вертикални елемента, разположени по периметъра на барабана и купола, като част от тях включват изкачващите се стълби.

През 1983 г. опасенията относно тези тежки феномени на слягане и напукване, засягащи структурата, подтикнаха решението да се предприемат инспекции, мониторинг и интервенции за укрепване. След обстоен преглед и проучвателна кампания, предназначена да бъдат получени подробни данни за условията на основите, геотехническите аспекти на обекта, механичните параметри на зидарията, ширината и разпределението на пукнатините и геометрията на купола и на паметника като цяло, беше имплантирана укрепваща система в куполната конструкция на сградата. (1985–1987 г.). Тя се състои се от 56 активирани високоякостни стоманени връзки, поставени в отвори, пробити в зидарията в горната част на барабана по протежение на 14 допирателни около периметъра и леко напрегнати посредством напрегателни преси. 14-те сегмента на тази система за укрепване на периметъра са свързани помежду си чрез стоманени рамки. Създадена е система за наблюдение за проследяване на разпространението на пукнатини, деформации на конструкцията, както и напрежения в връзките (повторно опъване през 1997 г.) [48]. Въпреки, че укрепващата интервенция бе от несъмнено инвазивен тип, бяха приети правилни дизайнерски решения, за да се прикрият нейните конструктивни компоненти. От конструктивна гледна точка, интервенцията се оказа ефективна за реализиране на страничните разпорни усилия и за регулиране на тенденцията на пукнатините към по-нататъшно разширяване.

През последното повече от едно десетилетие беше създадена нова интензивна програма за проучване и изследване на геометрията на конструкцията, нейните конститутивни аспекти, физико-механичните характеристики на материалите и моделирането и анализа на структурните реакции в статичната област под действието на гравитационни натоварвания и слягания на основите.

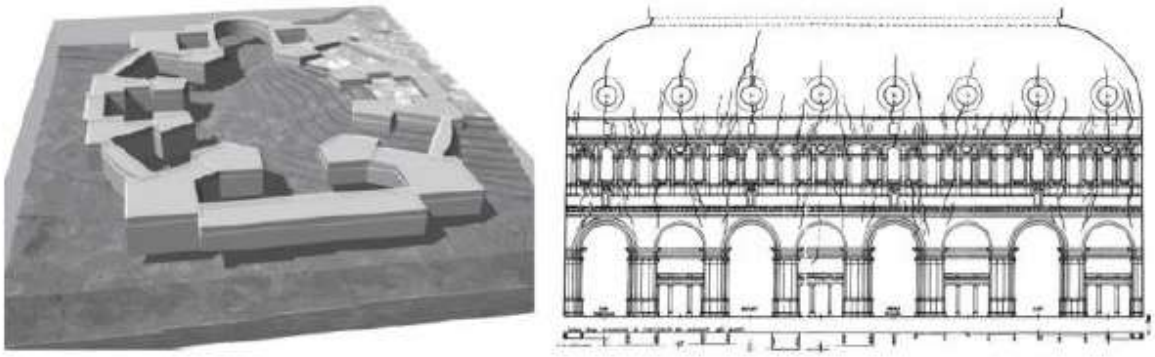
Освен това опасенията относно безопасността на паметника по отношение на сеизмични събития – в контекста на новите стратегии, обсъдени в предишните

раздели за оценка и смекчаване на сеизмичния риск на архитектурното наследство, разработени на национално и международно ниво – подтикнаха решението да се разработи нова широкообхватна програма за изследване. Това беше направено в рамките на споразумение с Италианското Министерство на Културното Наследство, насочено към тестване на практичността на специфичните Италиански Насоки по този въпрос [49] в случай на изключителни паметници, избирайки Базиликата във Викофорте като еталон за тази оценка.

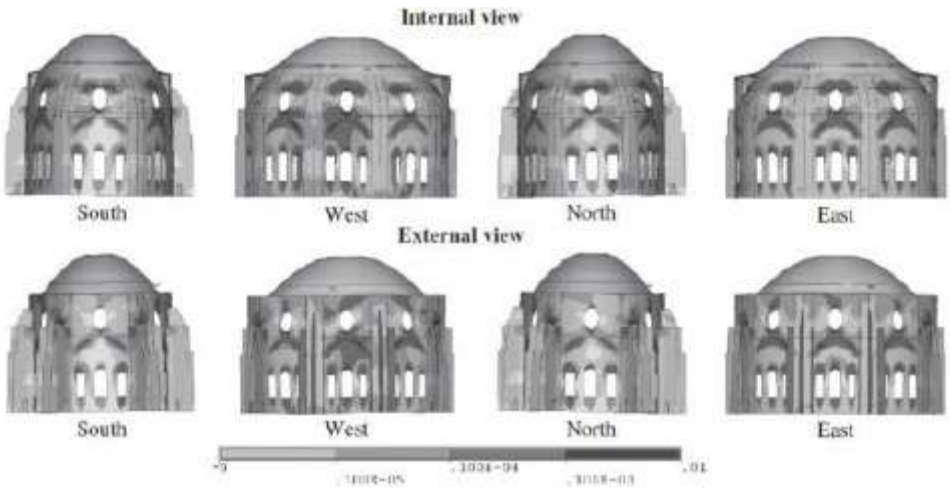
Резултатите към момента от програмата са документирани подробно в разширена поредица от документи [50] и накратко обобщени по-долу.



Фиг. 20. (вляво) Външен изглед на Базиликата и (вдясно) вътрешността на купола



Фиг. 21. (вляво) Аксонометричен изглед на основите, свидетелстващи за наклонената основа от мергел (тъмно сиво), достигната от основите на Базиликата само в североизточната част, и (вдясно) модел на напукване на купола и барабана, записан преди укрепващата интервенция (равнинно представяне на целия периметър на купола, от юг вляво, на запад, север и изток вдясно).



Фиг. 22. Нелинеен анализ при гравитационни натоварвания със слягания; основни нееластични деформации

Граничен анализ на системата купол-барабан при гравитационни натоварвания

Анализът при състояние за граничен стадии на пластичността, представлява концептуално прост и „робустнес" метод за оценка на безопасността на зиданите конструкции, като въвежда опростяващото предположение, което разглежда зидарията като корав материал без носимоспособност за напрежения на опън и възприема статичен и/или кинематичен подход, основан на използването, съответно, на статичните или кинематични теореми. Като такъв, той отдавна се прилага за двуизмерен анализ на зидани конструкции или конструктивни елементи за експедитивни оценки на нивата на безопасност (вижте раздел 1).

Съгласно тези процедури бе извършена кратка приблизителна оценка на условията за сигурност на куполната система на Светилището на Викофорте при гравитационни натоварвания, като се прилага както статичният, така и кинематичният подход за изследване, в рамките на идеален равнинен проблем, устойчивостта на зидарските срезове, зидани резени (както е дефинирано по-горе и съответстващо на предположение за пълно напукване на системата купол-барабан по меридионалните й траектории), разположени по голяма и малка ос [51]. И двата подхода демонстрират липсата на устойчивост на системата купол-барабан при отсъствието на кръгово опънно вкоравяване, потвърждавайки централната роля, предоставена на оригиналните железни пръстени за гарантиране на тази устойчивост, и подтиквайки към положителна оценка на укрепващата интервенция, извършена през 1985-1987 г. чрез прилагането на високоякостни опънати стоманени свързващи пръти и тяхното последващо повторно опъване, извършено през 1997 г., като подходящи защитни мерки. Стабилизиращият принос на оригиналните натоварени на опън железни пръстени беше взет предвид в оценките на сигурността въз основа на кинематичния подход – при който сигурността се оценява на база на съотношението на граничните: виртуална носимоспособност на конструкцията в пластичен стадии и pushover виртуална работа Wr и Wp – като се въведе предположението за пълна пластификация на пръстените, така че всяка точка на пръстените се счита за подложена на напрежение на опън, равно на якостта на желязото на провлачване и добавяне на работата на пластичното разсейване на пръстените към сумата от съпротивителните работи Wr.

Също така беше направен опит за кинематичен граничен анализ на цялата система купол-барабан, като се има предвид, че системата е подразделена на

шестнадесет отделни взаимодействащи си среза [52]. Коефициентите на сигурност Wr/Wp първо бяха определени за всеки отделен срез като функции на позицията (вертикален ъгъл α) на междинната става на съответните им механизми на разрушение, като се възприемат същите процедури, както по-горе, и без да се отчита, в първата стъпка, стабилизиращият принос на оригиналните опънати пръстени. В този случай беше установена сигурността за всеки един от четирите симетрични сектора на купола, само за двата междинни среза, които се възползваха от стабилизиращия принос на външни опори, докато липсата на устойчивост бе потвърдена за двата среза, съответстващи на максималния и минималния диаметър на купола.

След това бе извършена предварителна приблизителна оценка на глобалния коефициент на безопасност на куполообразната система, разглеждана като пространствена структура, като се вземе предвид взаимодействието между шестнадесетте отделни среза (четири среза за всеки сектор), като същевременно се игнорира приносът на опънните пръстени. Това беше направено чрез добавяне, за всеки един от четирите симетрични сектора на системата купол-барабан, приносите на всеки срез към Wr и Wp и след това определяне на минималната стойност на съотношението между тези суми като функция на четири променливи (позициите α на междинната става за всеки срез), получаване на приблизителна глобална оценка на безопасността за цялата система купол-барабан $(Wr/Wp)_{купол\text{-}барабан} = 1{,}27$.

И накрая, устойчивостта на купола бе анализирана, като се отчита приносът на оригиналните железни пръстени натоварени на опън чрез добавяне, както беше посочено по-горе, работата на пластичното разсейване на пръстените към сумата от съпротивителните работи на Wr. Впоследствие бяха получени значителни увеличения на коефициентите на сигурност, както при проверката на устойчивостта на единичните срезове, потвърждавайки тенденциите на резултатите от гореспоменатите предишни оценки, така и при оценката на глобалната сигурност на системата купол-барабан, като се получи приблизителна индикативна оценка от глобалния коефициент на сигурност $(Wr/Wp)_{купол\text{-}барабан} = 3{,}03$.

След това бяха извършени допълнителни контроли, за да се гарантира, че трите пръстена на опън, разположени на различни нива, могат да проявят едновременно пластично разсейване за предполагаемите механизми, като се провери дали разликата между максималната и минималната деформация в трите пръстена е по-малко от разширението на пластичното плато, което се предполага за железния материал [53], и бе обърнато внимание също така на влиянието на възможно неравномерно разпределение на деформациите и напрежението по протежение на железните пръстени, поради триене и прилепване към зидарията.

По-ниска индикативна стойност на глобалния коефициент на сигурност $(Wr/Wp)_{купол\text{-}барабан} = 2{,}08$ се получава, ако се направи позоваване на по-рестриктивното предположение за неизползване на пластичните ресурси на железните натоварени на опън пръстени и съотношението между граничните: виртуална носимоспособност на конструкцията в пластичен стадии и pushover анализът, се оценява за деформирана конфигурация на механизма за разрушаване, което води до най-напрегнатия пръстен при първоначално провлачане.

Що се отнася до резултатите от всички горепосочени оценки, вниманието трябва да се обърне повече на порядъка на величината и общите тенденции на нивата на сигурност, отколкото на специфичните стойности на коефициентите на сигурност, определени по-специално напр. чрез кинематичния подход. Тези стойности всъщност могат да бъдат спорни, тъй като зависят, наред с други неща, от начина, по който – в дефиницията на референтните идеални равнинни срезове, приети в изчислителните процедури – се отчита наличието на прозоречни отвори, от

опростените допускания, въведени за отчитане на взаимодействието между отделните срезове в приблизителната оценка на глобалния коефициент на сигурност на системата купол-барабан, разглеждана като пространствена структура, и от може би твърде схематично и не консервативно предположение, въведено за условията на задържане в системата купол-барабан на основата (фиксирана става, без хоризонтални измествания), за да се моделира ефективното, макар и значително, ограничаващо действие, упражнявано от долните части на монументалната структура.

Нелинейни МКЕ анализи с черупкови елементи на системата купол-барабан при гравитационни натоварвания и с отчитане на слеганията

Този подход, насочен към по-прецизен и реалистичен анализ на механичния отговор на системата купол-барабан и към интерпретация на нейните исторически повреди преди интервенцията за укрепване, включва в рамките на анализа на метода на крайните елементи (FEM) нелинеен анизотропен конститутивен модел на разрушаване на зидарията, улавящ основните нелинейни аспекти на нейното поведение [54].

Този конститутивен модел, който разглежда различните механизми за увреждане в равнината, засягащи както фугите на варовия разтвор, така и блоковете (както фрикционни, така и кохезионни механизми), е приложен в нелинейни 4-възлови обвивни елементи с възможност за напречно срязване. Конститутивните уравнения бяха внедрени в код с крайни елементи с общо предназначение [55]. Оригиналните железни пръстени са моделирани от нелинейни свързващи елементи, за които е приет критерий за якост на Von Mises. Извършени са два вида анализ. В първия беше взето предвид само теглото на системата купол-барабан плюс фонара. Във втория ефектите от различните слягания на основите, определени от оптичното нивелиране, извършено в основата на барабана, също бяха разгледани и приложени като вертикални наложени измествания към възлите в основата на барабана [56].

Резултатите от този втори анализ, показани на Фигура 22, свидетелстват за областите с по-интензивно увреждане на зидарията, което е отговорно за развитието на пукнатини. По-специално, западната страна на системата купол-барабан, характеризираща се с по-високи стойности на диференцираното слягане, изглежда по - повредена от източната страна, което съответства на модела на напукване, записан преди укрепващата интервенция (Фиг. 21 вдясно).

Въз основа на същия изчислителен инструмент, включващ конститутивния модел на нелинейно анизотропно увреждане за зидарията, също беше извършен инкрементален FEM анализ при гравитационни натоварвания [57] за оценка на множителя на собственото тегло при разрушаване, за сравнение с резултатите, по отношение на нивата на сигурност , получени чрез подходите за граничен анализ, описани в предходния раздел. Както се очакваше, бяха открити допълнителни по-големи стойности на границите на безопасност [58], по отношение също на оценките, базирани на глобалните кинематични гранични анализи на цялата система купол-барабан.

Това потвърждава, че най-простите двуизмерни гранични анализи, извършени върху единични срезове на системата купол-барабан, във всеки случай дават консервативни резултати за оценка на безопасността в сравнение с всички други по-прецизни подходи, осигурявайки най-ниските стойности за изчислените граници на сигурност.

Следователно, дори ако точните процедури за моделиране чрез най-новите техники изглеждат ценни инструменти за по-прецизни оценки на маржовете на сигурността, предназначени също да допринесат за разработването на подходящи

стратегии за рехабилитация, целящи в най-добрия случай да ограничат всяка възможна необходима интервенция върху архитектурното наследство, най-простите етапи на методологията за анализ на границите, обсъдени в предишния раздел, изглежда са в състояние да дадат полезни първи индикативни консервативни оценки на глобалния коефициент на безопасност на сложна монументална структура като куполно-барабанната система на Базиликата.

Оценка на сеизмичния риск

Въпреки че Vicofortece се намира в зона с умерена сеизмичност по отношение на целия италиански регион (трето ниво от четири групи, подредени според намаляваща интензивност), макар и недалеч от по-активни зони, сеизмичният риск на Базиликата заслужава да бъде точно проучен и, където е необходимо, трябва да се проучат подходящи стратегии за възможното му намаляване.

Това се дължи на съображението, от една страна, за голямото историческо, архитектурно и конструктивно значение на паметника, а от друга страна, за неговата очевидна уязвимост към сеизмични въздействия, свързани по-специално със смелата конфигурация на неговата структурна система купол-барабан. Всъщност, докато тези макроелементи се характеризират като цяло с висока сеизмична уязвимост, както се вижда от съответните щети или пълно унищожение, претърпени в много случаи по повод на значителни сеизмични събития през последните години и до сега (със специално отношение към Италия и нейното важно архитектурно наследство от религиозни сгради), в специфичният случай на този важен паметник, много специалната конфигурация на неговата тънка и прозрачна система купол-барабан, увеличава тази уязвимост.

Друго съображение се отнася до влиянието върху сеизмичния отговор на неблагоприятната геотехническа ситуация на конкретния обект, със специално внимание към възможните ефекти на усилване върху сеизмичния вход, предизвикан от меките подпочвени слоеве.

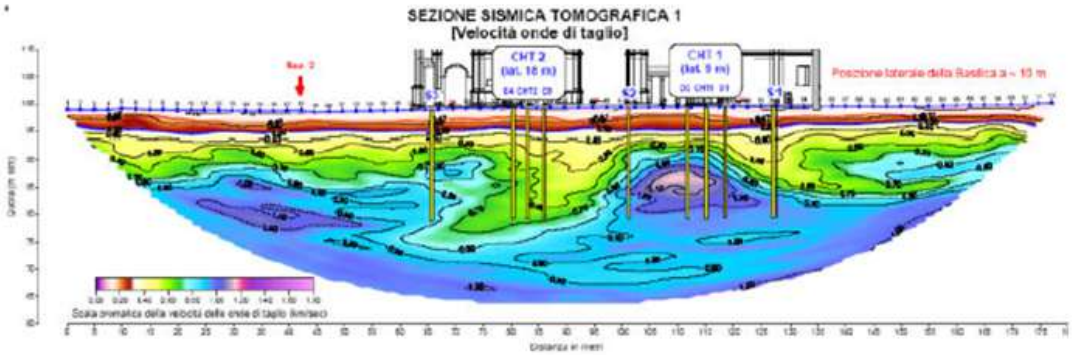
Първите стъпки на това ново проучване и изследователски процес се отнасят до дефинирането на сеизмичния вход на мястото, където се намира Базиликата, и динамичната характеристика на структурата. Работата все още е в ход по отношение на използването на тези резултати в следващите фази на структурно-динамичния анализ на паметника и на оценката и, в случая, смекчаването на неговия сеизмичен риск.

1) Дефиниране на сеизмичен вход в основата на паметника

Изследването беше артикулирано в две фази. Първата фаза беше посветена на изпълнението на специфичния за обекта вероятностен анализ на сеизмичния риск (PSHA) и детерминистичния анализ на сеизмичния риск (DSHA), и двата при предположението за твърда почва и ниво на топографско състояние. DSHA беше приет, за да определи най-лошия сценарий на разтърсване, който ще се случи в бъдеще, съвместим с тектоничната и сеизмичната обстановка на региона. Вероятностният подход предостави по-сериозни сценарии за разклащане на земята по отношение на детерминистичните методи. Независимо от това, PSHA и DSHA са важни, тъй като предоставят допълнителна информация за прогнозираната опасност.

Втората част от изследването третира изследването на сеизмичния отговор на обекта чрез 1D стохастичен и 2D детерминистичен подход, за да се оценят възможните ефекти на усилване, дължащи се на локализирани лито - стратиграфски характеристики на обекта. За тази цел беше конструиран 3D подпочвен модел, интегриращ резултатите от усъвършенствани геотехнически проучвания, включително сеизмична томография (фиг. 23). И накрая, като резултат от

изследването, динамичните импеданси в основите на Базиликата бяха изчислени, за да бъдат използвани в анализа на взаимодействието на конструкция-почва [59].



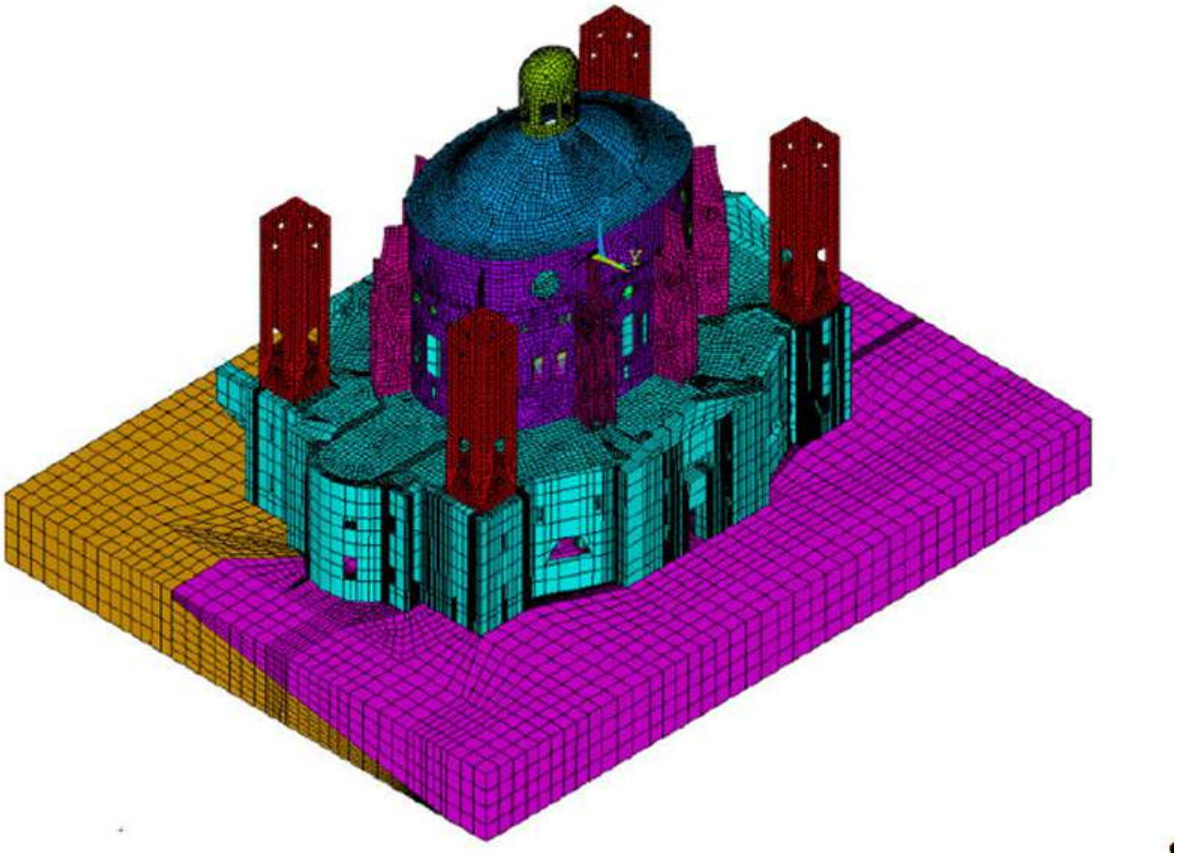
Фиг. 23. Сеизмична томография за S-вълни, извършена на мястото на Базиликата във Викофорте

2) Динамично характеризиране на конструкцията

Характеризирането на динамичното поведение е съществена част от конструктивния мониторинг и контрол на щетите, особено в случай на сложни монументално зидани сгради. Въпреки че не могат да бъдат пряко свързани с конкретно ниво на сигурност, динамичните проучвания допринасят за актуализирането на валидни модели за етапа на оценка на надеждността на тези видове конструкции и оптимизирането на бъдещите интервенции за укрепване и те са незаменими инструменти за формулиране на точни прогнози за тяхното сеизмично поведение.

През 2008 г. беше проведена кампания за събиране на данни с помощта на триаксиални геофони и пиезоелектрични акселерометри. Инструментите бяха позиционирани според различни настройки за придобиване и бяха използвани различни честоти на вземане на проби, за да се стигне до глобална идентификация на структурата. Вятърът, движението на превозни средства и камбаните служеха като източници на възбуждане.

Следващата стъпка беше процес на актуализиране и идентификация на модела, подпомогнат от модел с крайни елементи, конструиран с помощта на изчислителния код на ANSYS. В първия етап се приема, че структурата на паметника е закрепена в основата, без да се взема предвид взаимодействието почва-конструкция [60]. На втория етап на този аспект беше отделено подходящо внимание, като в модела с крайни елементи бяха включени фундаментните почвени слоеве и фундаментните конструкции на монументалната сграда (фиг. 24). В този случай динамичното характеризиране на сградата позволи идентифицирането и класифицирането на 10 вибрационни режима и калибрирането на FE модел, който отчита взаимодействието почва-конструкция и динамичните ефекти [61].



Фиг. 24. Моделът с крайни елементи, включващ слоевете фундаментна почва (глинеста тиня в лилаво и мергел в светлокафяво). Другите цветове идентифицират различния материал, използван за различни макроелементи в модела на структурата на Базиликата.

Изводи

Лекцията обсъжда значителната и прогресивно нарастваща роля на конструктивните и геотехническите дисциплини в стратегиите за опазване и възстановяване на архитектурното наследство, анализирайки първо постепенното признаване на тази роля в рамките на принципи и насоки, включени в харти и документи, формулирани на национално и международно ниво, по-специално през последните години.

След това бе обърнато специално внимание на приноса на тези дисциплини към анализите на исторически конструкции и монументални сгради в статичната област за оценки на надеждността при гравитационни натоварвания, както и на анализите в динамичната област, както за процесите на актуализиране на модела, така и за оценката на сеизмичния риск.

Беше направена препратка към широка поредица от конструктивни примери, главно от историческата архитектура, със специално и по-разширено внимание към примера на Santuario di Vicoforte: монументална сграда с голямо историческо, архитектурно и конструктивно значение, характеризираща се с един от най-големите зидани куполи в света и едновременно с това и като най-голям овален контур. Лекцията представя резултати:те към днешна дата от широка изследователска програма, предназначена да предложи казуса на Vicoforte като референтен случай в национален мащаб и международно ниво за конструктивна консервация на важни паметници, със специално внимание към тяхната защита от сеизмични въздействия.

Беше упоменат и един уникален пример на съвременна конструктивна архитектура, а именно: зала B на изложбения център в Торино от Pier Luigi Nervi.

Благодарности

Авторът е особено благодарен на изследователската група по динамика и сеизмично инженерство на катедрата по конструкции, геотехническо и строително инженерство DISEG на Политехниката в Torino, координирана от Rosario Ceravolo, и по-специално на Erica Lenticchia,Gaetano Miraglia, Carlo Casalegno, Giorgia Coletta, Marica Pecorelli, AlbertoSpadafora, and Cecilia Surace, за тяхната интензивна дейност и информацията, предоставена за двата приложени примера на изложбения център в Торино и на Светилището на Викофорте.

Авторът също така е благодарен за информацията, предоставена за тези и другите примери, обсъдени в лекцията, на своите колеги от Политехниката в Torino: Paolo Napoli, Vittorio Nascé, Giulio Ventura, и Michele Jamiolkowski (национален член на Академията на науките в Торино), от Университета на Павия: Carlo Lai and Giorgio Macchi (Национален член на Академията на науките в Torino), от Университета от Genoa: Sergio Lagomarsino и Chiara Calderini, както и Takayoshi Aoki от градския университетв Nagoya и Luca Zanotti Fragonara, от бившия Политехнически университет в Torino, и настоящия Университет в Cranfield.

За приложеният пример на Изложбения Център в Торино от Pier Luigi Nervi, сътрудничеството на фондацията на проекта Pier Luigi Nervi и стимулът на наградата „Keeping It Modern" на фондация Getty може да се каже, че изиграха решаваща роля.

Сътрудничеството и помощта на ректорите (покойният дон Bartolomeo Bessone и действащият в момента дон Francesco Tarò) и на администрацията на Светилището на Викофорте (Geom. Martino), както и спонсорирането на свързания консервационен и изследователски проект от Fondazione Cassa di Risparmio di Cuneo, се оценяват с висока благодарност.

Част от текста на тази лекция се основава на предишен доклад на автора, посветен на единичния случай от светилището на Vicoforte [62], актуализиран и значително разширен, за да включва и други практически примери.

Тази лекция бе предназначена да илюстрира и обсъди, по случай откриването на академичната година 2019-2020 на Академията на Науките в Торино, гореизложените текущи сценарии на напредналият дебат и постигнат неотдавнашен прогрес в опазването на архитектурното наследство в рамките на културно- интердисциплинарнта визия в интерфейса между научните и технически дисциплини и хуманитарни и исторически науки. За по-задълбочен поглед върху научните и техническите аспекти на представения материал може да се използва цитираната в доклада литература.

References

[1] D.F. D'Ayala, M. Forsyth, *What is Conservation Engineering?*, in M. Forsyth (ed.), *Structures & Construction in Historic Building Conservation*, Wiley-Blackwell, Oxford 2007.

[2] R. Cecchi, M. Calvi (coords.), S. Lagomarsino (ed.), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche perle Costruzioni* (Guidelines for the evaluation and reduction of seismic risk of cultural heritage with reference to the Technical Code for Constructions; in Italian), July 2006; 1st official edition:
Dirett. Pres. Cons. Min. 12.10.2007, Gazzetta Uf̈ciale 29.01.2008 n. 24; 2nd official edition:
Dirett. Pres. Cons. Min. 09.02.2011, Gazzetta Uf̈ciale 26.02.2011, n. 47, Supplemento ordinarion. 54. EU-India Economic Cross Cultural Programme: Improving the Seismic Resistance of Cultural Heritage Buildings, *Guidelines for the Conservation of Historical Masonry Structures in Seismic Areas*, Universidade do Minho, Universidad Politécnica de Catalunya, Central Building Research Institute (India), Università di Padova, 2006.

[3] See e.g. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico* (Structural mechanics and its historical development; in Italian), Sansoni, Firenze 1981.
[4] T. Le Seur, F. Jacquier, R.G. Boscovich, *Parere di tre mattematici sopra i danni che si sono trovati nella cupola di S. Pietro, Sul fine dell'Anno 1742, dato per ordine di NostroSignore Benedetto XIV* (Opinion of three mathematicians on the damages observed in St.Peter's dome at the end of the year 1742, given by order of Our Lord Benedict XIV; in Italian), Fratelli Palearini, Rome. Also in: *Scritture concernenti i danni della cupola di San Pietro di Roma e i loro rimedi* (Writings on the damages of St. Peter's dome, and related remedial measures; in Italian), Occhi, Venezia 1742. T. Le Seur, F. Jacquier, R.G. Boscovich, *Riflessioni de' padri Tommaso Le Seur, Francesco Jacquier dell'Ordine de' Minimi, e Ruggiero Giuseppe Boscovich della Compagnia di Gesù, sopra alcune difficoltà spettantii danni, e Risarcimenti della Cupola di S. Pietro Proposte nella Congregazione tenutasi al Quirinale a' 20 Gennaro MDCCXLII1. E sopra alcune nuove Ispezzioni fatte dopo la medesima Congregazione* (Reflections of … on some difficulties concerning damages and remedial actions in St. Peter's presented in the Congregation held at the Quirinale on January 20th1743. And on some new surveys made after the same congregation; in Italian), Rome 1743.
[5] G. Poleni, *Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano, e de' i danni di essa, ede' ristoramenti loro, divise in libri cinque, alla Santità di Nostro Signore Papa Benedetto XIV* (Historical notes on the large dome of Vatican Temple, and on its damages, and their restoration,subdivided in five books, to the Holiness of Our Lord Benedict XIV; in Italian), Stamperia del Seminario, Padova 1748.
[6[In what concerns the kinematic approach adopted by the Three Mathematicians it must benoted that an analysis varying the position of the mechanical hinges so that the minimum safety coefficient is found was not performed, the location of the hinges having being selected in pre-determined positions. Their approach and the consequent results have been analyzed and discussed in a wide number of studies in recent times, while recognizing however in any case the valuable conclusion of their report concerning the need of additional iron rings to guarantee the stability of the dome. For a comprehensive analysis of this wide debate see D. Capecchi, C. Tocci, *Le perizie sulla cupola vaticana di Le Seur, Jacquier e Boscovich*, in «Palladio. Rivista diStoria dell'Architettura e Restauro», 47, 2011. See also: M.F. Funari, L.C. Silva, D.V. Oliveira, P.B.Lourenço, *A user-friendly digital tool for the structural assessment of historic domes: the case study of Saint Peter in Rome*, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2020, P. Roca, L. Pelà, C. Molins (Eds.), pp. 211-220. On the other hand, the approach byPoleni was based on an early application of the static theorem. The limit of Poleni's approach consisted in the fact that his analysis of the position of the thrust line was limited to the dome, and did not concern the global structural system of the dome and the drum. However, in spite of the reassuring results of his analysis, Poleni wisely adopted the suggestion of the Three Mathematicians of applyingthe additional reinforcing iron rings. Both approaches, by the Three mathematicians and Poleni were in the frame of a two dimensional plane problem schematically applied to a slice of the dome in the vertical plane, resulting from the assumption of the presence of two meridional cracks isolating the slice from the rest of the dome. More advanced modern spatial approaches are discussed e.g. in G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis,and Restoration», 8:5, 2014, pp. 649-66.
[7] C. Boito (ed.), *Prima Carta Italiana del Restauro* (First Italian Charter for Restoration; in Italian), 3rd Congress of ItalianA rchitects and Engineers, Rome 1883.
[8] *Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments*, adopted at the First International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Athens 1931. http://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts.
[9] See references in note 2. At the time reinforced concrete was extensively used e.g. in the strengthening of the masonry structures of the Mole Antonelliana in Turin (designed byAlessandro Antonelli at the end of 19th century) by A. Pozzo and G. Albenga (1930-1939, lower part) and later by Albenga and A. Danusso (1950-1953, dome). C. Calderini, L.C. Pagnini, *The debate on the strengthening of two slender masonry structures in early XX century*, in «J. WindEng. Ind. Aerodyn.», 147, 2015, pp. 302-319.
[10] See ICOMOS CHARTER – *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, 2003 (see here Section 3), and EU-India, 2006, cit.
[11] *Carta Italiana del Restauro* (Italian Charter for Restoration; in Italian), Consiglio Superiore per le antichità e belle arti, 1932.
[12] ICOMOS International Council of Monuments and Sites – Conseil International des Monuments et des Sites, *Il monumento per l'uomo – Le monument pour l'homme – The monument for the man*, Records of the II International Congress of Restoration, Venezia, 25-31 maggio 1964, Marsilio Editori, Padova 1971.
[13] *Resolution Concerning the Creation of an International Non-Governmental Organisation forMonuments and Sites*, 1964, in ICOMOS 1971, pp. LXXII- LXXIV.
[14] *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (TheVenice Charter)*, 1964, in ICOMOS 1971, pp. LXIX-LXXII, http://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf .
[15] http://www.icomos.org/en/

[16] P. Gazzola, *Foreword*, in ICOMOS 1971, pp. XXVII-XXX.
[17] P. Gazzola, R. Pane, *Proposte per una Carta Internazionale del Restauro* (Proposal for an International Charter of Restoration; in Italian with English Summary), in ICOMOS 1971, pp. 14-19.
[18]ICOMOS 1971.
[19[C. Cestelli Guidi, *Prolegomeni al problema della stabilità della Torre di Pisa* (Prolegomena to the problem of stability of the Tower of Pisa; in Italian with English Summary), in ICOMOS1971, pp. 506-512.
[20] ICOMOS-CHARTER 2003, cit.; for Guidelines work is still in progress, see: P. Roca, *The ISCARSAH Guidelines on the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, in P. Roca *et al.* (Eds.), 2020, cit. (see note 6); reference is made in the following to the 2003 draft edition.
[21] *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137* (Code for cultural heritage and landscape; in Italian), Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Gazzetta UfЇciale 24.02.2004, n. 45, Supplemento ordinario n. 28 (see also further amendments 2004-2011).
[22] See reference in note 2.
[23] See reference in note 2.
[24] C. Modena, S. Lagomarsino, F. da Porto, S. Cattari, *Earthquake protection of masonry historical constructions: overview of results from Niker and Perpetuate European projects*, in J.Jasieńko (ed.) *SAHC 2012, 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, Wroclaw, Poland, October 15-17, 2012, DWE, Wroclaw 2012, pp. 2851-2860; S. Lagomarsino, S. Cattari, C. Calderini, *Deliverable D41, European Guidelines for the seismic preservation of cultural heritage assets*, in PERPETUATE, 2012; file:///C:/Users/Utente/Downloads/perpetuate-deliverable-d41-european-.pdf. See also https://cordis.europa.eu/project/id/244229; D.F. D'Ayala, S. Lagomarsino, *Performance-based assessment of cultural heritageassets: outcomes of the European FP7 PERPETUATE project*, in «Bulletin of EarthquakeEngineering», Vol. 13, Issue 1, January 2015, pp. 5-12; S. Lagomarsino, S. Cattari, *PERPETUATE guidelines for seismic performance-based assessment of cultural heritage masonry structures*, in«Bulletin of Earthquake Engineering», Vol. 13, Issue 1, January 2015, pp. 13-47.
[25] C. Modena, S. Lagomarsino, F. da Porto, S. Cattari, *Earthquake protection of masonry historical constructions*, cit.; F. da Porto, B. Silva, F. Lorenzoni, P. Girardello, M.R. Valluzzi, C. Modena, *New integrated knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk*, in «Structural Engineering World Congress SEWC 2011», Villa Erba, Italy 2011, April 4-6. See also https://cordis.europa.eu/project/id/244123/it.
[26] While the ICOMOS and ISCARSAH Principles and Guidelines are referred to all types of historical structures of the architectural heritage, including modern buildings in iron, steel and reinforced concrete that are now recognised as being of historic importance, all other mentioned guidelines principally refer to historical masonry constructions.
[27] Surveys of vulnerability and damage assessment performed at regional levels after seismic events taking into consideration the entire heritage of both churches (including the simplest and less monumental) and of residential palaces show that in some cases the seismic vulnerabilityof palaces may result statistically higher, due to lack of maintenance, or improper rehabilitation and strengthening interventions by private owners. See S. Podestà, C. Romano, L. Scandolo, *Molise, Valutazione della sicurezza sismica a livello territoriale* (Molise, Evaluation of seismicsafety at territorial level; in Italian); in: Ministero dei Beni Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale - Circolare n° 26 del 2/12/2010*, Gangemi Ed., Rome, 2010, pp. 324-343.
[28] PERPETUATE-Final Report Summary. https://cordis.europa.eu/project/id/244229/reporting.
[29[http://www.msc-sahc.org/
[30] A prominent protagonist of this debate in the second half of past century was Gustavo Colonnetti (1884-1986), the eminent scientist of mechanics of structures, former Professor at the Politecnico di Torino and President (1945-1956) of the Consiglio Nazionale delle Ricerche. In the 1960s Colonnetti was strongly worried by the problems of the increasing leaning and related stability problems of the Pisa Tower. Besides promoting a systematic monitoring campaign of the leaning of the Tower, he conceived some remedial interventions. Although his proposals of intervention consisting either in a device for lifting the tower in order to allow the construction of a new foundation (1963, with Riccardo Morandi, Fig. 4.1), or in a device based on the use of a lever pushed upward by a huge jack in order to reduce the stresses on the soil under the Tower foundation, and consequently the tendency to the increase of inclination (1965, Fig. 4.2) were debatable and probably utopian, the great merit of Colonnetti was to strongly raise the alert not only in the scientific ambient (see note 19 in Section 2), but also in the spheres of decision makers at the level of the public institutions. Colonnetti was also concerned by the effects of the wind on the Tower, and promoted an appropriate test of a 1:50 reduced scale model in the wind tunnel of the Politecnico di Torino. See G. Colonnetti, *Su la possibilità di sottofondazionedel campanile di Pisa*, Commentarii, Pontificia Accademia Scientiarum, Vol. 1, n.36, 1963; Id., *Progetto di sollevamento del campanile di Pisa onde rendere possibile la costruzione sotto di esso di una fondazione efЇciente*, Stamperie Editoriali Rattero, Torino 1963; Id.,*L'azione del vento sulla torre di Pisa e il problema della sua immediata salvaguardia*, in «Atti

dell'Accademia delle Scienze», Vol. 99 (1964-1965), Torino, April 1965; Id., *Su la possibilità di arrestare il progressivo incremento della pendenza della torre di Pisa*, in «Atti dell'Accademia delle Scienze», Vol. 100 (1965-1966), Torino, November 1965.
[31] S. Settis, M. D'Elia, M. Jamiolkowski, G. Macchi, F. Veniale, G. Viggiani (Eds.), *La Torre restituita*. *Gli studi e gli interventi che hanno consentito la stabilizzazione della Torre di Pisa* (The recovered Tower. Studies and interventions that have led to the stabilization of the Towerof Pisa; in Italian), Voll. I-III, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Coll. Bollettino d'Arte,Volume Speciale, Roma 2005; J.B. Burland, M.B. Jamiolkowski, N. Squeglia, C. Viggiani, *The Tower of Pisa. History, Construction and Geotechnical Stabilization*, CRC Press, London 2020, 62 pp.
[32] R. Meli, A.R. Sánchez, *Rehabilitation of the Mexico City Cathedral*, in «Structural Engineering International», 9 (2), 1997, pp. 101-106; D. Rivera, R. Meli, R. Sánchez, B. Orozco, *Evaluation of the measured seismic response of the Mexico City Cathedral*, in «Earthquake Engineering& Structural Dynamics», Vol. 37, Issue 10, 2008, pp. 1249-1268; V. Hernández, E. Santoyo,J. Hernández, *Geotechnical behavior of the Cathedral after 10 years of the intervention of subsoil*, in F. Peña, M. Chávez (ed.), *Proceedings of SAHC 2014, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, Mexico City, Mexico, 14-17, October 2014.
[33] G. Bartoli, M. Betti, C. Borri, *Numerical Modeling of the Structural Behavior of Brunelleschi's Dome of Santa Maria del Fiore*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration»V, ol. 9, n. 4, 2015, pp. 408-429.
[34] G. Macchi, *«Per stupire gli intelletti e rendere gli spettatori atterriti». Cappella guariniana della Sindone: analisi della concezione strutturale*, in «Memorie dell'Accademia delle Scienzedi Torino. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali», Vol. 38-39 (2014-2015). P. Napoli, *Monitoraggio, sperimentazione e progetto di restauro strutturale della Cappella Guariniana della S. Sindone a Torino*, CIAS-Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico, Seminario sul tema «Evoluzione nella Sperimentazione per le Costruzioni», 2013, pp. 173-189. The main actors of the project and control of works were G. and S. Macchi, V. Nascè, P. Napoli, G.C. Gonnet, W. Ceretto *et al.*
[35] The provisional subsidiary steel support structure, already conceived to allow the final strengthening Intervention, was designed by V. Nascé. The structural project for the final strengthening intervention (1986-1990) was redacted by Giulio Pizzetti, with the author and Giovanni Losana.
[36] The Ellesija Temple comes from Upper Egypt, south of Aswan along the Nile Valley now covered by the waters of Lake Nasser. It was taken in agreement with UNESCO and given in1961 as a gift to the Egyptian Museum in Torino; other temples belonging to the same environment and different eras are now in New York, Leiden and Madrid. The temple was constructed by Tumotsi III (18th Dynasty, New Kingdom, 1479-1425 BC) and renovated by Ramses II in1250 BC. The temple was cut in pieces, transported to Turin and rebuilt in the ground floor (no under ground floors were present at the date) of the back wing (Ala Schiaparelli) of the Museum.
[37] The project (1987-1990) for the structural rehabilitation intervention was redacted by GiulioPizzetti and the author with Giovanni Losana, with the consultancy of Michele Jamiolkoski and IG Ingegneria Geotecnica Consulting Engineers for soil mechanics and foundations aspects. The procedures for the raising of the Ellesija temple were defined by Giorgio Garbaccio. Franco Levi acted as structural engineering consultant for the financing Institution.
[38] The project for the emergency intervention and the final structural rehabilitation (1986-1987) was redacted by Giulio Pizzetti and the author with Giovanni Losana, with the consultancy of Michele Jamiolkoski for soil mechanics and foundations aspects.
[39] C. Olmo, C. Chiorino (Eds.), *Pier Luigi Nervi. Architecture as Challenge*, Silvana Editoriale,Milan 2010; J.F. Abel, G. Arun, M.A. Chiorino, *Special Double Issue on Pier Luigi Nervi: Preface by the Guest Editors*, in «Journal of the IASS International Association for Shell and Spatial Structures», Vol. 54, No. 2 & 3, September 2013, pp. 79-86.
[40] The project was developed by Rafael Moneo, Isolarchitetti, ICIS S.r.l. (coordinator), Ing. G.B. Quirico, MCM Ingegneria, Onleco Srl. See: R. Ceravolo, C. Chiorino, M.A Chiorino, A. Isola, S. Isola, E. Lenticchia, L. Luciani, R. Moneo, *Preservation and rehabilitation strategies for the shell and spatial structures by Nervi and Morandi of the Turin Exhibition Center*, Proceedings of the IASS Symposium 2018, July 16-20, 2018, MIT, Boston, USA.
[41] E. Lenticchia, R. Ceravolo, P. Antonaci, *Sensor Placement Strategies for the Seismic Monitoring of Complex Vaulted Structures of the Modern Architectural Heritage*, Hindawi Shock and Vibration Vol. 2018; R. Ceravolo, G. De Lucia, E. Lenticchia, G. Miraglia,A. Quattrone, F. Tondolo, E. Matta, G. Sammartano, A. Spanò, C. Chiorino, G. Bruschi, P. Faccio, A. Nanni, *Challenges in the reuse and upgrade of Pier Luigi Nervi's structures*, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2020, P. Roca, L. Pelà, C. Molins (Eds.), pp. 71-81.

[42] The Conservation Plan for the structures by Nervi of both Hall B and the near by smaller Hall C of Turin Exhibition Center has been awarded the Keeping It Modern 2019 Grant of the GettyFoundation, Los Angeles, USA.
[43] See e.g. the extended list of guidelines developed at the European level of CEN, the EuropeanCommittee for Standardization, by CEN/TC 104 – *Concrete and related products: CEN/TC104 EN 1504 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures –Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity* – Part 1 to 10, 2004-2017. See also the technical and guidance documents published by *fib* International Federationfor Structural Concrete and ACI American Concrete Institute. In recent years a wide use of composite materials has been adopted for the strengthening of reinforced concrete constructions, and in particular for their upgrading to resist to seismic actions, and an extended literature and guidance documents have been published e.g. by *fib* and ACI. For a brief overview of these composite materials see e.g: L. Coppola, *I materiali compositi per il rinforzo statico e l'adeguamento sismico delle strutture in cemento armato (Composite materials for structural rehabilitation and upgrading with regard to the seismic actions)*, Section 8.6 (pp. 202-212) in *Il Restauro dell'Architettura Moderna in Cemento Armato* (Restoration of Modern Architecture in Reinforced Concrete; in Italian), Hoepli, Milan 2015.
[44] ACI 549R-18. *Report on Ferrocement*, ACI American Concrete Institute 2018; ACI 549.1R-18: *Design Guide for Ferrocement*, ACI American Concrete Institute 2018.
[45] A. D'Alessandro, D.J. Corr, S.P. Shah, *Use of Tetraethyl Orthosilicate to Improve Durability of Ferrocement*, in «ACI Materials Journal», Vol. 116, N° 6, November 2019.
[46] M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, in «International Journal of Architectural Heritage:Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 2, N° 3, July-September 2008, pp. 274-303. As the geometry of the horizontal section of the dome is similar to, but does not correspond exactly to an ellipse, it was recently decided to normally refer to it as an oval dome.
[47] G. Vacchetta, *Nuova storia artistica del Santuario della Madonna di Mondovм a Vico* (New artistic history of the Sanctuary of the Virgin of Mondovì at Vico; in Italian), Società per gliStudi Storici Archeologici ed Artistici della Provincia di Cuneo, 1984.
[48] M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.
[49] See reference in note 2. See also Section 4.
[50] See among others: M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.; C.G. Lai, M. Corigliano, H. Sánchez, L. Scandella, *Definition of seismic input at the «Regina Montis Regalis» Basilica of Vicoforte, Northern Italy*, IUSS Press Pavia 2009; L. Scandella, C.G. Lai, D. Spallarossa, M. Corigliano,*Ground shaking scenarios at the town of Vicoforte, Italy*, in «Soil Dynamics and Earthquake Engineering», 31, 2011, pp. 757-772; M.A. Chiorino, R. Ceravolo, A. Spadafora, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati, *Dynamic Characterization of Complex Masonry Structures: The Sanctuaryof Vicoforte*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 5, N° 3, 2011, pp. 296-314; M.A. Chiorino, C. Casalegno, *Survey and structural modeling for the reliability assessment of the world's largest elliptical dome at Vicoforte, Keynote lecture*, Proceedings of «Domes in the World». International Congress, Florence, Italy,March 19-23, 2012, CD; M.A. Chiorino, R. Ceravolo, C.G. Lai, C. Casalegno, *Survey, seismic input and structural modeling of the «Regina Montis Regalis» Basilica and large elliptical dome at Vicoforte, northern Italy*, in J. Jasieńko (ed.), SAHC 2012, 8th International Conferenceon Structural Analysis of Historical Constructions, Wroclaw, Poland, October 15-17, 2012, DWE, Wroclaw 2012, pp. 1432-1440; G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, in «International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration», Vol. 8, N° 5, 2014, pp.649-669; C. Casalegno, R. Ceravolo, M.A. Chiorino, M.L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Soil-Structure Modeling and Updating of the «Regina Monte Regalis» Basilica at Vicoforte, Italy*, in F. Peña, M. Chávez (Eds.), SAHC 2014, 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Mexico, 14-17, October 2014; R. Ceravolo, G. De Lucia, M. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Monitoring of historical buildings: Project of a dynamic monitoring system for the world's largest elliptical dome*, IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Trento, Italy, 2015; R. Ceravolo, A. De Marinis, M. L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Monitoring of masonry historical constructions: 10 years of static monitoring of the world's largest oval dome*, in«Structural Control and Health Monitoring», N. 10, 2017; G. Coletta, G. Miraglia, M. Pecorelli, R. Ceravolo, E. Cross, C. Surace, K. Worden, *Use of the cointegration strategies to remove environmental effects from data acquired on historical buildings*, in «Engineering Structures»,N. 183, 2019. After the original publication of this paper in 2020 an extended number of papers have been published by the research group of the Politecnico di Torino in international journals or conference proceedings; for further information the author may be contacted.

[51] A. Reffo, *Applicazioni dell'analisi limite alla verifica delle grandi cupole in muratura:la cupola del Santuario di Vicoforte* (Application of limit analysis to the reliability assessmentsof large masonry domes: the dome of the Sanctuary of Vicoforte; in Italian), School of Architecture, Politecnico di Torino Master's thesis, 2002; M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.
[52] G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome*, cit.
[53] Experimental checks in terms of stress-strain diagrams on the original iron material still to be performed. Refer to the original paper for further details.
[54] C. Calderini, S. Lagomarsino, *A continuum model for in-plane anisotropic inelastic behaviour of masonry*, in «Journal of Structural Engineering», 134/2, 2008, pp. 209-220.
[55] ANSYS 2003.
[56] M.A. Chiorino, A. Spadafora, C. Calderini, S. Lagomarsino, *Modeling strategies for the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.; M.A. Chiorino, C. Casalegno, *Survey and structural modeling for the reliability assessment of the world's largest elliptical dome at Vicoforte*, cit.
[57] G. Ventura, M. Coppola, C. Calderini, M.A. Chiorino, *Three-Dimensional Limit Analysis of the Vicoforte Elliptical Dome,* cit.
[58] Different from the assumption adopted in the limit analysis approach discussed in the preceding section, two different assumptions were introduced in what concerns the restraint conditions at the base of the drum, i.e. a) free horizontal displacements of all nodes at the base, and b) inhibited horizontal displacements. This second assumption, for which higher values of the multiplier of the self weight at collapse were detected, is presumably closer to reality by consideringthe stiffness of the underlying structures.
[59] C.G. Lai, M. Corigliano, H. Sánchez, L. Scandella, *Definition of seismic input at the «Regina Montis Regalis» Basilica of Vicoforte, Northern Italy*, cit.; L. Scandella, C.G. Lai,D. Spallarossa, M. Corigliano, *Ground shaking scenarios at the town of Vicoforte, Italy*, cit.
[60] M.A. Chiorino, R. Ceravolo, A. Spadafora, L. Zanotti Fragonara, G. Abbiati, *Dynamic Characterization of Complex Masonry Structures: The Sanctuary of Vicoforte*, cit; M.A.Chiorino, R. Ceravolo, C.G. Lai, C. Casalegno, *Survey, seismic input and structural modelingof the «Regina Montis Regalis» Basilica...*, cit.
[61] C. Casalegno, R. Ceravolo, M.A. Chiorino, M.L. Pecorelli, L. Zanotti Fragonara, *Soil-Structure Modeling and Updating of the «Regina Monte Regalis» Basilica at Vicoforte, Italy*,cit.
[62] M.A. Chiorino, *The role of structural engineering and geotechnics in the conservation of historical monuments. The case study of the of the Sanctuary of Vicoforte with its large ellipticaldome*, in Carolina Di Biase, F. Albani (Eds.), T*he Teaching of Architectural Conservation in Europe*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2019, pp. 203-225.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДВУПОЯСНА СТРОИТЕЛНА СИСТЕМА ЗА СГРАДИ С ПРОСТРАНСТВЕНО-ПРЪТОВИ ПОКРИВНИ КОНСТРУКЦИИ В БЪЛГАРИЯ - ПРОСТРАНСТВЕН ПОКРИВ ЗА ШОУРУМ НА HYUNDAI В СОФИЯ, КВАРТАЛ ДЪРВЕНИЦА

Дончо Партов[1], Станислав Доспевски[2], Любомир Карадех[3], Борислав Козарев[4]

Висше строително училище, ВСУ „Любен Каравелов“-София

APPLICATION OF A TWO-WAY CONSTRUCTION SYSTEM FOR BUILDINGS WITH SPATIAL-RODS ROOF STRUCTURES IN BULGARIA - SPATIAL ROOF FOR A HYUNDAI SHOWROOM IN SOFIA, DARVENITZA

Doncho Partov[1], Stanislav Dospevski[2], Lyubomir Karadeh[3], Borislav Kozarev[4]

Higher School of Civil Engineering “ Lyuben Karavelov” -Sofia

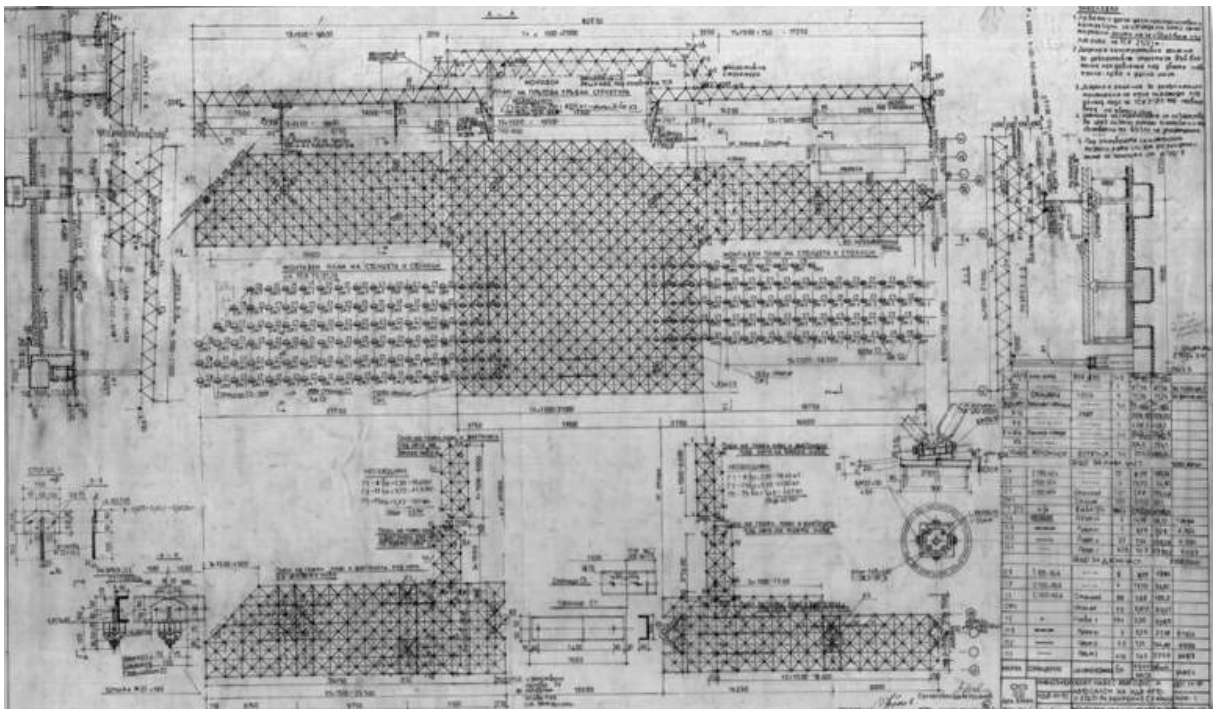
***Abstract**: The report provides a detailed analysis of the application of the MARHI system in the construction of a canopy for a car showroom of the South Korean company HYUNDAI, in Sofia-Darvenitsa, interesting for its architecture. Attention is drawn to the possibilities for using the system in regions with a high degree of seismic activity. The object consists of one main block, made of spatial-bar structure, with dimensions in plan: 21.0/21.0m. The structure is supported on four columns made of spirally welded steel pipes: 426/7 mm. At the base of the geometric construction of the spatial skeleton of the block lie repeatedly repeating pyramids, with a square base, composed of rods and nodes. The rods with a coordination length of 1.50 m are made of steel pipes of different diameters, and with sleeves (muffs) welded to their ends, which are completed with an axial bolt and a movable hexagonal special nut with a locking device (spline). The structure of the shed has been studied for loads from the self-weight of the elements, snow, wind and earthquake. The wind load is presented in six schemes. Four with blowing and suction from four sides and pressure or suction from above and below. The combinations of loads have been made in a total of 9 combinations. The static calculations have been made with the program for spatial structures: SAP80. The working design of the site contains drawings of all structural elements that make up the structure of the shed, namely: steel columns made of spirally welded pipes 426/7 mm; steel pipe rods: Ф 45/3 mm, Ф 60/4 mm, Ф 76/4 mm.*

***Key words:** spatial skeleton; static calculations; steel pipes;load: self-weight, snow, wind, earthquake.*

[1]**Дончо Партов**, проф. д-р инж., Стр. Факултет, ВСУ, Л. Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, partov@vsu.bg
[2]**Станислав Доспевски**, д-р инж. УАСГ, бул.Хр.Смирненски, 1373 София, ул. Суходолска 175, 40100, @gmail.com
[3]**Любомир Карадех**, ВСУ, Л.Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, karadeh@abv.bg
[4]**Борислав Козарев**, ВСУ, Л.Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, boko.cad@gmail.com

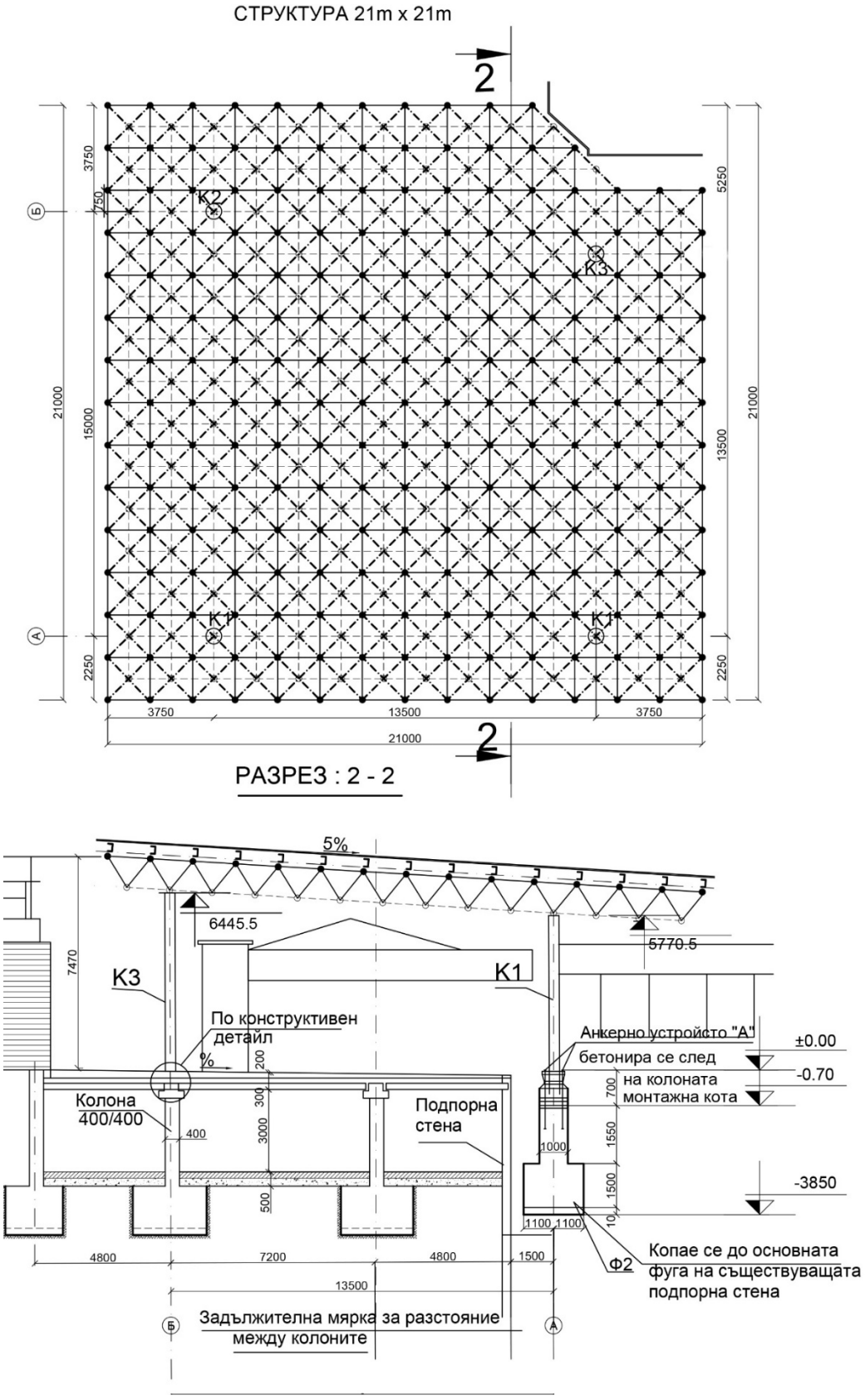
1. Въведение

През месец, ноември 1996 год. Фирма „ИДВ-АУТО" възлага на проектантски колектив от Фирмата „ЕТ-КАПИТЕЛ", разработването на навес към офиса и автосалона на „ИДВ-АУТО". След разглеждането на няколко варианта, инвеститора се спира на навес, изпълнен с пространствено-прътова конструкция, тип „МАрхИ", произвеждана в град Монтана, с дължина на пръта: 1,50m. След направените заснемания от проектантския колектив на 6.11.1996 година са предадени чертежите на основите на навеса и работния чертеж на анкерното устройство. Сградата се състои от три основни конструкции (Фиг.1), с интересна хоризонтална и вертикална архитектурна визия.



Фигура 1. Конструктивна схема на структурата за навеса над колите на Хюндай; (архив:Д.Н.П.)

Предмет на изложението ще бъде основният, централен блок на навеса, който е изпълнен с пространствено- прътова конструкция, с размери в план: 21,0/21,0m (Фиг. 2,а,б). Настоящият доклад третира връхната конструкция на този блок а именно: колони, пространствена конструкция и статически изчисления. Конструкцията се подпира върху четири колони изпълнени, от спирално заварени стоманени тръби: 426/7 mm. Особеното при този навес е разположението му по наклона спрямо хоризонта, равно на 5%. Това решение е взето след подробен анализ на методите на отводняване на покривната равнина на пространствено прътовата плоча. Подпирането на структурата е несиметрично поради обвързаността със стъпването върху колона от съществуващата сграда под паркинга, изпълнена по строителната система: „Спирола".

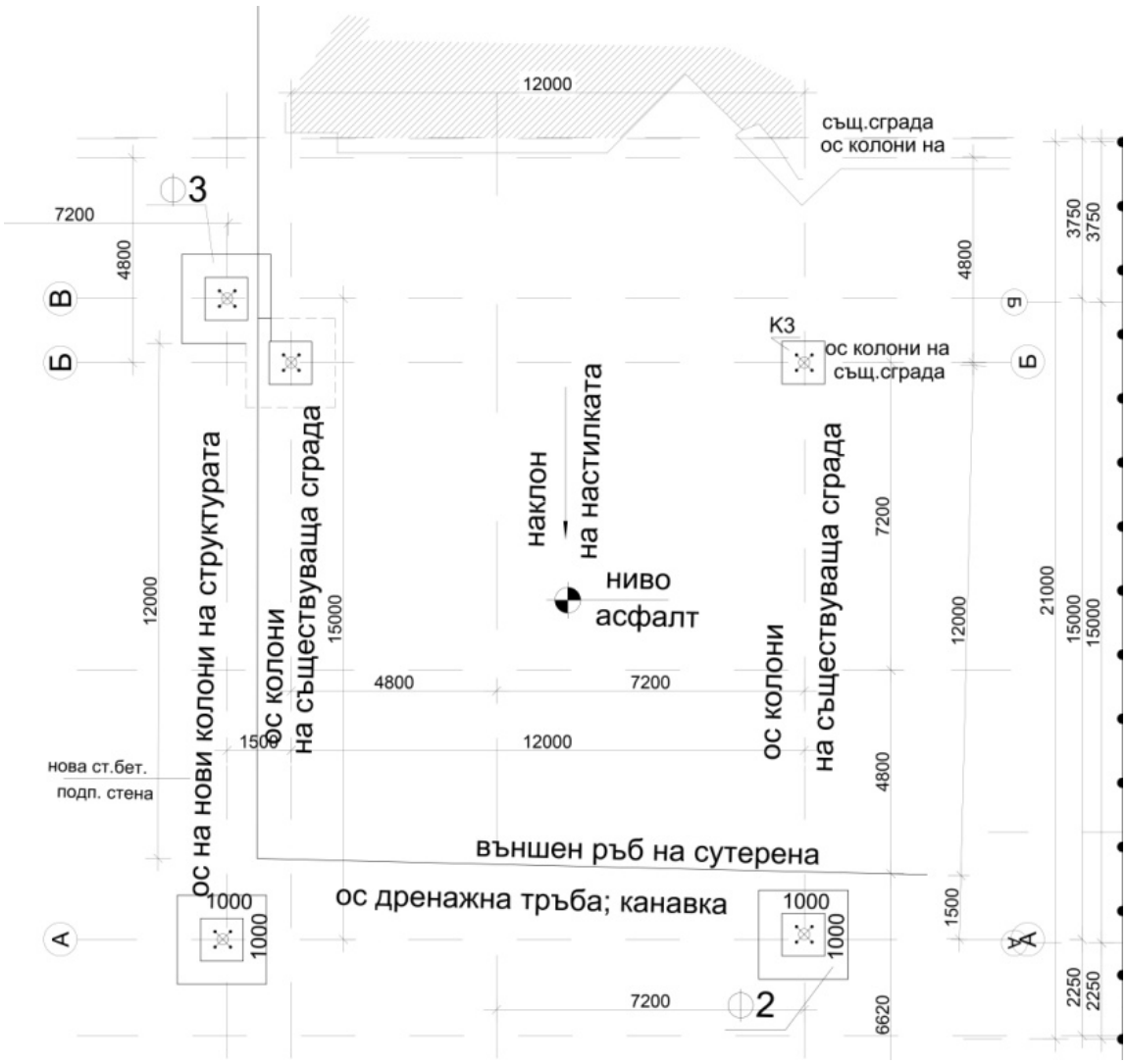


Фиг.2,а,б. а) Поглед отгоре върху структурата, б)напречен разрез 2-2 на блока

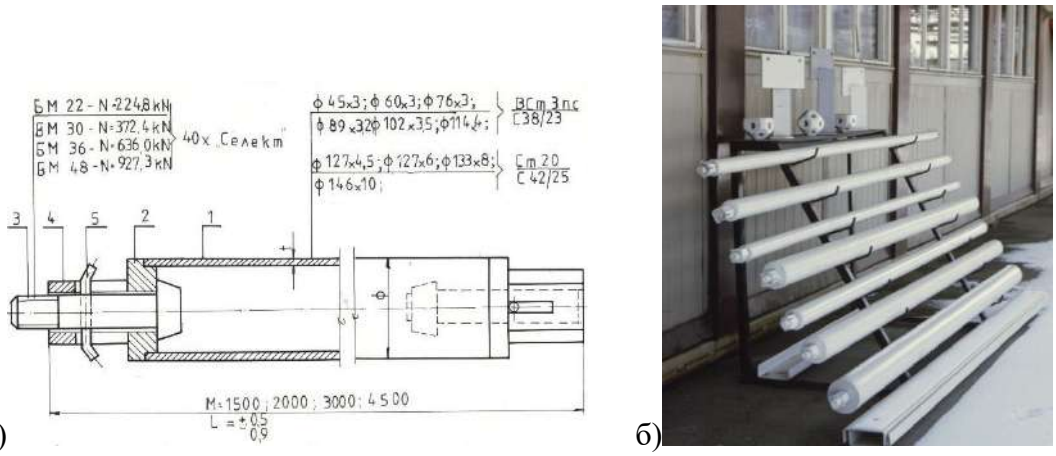
2**. Описание на конструктивното решение:**

Колоните са разположени по оси 1 и 2 на разстояние 13,50 метра една от друга. По буквените оси А и Б колоните са разположени също на 13,50 метра една от друга(фиг.3). Колоната, която стъпва отвън на паркинга се разполага на 15,00m от колона К1, поради конструктивни съображения. Първото е да не засегне фундамента на колоната по тази ос от системата „Спирола", а второто съображение е заради конзолата на структурата, която е равна на 5,25 m.

В основата на геометричното построяване на пространствения скелет на блока лежат многократно повтарящи се пирамиди, с квадратна основа, съставена от пръти и възли. Прътите с координационна дължина 1,50 m са изпълнени от стоманени тръби с различни диаметри, и със заварени в краищата си втулки(муфи), които са комплектовани с аксиален, изпълнен от високоякостна стомана болт и подвижна шестостенна специална гайка със зацепвашо устройство(шплент)(Фиг.4).



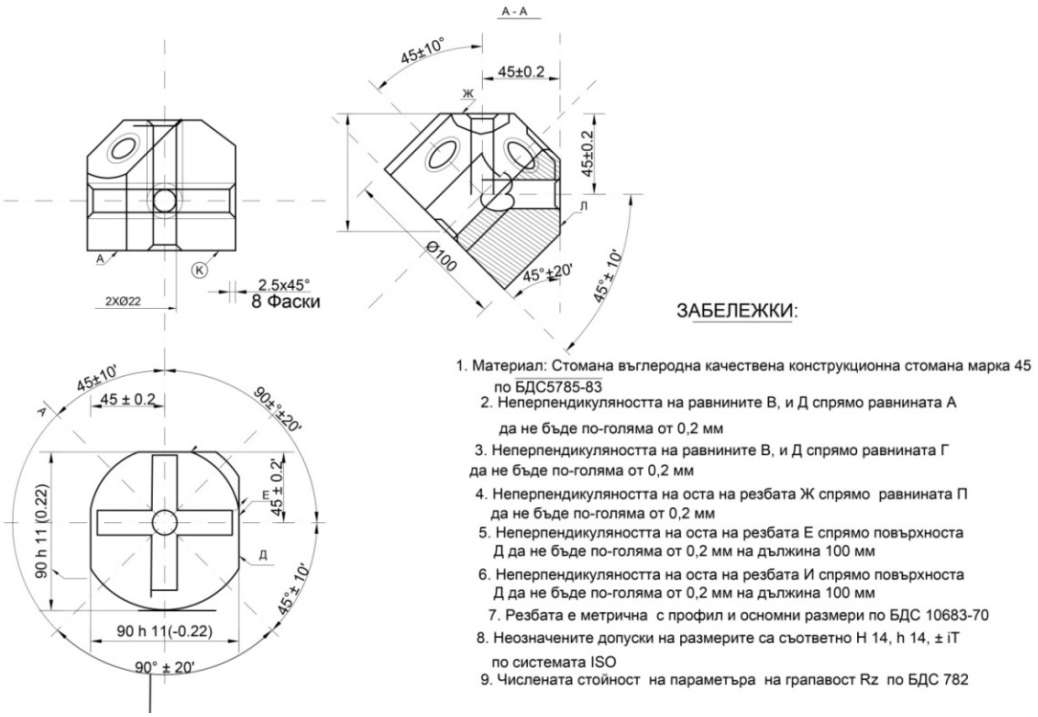
Фиг.3. а) План на основите на структурата



а) б)

Фигура 4,а,б. а) Структурен прът, б) Различни по диаметър пръти

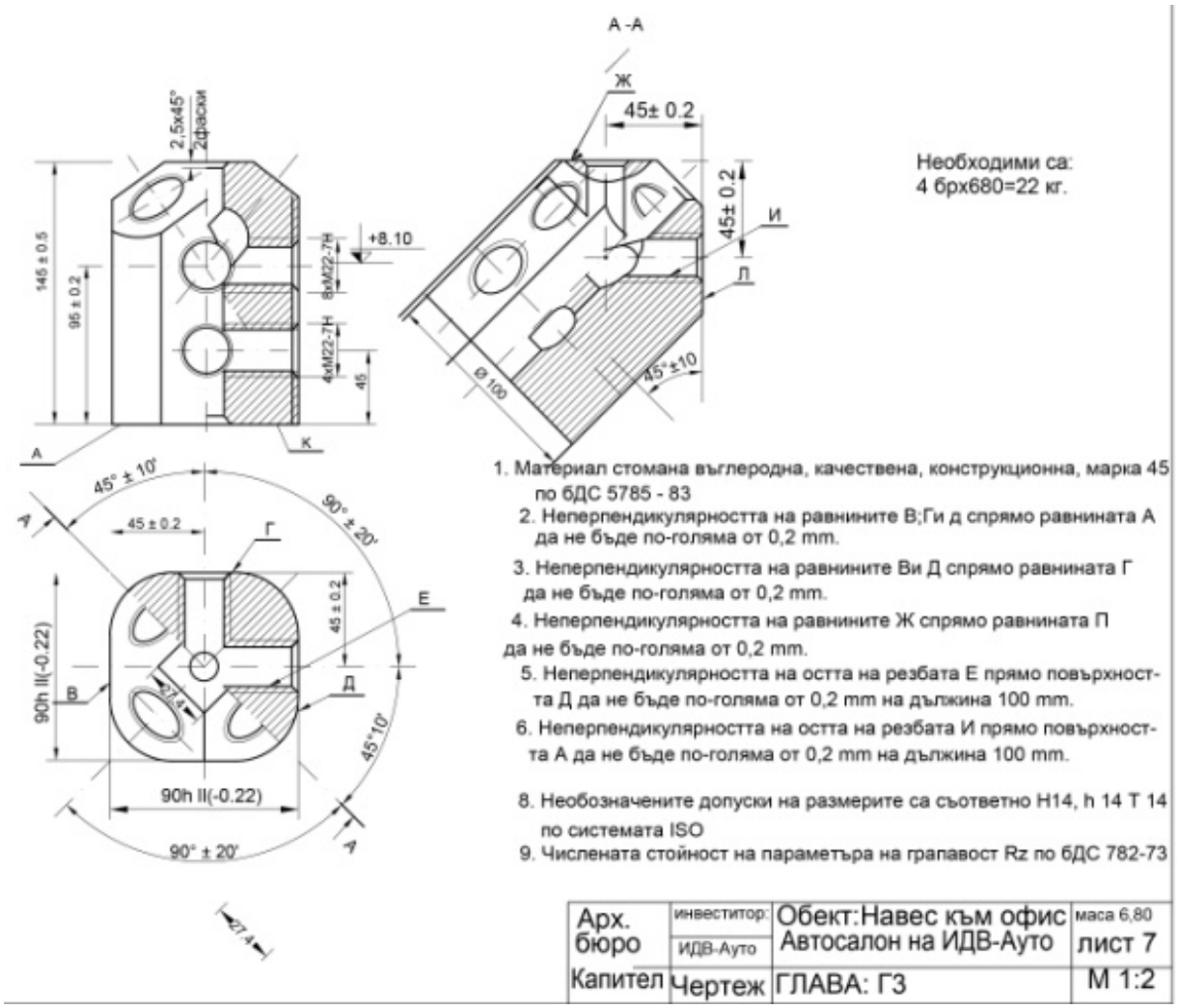
Възловите елементи означени като Глава 1, представляват многостени вписани в сферично пространство (Фиг.5). По плоската страна са пробити отвори, чиято вътрешна повърхност е с резба. Всички възли са разработени да свързват четири поясни и четири диагонални пръти(Фиг. 5а). Подпирането на структурата над колоните се реализира с помощта на друг типоразмер и конфигурация на главата(фиг.5б). Тази глава, означена като $Г_3$ е с по голяма височина от Глава 1. В долния си край(на разстояние 45 мм от ръба на главата, тя притежава отверстие за прокарване на болт, който преминава през столче от два ъглови профила, закрепени посредством заварки към върха на колоната. Чрез съединяването на прътите посредством възловите елементи се образува горна и долна равнинна мрежа с размери на ортогоналната клетка в план: 1,50/1,50 метра и височина: H=1,061 m. Чрез пространственото съединяване на елементите се осигурява предаването на действащите върху покривната конструкция хоризонтални и вертикални натоварвания, върху главите на колоните.



ЗАБЕЛЕЖКИ:

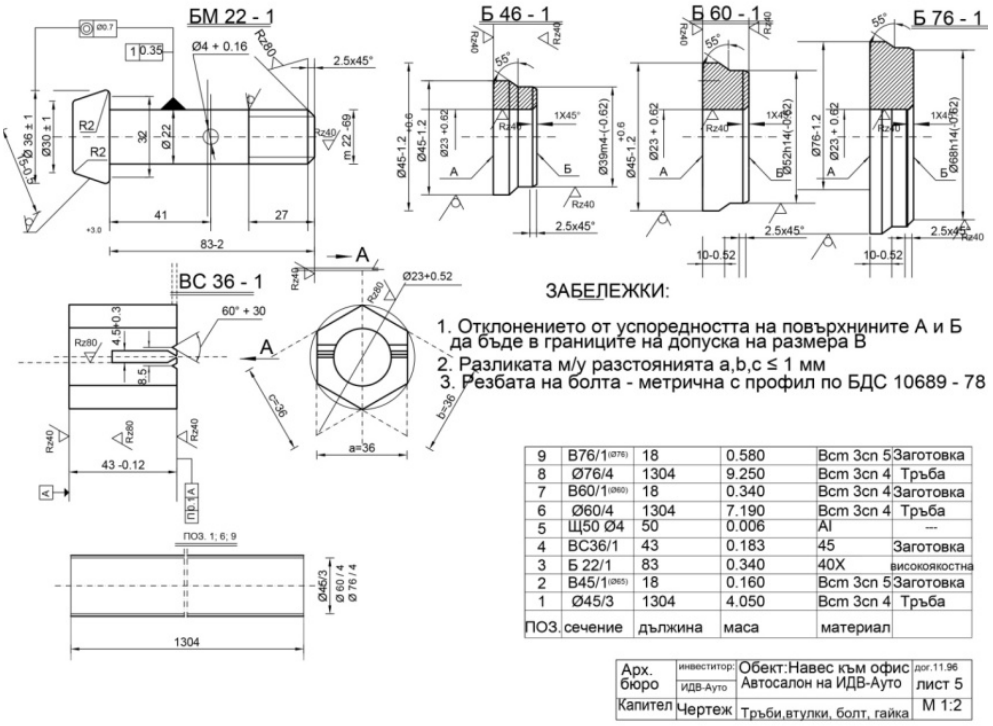
1. Материал: Стомана въглеродна качествена конструкционна стомана марка 45 по БДС5785-83
2. Неперпендикулярността на равнините В, и Д спрямо равнината А да не бъде по-голяма от 0,2 мм
3. Неперпендикулярността на равнините В, и Д спрямо равнината Г да не бъде по-голяма от 0,2 мм
4. Неперпендикулярността на оста на резбата Ж спрямо равнината П да не бъде по-голяма от 0,2 мм
5. Неперпендикулярността на оста на резбата Е спрямо повърхноста Д да не бъде по-голяма от 0,2 мм на дължина 100 мм
6. Неперпендикулярността на оста на резбата И спрямо повърхноста Д да не бъде по-голяма от 0,2 мм на дължина 100 мм
7. Резбата е метрична с профил и основни размери по БДС 10683-70
8. Неозначените допуски на размерите са съответно H 14, h 14, ± iT по системата ISO
9. Числената стойност на параметъра на грапавост Rz по БДС 782

Фиг. 5а. Възлов елемент-Глава 1



Фиг. 5б. Възлов елемент-Глава 3

Свързването на прътите и възловите елементи се осъществява посредством високоякостни болтове: БМ22 (Фиг. 5в), вградени в краищата на тръбните елементи.

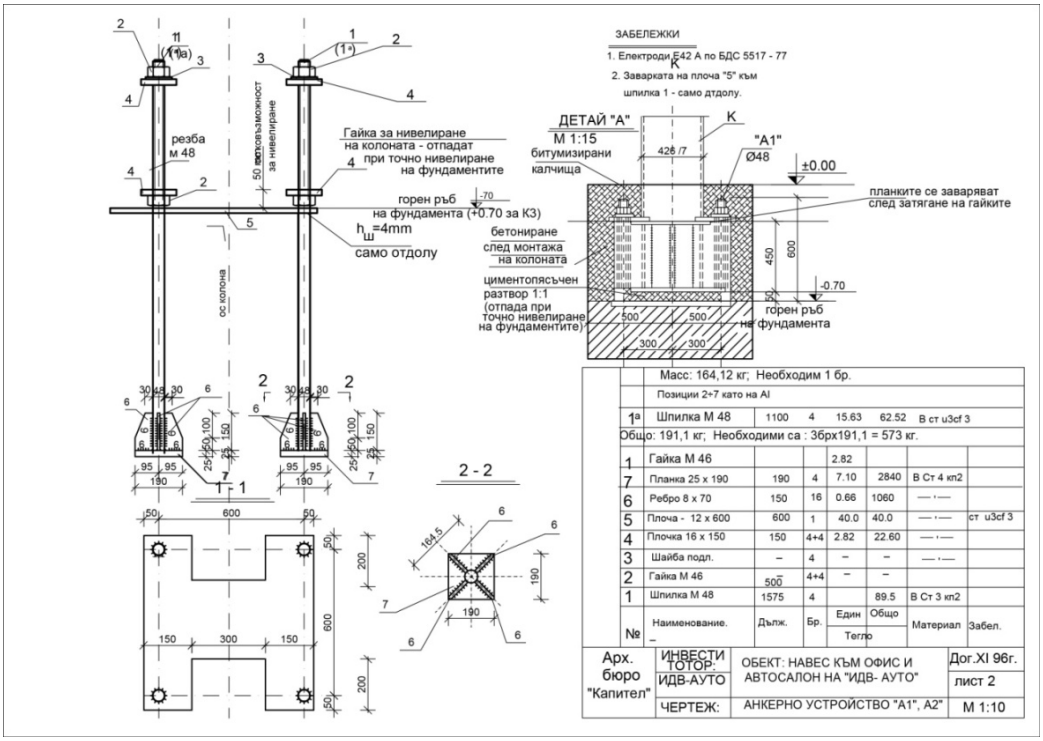


ПОЗ.	сечение	дължина	маса	материал	
9	В76/1	18	0.580	Вст 3сп 5	Заготовка
8	Ø76/4	1304	9.250	Вст 3сп 4	Тръба
7	В60/1	18	0.340	Вст 3сп 4	Заготовка
6	Ø60/4	1304	7.190	Вст 3сп 4	Тръба
5	Щ50 Ø4	50	0.006	Al	---
4	ВС36/1	43	0.183	45	Заготовка
3	Б 22/1	83	0.340	40Х	високоякостна
2	В45/1	18	0.160	Вст 3сп 5	Заготовка
1	Ø45/3	1304	4.050	Вст 3сп 4	Тръба

Арх. бюро	инвеститор: ИДВ-Ауто	Обект:Навес към офис Автосалон на ИДВ-Ауто	дог.11.96 лист 5
Капител	Чертеж	Тръби,втулки, болт, гайка	М 1:2

Фиг. 5в. Високоякостен болт БМ22-1

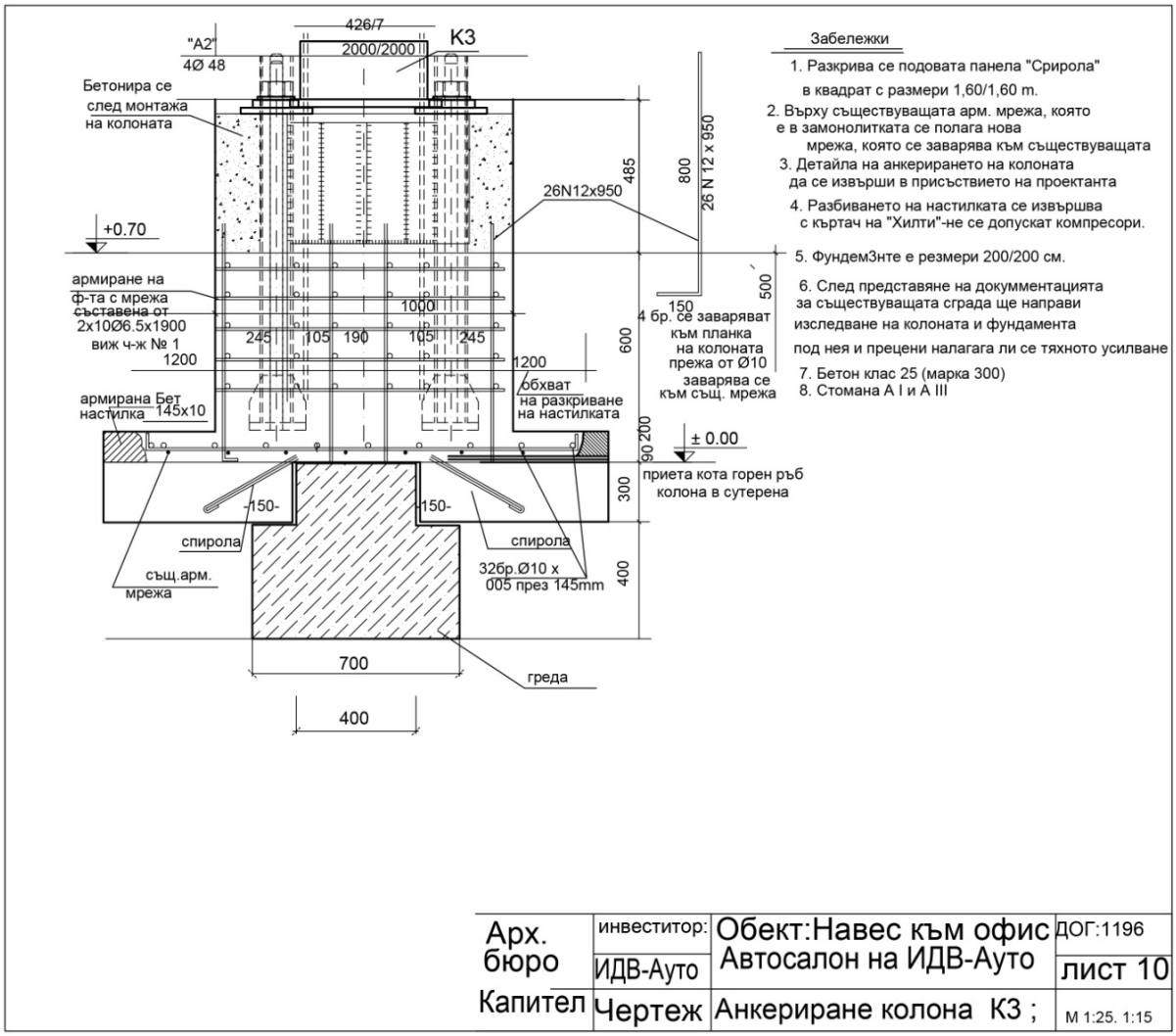
Болтът е с носимоспособност на опън, равна на 224,8кN. Пространствената устойчивост на структурата е осигурена чрез запъването на стоманените колони във фундаментите, чрез анкерно устройство(Фиг. 6а,б).



	Масс: 164,12 кг; Необходим 1 бр.						
	Позиции 2÷7 като на Al						
1а	Шпилка М 48	1100	4	15.63	62.52	В ст u3cf 3	
Общо: 191,1 кг; Необходими са : 3брх191,1 = 573 кг.							
1	Гайка М 46			2.82			
7	Планка 25 х 190	190	4	7.10	2840	В Ст 4 кп2	
6	Ребро 8 х 70	150	16	0.66	1060	— ' —	
5	Плоча - 12 х 600	600	1	40.0	40.0	— ' —	ст u3cf 3
4	Плочка 16 х 150	150	4+4	2.82	22.60	— ' —	
3	Шайба подл.	–	4	–	–	— ' —	
2	Гайка М 46	50	4+4	–	–		
1	Шпилка М 48	1575	4		89.5	В Ст 3 кп2	
№	Наименование.	Дълж.	Бр.	Един Тегло	Общо	Материал	Забел.

Арх. бюро "Капител"	ИНВЕСТИТОР: ИДВ-АУТО	ОБЕКТ: НАВЕС КЪМ ОФИС И АВТОСАЛОН НА "ИДВ- АУТО"	Дог.XI 96г. лист 2
	ЧЕРТЕЖ:	АНКЕРНО УСТРОЙСТВО "А1", А2"	М 1:10

Фиг. 6а. Анкерно устройство A_1; A_2

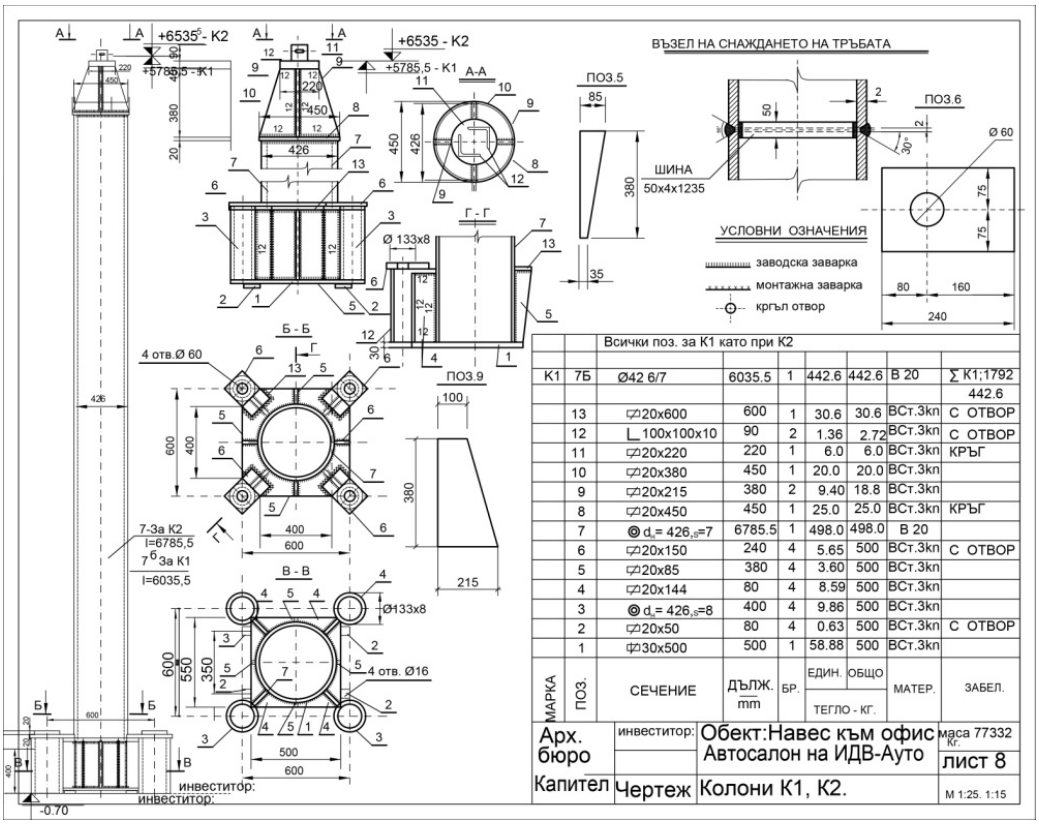


Фиг. 6б. Анкериране на колона К3

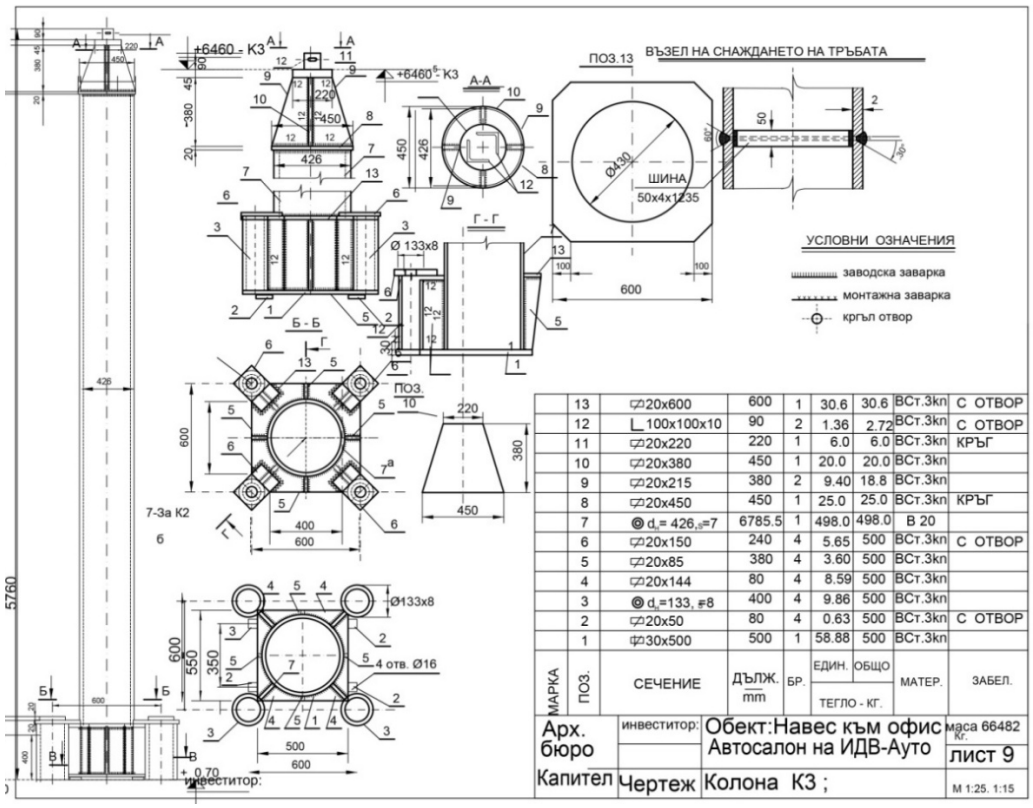
Покривната обшивка е изпълнена от трапецовиден ламинат, внесен от Италия. Тези обшивки се подпират върху столици от студено огънати профили: ”П” 100x100x4 mm. Столиците се свързват към възловите глави посредством столче, от ъглов профил”Г” 100x100x10 mm, който се свързва с главата от структурата, посредством шпилка М22. Връзката между столчето и столицата е с болтови съединения БМ14.

4. Описание на работната документация

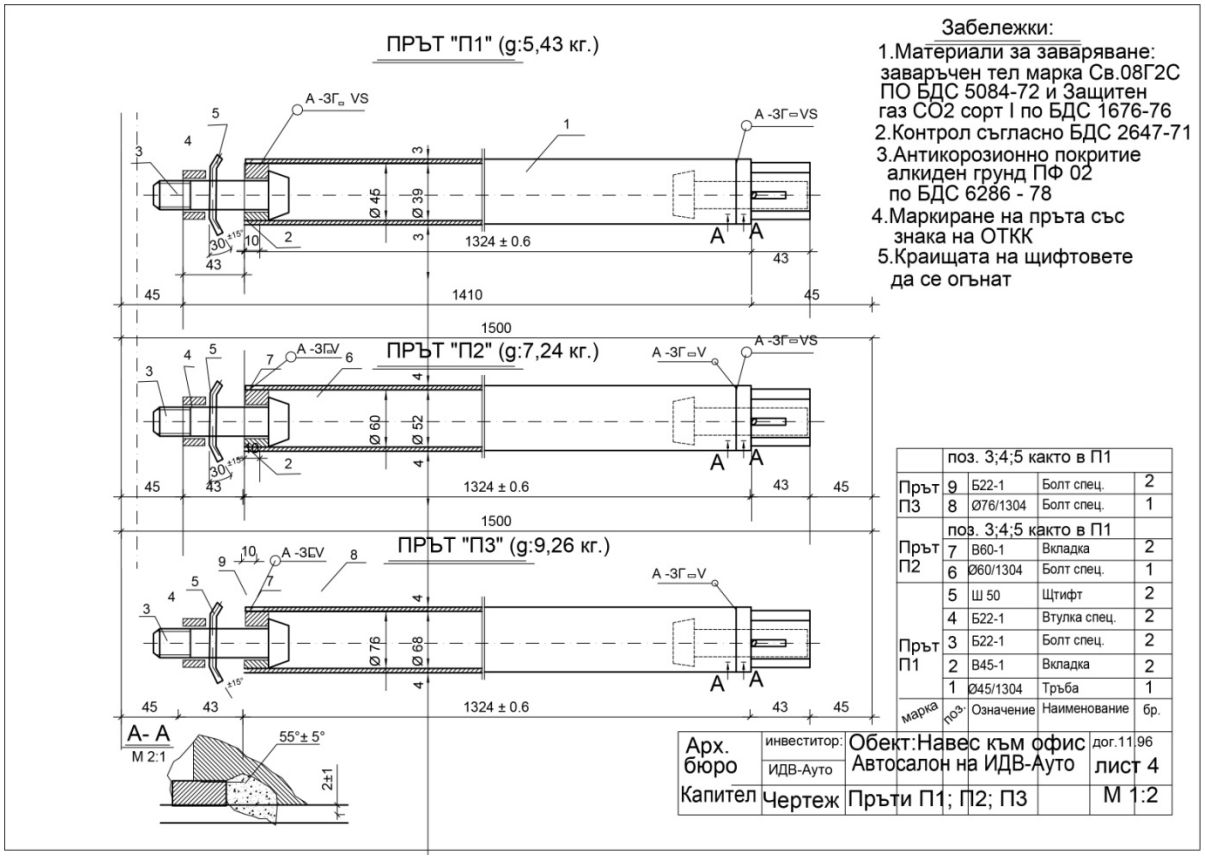
Работният проект на обекта съдържа КМД чертежи на всички конструктивни елементи, от които е съставена конструкцията на навеса а именно[1]: стоманени колони изпълнени от спирално заварени тръби 426/7 mm(Фиг. 7а,б); пръти от стоманени тръби: Ф 45/3 mm, Ф 60/4 mm, Ф 76/4 mm(Фиг.8). Използваните материали са посочени в работните чертежи на елементите.



Фиг.7а. Работен чертеж на Колони К1 и К2



Фиг. 7б. Работен чертеж на Колона К3



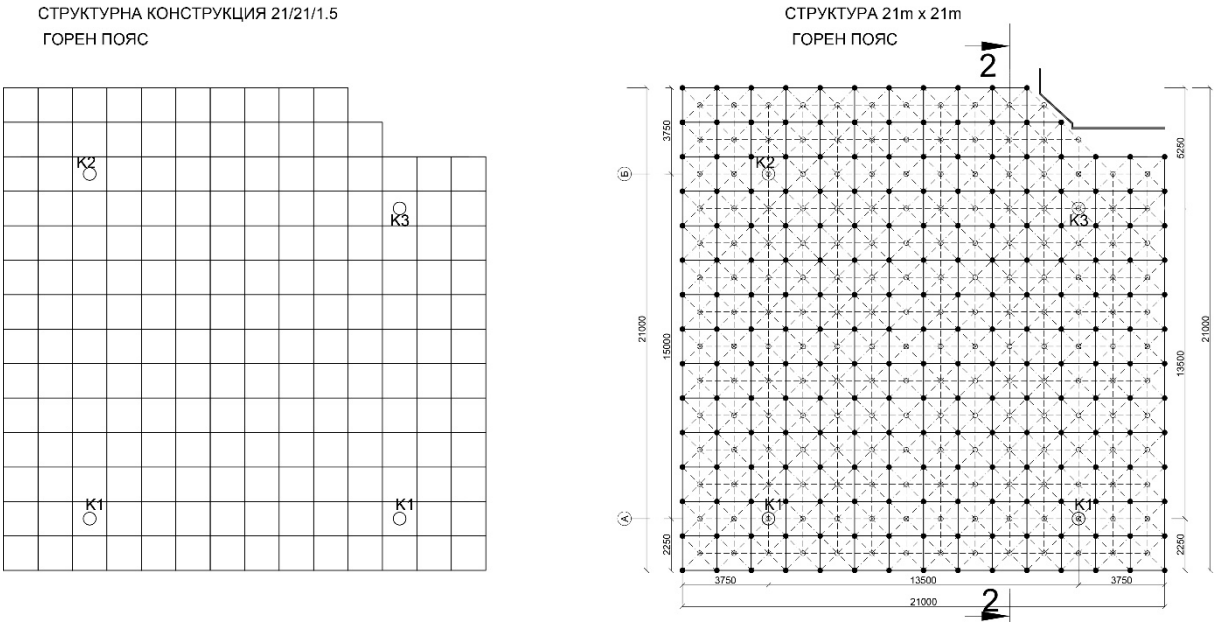
Фиг. 8. Стоманени тръбни елементи за пояси и диагонали

5. Статическо изследване на структурата

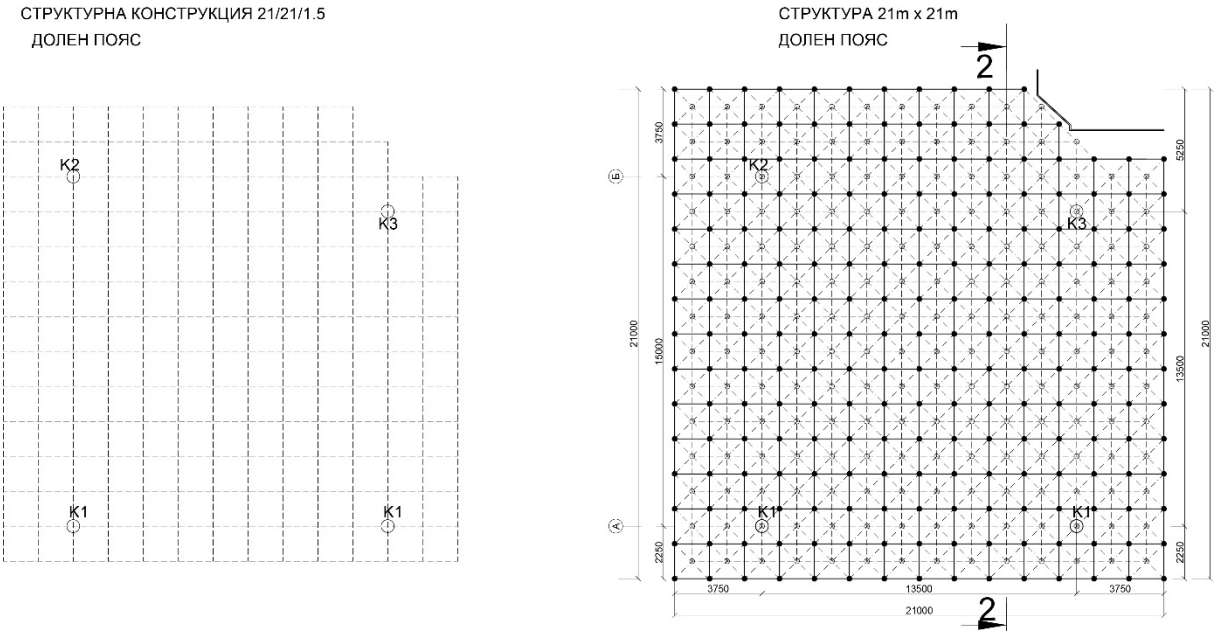
Конструкцията на навеса е изследвана за натоварване от собствено тегло на елементите, сняг, вятър и земетръс. Натоварването върху структурата е избрано както следва: изчислително натоварване от собствено тегло на обшивки, столици, столчета, пръти и възли с общо тегло: 67kg/m^2. Изчислителното натоварване от сняг за района на София, е равно на 50kg/m^2 x 1,4=70kg/m^2 . Вятърът е приет за района на София: 38kg/m^2 x 1,4=51,2kg/m^2. Натоварването от собствено тегло и сняг са превърнати в концентрирани сили, които действат във възлите на структурата. Ветровото натоварване действа също така хоризонтално върху страничните възли на структурата. Освен това са вкарани и концентрирани сили във възлите на структурата разположени в контура на покрива, възникващи от обдухването на вятъра, което поражда ефекта на смученето от вятъра. Ветровото натоварване е представено в шест схеми. Четири с обдухване и смучене от четири страни и натиск или смучене отгоре и отдолу. Направени са съчетания на натоварване от 9 комбинации. Изборът на прътите е направен за максималното усилие от комбинациите. Провисването е в рамките на допустимото, съгласно българските нормативни документи и е равно на подпорното разстояние между колоните разделено на 400. Максималното провисването се получава в т. 90 от долния пояс на структурата и е равно на 36 mm, което е по-малко от : 15000/400 = 37,5 mm. Разпечатката от статическия анализ съдържа: входни данни за структурата и усилията в структурата, както и избора на прътите. Статическите изчисления са направени с програмата за пространствени конструкции: SAP80. В основата на тази програма лежи методът на крайните елементи.

5.1. Подготовка на входни данни за компютърно изследване на структурата

Подготовка на схеми на участващите в проекта прътови решетки в горен пояс, долен пояс и диагонали са посочени във (Фиг. 9а,б,в,). Върху схемите на долния пояс и диагоналите са отбелязани местата на колоните с кръгчета. (архив:Д.Н.П.)



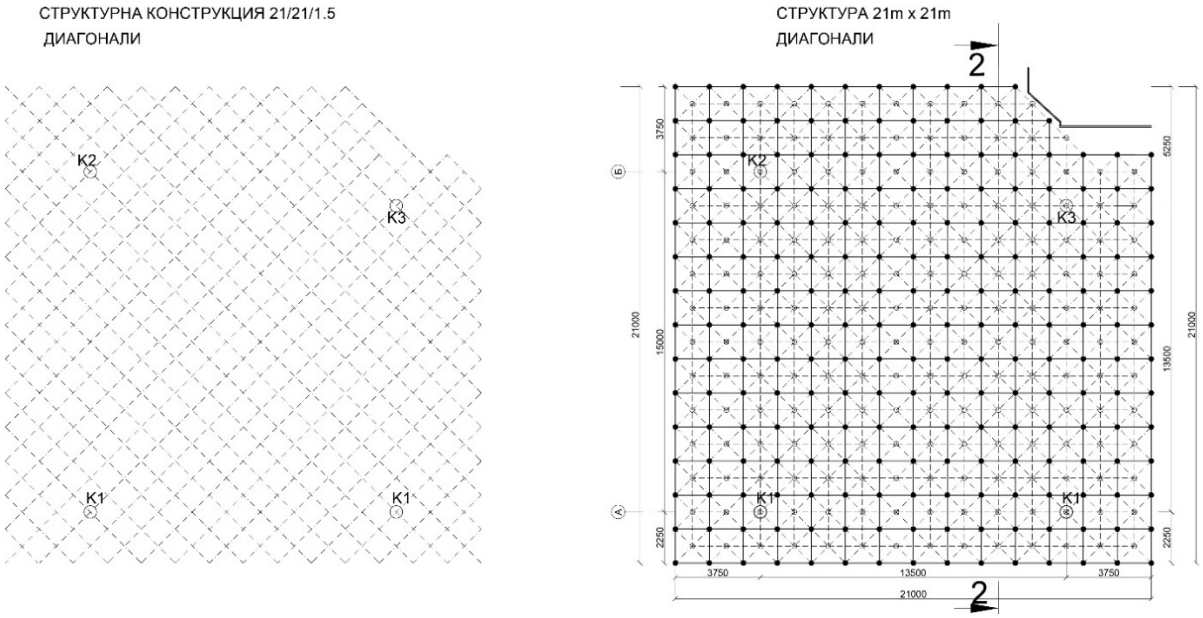
Фиг. 9а. Геометрична схема на горен пояс на структурата 21/21/1,5



Фиг. 9б. Геометрична схема на долен пояс на структурата 21/21/1,5

Номерирането на възлите и прътите (показано на Фиг. 9а и 9б) е получено автоматично от SAP80. Използвани са заложените в програмата алгоритми за

минимална разлика между краен и начален възел на прътите. Целта е получаване наматрица на коравина с минимална ширина на ивицата и минимизиране на използваната памет.



Фиг. 9в. Геометрична схема на диагоналите на структурата 21/21/1,5

6. Указания за подготвяне на входни данни за елементите на структурата необходими за програмния продукт SAP 2000

6.1. Изчисляване и оразмеряване на ППК на обект: Навес към сервиз на обект: ИДВ АУТО, Дървеница :София; Данни за елементите.

тип	схема	F(cm^2)	i(cm^2)	$J_{x,y}$	$J_{z,y}$	нос.сп.-опън(т)	нос.сп.-натиск(т)	тегло	заб.
45/3		3,96	1,49			8,71	-6.32		
60/4		6,46	1,98			9,5	-8,0		
76/4		9,05	2,55			14,32	-12,33		
102/4		12,31	3,47			20,2	-18,04		
127/7		26,39	4,25			22,48	-45,0		

Нормативни товари:
Сняг: 70 кг/$м^2$; γ =1,6, зашото : $P_n/S_n < 0,8$
Вятър: 38 кг/$м^2$; γ =1,4
Снегът е приет за район София, Кремиковци; Възможно е да се приеме:
50 кг/$м^2$ х 1,4 =70 кг/$м^2$ < 118 кг/$м^2$

Избор и задаване на прътите участващи в структурата на навеса
Изчисляване и оразмеряване на ППК на обект: Навес към сервиз на обект: ИДВ АУТО, Дървеница :София

тип	схема	F(cm^2)	i(cm^2)	$J_{x,y}$	$J_{z,y}$	нос.сп.-опън(т)	нос.сп.-натиск(т)	тегло	заб.
45/3		3,96	1,49			8,71	-6.32		
60/4		6,46	1,98			9,5	-8,0		

76/4		9,05	2,55			14,32	-12,33		
102/4		12,31	3,47			20,2	-18,04		
127/7		26,39	4,25			22,48	-45,0		

Нормативни товари:
Сняг: 70 кг/м^2 ; γ =1,6, зашото : $P_n/S_n < 0,8$
Вятър: 38 кг/м^2 ; γ =1,4
Снегът е приет за район София, Кремиковци; Възможно е да се приеме:
50 кг/м^2 х 1,4 =70 кг/м^2 < 118 кг/м^2

Натоварване
1. Постоянни товари по структурата

N	Натов.	Норм. кг/м^2	Максимално Изч. коефициент.	Максимално изчисл.натов.	Минимално Изч. Коефиц.	Минимално изчисл.натов.
1	С.т.ППК	35	1.1	38,5	0,9	31,50
2	Столици, Столчета	5+3=8	1,1	8,8	0.9	7,20
3	Обшивка: Пластмаса: или:лт.0,6/40мм	7,50	1.1	8,25	0,9	6,75
4	Ел.Инсталация	17	1.1	11,0	0,9	9
5	g_{max}	60,50		66,55		54,4 5
6	g_{min}					
7	Възлови Товари					
	G_{max}=67.1,5.1,5=151kg/v					
	G_{min} =54,5.1,5.1,5=123kg/v					

Сняг: 70х1,6х1,5х1,5=252 кг/м^2
Снежна торба: При конзолата не се отчита.
Вятър : Приемаме евентуален борд по наклона;
Осова сила по горен и долен пояс;
$W_{изч}$ =38х1,4=53,20 кг/м^2 х (0,6+0,8)=74,5 кг/м^2
$W_1 = W_2$= 74,50х 1,06/2 =39,50 кг/в
G=131+252=403 кг/в

7. Технология на монтажа на структурата

Структурата се изплита върху терена на паркинга, между колоните, след което се повдига на проектното си положение и се свързва с главите на колоните (Фиг.10, 11,12).



Фиг. 10. Външен изглед на структурата от улицата



Фиг. 11. Външен изглед от повърхността на равнината на подземния гараж



Фиг. 12. Външен изглед от улицата

8. Антикорозионно покритие

Антикорозионната защита на структурата и колоните се осъществява чрез алкиден грунд, който се нанася в две ръце в завода производител. На обекта всички елементи се боядисват с този грунд още веднъж, след което се нанася алкиден емайл лак с цвят по избор на архитекта.

9. Изводи относно предимствата на пространствено – прътови конструкции

Изискванията за по-голяма изразителност на съвременните форми на архитектура, базирани на често повтарящи се елементи, породиха рамкови структури от нов тип, наречени пространствени структури. Те притежават значителни предимства, които позволяват да се повиши икономическата ефективност на строителните работи в сравнение с резултатите получени досега, вследствие използването на традиционните методи. В този смисъл предимствата включват:• Пространствено поведение на конструкциите, което е причината за повишената надеждност по отношение на неочаквано срутване на единични съединителни елементи или пръти;• По-малка обща височина на покривната конструкция;• Обхващане на по-големи разстояния между опорите;• Планиране и проектиране на: надземен транспорт, окачени тавани;• Екрани с различни декоративни ефекти;• Осветителните тела и други осветителни тела, както са подредени в интериора, биха допринесли за артистичните настройки и разбирането на покривната конструкция и на пространството като цяло;• Гъвкави решения в случай на сложни оформления и вертикални композиции;• Предварителна изработка на стоманените конструкции;• Намаляване на транспортните разходи и по-лесен транспорт до трудно достъпни места; Сглобяване и монтаж на конструкцията на нивото на земята и повдигане на големи блокови елементи и др. В геометрична си композиция, пространствените структури са оформени от отделни обединени модули, които се наричат структурни кристали, монтирани в пространството, така че техните върхове биха били от две четни повърхности - горна и долна - по такъв начин, че възлите на системата, образувани от горните повърхности, да са в позиции по отношение на долните повърхности, подредени в специфични модули. Като цяло структурният кристал се състои от 3D елементи, които могат да бъдат с различни геометрични форми - наклонени призми с триъгълно, квадратно, правоъгълно или друго напречно сечение; клин на правоъгълна или квадратна основа, и др. Изборът на формата на структурния кристал зависи от вида и размера на товара, както и от възловите връзки. Първите пространствени структури се появяват в края на четиридесетте години на XX век. През следващите 40 години по целия свят бяха въведени голям брой пространствени структури в САЩ, Германия, Чехия, Испания, Япония, Канада и други страни. От особено значение сред всички пространствени конструкции са структурите, разработени в КНИПИАТ“ Главпроект” – ППК/85. Произвеждат се във фабрика „Монтекс” в град Монтана, североизточна България от 1975 година.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Документация: Строителна подсистема на главна конструкция за сгради с пространствено – прътови конструкции-ППК/ 85, Сдружение“ Проектно дело“.

COMPOSITE STEEL-CONCRETE STRUCTURES AND PERFORATED SHEAR CONNECTORS

Lemák Daniel [1], Václavíková Veronika [1], Gregor Jan [1]

1 STATIKA Olomouc, s.r.o., Balbínova 374/11, 779 00 Olomouc, Czech Republic

***Abstract**: The paper provides a comprehensive overview of composite steel-concrete structures, outlining fundamental concepts and principles. It evaluates the advantages of composite structures and examines various forms of composite action and shear connectors. Special emphasis is placed on the use of perforated shear connectors, discussing their design characteristics, benefits, and limitations. The paper also presents practical applications and case studies of structures incorporating perforated shear connectors.*

***Key words**: Composite steel-concrete structures, composite action, shear connectors, perforated shear connectors, perfobond shear connectors, structural design, practical applications, case studies.*

1. Introduction

Composite steel–concrete structures are structural elements that utilize the interconnection (composite action) of two different materials, such as steel and concrete or timber and concrete, into a single load-bearing member or structural system so that they act together in resisting applied loads. By combining two different materials into a single load-bearing unit, their individual properties can be utilized optimally. A typical example is the composite action between steel and concrete, where the compressive zone of the cross-section benefits from the properties of concrete, which is characterized by high compressive strength but negligible tensile strength, while the tensile zone utilizes the excellent tensile properties of steel. Composite steel structures also include concrete-encased steel members as well as concrete-filled tubular columns.

Specific challenges in the design of composite structural members arise from their heterogeneity. It is necessary to account for the different mechanical properties of both materials, such as modulus of elasticity and strength, as well as differences in thermal expansion, density, and rheological effects, including shrinkage and creep. Additionally, differences in corrosion resistance and fire resistance must also be considered.

The original theory for the design of structures composed of two materials with different properties is based on the assumption of elastic structural behaviour and perfect bond (no slip) between the two materials. These assumptions may or may not be satisfied in practice, and more advanced theories attempt to account for full or partial plasticization of one or, in statically indeterminate structures, multiple cross-sections, as well as slip, which practically always occurs at the interface between the steel and concrete components. A separate and important aspect of composite design is the use of shear

[1] Daniel Lemák, Ing. PhD, STATIKA Olomouc, s.r.o, Balbínova 374/11, 779 00 Olomouc (Czech Republic), lemak@statikaolomouc.cz

connectors, which have undergone significant technological development, from manually welded connectors to semi-automatically welded headed studs and powder-actuated connectors formed from steel sheets.

For practical design purposes, complex design theories and procedures are generalized and simplified into design standards. Currently, composite structures are designed in accordance with EN 1994-1-1 ed. 2, Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings (2011), and EN 1994-2, Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 2: General Rules and Rules for Bridges (2007). This system of standards also includes EN 1994-1-2, Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design (2006).

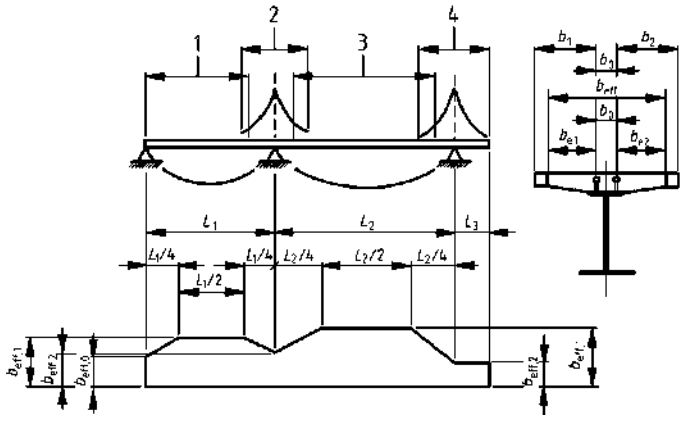
The main advantages of composite steel–concrete structures include the optimal utilization of the properties of both materials. As noted above, steel resists tensile stresses while concrete resists compressive stresses, resulting in reduced overall steel consumption and lower structural weight. Additional benefits include increased stiffness and load-carrying capacity, allowing for longer spans. Construction is also faster and more efficient, since the steel component may be self-supporting prior to concreting or may require only minimal temporary shoring. Another significant advantage of composite steel–concrete members is improved fire resistance and durability compared to purely steel structures.

2. Methods of Analysis

The basic assumptions for the design and behaviour of composite structures are presented below in order to clarify the fundamental principles and specific aspects of these systems.

In general, the effects of loading (internal forces) in composite steel–concrete structures are determined using elastic analysis, with the assumption that tensile concrete is neglected.

The effects of shear lag (shear deformations in the plane of the slab) in wide concrete slabs or steel flanges result in a non-uniform distribution of longitudinal normal stresses across the slab width.



Legend:

1 $L_e = 0{,}85L_1$ pro $b_{eff,1}$

2 $L_e = 0{,}25(L_1 + L_2)$ pro $b_{eff,2}$

3 $L_e = 0{,}70L_2$ pro $b_{eff,1}$

4 $L_e = 2L_3$ pro $b_{eff,2}$

Fig.1. Equivalent span for determining the effective width of the concrete flange

For a beam subjected to bending, and assuming Bernoulli's hypothesis of plane sections remaining plane, the composite steel–concrete cross-section may be "homogenized" in elastic analysis by introducing the modular ratio between steel and concrete, defined as $n = E_a / E_c$. The width of the concrete slab is reduced using this modular ratio, and the transformed cross-section may then be treated as an equivalent all-steel cross-section for analysis purposes. Additional effects, particularly those related to

creep and shrinkage, should be evaluated in accordance with applicable design standards or specialized literature, as these considerations are beyond the scope of this paper.

3. Ultimate Limit States

Typical cross-sections of composite beams are shown in Fig. 2.:

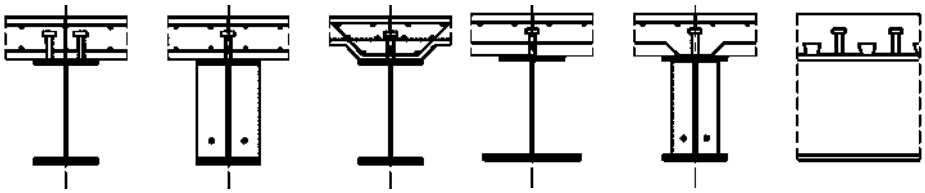


Fig. 2. Typical cross-sections of composite beams

The concrete slab may be solid or ribbed and may also include haunches. The steel beam may be encased in concrete, which is particularly advantageous for fire design; such a member is referred to as a partially encased beam. The slab is connected to the beam by means of shear connection. In simply supported beams, the slab is always located in the compression zone. In continuous beams, however, the slab may be subjected to tension over interior supports; in such cases, the concrete is neglected in tension and its function must be provided by longitudinal tensile reinforcement.

Beams designed according to plastic theory may be designed with either full shear connection, where the shear connection is not the governing weakness of the beam, or partial shear connection, where the load-carrying capacity of the beam is governed by the shear connection.

For beams designed according to elastic theory, only *full shear connection* is permitted.

In the case of full shear connection between the steel and concrete components of a composite beam, the calculation of the plastic bending resistance, $M_{pl,Rd}$, assumes full interaction between the steel section, reinforcement, and concrete. The stress in the structural steel is assumed to be equal to the design yield strength, f_{yd}, in the reinforcement equal to f_{sd} (although compression reinforcement may often be neglected), and in the compressed concrete equal to $0.85f_{cd}$, where f_{cd} is the design compressive cylinder strength of concrete. Tensile concrete is neglected.

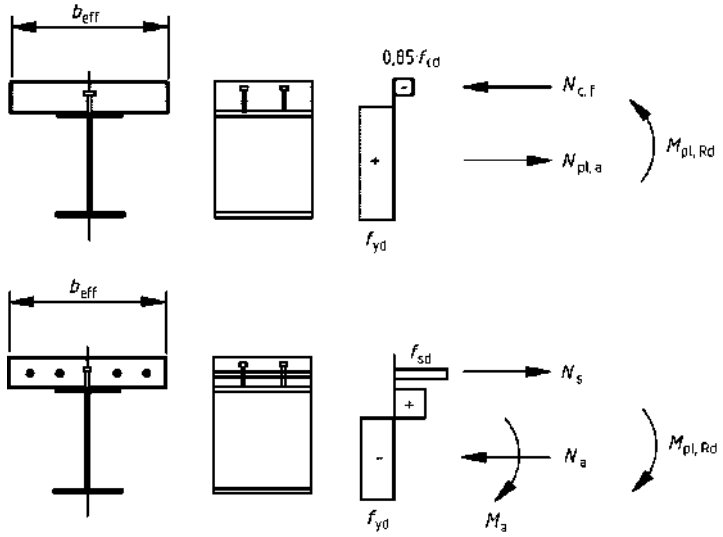


Fig. 3. Examples of plastic stress distribution for a composite beam with a solid slab and full shear connection under positive and negative bending moments

In regions of positive bending moments, composite beams in building structures designed according to plastic theory may utilize partial shear connection, as mentioned above. This requires the use of sufficiently ductile shear connectors. The calculation of bending resistance follows the same procedure as for full shear connection, but a reduced compressive force in the concrete flange is used (N_c instead of N_{cf}). The ratio $\eta = N_c / N_{cf}$ defines the degree of shear connection.
The location of the plastic neutral axis in the slab corresponds to the reduced compressive force N_c. A second neutral axis is located within the steel section, which must be considered when classifying the web.

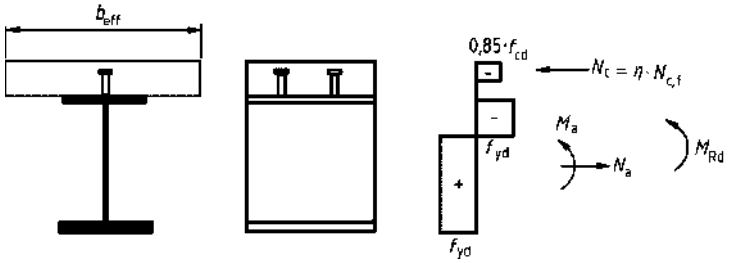


Fig. 4. Plastic stress distribution for positive bending moment with partial shear connection

4. Shear connection

The shear connection must transfer longitudinal shear forces between the concrete and steel components, as no bond between steel and concrete is assumed in the design. In order to apply the previously described plastic design method, the shear connectors must possess sufficient deformation capacity to allow redistribution of shear forces among individual connectors. A shear connector may be considered ductile if its characteristic slip capacity, δuk, is at least 6 mm. Welded headed stud connectors and powder-actuated Hilti connectors satisfy this requirement, while perforated strip connectors meet this condition only under certain circumstances.

Particularly in plastic design, shear connectors with different deformation characteristics should not be used within the same beam, as this may lead to overloading of the stiffer connectors. Shear connectors must also be capable of preventing separation of the concrete component from the steel member. This requirement is verified by ensuring that the connectors can resist a tensile force acting perpendicular to the plane of the steel flange equal to at least 10% of the design shear resistance of the connector.

For composite beams in building structures designed using plastic theory, the condition for *full shear connection* requires that the total number of shear connectors between critical cross-sections of the beam (i.e., locations of maximum bending moment and supports) is at least equal to the total design longitudinal shear force, N_{cf}, at the ultimate limit state, divided by the design resistance of a single connector, P_{Rd}.

The force N_{cf} is determined as the smaller of the following values:

$$N_{cf} = A_a f_{yd} \tag{1}$$

or

$$N_{cf} = A_c\, 0{,}85 f_{cd} + A_s f_{sd} \tag{2}$$

For a continuous beam, it is necessary to include an additional force in the tensile reinforcement at the internal support, as shown in Figure 5.

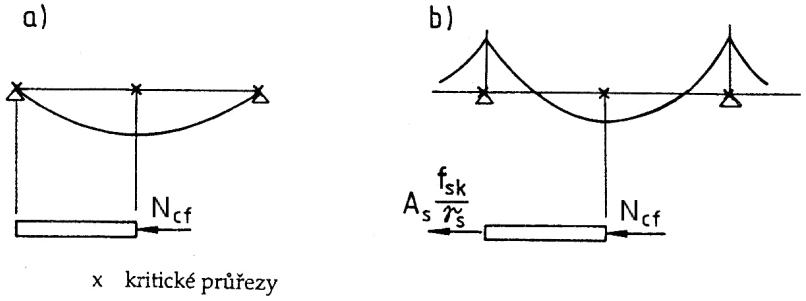


Fig. 5. Additional force in the tensile reinforcement at the internal support.

As mentioned previously, in building beams, "partial shear connection" may also be used. The specific conditions are defined in detail in the relevant standard.
For building beams designed using plastic theory, the shear connectors may be arranged regularly and uniformly between the critical cross-sections (supports and locations of maximum bending moments), as illustrated in the figure above.

In contrast, when the design is carried out according to elastic theory, the shear connectors are arranged in accordance with the longitudinal shear calculated between the concrete slab and the steel flange using the conventional formula:

$$V_\ell = V_{Ed} S_c / I_1 \tag{3}$$

where:
V_{Ed} is the design value of the shear force,
S_c is the first moment of area of the compressed part of the concrete slab with respect to the neutral axis of the ideal composite cross-section, reduced by the modular ratio n,
I_1 is the second moment of area of the ideal "uncracked" composite cross-section.

According to this equation, the longitudinal shear force V_ℓ is directly proportional to the vertical shear force. Therefore, in regions with high shear forces, the shear connectors are placed more densely than in regions with lower shear forces. As a result, even before concreting the slab, it is possible to recognize the design method used for the composite beam based on the distribution of typical discrete shear connectors, such as headed stud connectors.

5. Shear Connectors

Shear connectors ensure composite action between the steel and concrete parts of the cross-section.

Historically, so-called *frame-type rigid shear connectors* were used to provide rigid composite action:

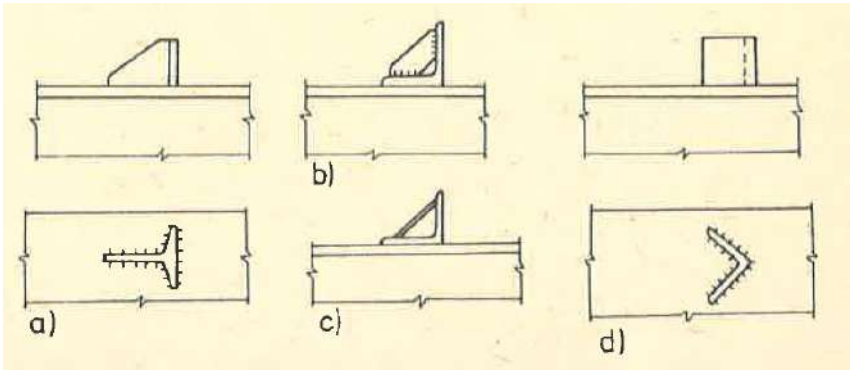


Fig. 6. Historical shear connectors – frame-type rigid shear connectors

Alternatively, shear connectors made from U-profiles and angle sections were also used:

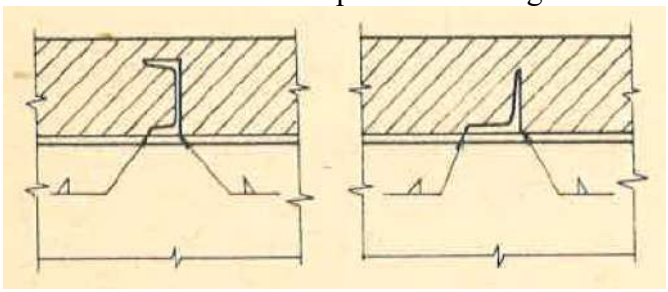


Fig. 7. Historical shear connectors – U-profiles and angle sections

For flexible shear connection, the following types of connectors were used:

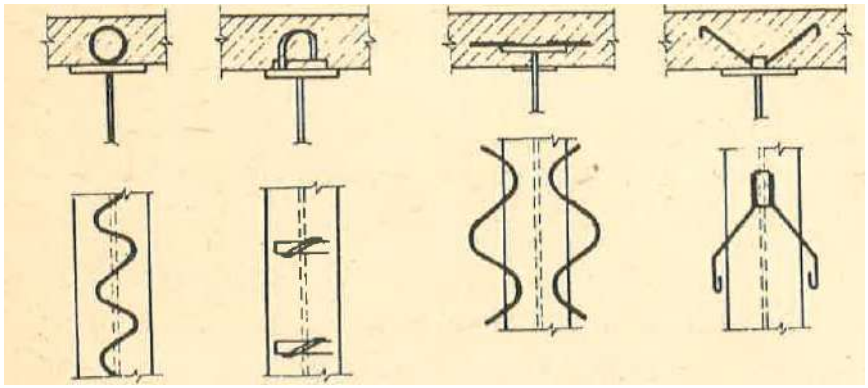


Fig. 8. Historical shear connectors for flexible shear connection

A combination of these connectors led to the development of block connectors, which are typically supplemented with reinforcing bar anchors:

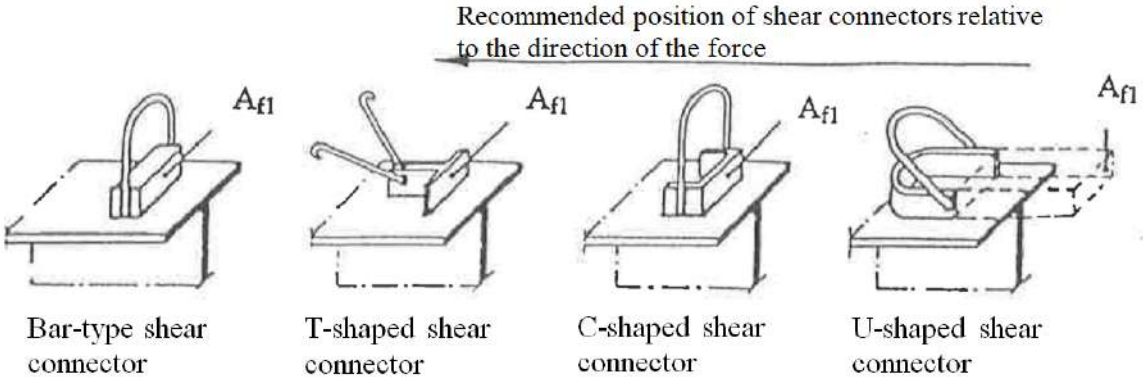


Fig. 9. Historical shear connectors – block connectors

At present, headed stud connectors are commonly used for composite action, both in solid slabs and in slabs with profiled steel sheeting:

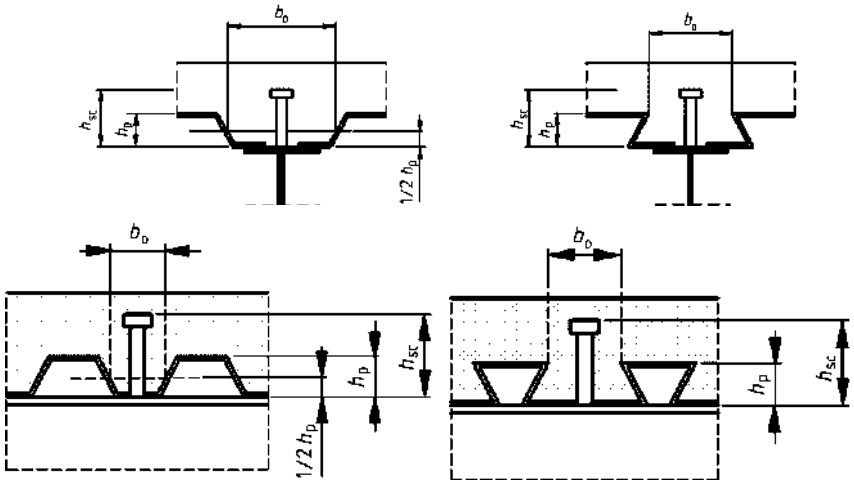


Fig. 10. Beam with profiled sheeting oriented parallel and perpendicular to the beam

Currently, powder-actuated shear connectors are also widely used, such as HVB anchors:

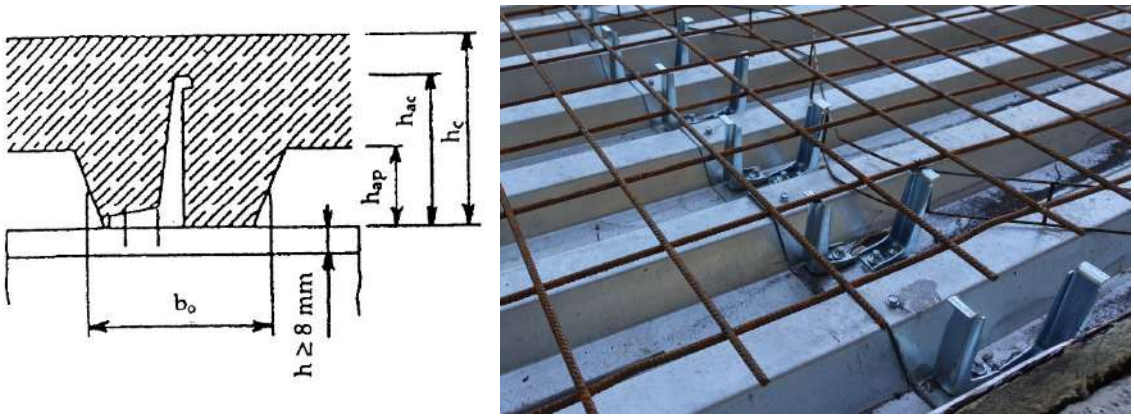


Fig. 11. HVB shear anchors

as well as Ribcon and Stripcon connectors manufactured by Hilti:

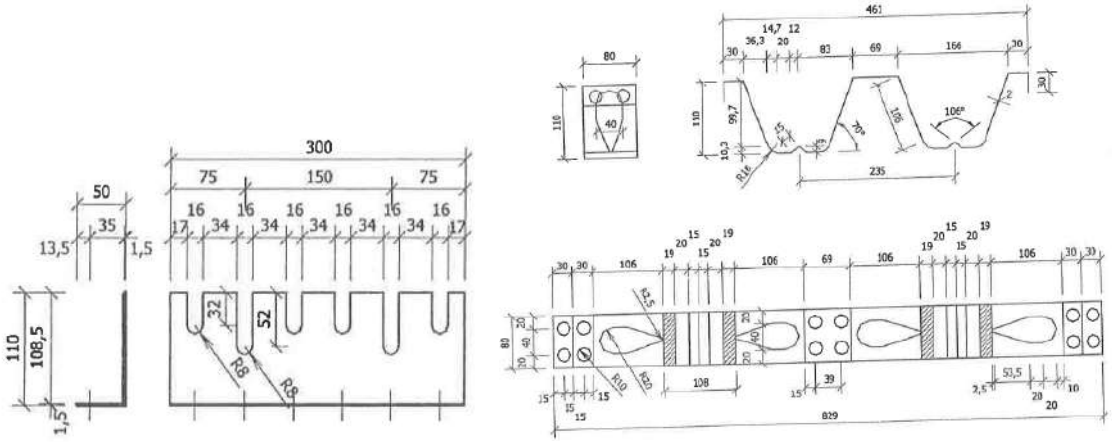
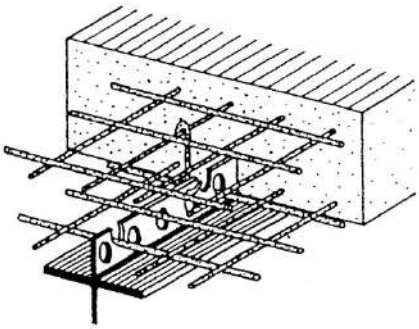


Fig. 12. Powder-actuated thin-walled strip connectors Hilti Ribcon and Hilti Stripcon
Obr. 3.5 Rozměry prvku Ribcon

Another type of connector currently in use is perforated strips. At the Czech Technical University in Prague (CTU), experimental research on perforated strips, as shown in the following figure, has been conducted over the past ten years. So far, the load-

bearing capacities of two strip types have been verified: a low strip (height 50 mm) and a high strip (height 100 mm).



Shear Connection using a perforated strip

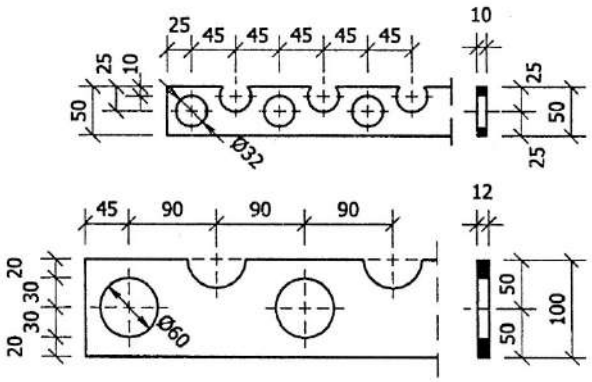




Fig. 13. Perforated strip

The characteristic resistance of the 50 mm high strip with 30 mm openings is:

$$P_{Rk} = -68 + 12{,}4f_{ck} + 797A_{st} \quad (4)$$

The characteristic resistance of the 100 mm high strip with 60 mm openings is:

$$P_{Rk} = 273 + 14{,}1f_{ck} + 313A_{st} \quad (5)$$

In the formulas:

f_{ck} compressive strength of conctrete measured on cylindres [MPa],

A_{st} area of reinforcement passing through the strip openings [mm^2/mm].

Reinforcement with a yield strength of f_{sk} = 490 MPa is assumed.

By substituting the appropriate values, the resistance is obtained in N/mm of strip length. Based on statistical analysis, a coefficient of $\gamma_v = 1{,}4$ was determined for the low strip and $\gamma_v = 1{,}25$ for the high strip. The standard relationship for design resistance applies.

In general, the perforated strip cannot be considered a sufficiently ductile shear connector according to EN 1994-1-1, as the measured slip during testing ranges from 2 to 7 mm, although ductility increases with a greater amount of reinforcement passing through

the openings. Since the limiting value is a slip of 6 mm, it is advisable to design beams with perforated strips conservatively according to elastic theory.

As it is evident from the arrangement of the perforated strip in the structure, this type of connector cannot be used in combination with profiled steel sheeting running continuously across the beam.

Vladimír Fišer Company acquired the know-how and rights to the patented pcb shear connection system from the Munich-based engineering firm Schmitt Stumpf Frühauf und Partner (now SSF Ingenieure GmbH) in 2010. In cooperation with Brno University of Technology, further development of this system has continued. The primary focus of development is the pcb-W technology (*precasted composite beam – coupled in web*), which can be used for spans of up to 30 m and for structures with high slenderness ratios.

In this system, it is advantageous to omit the top flange of the steel section. Instead, a rolled steel section is split by a unique geometric cut into two T-sections. These T-sections are embedded in the lower part of the concrete slab or concrete beam using composite dowel connectors. The longitudinal shear force is therefore transferred by composite dowels rather than by headed stud connectors. This system enables a reduction in structural depth due to the increased internal lever arm. Another advantage of the pcb-W technology is its economic efficiency compared to conventional (prestressed) concrete structures.

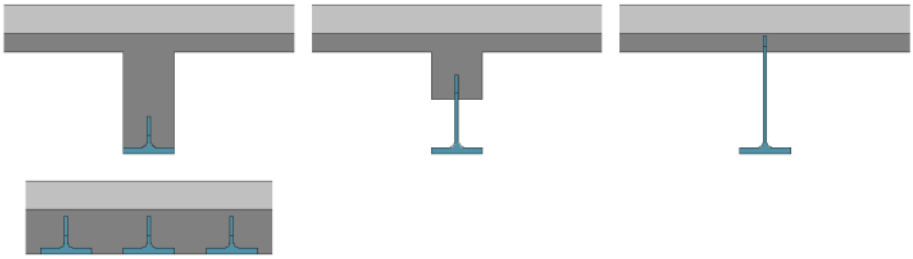


Fig. 14. Cross-sections of pcb-W beams

Pcb-W beams can be used in industrial structures and bridges due to their high load-bearing capacity, high stiffness, and significant slenderness. In particular, for railway bridges, the combination of high strength and sufficient slenderness, resulting in small deflections, is highly advantageous. The composite dowels also provide high fatigue resistance.

To verify the behavior of the steel dowels, standard push-out tests and bending tests were carried out at Brno University of Technology in accordance with EN 1994-1-1. The objective was to determine the load-bearing capacity of the steel and concrete dowels and to specify the minimum required reinforcement in the concrete dowel.

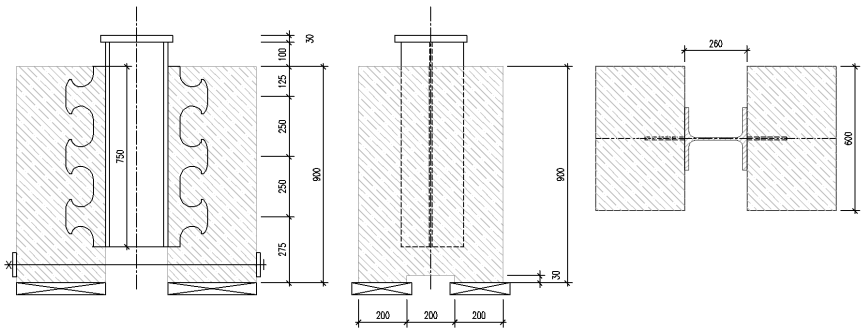


Fig. 15 Scheme of the push-out test

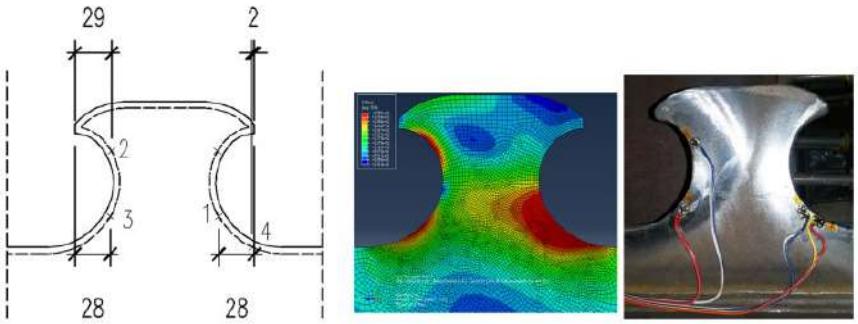


Fig. 16 Strain gauges on steel dowel



Fig. 17. Results of the push-out test

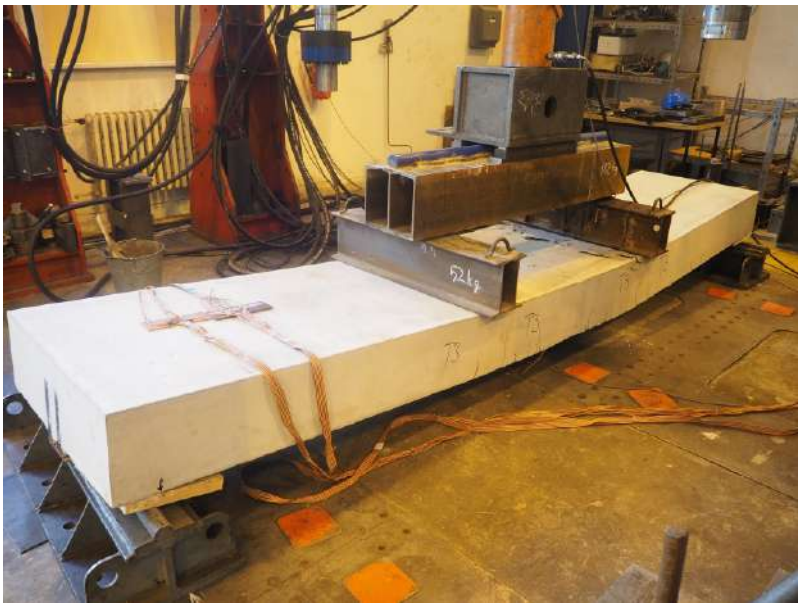


Fig. 18. Results of the bending test

6. Practical Applications of Structures with Perforated Strips

Technological platform

The first structures using perforated strips were designed in our office around 2005 for technological platform structures at the titanium dioxide production facility of Precheza a.s. in Přerov, specifically at the Hydrolyzer unit. In this case, the perforated strips provided composite action between the cast-in-place reinforced concrete slab and the steel structure.



Fig. 19. Use of perforated strip in technological platform structures at Precheza a.s., Přerov, Czech republic – general view

The structure transfers loads to reinforced concrete columns arranged in a 6 × 6 m grid. The main load-bearing members consist of IPE 330 and IPE 360 sections made of S355 steel. The reinforced concrete slab was designed with a thickness of up to 220 mm using C35/45 XD3 XA3 concrete. The loads from the supported technological equipment were approximately 100 kN/m².

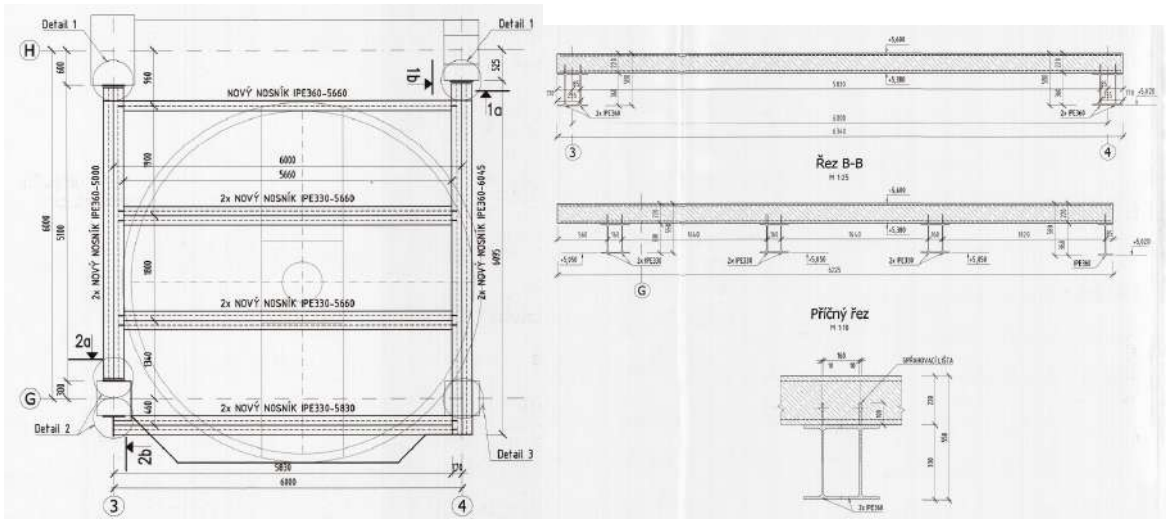


Fig. 20. Use of perforated strip in technological platform structures at Precheza a.s., Přerov, Czech republic – structural scheme of the structure



Fig. 21. Use of perforated strip in technological platform structures at Precheza a.s., Přerov, Czech republic – reinforcement around the perforated shear connector

The reliability of these connectors has therefore been verified not only through experimental testing but also through twenty years of trouble-free operation.

Perforated strips exhibit considerable load-bearing capacity, and the cost of the shear connection itself is primarily determined by the cost of standard materials and proper installation. The load-bearing capacity of the perforated strip depends on its geometry—specifically, the thickness and width of the steel strip, the size and spacing of the openings, and the amount of reinforcement passing through the perforations. Since the strip transfers shear forces from the concrete slab to the steel beams, it is essential that the weld connecting the strip to the steel member is designed to resist these shear forces.

We recommend verifying the weld prior to concreting, ideally before placing the reinforcement. Without proper welding, the composite action cannot be ensured, and the structure cannot function as intended. An example of the recommended welding detail is shown in the following schematic:

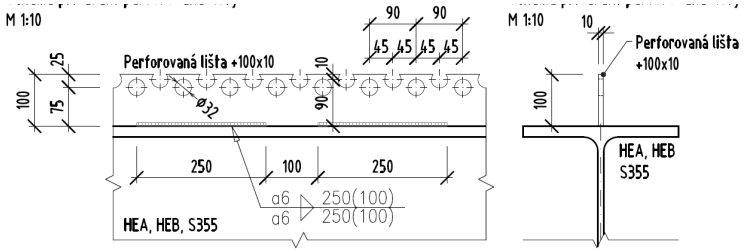


Fig. 22. Example of welding a perforated strip to a beam

Bridge Decks of New Footbridges in a Ski Resort

Another application of perforated strips was implemented around 2010 in footbridges located in the ski resort Kouty nad Desnou. These bridges, with a deck located at the lower level, are intended for both pedestrian use and snow-grooming vehicles. The structural system consists of glued laminated timber main girders combined with a composite steel–concrete deck forming the traffic surface. Two nearly identical bridges were constructed in this area.

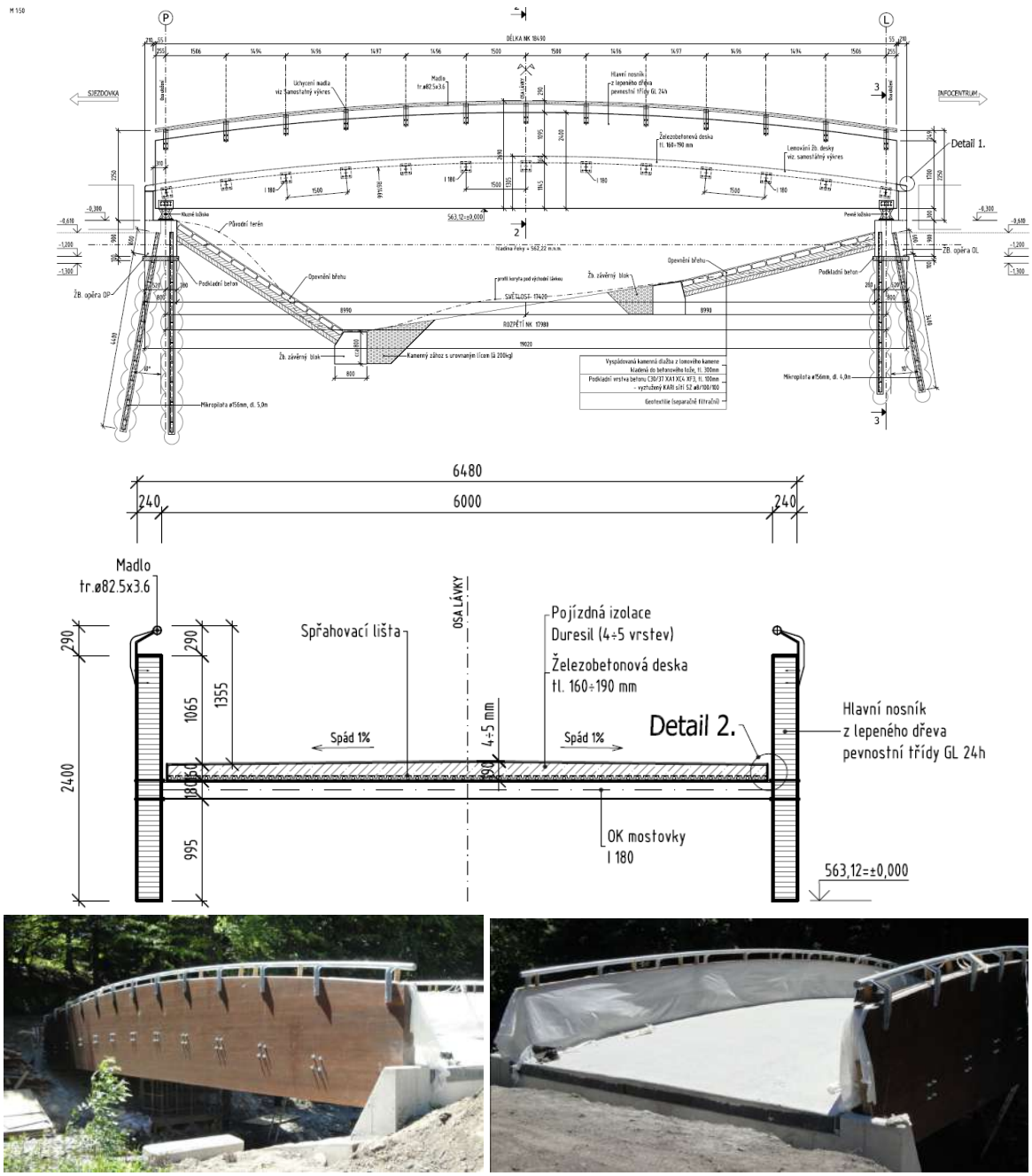


Fig. 23. Implementation of perforated strips in two footbridges in Kouty nad Desnou

These bridges have a span of approximately 18 m and a clear width of 6 m. The composite steel–concrete structure consists of I180 steel beams spaced at approximately 1.5 m and connected to a reinforced concrete slab with a variable thickness of 160–180 mm made of C30/37 XC4 XD3 XF4 concrete. The slab was constructed with a transverse slope.

Reconstruction of a Footbridge in Olomouc

Perforated strips have also been successfully used in the reconstruction of existing footbridges. This paper presents the reconstruction of a footbridge over the Mlýnský stream in Olomouc, completed in 2016. In this project, the original steel structure was retained and connected to a new reinforced concrete deck using perforated strips.



Fig. 24. Reconstruction of the footbridge in Olomouc

The footbridge has a span of approximately 33.7 m and a clear width of 3.5 m. The structure consists of two main steel girders made of I140 sections, which were connected by perforated strips to a reinforced concrete slab with a thickness of 170–200 mm made of C30/37 XC4 XD1 XF4 concrete.

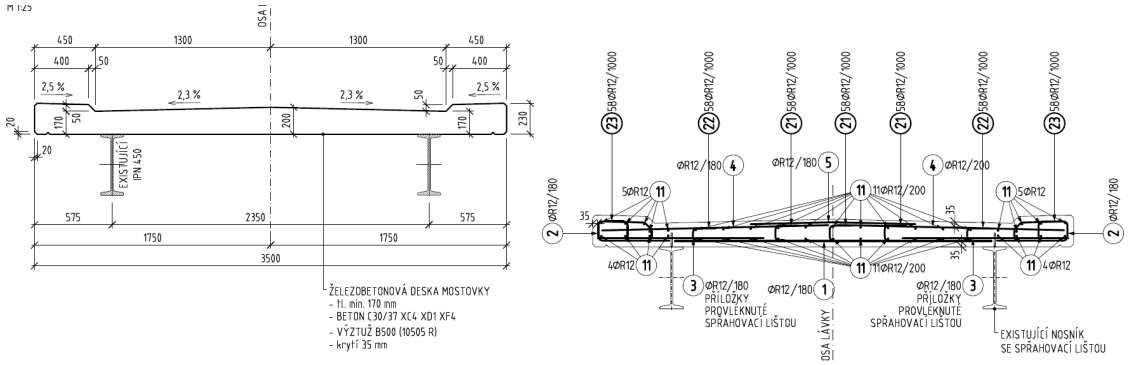


Fig. 25. Cross-section of the reconstructed footbridge in Olomouc

Connecting Corridors Between Biuldings

Another application of composite steel–concrete structures was in connecting corridors between buildings in the BEA Olomouc complex. These corridors connect individual buildings over spans of up to approximately 20 m. The corridors house commercial spaces requiring flexible open layouts. Therefore, minimizing structural vibrations under service conditions was a primary design objective.

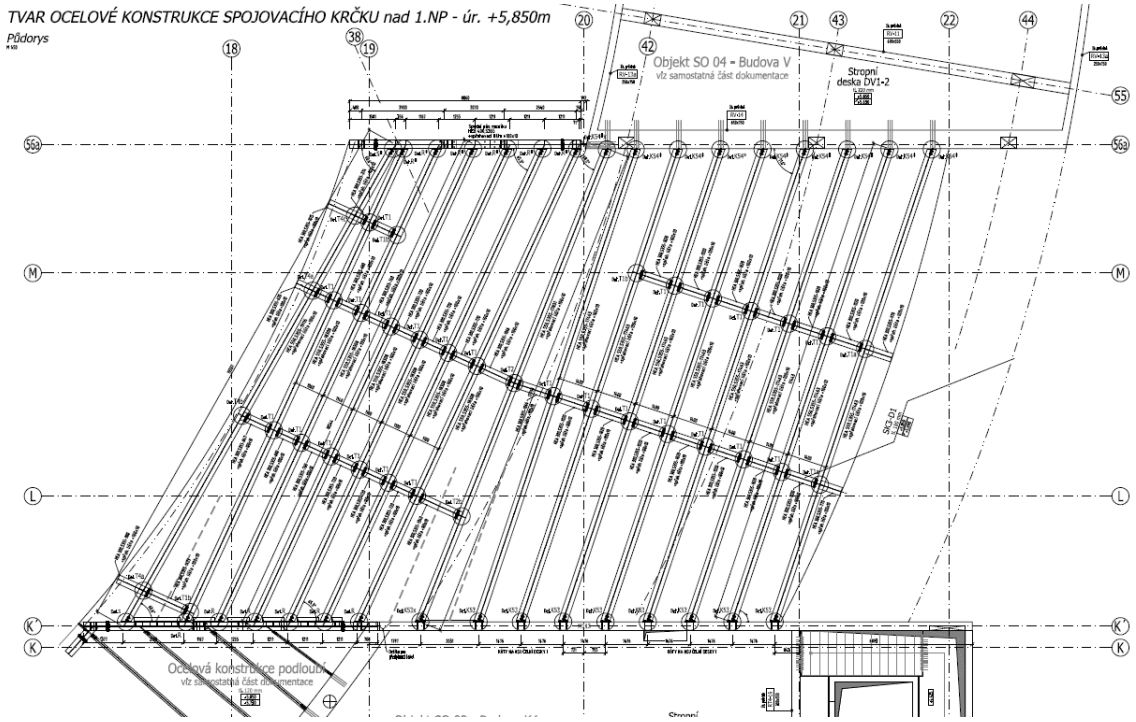


Fig. 26. The steel structure of the connecting corridor – plan view

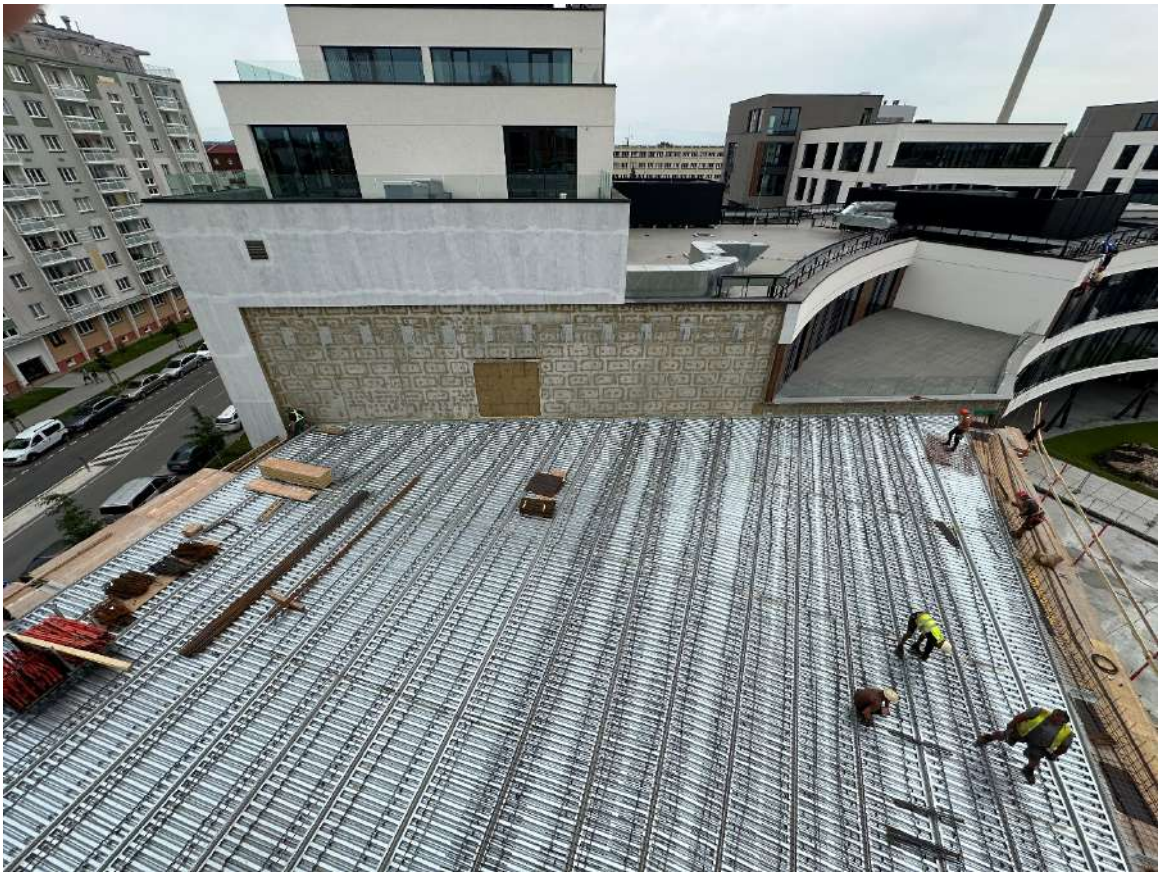


Fig. 27. Connecting corridor – general view

As noted above, these structures were designed with spans of up to 20 m. The steel beams used in this application were HEA 550 sections made of S355 steel, spaced at approximately 1.4 m. These beams were compositely connected to a reinforced concrete slab cast on profiled steel sheeting acting as permanent formwork. The total slab thickness was 160 mm; with a profiled sheet height of 40 mm, the concrete extended 80 mm above the crest of the sheeting.

A specific design challenge in this case was the limitation of structural vibrations, given the presence of offices and medical facilities within the building.



Fig. 28. Connecting corridor – general view on the construction



Fig. 29. Connecting corridor – construction photo documentation

This example clearly illustrates the structural solution and the specific challenges associated with combining profiled steel sheeting with perforated strips.



Fig. 30. View of the perforated strip and reinforcement

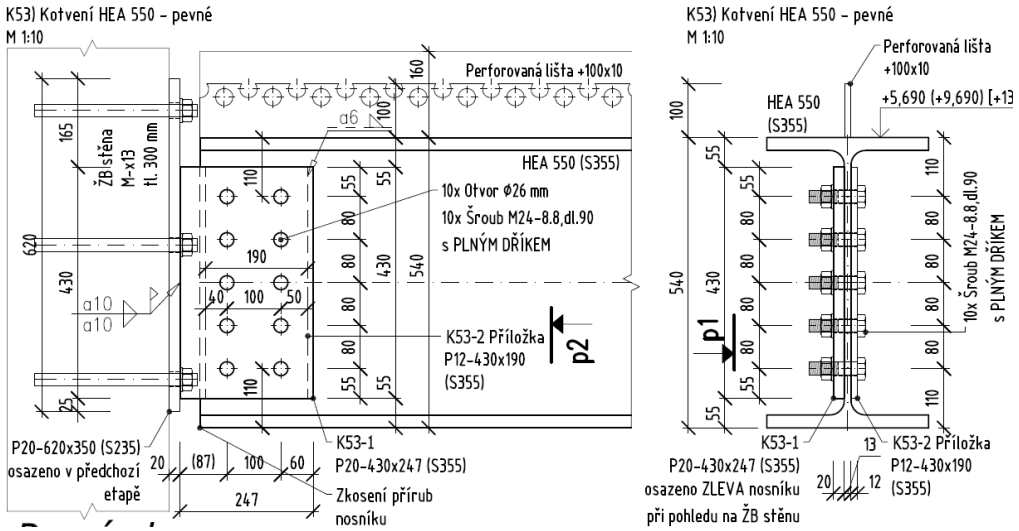


Fig. 31. Detail of the beam with perforated strip

7. Conclusion

It is evident that composite steel–concrete structures efficiently utilize the materials present in a given location, and their combination leads to an optimized structural solution. Composite action provides both economic and structural advantages, and thanks to EN 1994-1-1, the design of these structures is relatively straightforward.

However, the final cost of the structure is significantly influenced by the method of shear connection. In this regard, perforated strips represent a relatively economical yet highly efficient solution. Naturally, the use of perforated strips has certain limitations, as discussed in this paper, which primarily arise from the structural characteristics and constraints of the connector itself.

The presented applications were selected to demonstrate the broad range of possible uses of this type of structural system and shear connection, from new construction to structural rehabilitation, and from building structures to bridges, footbridges, and other civil engineering structures.

Finally, the authors would like to express their sincere gratitude to Prof. Jiří Studnička, DrSc., who introduced us to the design principles of these structures during our studies. This paper is based in part on knowledge derived from his publications.

REFERENCES

This section presents only selected literature related to the topic, which may serve as a useful basis for the design and assessment of this type of structure.

[1] Studnička,J.: Spřažené ocelobetonové konstrukce, ČVUT, 2009

[2] Studnička,J.: Ocelové a ocelobetonové konstrukce, ČVUT, 1991

[3] Studnička,J.-Pechar, J.: Prvky ocelových konstrukcí, ČKAIT Praha, 2000

[4] Studnička,J.: Navrhování spřahovaných ocelobetonových konstrukcí příručka k ČSN EN 1994-1-1, ČKAIT Praha, 2009

[5] Macháček, J.-Studnička, J.: Ocelobetonový nosník s perforovanou lištou, Stavební obzor č.2, 1998

[6] Studnička, J. - Macháček, J.: Spřahovací prvky pro ocelobetonové konstrukce, Stavební obzor č.7, 2001

[7] Chromiak,P.-Mareček,J.-Samec,J.-Studnička,J.: Výzkum chování spřahovací lišty, Beton TSK, č.4, 2007

[8] Studnička, J.-Křístek, V: Ocelobetonové nosníky s poddajným spřažením, Inženýrské stavby č.4, 1982

[9] EN 1994-1-1 ed. 2 Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (2011)
[10] EN 1994-2 Design of composite steel and concrete structures – Part 2: General rules and rules for bridges (2007)
[11] EN 1994-1-2 Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (2006)
[12] PŘIVŘELOVÁ, V. The use of pcb-w technology and concrete with added value in composite steel and concrete structures. In: 17. odborná konference doktorského studia Juniorstav 2015, Brno. 2015. ISBN 978-80-214-5091-2.
[13] BUBA, R. Mosty v technologii VFT®. Příručka pro projektanty a výrobu. München. 2010. 42 s.
[14] SEIDL, G. - HOYER, O. WFT - WIB Technology. Design, Construction and Applications. Berlin. 2012. 103 s.

GESCHICHTE DER BAUSTATIK. AUF DER SUCHE DEM GLEICHGEWICHT

THE HISTORY OF STRUCTURES. SEARCHING FOR EQUILIBRIUM

ИСТОРИЯ НА КОНСТРУКЦИИТЕ. ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАВНОВЕСИЕТО

Baláž Ivan[1], Dinev Dobromir[2], Partov Doncho[3],

[1] Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic
[2] University of Architecture, Civil Engineering and Architecture, Sofia
[3] University of Structural Engineering and Architecture, VSU "L. Karavelov", Sofia

Abstract: *An attempt has been made in the report to give a brief description of the History of Structures (Searching of equilibrium) during last 500 years.*

Key words: *masonry arch bridges, space structure, load-bearing capacity***,** *MFE*

Third considerably enlarged edition. Construction History Series ed. by Werner Lorenz u. Karl-Eugen Kurrer. Berlin: Ernst & Sohn (A Wiley Brand) 2026. XL, 1436 pages, 1013 ill., Print ISBN: 978-3-433-03476-7, also available in electronic version, € 139.
The author is Dr.-Ing. Karl-Eugen Kurrer, who was editor-in-chief of the journal "Stahlbau" (1996–2018) and since 2008 also editor-in-chief of the journal "Steel Construction". He has been dealing with the History of the Theory of Structures in various contexts for more than 45 years.
The first edition in German from 2002 had 539 pages and 403 illustrations. The first edition in English from 2008 had 848 pages and 667 illustrations. The second edition in German was published in 2016, had 1163 pages and 957 illustrations. The second edition in English was published in 2018, had 1212 pages and 1002 illustrations. ***The current third edition in German has 1436 pages and 1013 illustrations.***
The author's preface to the 3rd edition is preceded by a foreword of the editors of the Construction History Series written by Prof. Dr.-Ing. Werner Lorenz and Karl-Eugen Kurrer and a foreword written by Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Ekkehard Ramm from the University of Stuttgart.
This interesting, informative and very useful book consists of 15 chapters. Previous editions had 10 or 12 chapters. Chapter titles: 1. Tasks and aims of the History of the Theory of Structures (TS), 2. Lessons from history: twelve introductory lectures in TS, 3. The first fundamental engineering science disciplines: TS and Applied Mechanics, 4. From masonry arch to elastic arch, 5. The history of the earth pressure theory 6. The beginnings of TS, 7. The discipline formation period of the TS, 8. From iron to modern steel

[1] Baláž Ivan, emeritus Prof., Ing., PhD., Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic, ivan.balaz@stuba.sk
[2] Dinev Dobromir, PhD, Assoc. Professor, UACEG, 1 Smirnenski Blvd, e-mail: ddinev_fce@uacg.bg
[3] Partov Doncho, Professor, PhD, FEng, D-r h.c., USEA, VSU, L.Karavelov, e-mail: partov@vsu.bg

structures, 9. Members analysis conquers the third dimension: the spatial framework, 10. The influence of reinforced concrete structures on TS, 11. The consolidation period of TS, 12. The development and establishment of Computational Mechanics, 13. Thirteen scientific controversies in Mechanics and in TS, 14. Perspectives for a historical TS, 15. Brief biographies of 270 protagonists of TS on 194 pages. It contains photographs and biographies of the most important deceased personalities from all over the world who significantly contributed to the development of TS. For example, John H. Argyris (1913-2004) (GR/UK/GER), David P. Billington (1927-2018) (USA), Carlos A. Brebbia (1938-2018) (Argentinia/UK), Ivan G. Bubnov (1872-1919) (RUS), Alberto Castigliano (1847-1884) (I), Charles Augustin Coulomb (1736-1806) (F), Karl Culmann (1821-1881) (CH), Fazlur R. Khan (1929-1982) (India/USA), Kang Feng (1920-1993) (China), Klaus Knothe (1937-2021) (GER), Guohao Li (1913-2005) (China), Robert K. Livesley (1926-2020) (UK), Charles Massonnet (1914-1996) (B), Claude-Louis-Marie-Henri Navier (1785-1836) (F), Henry Petroski (1942-2023) (USA), Alexander Scordelis (1923-2007) (USA), Erwin Stein (1931-2019) (GER), Stepan P. Timoshenko ((1878-1972 (UA/USA), Vasily Z. Vlasov (1906-1958) (RUS) and Olgierd C. Zienkiewicz (1921-2009) (UK).

The book concludes with: a rich list of used literature (136 pages), a name and subject index.

The book is structured more thematically than chronologically. In any case, it is a very valuable collection of data and facts. The book contains a lot of useful information, stimulating analyses and reflections of the author himself. This exceptionally successful publication represents a closed work focused on the development of the theory of structures on the one hand and structural analysis on the other hand over the last 500 years. It is not only an engaging read but also a source of very valuable knowledge, even for active designers. The publication can be recommended to scientists, lecturers and students at universities as well as to engineers in practice.

SAFEGUARDING THE RICHNESS OF HISTORIC URBAN DISTRICTS THROUGH PRESERVATION OF EARLY 20TH-CENTURY FAMILY HOUSES IN THE CONTEXT OF A DEVELOPING CITY: CHALLENGES AND APPROACHES

Vessela Popova[1]

New Bulgarian University

Abstract: *This paper examines the preservation of early 20th-century family residences in Sofia within the broader framework of European cultural policy, focusing on the interpretations of the Secession style in Bulgarian architecture. It explores the historical and stylistic complexities of the period, characterized by the simultaneous influx of Neo-styles, Eclecticism, and Art Nouveau, which has historically complicated the valorization of this architectural layer. The study discusses the primary challenges to the conservation of these structures, including intense real estate pressure, technical obsolescence, and a lack of public recognition regarding their intrinsic value. In this text I evaluate the impact of contemporary intervention methods, ranging "facadism" (termed here as the "memory of the house") to integrated restoration, on the city's historic urban fabric. Drawing on the concept of "urban integrity," the paper argues for a shift away from pseudo-historical mimicry toward a contextually sensitive architectural practice.*

Key words: *Architectural Heritage, Bulgarian Secession, Art Nouveau, Urban Integrity, Historic Preservation, Sofia Architecture, Façadism.*

1. Introduction

Within the broader framework of European cultural policy, the discourse on cultural heritage, of which the architectural legacy is an integral component, occupies a position of significant importance. It is intended to foster a sense of shared European heritage, evolving into a "shared source of remembrance, understanding, identity, cohesion, and creativity." [1] As part of a European project focused on Art Nouveau as a pan-European architectural phenomenon, I had the opportunity to research its manifestations and examples within Bulgarian architecture. I view the preservation and promotion of this architectural layer as a vital task, not only in the context mentioned above but also as a means of safeguarding the richness of historic urban districts in Bulgarian cities, encompassing both the architecture and the urban culture of the early 20th century.

Building upon these reflections, this text aims to highlight a specific segment of Secession heritage in Bulgaria: family houses. The challenges surrounding their preservation are multifaceted, the most critical being the public perception of their value. If they are not recognized as valuable, they stand little chance of survival. Simultaneously,

[1] Vessela Popova, Assistant Professor, PhD, 1618 Sofia, ul. Montevideo 21, vspopova@nbu.bg

the search for adequate design solutions tailored to the specifics of each individual case remains a significant challenge for the architectural profession.

2. Historical Stylistic Complexities

The presence of a Secessionist layer in Bulgarian architecture seems to have been questioned for some time by architectural historians. This is due primarily to the specific developmental process of Bulgarian architecture after 1878, which is defined by the rapid and simultaneous influx of European neo-styles, Romantic influences, Eclecticism, and, almost synchronously, the then-contemporary Art Nouveau movement. This created what was perceived as an eclectic vision of the architecture during this period, complicating its stylistic definition. In his text within the book *Bulgaria 1900: European Influences in Bulgarian Urban Planning, Architecture, Parks, and Gardens 1878-1918* [2], Hr. Ganchev provides a comprehensive overview with numerous specific examples, successfully distinguishing the manifestations of individual neo-styles, Eclecticism, and Romanticism. At the same time, he notes their lack of homogeneity, the absence of canons, varied interpretations, and ultimately the difficulty of stylistic categorization, which led to the "overall eclectic character of the architecture of that time" [2] in Bulgaria.

I find Hr. Ganchev's description of the National Theater building (1908), included under the heading "Neo-Baroque," to be exceptionally illustrative: "Typical of Neo-Baroque architecture, the building also reflects other formal characteristics(...). The main entrance is emphasized by a portico designed in the spirit of Classicism with Ionic columns and a pediment. (...) Such emphasis on the main axis of a Baroque composition with a Classical portico is a common technique in this stylistic direction. The Ionic pilasters (...) under the main cornice complement the building's Classicist impact. (...) The structure and plasticity of the roofs are resolved with the strong dynamism of the Baroque. The general backdrop against which the characteristic tripartite composition is exhibited is formed by Baroque facades heavily influenced by the Renaissance. (...) The interior of the building, organized into a unified composition and built with the soft, plastic lines of Baroque space, represents a synthetic work of architecture and decorative-monumental arts. However, its overall eclectic tone is subordinated to a cohesive artistic idea. This is clearly detectable in the original projects and is distinctly committed to the aesthetics of the Secession. (...) The color scheme of the interior and the rich gilding are in the spirit of the Baroque, yet they are not foreign to the Secession." [2] This is the architectural environment in which the Secession existed in Bulgaria.

We could say that it appeared in Bulgaria with a time lag of ten years (Hôtel Tassel, Brussels 1893-1894) or five years (Secession Building, Vienna 1897-1898), considering the house of the merchant Laos Funk (Fig. 10a) built in 1903, which the authors themselves (architects G. Fingov and K. Marichkov) defined as the first true Secessionist building in Bulgaria.

Both Hr. Ganchev and P. Yokimov distinguish two main directions of the Secession in Bulgarian architecture: one defined as the "merging of the National-Romantic idea with the Secession," [3] and the other as a Secession that adopts the spatial and aesthetic impact of the ideas and forms of the Modern movement coming primarily from Vienna. To this basic classification, one could add, as a somewhat distinct group, later examples where decorative elements decrease, and verticalism and sculptural ornamentation appear. For some of these, it can be said that their decoration brings them closer to Art Deco.

3. Difficulties in Preserving the Secessionist Layer

If we attempt to encompass and describe the buildings of the Secessionist historical layer in Sofia, those most recognizable to the wider public are undoubtedly the buildings of the National-Romantic direction. Public buildings with Secessionist styling or those with a

significant volumetric presence in urban spaces are relatively few: some banks, hotels, and residential or multi-story tenement buildings with varying plasticity and sometimes standardized decorative elements. During the first 15 years of the 20th century, at least 11 school buildings were also built in Sofia, which are categorized as belonging to the Art Nouveau movement. Unfortunately, however, their Secessionist expression has been partially or almost entirely lost due to rapid additions of floors and expansions just twenty years after their construction. The only buildings among these that have preserved their volume and vision are the Maria Louisa Vocational School (1907, architects G. Fingov and K. Marichkov, 30 Alabin St.) (Fig. 1) and the Todor Minkov School (architects G. Fingov, D. Nichev, N. Yurukov, 27 Knyaz Boris I St.) (Fig. 2).



Fig. 1. Former Maria Louisa Vocational School



Fig. 2. Todor Minkov School

The reason for the relatively small number of Secessionist public buildings is the concept of "representativeness," which continued to be associated in the public consciousness with historical styles (neo-styles). For banks, other administrative buildings, or hotels, a version of Neo-Baroque with various eclectic additions was most often chosen, sometimes combined with Secessionist elements. Conversely, for the intimate architecture of the single-family house or the relatively new typology of the school building, the Modern style was preferred. There, the new understanding of functional comfort, free space and restrained decoration is applied. In some of the houses influenced by the Nordic architecture, there are no decorative elements at all and the aesthetic impact is achieved only through the colours and texture of the materials (Fig. 10d). It can be said that the most numerous and completely aesthetically meaningful examples of Art Nouveau buildings in Sofia are family houses, primarily in the then-peripheral neighbourhoods between Vasil Levski Blvd. and Evlogi i Hristo Georgievi Blvd., but also in more central districts.

I have described this picture with all its nuances to demonstrate the reasons for the complexities in preserving this specific layer of Bulgarian architecture from the early decades of the twentieth century. It was already mentioned that the first erasures of some buildings occurred shortly after their construction, when their styling was not perceived as particularly valuable and the rational necessity for expansion and additional floors took precedence. The 1944 bombings of Sofia, followed by a lack of both resources and interest in restoring buildings to their original state, deprived the city of many buildings or their "crowns" – the building finishes with their mansard roofs and diverse domes and towers. Secessionist buildings stripped of their beautiful finials and domes include Dr. Mollov's house (1909, arch. N. Lazarov) (Fig. 3a, 3b) and the Grand Hotel “Legue Palace” (1911, architects G. Fingov, D. Nichev, and N. Yurukov) (Fig. 4a, 4b).



a) b)

Fig. 3. Dr. Mollov's house pictured in a) in present day and in b) during 1909 [7]



a) b)

Fig. 4. The Grand Hotel "Legue Palace" depicted in
a) as it is in present day and in b) as it was ca. 1930 [6]

It also must be admitted that part of the problem regarding the preservation of these buildings was established as early as the 1930s and 40s and continued through the following decades with the construction of five-, six-, or seven-story apartment buildings. These changed the overall scale of the city and necessitated replacing two-story houses set freely in a courtyard with buildings in closed construction along the street regulation line. Thus, two-story houses often find themselves adjacent to high blind walls (kalkans) covering one of their facades.

Sofia has naturally undergone significant expansion and change over 100 years, but the pressure on the historical buildings has greatly increased over the last 30 years. Specifically, the development of the real estate market and investment interests regarding central locations – with high density provided by the city's urban plan – place secession houses in a risky position. To this is added the deterioration of a significant portion of these buildings and that they do not meet modern technical standards or satisfy today's understanding of comfort. Thus, their preservation often proves financially inefficient, outweighing the historical and architectural value of the building.

4. The "Memory of the House" Approach

A solution variant frequently proposed by investors and designers is an approach I would call "the memory of the house." The earliest such example in Sofia is the facade of N. Genadiev's family house (corner of Shipka and Krakra streets) integrated into the glass prismatic volume of the Crystal Palace Hotel. (Fig. 5) In this case, the facade is not Secessionist, but it serves as an example of an approach toward a two-story historical building.



Fig. 5. The facade of N. Genadiev's family house (corner of Shipka and Krakra streets) incorporated in The Crystal Palace Hotel

The same technique was used for the house of N. Mushanov (1925, arch. St. Belkovski, 47 Moskovska St.), where the facade was rebuilt and attached to the glass facade of a new 6-story building, but this time clad in stone. (Fig. 6) Here, the change of material further distances the facade from its original appearance.



Fig. 6. The facade of the house of N. Mushanov integrated into a 6-story building

An example that received wide coverage and led to a public discussion on the preservation of low-rise historical buildings is the Mitovi family house (1907, arch. G. Todorov), demolished in 2017, and the subsequent reconstruction of two of its facades onto the glass volume of the Oscar Business Center on V. Levski Blvd. (Fig. 7) The then-Minister of Culture, B. Banov, noted that the owner had made an effort and recognized the

key function (of the facade) with regard to the central urban area. Nevertheless, this example best illustrates the failure of this approach, which mechanically places the historical facade and the glass "post-post-modern" architecture side by side, with the problem of the different scale of old and new being of paramount importance.



Fig. 7. The two rebuild Mitovi family house facades integrated into the glass volume of the Oscar Business Center on V. Levski Blvd.

In the building at 10 Oborishte St., a "memory" of the Gorgas house (1908, architects G. Fingov and K. Marichkov) is integrated (Fig. 8). Here, the new building is not glass, and there is not necessarily a striving for an exact reproduction of the old building's facades. This "memory" is practically unnoticeable to someone unaware that such a house existed there, but it also feels less like a theatrical prop.



Fig. 8. The Gorgas house facade integrated into a residential building at 10 Oborishte St.

The last example I will cite is the British Council building at 7 Krakra St., which incorporates the Palaveev family house (1922, architects Y. Yordanov and S. Ovcharov). In this case, the building was not destroyed but was so integrated into expansions and floor additions that the original characteristic cubic volume with a pyramidal roof was erased. (Fig. 9a, 9b)



a) b)

Fig. 9. Depicted in a) is the Palaveev family house, ca. 1922 [8] and in b) is a picture of the British Council building, which incorporates the Palaveev family house

5. Examples

5.1. Preserved houses

Despite existing trends unfavourable to the preservation of the historical buildings from this period, many of them are still preserved on the streets of Sofia's historical centre and former peripheral neighbourhoods. Here follow some examples of preserved family houses specifically from the Secessionist layer of the city: the house of merchant Laos Funk (1903, arch. Georgi Fingov and arch. Kiril Marichkov, 59 Knyaz Al. Dondukov Blvd.) (Fig. 10a); the house immediately adjacent by an unknown author (1912, 61 Knyaz Al. Dondukov Blvd.) (Fig. 10b); the Hadzhiangelov family house, also by an unknown author (circa 1910, 1 Vasil Aprilov St.) (Fig. 10c); Smedovski family house (1908, arch. Georgi Fingov and arch. K. Marichkov, 44 Shipka Str.) (Fig. 10d); and a house by an unknown author (1918, 10 Dobrudzha St.) (Fig. 10e). The examples provided are varied, including some in better condition than others, some in more favourable environments, others attached to or near a blind wall, or preserved as if by a miracle in a row of five-story apartment blocks. Various factors contribute to their preservation, but in practice, an investor is needed who possesses the financial means for maintenance and restoration while simultaneously understanding and embracing the value of this architecture.



a) b)



c) d) e)

Fig. 10. Examples of preserved family houses of the Secessionist layer of Sofia: a) the house of merchant Laos Funk; b) the house immediately adjacent (by an unknown author); c) the Hadzhiangelov family house; d) Smedovski family house; e) a house by an unknown author.

5.2. Reconstruction

A positive example is the reconstruction of Andrei Arsov's family house (1910, arch. Karl Heinrich, 6 Malyovitsa St.) (Fig. 11) where, in addition to the restoration of preserved facade elements, the two domes were reconstructed based on old photographs and drawings.



Fig. 11. The reconstruction of Andrei Arsov's family house, as a positive example

5.3. Rebuilding

An example of another approach is the rebuilding of the demolished 2015 house of General Dimitar Pernikliyski (1920, arch. Stefan Dzhakov, 7 Ivan Vazov St.) (Fig. 12). The street-facing facade was restored based on archival data; the two side facades were also restored in historical style but with walled-up window openings, while the courtyard facade was treated with modern materials and forms, visible from the street as openwork metal roof panels with a decorative function. The primary positive aspect of this example is the preservation of the original building's volume, which maintains the structure and silhouette of the street development. The rebuilding of a historical facade can be debated, but today we are inclined to yield to sentimental moods, and returning the "beautiful face"

of a building (provided there is data) satisfies the public understanding of historicity in this part of the city. At the same time, the modern intervention is made visible through the metal grates and the courtyard facade.



Fig. 12. The rebuilt house of house of General Dimitar Pernikliyski, given as an example of an alternative towards building preservation

6. Conclusion

Despite the shortcomings of the previously cited examples of the "memory of a house" approach, we must realize that the city is a living, developing organism. Accordingly, the possibilities for preserving these buildings must be considered within the broad context of the urban structure. In an article in Architecture magazine, Grigor Doychinov examines the theme of "urban integrity," including "territorial integrity" and "planning ethics." The first refers to the wholeness, inviolability, and consistency of the physical environment, while the second addresses the social components, such as tradition, life practices, cultural transformations, etc. In this sense, the understanding of historical urban areas expands beyond the city's morphology. Intangible factors, like the anthropogenic elements layered over years, are also included. Doychinov cites the city of Graz as an example. Its preservation system is based on "respect for the inherited spatial structure and the vital functions that fill it, but also the creation of a contextual contemporary architecture related to the environment without resorting to a repertoire of historical forms (...) a priori excluding hypothetical reconstruction, historicizing interpretation, and pseudo-historical mimicry." [3]

This broad understanding of values within the urban fabric and the desire to pass these onto future generations are necessary for Sofia to preserve these beautiful but modest buildings as testaments to the time of their construction. At the same time, a search for the specific appropriate solution for each individual building and the creation of "creative architecture" while adhering to the aforementioned principles is required. A quote from Sandro Scarrocchia on this topic resonates with me quite strongly, loosely translated as: "There is no genuine practice of preserving buildings of great cultural significance without 'serious architecture', meaning a culture of architectural excellence" [5].

In this text, I do not deal with the legal and institutional framework of preservation activities, but for completeness, I want to mention that to achieve a good result, mutual understanding between the investor, the designer, and the institution as partners achieving a single goal is mandatory. These buildings and the finding of adequate approaches when reconstruction is needed are significant for the preservation of values and the continuity of traditions for future generations.

REFERENCES

[1] *Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society*, Article 3a, 2005.
[2] Ganchev, H., Doichinov, G., Stoyanova, I., "*Bulgaria 1900. European Influences in Bulgarian Urban Planning, Architecture, Parks and Gardens 1878 - 1918*", Arch & Art Architectural Publishing, Sofia 2002, pp. 86, pp. 83-84. (Ганчев, Хр., Дойчинов, Гр., Стоянова, И., „*България 1900. Европейски влияния в българското градоустройство, архитектура, паркове и градини 1878 - 1918*“, Архитектурно издателство „Арх & Арт“, София 2002, стр. 86, стр. 83-84.)
[3] Yokimov, P., "The Secession and Bulgarian Architecture", Arch & Art Architectural Publishing, Sofia 2005, p. 54. (Йокимов, П., „*Сецесионът и българската архитектура*“, Архитектурно издателство „Арх & Арт“, София 2005, стр. 54.)
[4] Doichinov, G., "*The Integrity of the City*", Architecture Magazine, 2020/5-6, Sofia, pp. 55-57. (Дойчинов, Гр., „Интегритетът на града“, сп. Архитектура, 2020/5-6, София, стр. 55-57.)
[5] Scarrochia, S´, Schriften zur Denkmalpflege, Wien Koeln Weimar, 2012, pp. 848
[6] http://www.stara-sofia.com/lege.html
[7] http://www.stara-sofia.com/plons.html
[8] http://www.stara-sofia.com/oborishte.html

CAN NATURAL HERITAGE SERVE AS THE "GLUE" OF AN METROPOLS INSTEAD OF CULTURAL HERITAGE? THE NIŠ–SOFIA AXIS CASE

Natasha Živaljević-Luxor[1],

Institution/Organization/Company, Times New Roman, 12 pt, Italic, Left Alignment

Abstract

This paper investigates the potential for the formation of a cross-border metropolitan area along the Niš–Sofia axis (ancient Naissus–Serdica), historically structured by the Roman route Via Militaris. Starting from the premise that urban systems evolve from primary nuclei that later become identity-defining elements of built heritage, the study initially examines development models grounded in such heritage, including archaeological sites. However, these approaches prove limited due to the degradation of heritage assets, the impact of large-scale infrastructure interventions, and long-term demographic decline along the corridor.

Subsequently, bridges—considered as elements of historical infrastructure—are evaluated, but they are found to be predominantly functional and insufficiently distinctive to serve as urban nuclei.

The research therefore shifts toward natural heritage as a potential "glue" for a future metropolitan area. The Nišava River, the Sićevo Gorge, and Stara Planina are analyzed as continuous landscape systems of high ecological and spatial value. Using a qualitative, interpretative approach, the paper explores whether these natural assets can provide a structural framework for a redefined metropolitan model capable of strengthening regional connectivity and improving socio-economic conditions and quality of life in the cross-border area.

1. Introduction

The concept of metropolitan formation has traditionally emphasized the role of cultural heritage, urban cores, and historic infrastructure as primary drivers of regional cohesion and growth. Urban systems often evolve from **primary nuclei**, which function as catalysts for spatial, economic, and social interactions. Along the Niš–Sofia axis, historically marked by the Roman route Via Militaris connecting Naissus and Serdica, cultural and built heritage sites once played a central role in shaping regional settlement patterns. Archaeological remnants, religious structures, and historical bridges contributed not only to the identity of individual settlements but also to the connectivity of the corridor as a whole.

However, in recent decades, large-scale infrastructure developments—the construction of Corridor X—have altered the physical and socio-economic landscape (Živaljević-Luxor and Kurtović-Folić, 2018). The degradation or loss of key heritage sites, combined with long-term demographic decline in many settlements along the corridor, has

[1] Natasha Živaljević-Luxor, PhD/Director, The National heritage foundation Serbia, Belgrade, Serbia nluxor@gmail.com

diminished the potential of cultural heritage to act as a **structural framework** for future metropolitan growth (Živaljević-Luxor, 2019). Alternative spatial and structural model for metropolitan development were evaluated in response – the role of bridges on the Nišava River as elements that may embody spatial continuity and connectivity. Nevertheless, their limited number and predominantly utilitarian design constrain their potential to act as representative urban nuclei.

This raises a critical question, if natural heritage can serve as the organizing principle of a cross-border metropolitan area when cultural heritage fails to provide sufficient structural cohesion. In this context, natural heritage emerges as a potential driver of regional integration (Živaljević-Luxor and Kurtović-Folić, 2015/2). Features such as the Nišava River, the Sićevo Gorge, and the Stara Planina mountain constitute continuous landscape systems that offer high ecological, scenic, and spatial value. Unlike the fragmented and partly lost built heritage, these natural systems maintain inherent connectivity, continuity, and recognizability, qualities that are increasingly recognized in urban studies as essential for sustainable metropolitan development.

By analyzing spatial continuity, landscape quality, and potential linkages between settlements, the study explores how these natural assets might contribute to reinforcing regional cohesion, supporting socio-economic development, and enhancing quality of life. The research aims to complement existing studies on metropolitan formation by proposing **natural systems as alternative or supplementary structuring frameworks** when cultural heritage is degraded or insufficiently preserved. By situating the analysis within the historical and contemporary context of the Niš–Sofia corridor, this paper contributes to the broader discourse on sustainable regional development, heritage-led planning, and innovative approaches to metropolitan formation in post-industrial and demographically challenged landscapes.

1.2. Literature review and theoretical framework

The concept of metropolitan formation has evolved substantially over the past decades, moving beyond traditional urban hierarchies to incorporate multidimensional approaches that consider functional, spatial, and ecological connectivity. Early theories, rooted in central place and urban systems models (Christaller, 1933; Berry, 1964), emphasized the primacy of urban nuclei and transport nodes as catalysts for regional development. These frameworks highlight the role of cultural and built heritage in structuring settlements and fostering social, economic, and symbolic linkages across territories.

Authors such as Batty (2013) and Pumain (2006) argue that urban systems are adaptive and can reorganize around alternative structuring elements, including natural assets and ecological corridors, which provide continuity and resilience in the absence of intact historic cores. In line with this perspective, the concept of a metropolitan "genome" has emerged as a useful analytical tool. It posits that metropolitan areas are not simply aggregates of settlements but systems composed of interconnected functional and structural units, whose interactions determine the dynamics of growth, cohesion, and socio-economic performance (Harrison & Hoyler, 2015). Within this framework, natural and built heritage elements are interpreted as potential genomic markers: nodes, connectors, or anchors that shape the spatial and functional architecture of emerging metropolitan regions.

The Niš–Sofia corridor, historically anchored by the Via Militaris, offers a unique context to test these ideas. While the corridor's cultural heritage has been compromised by infrastructure interventions such as Corridor X, natural systems remain largely continuous. Rivers, gorges, and mountainous landscapes inherently structure the region, potentially providing connectivity, identity, and functional linkages analogous to those traditionally provided by historic settlements and cultural landmarks.

This paper, therefore, situates its inquiry within three complementary strands of literature:

1. Heritage-led urban development, which emphasizes the capacity of historic assets to structure metropolitan form.

2. Metropolitan theory and urban genomics, highlighting the systemic interactions of spatial nodes, corridors, and functional units.

3. Landscape urbanism and ecological infrastructure, which foregrounds natural systems as both aesthetic and functional organizers of urban and regional spaces.

By integrating these perspectives, the study frames natural heritage not merely as an aesthetic or recreational resource but as a potentially operative component in metropolitan structuring, capable of compensating for lost or degraded cultural assets. The theoretical framework thus enables a qualitative, interpretative analysis of the corridor, examining how spatial continuity, ecological value, and landscape prominence can translate into functional metropolitan cohesion.

2. Methodology: comparative evaluation of spatial structuring elements

The methodological framework of this study is based on a comparative evaluation of different types of spatial elements along the Niš–Sofia axis, with the aim of identifying their potential to function as structuring components of a cross-border metropolitan system. The approach distinguishes between two fundamentally different spatial logics: **discrete infrastructural elements** (bridges) and **continuous natural systems** (river, gorge, and mountain landscapes). Given their differing spatial characteristics, each category is evaluated using a method appropriate to its nature. Primary and secondary sources are used in combination:

- **Geospatial data** from GIS databases and topographic maps to identify landscape continuity and connectivity patterns.
- **Heritage inventories** and archaeological documentation to assess the condition and significance of cultural assets.
- **Literature review** on metropolitan theory, urban genomics, and landscape urbanism to contextualize findings within contemporary academic discourse.

Mapping and diagrammatic representation are used to visualize potential metropolitan frameworks, highlighting how natural heritage can compensate for fragmented cultural assets and support cross-border integration.

2.1. Evaluation of Built Infrastructure: Bridges as Discrete Elements

Bridges along the Nišava corridor are analyzed as potential nodal points within the spatial network. Their evaluation is based on a **multicriteria spatial assessment framework**, commonly applied in territorial planning and decision-support systems. This approach enables the systematic comparison of elements with different spatial and functional properties.

The evaluation is structured around the following criteria:

- **Spatial centrality**, referring to the position of each bridge within the corridor and its relation to existing settlements and transport networks;
- **Accessibility**, defined by the degree to which the bridge connects different parts of the territory and supports movement across the river;
- **Morphological capacity**, understood as the potential of the bridge and its immediate surroundings to generate or structure urban space;
- **Functional capacity**, reflecting the intensity and diversity of current and potential uses;
- **Symbolic and perceptual value**, including visibility, recognizability, and cultural significance.

This framework allows for the identification of bridges with higher or lower potential to act as urban nuclei. However, given their limited number and predominantly utilitarian design, their overall capacity to generate a broader metropolitan structure is critically assessed.

2.2. Evaluation of Natural Systems: Continuous Landscape Structures

In contrast to discrete infrastructural elements, natural heritage along the corridor—primarily the Nišava River, the Sićevo Gorge, and the Stara Planina mountain—is approached as a **continuous spatial system**. Its evaluation is based on a combination of **ecosystem services assessment, ecological integrity analysis, and connectivity evaluation**, reflecting contemporary approaches in environmental planning and landscape research.

The ecosystem services framework is used to assess the capacity of natural systems to support human activities and spatial development. Particular emphasis is placed on:

- **Regulating and structural functions**, such as the role of the river corridor in organizing movement and settlement patterns;
- **Cultural ecosystem services**, including landscape identity, aesthetic value, and tourism potential;
- **Accessibility and usability**, referring to the extent to which these landscapes can support recreational and economic activities.

This is complemented by an ecological integrity assessment, which evaluates the stability and resilience of natural systems based on continuity and spatial extent, indicating the presence of uninterrupted landscape structures, environmental condition, including the degree of preservation and resistance to degradation, and resilience, understood as the capacity of the system to maintain its functions over time. Finally, **connectivity analysis** is applied to assess the role of these natural elements as spatial corridors. This includes:

- **Continuity of movement**, both ecological and human;
- **Permeability**, or the ability of the landscape to support flows across the territory;
- **Fragmentation**, particularly in relation to infrastructure such as Corridor X.

2.3. Comparative Framework and Research Implications

By applying distinct but complementary methods, the research establishes a comparative framework between nodal and continuous spatial systems. While bridges are evaluated as potential localized generators of development, natural heritage is examined as a territorial structure capable of organizing spatial relationships at a larger scale.

This methodological distinction enables a shift from traditional, point-based models of urban development toward a system-oriented understanding of spatial organization, in which continuity, resilience, and multi-functionality play a central role. The results of this evaluation form the basis for assessing the feasibility of natural heritage as a structuring element of a cross-border metropolitan model.

This methodology enables a systematic assessment of alternative structuring elements for metropolitan formation, providing insights into how natural systems can be leveraged as operational frameworks for regional development, particularly in corridors where cultural heritage is degraded or insufficiently preserved. By combining historical, ecological, and spatial perspectives, the study advances the discussion on innovative approaches to cross-border metropolitan planning and offers a basis for future empirical and policy-oriented investigations.

3. CASE STUDY – Niš–Sofia Corridor

Archaeological sites, that is, heritage sites, were not evaluated, as they have already been earthed (Živaljević-Luxor and Kurtović-Folić, 2018;Živaljević-Luxor, 2019), making

them infeasible as immediate structuring elements. Any reconstruction would require substantial investment relative to their spatial and functional contribution.

The evaluation of brges builds upon previously published research on bridges (Živaljević-Luxor, Kurtović-Folić and Pasternak, 2020). The evaluation of natural heritage follows.

3.1 Evaluation Framework

Table 1. : Criteria and Indicators for Spatial Evaluation

1. Bridges (Discrete Elements – MCA Framework)

Criterion	Indicator	Description	Score (1–5)
Spatial centrality	Network position	Location within corridor and relation to settlements	1 = peripheral / 5 = central
Accessibility	Connectivity level	Degree of crossing, road/pedestrian integration	1 = low / 5 = high
Morphological capacity	Spatial structuring potential	Ability to generate public space / urban form	1 = none / 5 = strong
Functional capacity	Use intensity	Diversity and frequency of use	1 = minimal / 5 = high
Symbolic value	Visibility & identity	Recognizability, landmark potential	1 = negligible / 5 = strong

Total score per bridge is max 25. This strategy allows Comparative ranking and Identification of "potential nodes", if any.

2. Natural Heritage (Continuous Systems – ES + Ecological Framework)

Criterion	Indicator	Description	Score (1–5)
Continuity	Spatial extent	Degree of uninterrupted landscape	1 = fragmented / 5 = continuous
Connectivity	Corridor function	Ability to connect territories and flows	1 = weak / 5 = strong
Ecological integrity	Environmental condition	Preservation and resilience	1 = degraded / 5 = intact
Cultural value	Identity & perception	Symbolic, aesthetic, tourism value	1 = low / 5 = high
Development potential	Socio-economic use	Capacity for recreation, tourism, economy	1 = limited / 5 = high

4. Results: evaluation of structuring elements along the niš–sofia corridor

Following the methodology established in 14 bridges along the Niš–Sofia corridor were evaluated as potential nodal elements within a metropolitan system. The assessment considered spatial centrality, accessibility, morphological and functional capacity, and symbolic value. The analysis confirms that while the bridges facilitate connectivity across the Nišava River, their limited number, predominantly utilitarian design, and marginal spatial centrality significantly reduce their capacity to act as generators of metropolitan-scale development. Consequently, bridges cannot serve as effective urban nuclei for the formation of a cross-border metropolitan area along this corridor.

Natural heritage elements along the corridor—specifically the Nišava River, the Sićevo Gorge, and the Stara Planina mountain—were evaluated as continuous landscape systems with high ecological, cultural, and spatial value. Using an integrated framework that combines ecosystem services, ecological integrity, and connectivity, the study finds that these natural systems possess multiple qualities favorable for structuring metropolitan development:

- **Continuity:** These landscapes form unbroken spatial corridors capable of guiding settlement and activity patterns.
- **Connectivity:** They provide both ecological and human corridors, facilitating movement and linking existing and potential urban nodes.
- **Multifunctionality:** The natural systems support recreational, cultural, and tourism uses while maintaining ecological resilience.
- **Visual and symbolic value:** The landscapes act as recognizable landmarks, reinforcing regional identity along the corridor.

Table 2. Outcome

Element Type	Outcome / Role as Structuring Element
Bridges (14)	Low potential: discrete, utilitarian, few in number
Archaeological sites	Not evaluable: largely destroyed, high reconstruction cost
Natural heritage	High potential: continuous, resilient, multifunctional, forms natural corridor

Overall, natural heritage emerges as the most viable structural framework for a redefined metropolitan axis. Unlike bridges or eroded archaeological sites, these continuous systems can integrate environmental, social, and economic functions while providing a resilient and visible spatial backbone for cross-border development.

Table 3. Comparative Summary

Element Type	Outcome as Structuring Element
Bridges (14)	Low potential; discrete, utilitarian, limited spatial influence
Archaeological sites	Not evaluable; largely destroyed, high reconstruction cost
Natural heritage	High potential; continuous, resilient, multifunctional, capable of guiding development



Fig. 1. Natural Heritage Corridor: Nish-Sofia Axis

5. Discussion and conclusions discussion: natural heritage as a structuring framework

The evaluation of spatial elements along the Niš–Sofia corridor demonstrates a contrast between discrete infrastructural nodes, degraded or earthed archaeological sites, and continuous natural systems. Once again, bridges, though essential for local connectivity, are limited in number and predominantly utilitarian, providing insufficient spatial and functional capacity to act as metropolitan nuclei, while archaeological sites, largely destroyed for this generation or eroded, cannot function as active generators of urban structure without considerable investment in reconstruction and presentation, which maay outweigh their potential spatial influence.

In contrast, natural heritage elements—specifically the Nišava River, the Sićevo Gorge, and the Stara Planina mountain—emerge as highly effective structuring components. Their continuity, ecological integrity, and multifunctionality allow them to serve as a resilient backbone for metropolitan development, offering both physical connectivity and a recognizable landscape identity. Unlike bridges, which operate as isolated points, and archaeological sites, which are fragmented and costly to restore, these natural systems integrate multiple spatial, social, and environmental functions, forming a continuous corridor that can organize settlement, mobility, and activity patterns.

From a planning perspective, these findings suggest that landscape-based frameworks can complement, or in some cases replace, traditional heritage-focused approaches when historical built assets are degraded. The natural corridor provides a spatial logic capable of guiding development, enhancing regional connectivity, and supporting socio-economic activities such as eco-tourism and recreation, all while maintaining ecological resilience. This aligns with contemporary research advocating for the use of landscape systems as structuring elements in cross-border urban planning, particularly in regions with fragmented historical heritage (e.g., Antrop, 2004; Naveh, 2000).

Furthermore, the comparative analysis highlights a key implication for future interventions: investments in natural heritage enhancement may yield higher spatial and social returns than reconstruction of lost archaeological sites or reliance on bridges as isolated nodes. Archaeological restoration can contribute to cultural memory and tourism, but cannot effortlessly inherently provide the connectivity, continuity, or multifunctionality. Natural systems, by contrast, inherently support these functions while remaining cost-effective and resilient.

In sum, the Niš–Sofia corridor illustrates the potential of continuous natural systems as a primary organizational principle for metropolitan development in cross-border contexts. By integrating ecological, cultural, and spatial values, this approach offers a robust framework for guiding urban expansion, strengthening regional identity, and enhancing quality of life, even in landscapes where historical built heritage is limited or degraded.

Practical benefit:

- Policy and governance should recognize natural heritage as an operative infrastructure, integrating it into regional planning and cross-border cooperation strategies.
- Metropolitan strategies should shift from heritage-centric approaches to landscape-oriented frameworks, particularly in post-industrial or infrastructure-altered regions.
- Community engagement and ecological stewardship are essential for sustaining the integrative function of natural heritage, ensuring that these assets contribute to social well-being and economic resilience.

Contribution to theory - this study extends the discourse on metropolitan formation by:

- Introducing natural heritage as a potential "glue" in regions where cultural assets are insufficient.
- Applying the metropolitan genome framework to evaluate the functional and symbolic role of continuous landscapes.
- Demonstrating a qualitative, interpretative methodology that links ecological, spatial, and socio-cultural dimensions in metropolitan planning.

6. Conclusion

Natural heritage elements demonstrate higher resilience than cultural/built heritage. The findings highlight the importance of considering **natural systems as active structuring elements** in metropolitan planning, particularly in regions where historical built heritage is fragmented or destroyed. By emphasizing continuity, resilience, and multifunctionality, landscape-based frameworks can complement traditional urban planning and heritage conservation approaches, offering a cost-effective and sustainable path for cross-border urban development along historically significant corridors.

Ultimately, this study underscores the potential of **natural heritage as a strategic, spatial organizing principle**, capable of guiding metropolitan-scale growth, improving quality of life, and fostering regional cohesion across national boundaries.

While cultural heritage has traditionally structured metropolitan areas, the Niš–Sofia corridor highlights the **emergent importance of natural systems** as alternative organizing principles. Recognizing and leveraging these assets can support cross-border metropolitan cohesion, sustainable regional development, and enhanced quality of life.

This research does not suggest the exclusion of any of the three approaches, but instead supports their combined application within a balanced and context-sensitive framework. The results highlight the need to define the proportion and function of each element in shaping metropolitan development, particularly in relation to heritage management, spatial identity, and long-term sustainability. Each component contributes specific values and capacities, and should therefore be understood as part of an integrated strategy rather than as competing alternatives.

Future research should explore **quantitative spatial modelling**, socio-economic assessments, and participatory planning approaches to further operationalize natural heritage in metropolitan development strategies.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Antrop, M. (2004)
Landscape change and the urbanization process in Europe.
Landscape and Urban Planning, 67(1–4), pp. 9–26.

Batty, M. (2013) The New Science of Cities. Cambridge, MA: MIT Press.

Berry, B.J.L. (1964) Cities as systems within systems of cities. Papers of the Regional Science Association, 13(1), pp. 147–163.

Christaller, W. (1966) Central Places in Southern Germany. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Naveh, Z. (2000) What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction.
Landscape and Urban Planning, 50(1–3), pp. 7–26.

Pumain, D. (2006) Hierarchy in Natural and Social Sciences. Dordrecht: Springer.

Živaljević-Luxor, N., Kurtović-Folić, N. & Pasternak, I. (2019) THE BRIDGES ON NIŠAVA AS HISTORICAL STRUCTURES -NIŠ TRILOGY, International scientific conference Preservation of cultural heritage BASA Sofia

Živaljević-Luxor, N. & Mitković, P. (2019) Forever frenemies: built heritage, megacities and new technologies. Planning for culture. In: 55th ISOCARP World Planning Congress, Luxor, September 2019.

Živaljević-Luxor, N. & Mitković, P. (2018) Metropolitan development and culture: case study of built heritage. In: International Conference Built Heritage Management and Presentation, Niš, September 2018.

Živaljević-Luxor, N. & Kurtović-Folić, N. (2018) Built heritage lost in legal procedures. Zbornik radova Građevinskog fakulteta, 34, pp. 461–468. https://doi.org/10.14415/konferencijaGFS2018.045

Živaljević-Luxor, N. (2019) Lessons from history about metropolitan genome – from Naissus to Serdica and from Sofia to Niš. In: International Conference Preservation of Cultural Heritage, Sofia, November 2019.

Živaljević-Luxor, N. & Kurtović-Folić, N. (2015/2) Managing non existing heritage – case study of Sharm el Sheikh Conference: IX Simposio internacional desafíos en el manejo y gestión de las ciudades, Camagüey, Cuba, February 2015

Živaljević-Luxor, N. & Kurtović-Folić, N. (2015/5) Transversal actions for improving heritage management in Serbia. In: 2nd International Conference on Best Practices in World Heritage: People and Communities, May 2015.

THE STATE'S APPROACH TO ARCHITECTURE IN THE 1970S OF THE TWENTIETH CENTURY

Blagovesta Ivanova[1]

USEA "Lyuben Karavelov"

***Abstract**: With reference to the legal and institutional protection of architectural heritage in Bulgaria during the 1970s, this study examines and analyses documents produced by the highest governing and executive bodies of the socialist state. These sources are approached as instruments of cultural policy, through which the state sought to regulate creative practices, define stylistic orientations, and promote an ideologically framed synthesis between architecture and the arts.*

The research presents and contextualises the minutes of the Party Bureau of the Central Committee of the Bulgarian Communist Party from 1977, together with materials from the 1979 plenum of the Committee for Science, Art and Culture, situating them within the broader framework of late socialist cultural governance. Particular attention is paid to the ways in which architectural production was positioned as a socially representative art form, subject to both administrative regulation and symbolic expectations.

The assessment of the period is further developed through an analysis of contemporary publications by architects in professional and cultural periodicals. These texts are examined as part of an authorised professional discourse that both responded to and subtly negotiated the tasks and priorities articulated in official policy documents. The chosen analytical perspective enables an evaluation of approaches to architectural development from a historical distance, allowing for a critical reassessment of the interaction between state cultural policy, professional agency, and architectural practice in the context of late socialism.

***Key words**: state cultural policy; architectural heritage protection; professional architectural discourse; architectural development*

1. Introduction

This analysis focuses on several documents of the Bulgarian Communist Party that definitively establish the place and significance of the synthesis between architecture and the visual arts. Contemporary architecture on a global scale avoids such forms of integration. It expresses itself in different ways, as its means of expression often transform individual examples into works of art. Not every building can be an exceptional example of high architectural creativity. The mass-produced, contemporary, and common examples in Bulgaria do not rely on synthesis through unique works of the visual arts. This is precisely the reason for choosing this topic. Its aim is to trace architectural ideas from the third quarter of the 20th century and to support them with examples. A comparative

[1] Blagovesta Ivanova, DSc., Prof. Sofia, 175 Sukhodolska St., bl_ivanova@vsu.bg

analysis with other countries or eras in Bulgaria is not the focus of this study, due to the lack of analogies with the period of developed (mature) socialism in Bulgaria, which was established as an expression of the dominance of the Communist Party's ideas and their imposition and development on a national scale. The focus of the analysis is on mass public architecture of a civic nature, in which the synthesis with the visual arts is a common phenomenon.

For greater clarity, I propose a classification of art in architecture, which could be further expanded. In fact, the reason for its development is the impending classification of buildings and the works within them as cultural assets under the Cultural Heritage Act.

1. Façade decoration – panels or reliefs made of various materials – a link between architecture and the urban environment;

2. Interior decoration – panels (ceramics, wood, textiles, metal), painting, sculpture.

1. The foundational model document from 1977, with a perspective extending to 1990. (The Theoretical Aspect of the Study)

The development and refinement of the socialist way of life in Bulgaria during the period of building a mature socialist society in the 1970s [1] requires the constant and comprehensive enrichment of the living environment of the socialist citizen and the creation of a program for long-term and comprehensive synthesis, taking into account the distinctiveness and specific characteristics of individual cities, but in such a way that the synthesis is reflected in settlements, districts, buildings, urban planning, and urban development projects, and that monumental and artistic design be incorporated into them. Following the 10th Congress, the March Plenum [2] was held, dedicated to the territorial and settlement planning of Bulgaria. Following this, the Politburo of the Central Committee of the Bulgarian Communist Party drafted and adopted a key document in accordance with the decisions of the highest party forum – "Resolution of the Politburo of the Central Committee of the Bulgarian Communist Party on the Further Advancement of Bulgarian Architecture and the Artistic Synthesis of the Arts in Shaping the Architectural and Artistic Appearance of Settlements and the Living Environment." [3]

The meeting was held on June 28, 1977. At the meeting, the Politburo adopted a resolution on the further advancement of Bulgarian architecture and the artistic synthesis of the arts in the creation of a fully-fledged living environment for the development of socialist society.

The resolution is a programmatic document created according to a familiar model. In these models, all decisions and directives are issued against a backdrop of successes. Such documents address the overall development of the state. Against this backdrop, individual aspects are elaborated – in this case, the living environment of the socialist citizen – with an emphasis on its aestheticisation and humanization. Such models employ quotations from the top leader; in this document, for instance, a quote from Party General Secretary Todor Zhivkov is used, according to whom communism and beauty are intertwined: "The path to communism is the path to beauty." A mandatory element is the "convergence" of the village and the city as a guarantee of successful socialist development. Such levelling is also inevitable in the field of architecture as a guarantee for the creation of a living environment expressed in terms of "work, living, and leisure." The next phase of such ideological constructs and an expression of progress following the April Plenum (1956) is the creation of a comprehensive and harmonious living environment. The environment itself, as explained, quite rightly encompasses territorial planning, urban planning, architecture, and design.

The achievements lie in the establishment, presence, and development of the visual arts in urban spaces, as well as in the implementation of successful solutions that synthesize architecture, sculpture, and painting in public buildings and memorials. The

idea is for architecture to become a "powerful means of shaping a harmonious living environment, of fostering well-rounded individuals, and of promoting the spiritual and aesthetic growth of the people." The concepts of this era also contain criticism and point out shortcomings. As a shortcoming that must be overcome, the fact is highlighted that the comprehensive approach is not applied sufficiently for the holistic creation of a fully-fledged living environment. The latter concept is clarified – land use planning, urban planning, architecture, landscaping, and the monumental and decorative requirements for a fulfilling living environment, which are of essential importance to people. The role of "architects-designers" is highlighted, a role that the high-level party forum considers to be underestimated. "No effective mechanism has been established for implementing a unified state policy in the field of synthesis, coordination, and integration, or for organic collaboration between architects and artists throughout the creative process at all stages – from design to the completion of projects." In this way, by addressing all issues from the general to the role of the designer, the construct is complete from a theoretical standpoint and must become a mechanism for establishing the benchmarks of synthesis, for which a framework is needed.

1.1. The Mechanism

Architects must be the primary driving force in shaping the living environment, working in concert with artists. The definition of their specific role is part of another socialist paradigm – that of the development of the creative intelligentsia, which is one of the driving forces of society. In this way, the idea of creating a synthesis in urban space is established and promoted – a fabric that should contribute to the full development of the individual ("the people") and the formation of their high aesthetic standards. Based on everything said so far, the Politburo of the Central Committee of the Bulgarian Communist Party decrees: "1. The primary task of Bulgarian socialist architecture going forward should be active participation in the creation of a comprehensive living environment to satisfy the growing material and spiritual needs of a mature socialist society and the formation of a well-rounded, harmonious socialist personality. In its development, our architecture should be guided by the high demands of building a mature socialist society and serve as a powerful factor in shaping the characteristics of the environment and way of life inherent to that society. At the same time, it is necessary for architecture to embody in its works the rich spirituality of our people and the Bulgarian people's age-old love of beauty, so as to serve to the greatest extent the goals of the Unified Program for the Aesthetic Education of the People and Youth."

1.2. The Program

The following lines of the document outline the program: architecture must follow the principles of identity, referred to as "national character." All of this reflects human concern for humanity; of course, a phrase such as this first part necessarily encompasses the other two inseparable elements – happiness and well-being. The economic profile of the model encompasses economy, frugality with regard to the people's resources, standardization, and unification – which make a strong impression – but also beauty. In this way, the model for the stylistic expression of architecture is established. "Our socialist architecture should be distinguished by ideological and artistic maturity and stylistic purity of architectural concepts, faithfully reflecting social processes and phenomena in the functional structure of buildings and complexes." The document formulates the concept of "socialist architectural classics." With regard to territorial planning and urban planning, it is essential to take into account the specific features of the landscape and to focus on its development. With regard to residential architecture – the comprehensive development of fully-fledged living zones, the creation of a unified catalogue system based on diversity –

to satisfy and meet the growing intellectual needs of the population. In the field of cultural and public buildings – the construction of complexes with high functional qualities. In the field of industrial architecture and engineering facilities – sectional construction with large openings to improve the working environment in accordance with ergonomic requirements, while also creating a "picturesque garden environment." Regarding interiors and design, the goal is to achieve the highest level of functionality and aesthetics in interior spaces and furniture – creating modular sectional furniture that harmonizes with the building's identity and technologies. Interiors are approved simultaneously with the building designs, which truly signifies the fulfilment of the role and functions of synthesis. It is essential that the means for artistic synthesis be provided for during construction planning. This is why public buildings –"cultural and residential construction", "industrial architecture and engineering facilities" – are examined. Special attention is given to interiors and design, which should offer the highest levels of functionality and aesthetics to shape the microenvironment through the creation of modular furniture based on the rich national tradition, enriched with modern technologies. The focus is on modularity, both in building construction and in interiors, with the essential stipulation that, for public buildings, interior designs must be an integral part of the overall design.

1.3. Implementing Bodies

Responsibility for implementing this development policy is entrusted to the relevant institutions – the Committee on Architecture and Urban Planning, the Committee on Culture, the Ministry of Construction and Building Materials, the Committee on Science, Technical Progress, and Higher Education, the Bulgarian Academy of Sciences, the Union of Architects in Bulgaria, and the Union of Bulgarian Artists – which are to draft a program "for achieving a new upswing in the development of Bulgarian architecture and artistic synthesis for the period up to 1990, to be submitted to the Council of Ministers for approval." The document outlines the work guidelines for the individual institutions according to the scope of their activities. Key points include the development of industrialization and technological advancement.

1.4. Planned Outcomes of the Action Plan

The decree creates conditions for enhancing the role of chief architects and artists in municipalities in relation to the harmonization of the urban environment. This framework regulates the role of chief artists in municipalities, elevates the importance of higher education in architecture and fine arts by optimizing curricula to build a stronger link between education and practice in the field of synthesis. A significant role is envisaged for the "Theory and History of Urban Planning and Architecture" section at the Bulgarian Academy of Sciences, which is to evolve into an Institute of Architecture.

It is important to note that in connection with the measures outlined for synthesis, as early as the 1970s, the Museum of Decorative and Applied Arts was established in Sofia in the building of the Military Arsenal (now the Sofia Arsenal, a museum of contemporary art—a branch of the National Gallery). It is not mentioned in the document, but given the distribution of tasks among the various institutions, its establishment is understandable. It is also important to note that the works collected in this collection were never displayed in a permanent exhibition during the period when the described model was in effect (they are currently housed in a department of the National Gallery), which would suggest that the theoretical concepts were not fully realized. The same cannot be said for the projects that were realized, which had investors and led to the creation of new public buildings. As a result of the 1975 Decree, a specialized state commission for synthesis was established. [4]

1.5. Reflection

The decisions made at the high-level party forum were reported in the periodicals. Architect Peyo Berbenliev noted the need for joint action between the "N. Pavlovich" Higher Institute of Fine Arts and the Faculty of Architecture at the Higher Institute of Architecture and Construction. [5] Architect Atanas Obretenov highlights the role of the 10th Congress in shaping the development of the living environment not only in a utilitarian but also in an ideological sense. He explains the Resolution adopted as a result of the congress as a document concerning the development of the comprehensive living environment, which is a powerful factor in shaping the socialist way of life.[6] Architect Todor Krestev subjects the interrelationship between architecture and the arts, which function within the living environment, to a semantic analysis and concludes that the document implies (which is not the case) that architecture could not exist independently without the arts, nor is it a backdrop against which the arts develop. He notes the need for a deep historical understanding of the specifics of synthesis as a means for its successful application. [7]

2. Experimental Results

The albums containing architectural photographs from the State Association "Bulgarian Photography," preserved at the Central State Archives [8], are an invaluable source of information about the period. They show that the model outlined through the state-party mechanism became a strategy, and the characteristics of this synthesis apply to all public buildings, regardless of their purpose. Recent studies by a group of architects have significantly raised the question of modernism in Bulgarian architecture from the second half of the 20th century. [9]

Among the large number of examples that could be selected to illustrate the synthesis between architecture and art, we have chosen two main ones – a rural community centre and the National Palace of Culture – which represent cultural buildings constructed in connection with the apotheosis of the ideas under consideration and found their highest embodiment during the preparations for the national celebration of the 1300th anniversary of the Bulgarian state in 1981. At the same time, the two buildings are examples from settlements that are incomparable in size and significance. The examples are indicative from the perspective of the underlying idea of bringing the city and the village closer together. The main guiding principles regarding the synthesis are the norms defined in the resolution of the Central Committee of the Bulgarian Communist Party for the synthesis of sculpture and painting in public buildings to create a harmonious and fulfilling living environment.

The "Father Paissiy – 1927" Community Centre in the village of Izvor, Radomir Municipality, was built between 1973 and 1980 to mark the 1300th anniversary of the founding of the Bulgarian state, specifically under the patronage of Lyudmila Zhivkova. [10]

The design team consisted of architect Petar Radev, structural engineer Elisaveta Panova, and artists Filip Sedefchev and Asen Stareishinski. It is worth noting that the architect and the designer were from the Pernik Design Organization – a city with a strong presence in Bulgarian industry, particularly mining, due to the coal deposits in the region.

In this case, we are interested in several facts – the location and layout of the building, the biographies of the artists working as muralists, and the design solution.

The building dominates the spatial layout of the square by utilizing the terrain's elevation changes. The volumetric-spatial design consists of prismatic volumes organized around an inner courtyard. [11] The composition is formed by two volumes separated by a staircase. The community centre includes two conference halls of different sizes, a

ceremonial hall, and a library, making it a significant cultural centre in the Radomir Municipality.

The creators and executors of the design are architect Petar Radev and painter Filip Sedefchev. The artist Asen Stareishinski is known for his work in the field of applied graphics and graphic design. [12]

Researchers of the building's history, architect Radosveta Kirova and engineer Chavdar Stoyanov, correctly identify and demonstrate the elements of the synthesis through illustrative material. In the community centre building, as in many other buildings from the period, the architectural elements are incorporated as artistic features into the building's overall spatial vision. The exterior facade-decorative solutions and architectural elements – such as the trapezoidal arch of the opening in the wall connecting the two functionally independent volumes, the decorative projecting corbels above it, the decorative planters, and others – demonstrate that every detail of the architectural design becomes an artistic element.

Similar to this building, a large number of creative implementations can be found in the form of facade decoration in various variations – with the dual treatment of architectural elements such as concrete grilles, the integration of window frames into the facade compositions, and their transformation into artistic elements (e.g., the airport in Ruse, 1972–1976).



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

Fig. 1 General view of the building's two sections, connected by a trapezoidal arch, 2023. [13]

Fig. 2 A three-dimensional relief panel by Filip Sedefchev to the right of the main entrance to the tall section of the community centre in the village of Izvor. [13]

Fig. 3 Facade of the terminal building at the Ruse Airport [14]

The synthesis in the community centre building in the village of Izvor is characterized by the definition of architecture that is national in spirit, combining the best traditions of the "folk genius," which means a synthesis presented through a combination of modernist solutions characteristic of the era. These are expressed in the combination of concrete and concrete decorations on the facades, crystal light fixtures, wooden panelling and reliefs, as well as ceramic reliefs, murals, or textile tapestries in the interiors. Metal partition panels and grilles are also prominent as expressions of national identity. The Decree stipulates that all elements must be in harmony, including the furniture, which is creatively reimagined as early as the conceptual design phase. Unfortunately, buildings with preserved interior designs as an expression of the synthesis from the era of mature socialism have almost entirely disappeared. Apart from the community centre in the village of Izvor, another example is the terminal building at the Ruse Airport, designed by lead architect Yordan Boyadzhiev, where the furniture was designed by the architects. Regarding synthesis and adaptation through the modernisation of elements from previous historical periods, the facade designs of the government residence in Boyana (Alexander Barov, 1974), the Bulgarian embassy in Moscow (Alexander Barov, 1977), and others can be cited as examples of good practice. The second example we will examine is the

National Palace of Culture. The project's authors are architect Alexander Barov and architect Kosto Kostov, along with a team from Comprehensive Institute for Research and Design "Glavproekt." The decision to build it as a People's Palace of Culture was made in May 1978 in connection with the upcoming celebration of the 1300th anniversary of the Bulgarian state and the 12th Congress of the Bulgarian Communist Party, which was to be held in the building. It is located on Bulgaria Square at the entrance to South Park. The synthesis is rich and multifaceted. It is far more complex than the design for a local community centre, as befits a representative building of this calibre. Although the scale is different, the comparison with the community centre clearly reveals unity and analogy in the application of the artistic principles of the synthesis. Among the other works in the palace's spaces are mosaics, tapestries, murals, and metal and wood-carved panels. Among the authors of the murals are Dechko Uzunov (Hall 9), Svetlin Rusev (Hall 6), Hristo Stefanov (Hall 7), Yoan Leviev (Hall 8), Dimitar Kirov (Hall 9), and Atanas Yaranov (Hall 10).



Fig. 4



Fig. 5

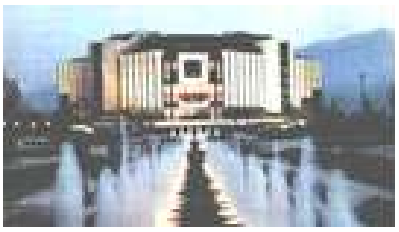


Fig. 6

Fig. 4 Boyana Residence [15
Fig. 5 Bulgarian Embassy in Moscow [16]
Fig. 6 National Palace of Culture, photograph from 1982 [17]



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9

Fig. 7 Suspended ceiling and woodcarving panel in the lobby of the National Palace of Culture, photograph from 1982 [18]
Fig. 8 Decorative panel in the main entrance lobby, artist Mihail Benchev [19]
Fig. 9 Decorative panel in the ticket office lobby, artists Kolyo Getzov and Michalis Garoudis [20]



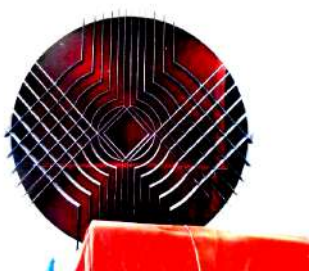


Fig. 10 **Fig. 11**

Fig. 10 Decorative grille made of steel bars by Filip Sedefchev in the community center in the village of Izvor [ref. 13]

Fig. 11 Suspended ceiling in the auditorium, designed by architect Petar Radev, in the community center in the village of Izvor [ref. 13]

2.1. Attribution of a mural at the "Father Paissiy – 1927" Community Centre in the village of Izvor, Radomir Municipality

According to Radosveta Kirova and Chavdar Stoyanov, the mural was created by Asen Stareishinski based on his own design and is his only known mural. [21]

The composition is a mural located high up near the ceiling of the ceremonial hall for wedding ceremonies. It is surrounded by wooden panelling. Its condition is poor; on the left side, in the area of the male figure, flaking is visible – the result of prolonged moisture. For this reason, compositional analysis is difficult. Depicted in profile are a flying male and female figure against a white background. The female figure is shown full-length. The forms are large and stylized. The composition has irregular contours. The right side, featuring the female figure, conveys greater dynamism, represented by her long, stylized hair flowing backward and her clothing. The woman's two bare feet are woven into the dynamic flow of the forms. The centre of the composition is the woman's face and her two hands, one of which touches the chin of the man's face. The right side of the composition, where the male figure is located, is shortened. This part of the composition is rendered statically. The head is in profile, crowned with a laurel wreath. The outline around it somewhat resembles a halo and wings. The stylistic treatment of the head in profile is reminiscent of Art Nouveau. It is executed with ease, a quick brushstroke, and transparency of form. The colour scheme is in the range of earth tones. The stylistic approach is characteristic of the 1970s. The narrative element is not emphasized. Given Philip Sedefchev's affinity for mythology and folk traditions, it could be suggested that the composition might reflect the theme of Orpheus and Eurydice as a reference to the eternal love between the two mythological heroes. An analysis of the forms reveals a technique involving cutting, delineation, interweaving, and layering. This approach is characteristic of Philip Sedefchev's work, as evidenced by the examples cited. It is particularly evident in the composition "Indzhe Voivode", where the form intertwines and dissolves in a manner similar to the analysed mural. The rounding of the contours is also evident in the examples "Survakari Dance" and "Night Bird."



Fig. 12 Mural in the ritual hall, archival photograph from the 1970s



Fig. 13 Mural in the ritual hall [22]





Fig. 14 Detail [22]
Fig. 15 Philip Sedefchev. "Survakari Dance". Oil on canvas, 1973. [23]





Fig. 16 Philip Sedefchev. A night bird mythologically associated with wisdom, 1988 [24]. Here, too, one can see the achievement of transparency in the spatial-colouristic solution.

Fig. 17 Philip Sedefchev. "Indzhe Voivode". Oil on canvas, 1973. [25]

A comparative analysis with the work of Asen Stareishinski reveals a different approach to the composition of the works. The poster "operates" with various artistic categories such as symbolism, conciseness, allegorically, and metaphorically. A key feature of Stareishinski's posters is their expressive linearity. The posters featuring faces presented here, as comparative material, cannot serve as a definitive example of this artist's creative approach in the execution of the mural. A definitive answer to the question regarding the project and its authorship is unlikely to be found, but this is not the most essential point when raising questions about the synthesis between architecture and the visual arts.









Fig. 18 Asen Stareishinski. Poster for the production "Fishermen's Quarrels", People's Army theatre. [26]

Fig. 19 Asen Stareishinski. Poster for the production "And the Mornings Here Are Quiet," People's Army theatre. [27]

Fig. 20 Asen Stareishinski. Poster for the production "Years of Wandering", People's Army theatre. [28]

Fig. 21 Page from Asen Stareishinski's profile featuring a draft theatre poster for the production "Honest Musketeer," People's Army theatre [29]

Conclusions

It is unlikely that the attribution of the mural in the ceremonial hall for weddings at the "Father Paissiy-1927" Community Centre in the village of Izvor, Radomir region, will be decisive for the implementation of the proposal to grant the community centre status under the Cultural Heritage Act. The attempt at attribution serves as a supporting element to the more substantial question of the role of synthesis in public buildings from the second half of the 1970s. The mural, as well as Philip Sedefchev's decorative grille, the ornamentally designed ceiling, and the concrete panels on the façade reflect the trends of the time and illustrate the scale of the widespread decision to apply synthesis. Viewed in the context of state policy and care, the examples preserved over the decades should rightly remain protected as testimonies to the era of their creation. In this case, their creation was viewed through the lens of a now little-known programmatic document.

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Engineer Chavdar Stoyanov for providing archival materials on the "Father Paissiy – 1927" Community Center.

REFERENCES

[1] The decision to build a mature or developed socialist society was made at the 10th Congress of the Bulgarian Communist Party, held from April 20 to 25, 1971.
[2] https://politburo.archives.bg/bg/2013-04-24-11-09-24/1970-1979/3216--------9--10--1977---i
[3] Central State Archives, f. 1B, op. 66, a.e. 801 https://politburo.archives.bg/bg/2013-04-24-11-12-48/dokumenti/1970-1979/3944---279--28--1977--; in Rabotnichesko Delo, July 20, 1977; Kultura, issue 30 (1098), July 22, 1977.
[4] Berbenliev, P. Beauty in the Living Environment. – Architecture, 4, 1980, p. 7.
[5] Berbenliev, p. 8.
[6] Obretenov, Al. The Architectural and Artistic Environment and Man. – Architecture, 4, 1980, pp. 9–11.
[7] Krastev, T. Artistic Synthesis in the Living Environment. – Architecture, 4, 1980, pp. 17–21.
[8] Central State Archives, f. 720, op. 5, a.e. 17.
[9] Davcheva, M. et al. Architectural Images. Bulgaria in the Second Half of the 20th Century, vols. 1–2, Sofia, 2022, 2023.
[10] Kirova-Delcheva, R., Stoyanov, Ch. Study of the Construction History of the Community Centre Building with a Ceremonial Hall of the "Father Paissiy – 1927" Community Centre in Izvor, Radomir Municipality. - International Scientific Conference BANI'2024. Sofia, 1924, pp. 409–423.
[11] Ibid., p. 414.
[12] Ibid., p. 418.
[13] Ibid., p. 413.

[14] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Letishte-ruse.jpg:
[15] https://travel.government.bg/kompleks-boiana/
[16] https://www.svobodnaevropa.bg/a/29805144.html
[17] National Palace of Culture. The Author on His Project. – Architecture, 1, 1982, p. 1.
[18] Architecture, 1, 1982, p. 18.
[19] Architecture, 1, 1982, p. 9.
[20] Architecture, 1, 1982, p. 17.
[21] Kirova, R., Stoyanov, Ch., p. 419.
[22] The forgotten civilization: https://www.facebook.com/photo?fbid=122145203486030513&set=pcb.122145379790030513; A black-and-white photograph from the community center's archives.
[23] The forgotten civilization: https://www.facebook.com/photo?fbid=122145203444030513&set=pcb.122145379790030513
[24] Sedefchev Art: https://www.facebook.com/photo?fbid=1225437856289574&set=pcb.1225445086288851
[25] Sedefchev Art: https://www.facebook.com/photo?fbid=1004539469651961&set=a.471763928323641
[26] Sedefchev Art: https://www.facebook.com/photo?fbid=1013121818793726&set=a.471763928323641
[27] Asen Stareishinski: https://www.facebook.com/photo/?fbid=599139020129527&set=pb.100066662358092.-2207520000
[28] https://www.facebook.com/photo/?fbid=599139053462857&set=pb.100066662358092.-2207520000
[29] https://www.facebook.com/photo/?fbid=599138840129545&set=pb.100066662358092.-2207520000

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДЪРВЕНИ КОНСТРУКЦИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ ОТ НЕДВИЖИМОТО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО В ЧЕХИЯ

Бохумил Страка[1], Милослав Новотни[2]
Висше Техническо училище в Бърно

APPLICATION OF WOODEN STRUCTURES IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS FROM THE IMMOVABLE CULTURAL HERITAGE IN THE CZECH REPUBLIC

Bohumil Straka[1], MiloslavNovotny[2]

Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně

***Abstract**: The contribution is focused on real behaviour and rehabilitation of existing timber load-carrying structures. The evaluated cases include the structures, which were analysed by the authors of the paper. Characteristic features of the analysed structures, results of their diagnosis from the point of view of material properties and connectors are reviewed. Results of solutions of calculation models as well as conclusions from real behaviour of structures are also included. In the roof structures with failures, the causes of structural failures have been determined, the impact of these failures on the load-carrying capacity and serviceability of structures has been evaluated and the method of rehabilitation has been proposed. Findings from behaviour of structures after their rehabilitation are crucial for further research into real behaviour of timber structures.*

***Key words**: rehabilitation, existing timber load-carrying structures, calculation models*

1. Въведение

Дървените покривни и подови конструкции обикновено представляват по-голямата част от строителните части на сградите от недвижимото културно наследство по света. Като част от една цялостна реконструкция или частичното обновяване на тези сгради обикновено се налага да се извърши реконструкция на голяма част от дървените носещи конструкции на сградата или на някои техни части [1]. Причината за реконструкцията обикновено е незадоволителното състояние на носещата конструкция или намерението на потребителя да използва съществуващата конструкция за определени цели. Тука е мястото да се каже, че покривните конструкции обикновено са важна и предимно доминираща част от сградите със защитен статут и стремежът на държавнитв органи е те да бъдат запазени в максимална степен. От тази гледна точка всяка реконструкция на историческа сграда изисква много деликатен подход, който не може да бъде успешно завършен без фундаментално разрешение от страна на компетентните в тази област държавни институции. При реконструкцията на големи сгради или в случаите, когато се

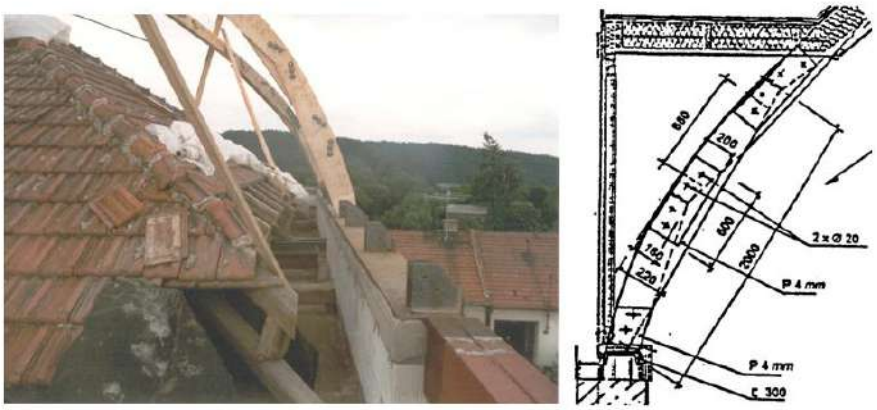
[1] Bohumil Straka**,** Assoc. Prof. PhD, VUT Brno, Veveří 95, e-mail: straka.b@fce.fce.vutbr.cz
[2] Miloslav Novotný, Assoc. Prof. PhD. VUT Brno, Veveří 95 , e-mail: novotny.m@ fce.vutbr.cz

наблюдава голям брой повредени елементи, изискващи тяхната подмяна, проектирането на оптимално решение е много трудно и обикновено се избира определено компромисно решение за изпълнение, което обаче не може да се отнася за исторически ценни елементи, които трябва да бъдат запазени дори с използването на скъпи методи за обновяване.

Всяка реконструкция, особено реконструкцията на исторически сгради, зависи до голяма степен от индивидуалния подход на проектанта и от опита и ерудицията на фирмата изпълнител, но въпреки това могат да се установят някои основни аспекти, които са с обща валидност. Следните фактори са определящи за процеса на проектиране и реконструкция: Резултати от обследвания (оригинална документация на исторически сгради в много случаи не е налична, така че конструкцията и съответните геометрични размери трябва да се определят според действителното състояние на конструкцията); определяне на размерите на носещите елементи (особено важно е да се определи степента и големината на отслабването на напречните сечения в точките на връзките и фугите); определяне на необходимостта от изпълнение на допълнителни структурни модификации (неквалифицирани и неправилни структурни модификации, състоящи се в премахване на някои важни носещи елементи, се срещат сравнително често и са причина за сериозни структурни повреди); определяне на състоянието на материала (главно в рискови зони, като местата на подпиране на носещите елементи и зоните на контакт на носещи елементи); определяне на структурни деформации (повреди, произтичащи от недостатъчна коравина, се проявяват главно чрез хоризонтални премествания и огъване на конструкцията; образуване на значителни фуги в областта на връзките на между отделните конструктивни елементи и впоследствие възникване на деформации в покривните обшивки); анализ и оценка на статическото изчисление (изчислителният модел на конструкцията трябва да съответства на реалното действие на конструкцията; като правило е необходимо да се създаде пространствен модел на цялата конструкция или на подходящо избрано място от покривната конструкция на сградата).

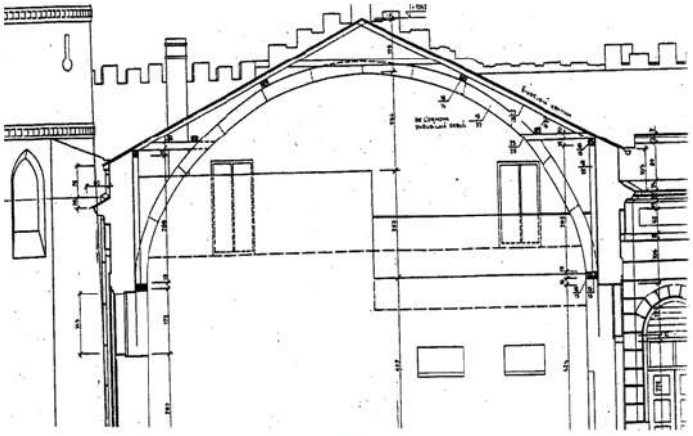
2. Примери на избрани видове дървени конструкции

Специфична и сравнително многобройна група покривни конструкции се състоят от конструкции, изградени от дъговидно изпълнени ребра по системата de Ĺ Orme, създадени от вертикално ориентирани ламели, свързани чрез механични съединения. Тези конструкции са част от редица исторически и други по-стари сгради, но и в днешно време са проектирани в различни модифицирани системи. Ламелните елементи, обикновено сглобени от два или три дъсчени профила (фиг. 1), са невзискателни от производствена гледна точка и позволяват създаването на желаната геометрична форма на криволинеен или полигонално начупен покрив (методът на припокриване на вертикално ориентирани профили е подходящ и за създаване на праволинейни елементи с по-големи дължини и се използва при реконструкцията предимно на наклонени греди или столици).



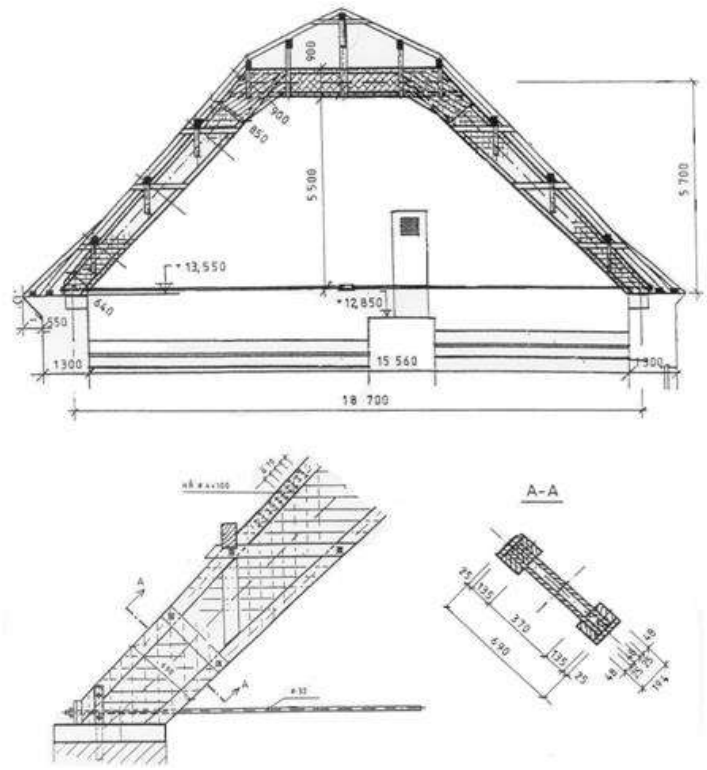
Фиг. 1. Типичен пример за покривна конструкция с отвор 14 m, изработена от криволинейно изработени дъски

Пример за паметник на културата от този тип представлява покривът над манежа за езда в замъка Летовица [2]. Комплексът за конна езда е разположен на южния склон на теренния нос на замъка Летовица и датира от около 1850-те години. Арките от типа de L Orme с отвор 12,60 m са сглобени от криволинейно изпълненени летви с профил 2x 80/300 mm, с теоретична дължина 1765 mm (фиг. 2). Свързването на летвите е решено с помощта на дъбови щифтове с диаметър от 22 до 24 mm и свързващи болтове с диаметър 18 mm. По време на огледа на конструкцията не са открити недопустими и очевидни деформации на покрива като цяло или на отделни негови части (измятане, изкорубване на дъгите), въпреки факта, че напречното укрепване на покрива не е изпълнено. В този смисъл резултатите от огледа и последващия анализ съответстват на констатациите, получени от други конструкции от подобен тип. Ако няма значителни повреди по дървесината и фугите, тези конструкции също отговарят на изискванията на действащите стандарти за проектиране на дървени конструкции. Резултатът от оценката на състоянието на конструкцията е, че тя ще бъде запазена, като ще бъдат предвидени само частични мерки за рехабилитация, състоящи се в укрепване и подмяна на някои връзки между елементите (особено с цел свързване на профилите на арката, където фугите между ламелните профили са се отворили).



Фиг. 2. Арковидна напречна връзка на покривната конструкция на ездачния салон на замъка в Летовице

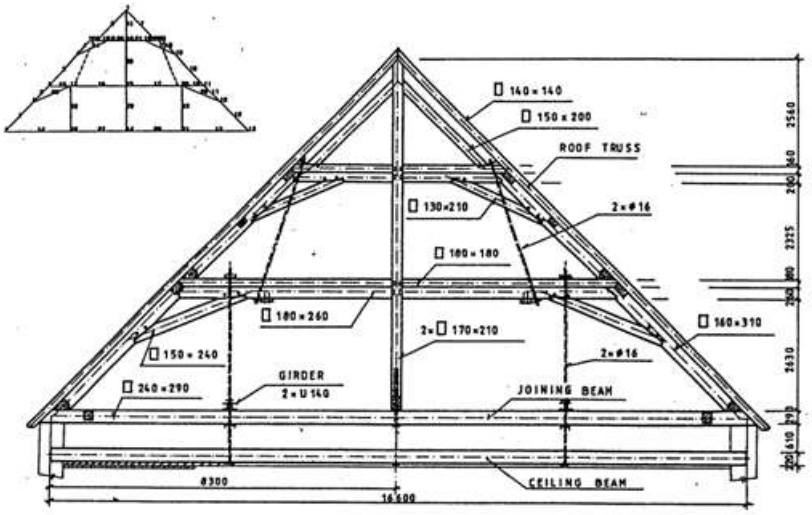
Напречните връзки на покривните конструкции на по-стари сгради с по-големи разстояния в много случаи са проектирани като дъсчени рамкови и дъгови конструкции. Например, покривът на главната сграда на замъка в Микулов се състои от четири взаимосвързани покривни конструкции с рамкови връзки по цялата стена. Това са два основни типа рамки със свързващ обтегач и наклонени рамкови вертикални елементи за разстояния от 18,7 m(фиг. 3) и 23,5 m с вмъкната средна вертикална част. Съставът на напречното сечение е еднакъв за всички рамки, поясите са със сегментирано напречно сечение, а стеблото е изградена от два слоя кръстосани дъсчени плоскости. Въз основа на анализа на набор от рамкови и аркови конструкции от подобен конструктивен тип, които се използват от десетилетия, е възможно да се направи по-общо заключение, че по-старите конструкции от този тип също отговарят на съвременните изисквания за надеждност на носещите конструкции. Обикновено са необходими частични ремонти, обикновено в резултат на недостатъчна поддръжка.



Фиг. 3. Рамкова-дъсчена напречна връзка на покрива на замъка в Микулов, детайл от опората и състав на напречното сечение

Обхватът на реконструкцията зависи до голяма степен от резултатите след проучването, особено от наличието, вида и степента на увреждане на дървесината от биологични агенти. Поради това реконструкцията на исторически сгради трябва да се извършва от специализирани фирми, които имат съответния опит, разполагат с подходящо оборудване и следват доказани технологични процедури. Сред конструкциите, които най-често се увреждат от въздействието на биологични агенти, са дървените таванни конструкции, особено в историческите сгради. Обикновено под тези тавани има ценни, често вече реставрирани, окачени тавани, които не трябва да се увреждат по време на реконструкцията на тавана. В много подобни

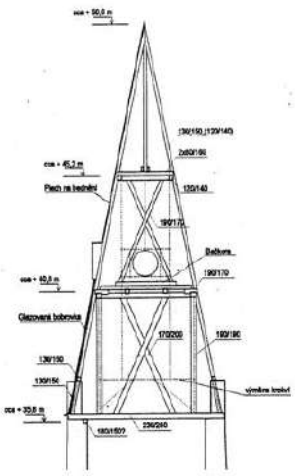
случаи окачването на оригиналните таванни греди върху фермовата конструкция се е доказало като успешна интервенция. С подходящо конструктивно решение може да се съкрати разстоянието на оригиналните таванни греди и частично да се коригира тяхното провисване (фиг. 4).



Фиг. 4. Използване на оригиналната фермова конструкция за окачване на дървен таван

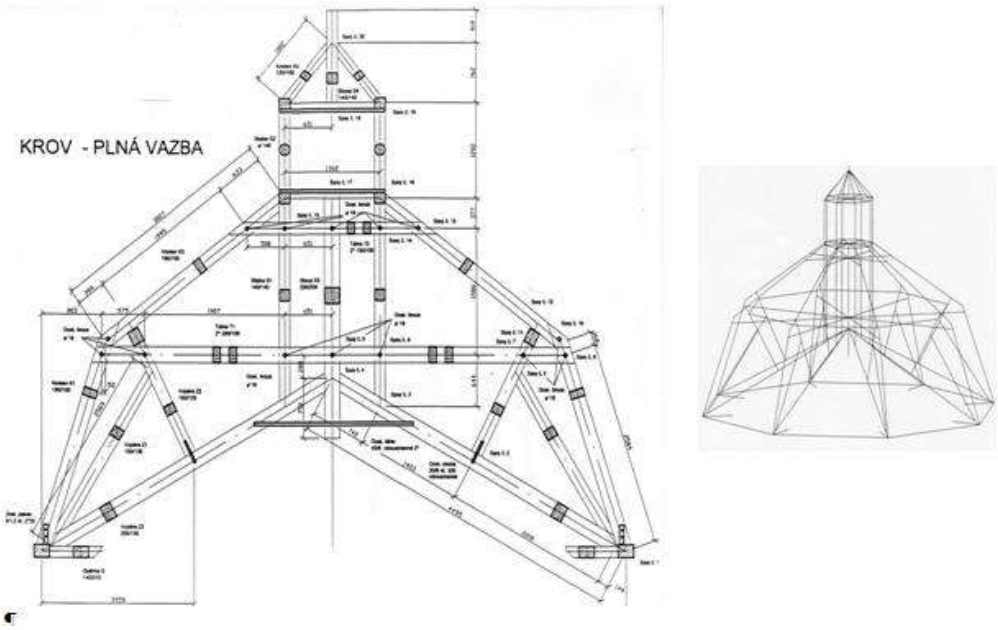
Типичните конструкции на сгради, включени в списъка на паметниците на културата, включват култови конструкции на църкви, крепости и замъци. Реконструкцията на покривите на тези сгради е значителна архитектурна и инженерна работа и изисква дългогодишен опит, усет за проектиране на детайли и сътрудничество от специалисти от ключови области. Обикновено е необходимо да се оценят редица концептуални и частични проблеми и противоречиви изисквания. Доминиращата характеристика обаче е запазването на оригиналната структура на покрива на кулата като неразделна част от историческата сграда. Църквата „Свето сърце Исусово“ в Бърно Хусовице също е значим исторически паметник, както от архитектурна, така и от техническа гледна точка (фиг. 5). Разположението на църквата е оригинално, с разположението на система от кули с квадратен план, които формират доминиращата характеристика на църквата. Кулите са изградени от квадратен дървен материал (фиг. 5).





Фиг. 5 Църква в Бърно-Хусовице – общ изглед и напречно сечение на църковната кула

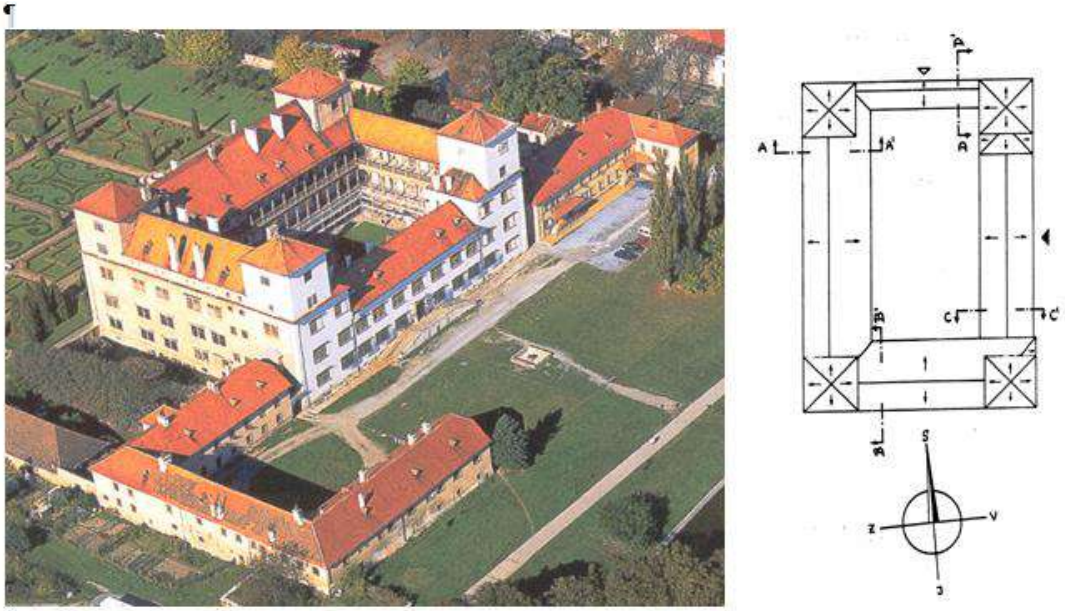
Гредите се подпрени по височина на две нива върху греди, а свързващите греди се подпират в ъглите върху сдвоени надзидни греди. Ъгловите греди и свързващите греди се подпират на всеки етаж от греди, които се подпират от от кръстосани диагонали. Така подредената носеща система показва голяма коравина, ъгловите греди са ефективно закрепени срещу странично огъване, докато вътрешността на кулата остава свободна. Шпилът е разположен на горния етаж и е свързан с ъглите с клещи. Проектът за реконструкция на покрива на църквата е разработен в [3]. По време на обследването на църковните кули не са открити големи повреди на носещата конструкция, които биха се проявили с очевидни деформации на конструкцията, провисване на натиснати елементи, наклоняване на елементи, напрегнати от огъване, и повреди в зоните на сглобките. Въпреки това, повредите на дървесината от дърво-разрушаващи насекоми (особено дървесния червей и насекоми от семейство дървесни червеи) бяха сериозни при някои елементи. Елементите, атакувани по този начин, трябваше да бъдат подменени. Реконструкцията на покрива на кулите се извършва по такъв начин, че да се спазят изискванията за грижа за паметниците, по-специално за запазване на оригиналната форма и външен вид на кулите. За проектирането на реконструкцията на дървени конструкции на исторически сгради е важна методологията на обследването, въз основа на която дървесината се оценява според степента на увреждане и се предлага достатъчно ефективен метод за защита на дървесината.



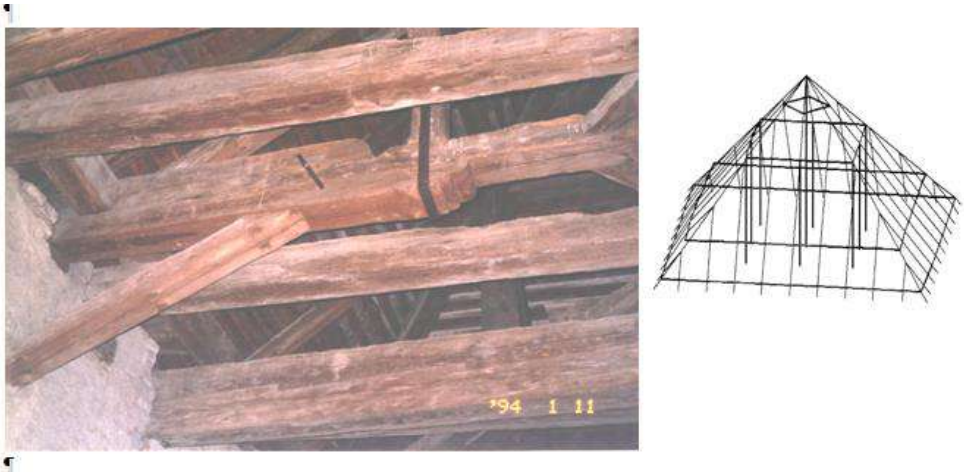
Фиг. 6. Структура на купола на параклиса в Радхоще, диаграма на разположението на прътите в конструкцията

Подобни принципи, както при реконструкцията на кулови ферми, важат и за куполните конструкции. Пример за куполна фермова конструкция е покривът на параклиса в Радхоще (фиг. 6). Подробен теоретичен анализ на конструкцията е извършен въз основа на структурно обследване. Един от решаващите случаи на натоварване при кулови и куполни ферми е натоварването от вятър. Общите стандарти за определяне на ефектите от натоварванията не предоставят достатъчно подробни и обективни данни в тези случаи. Гореспоменатата конструкция е анализирана върху пространствен изчислителен модел, използвайки програма за по-

точно описание на ефектите от натоварването от вятър [4]. Покривната конструкция на замъка в Бучовице се състои от система от четири ъглови кули, които са свързани помежду си с ферми с правоъгълен план (фиг. 7).

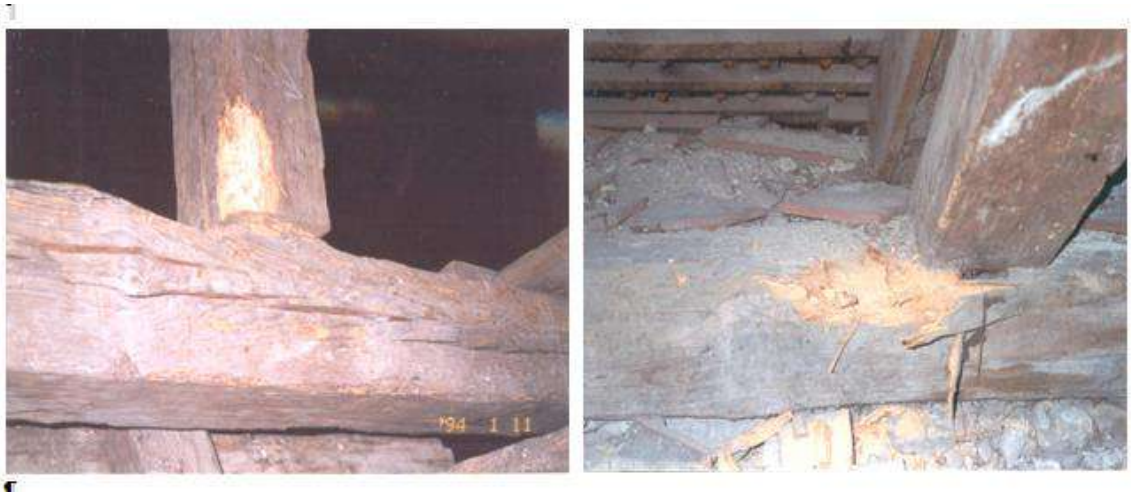


Фиг.7. Система от покривни конструкции на държавния замък в Бучовице



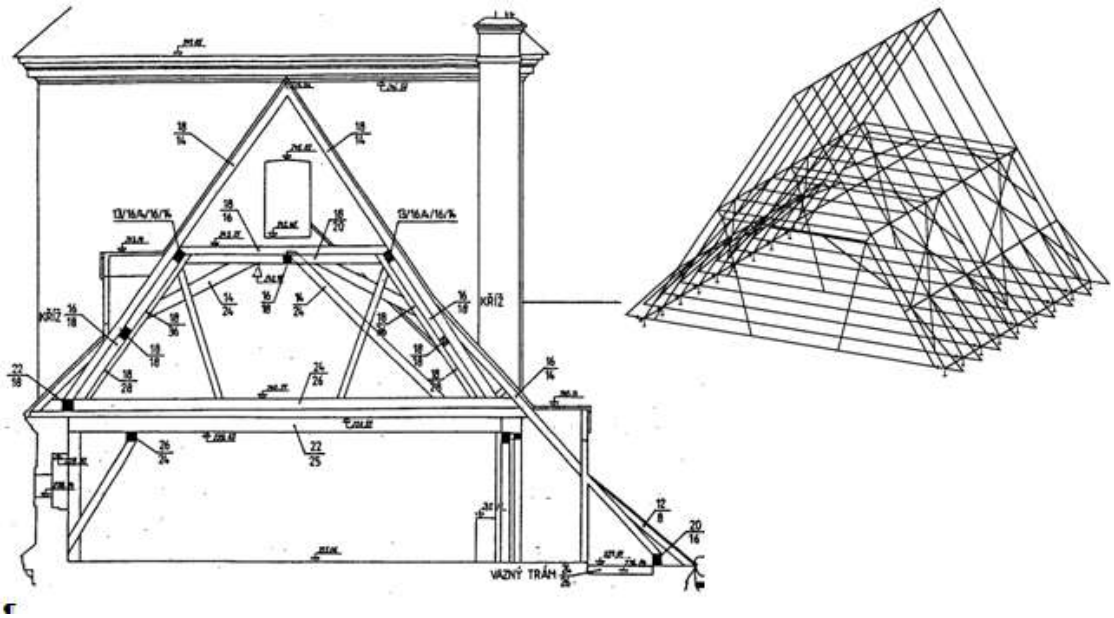
Фиг.8. Покривна конструкция на купола, модел на разположение на главните носещи пръти на купола

Огледът на конструкцията показва, че голям брой носещи елементи са повредени от дърво-разрушаващи насекоми. Това са предимно хоризонтални елементи като носещи греди, надзидни греди и столици, а при куловите конструкции - подови греди и дървени стълбищни стъпала. Ще е необходима подмяна на тези силно повредени елементи. Реконструкцията на дървени покривни конструкции се извършва съгласно [5].



Фиг. 9. Замъкът Бучовице - повреди по дървото на свързващите греди и гредите на покривната конструкция

Резултатите от решението, получени чрез теоретичен анализ на пространствени модели на кули и фермови секции, ни позволяват да получим достатъчна представа за интензитета на напрежението върху основните носещи елементи и съединения и по-специално да уловим ситуацията по време на етапите на сглобяване на конструкцията, когато някои избрани връзки ще бъдат натоварени при подмяна на повредени елементи или статичната система на определена част от конструкцията ще бъде временно променена.



Фиг. 10. Замъкът Бучовице - структурен състав на покривната ферма, диаграма на сечението на покривната ферма

Благодарности: Докладът е разработен на основание финансовата подкрепа на грантовата агенция на Република Чехия: GAČR 103/01/0964.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За реконструкцията на по-стари и исторически дървени конструкции, резултатите от обследването, съдържащи степента на увреждане и оценката на причините за деградация на дървесината, са от основно значение. Изчислителните модели на конструкциите трябва да бъдат избрани така, че да описват достатъчно обективно експлоатацията на конструкциите преди и след реконструкцията, включително състоянията на монтаж, през които конструкцията ще премине по време на реконструкцията. Важен показател по отношение на общото състояние на дървените фермени конструкции е състоянието на материала и сглобките. Общите причини за появата на биологичните вредители обикновено са повишена влажност на дървесината, неправилни конструктивни решения и недостатъчна поддръжка на покрива. Например, покриването на билото на покрива с чакъл и подобен материал има неблагоприятен ефект, защото това създава подходящи условия за появата и развитието на дърво-разрушаващи агенти. Санационните работи е необходимо да се извършват комплексно, тъй като частичните мерки обикновено нямат необходимия ефект. При повечето по-стари конструкции, някои от които са изброени в статията, е било ясно, че конструкциите са добре направени и са могли да бъдат запазени за по-нататъшна употреба. При анализа на конструкциите по отношение на очакваната реконструкция е възможно да се изхожда от определени общи принципи и процедури, особено в случай на реконструкции на едни и същи видове конструкции, които се повтарят с определени модификации. Въпреки това, поради многото фактори и изисквания, които трябва да се спазват по време на реконструкцията, всяко предложение за реконструкция обикновено изисква индивидуален подход и решение. Като цяло може да се направи заключението, че от гледна точка на по-нататъшното използване на дървените конструкции, възрастта на самата конструкция не е най-важната. Редица други фактори са определящи, по-специално условията на експлоатация на конструкцията и качеството на конструкцията и фугите.

ЛИТЕРАТУРА

[1] STRAKA, B. and NOVOTNÝ, M.: Conclusions from Rehabilitation of Existing Timber Roof Structures, In Report of the IABSE Conference Innovative Wooden Structures and Bridges held in Lahti, ETH Honggerberg Zurich Switzerland, 2001, Vol. 85, p. 475-478, ISBN 3-85748-1003-X.

[2] BAŽANT, Z. KLUSÁČEK,L., STRAKA,B.: Rekonstrukce Jízdárny při zámku v Letovicích, Brno, 2002.

[3] PYRUS, BRNO, spol. s r.o.: Sanační návrh dřevěných konstrukcí krovů věží kostela v Brně, Husovicích, Návrh rekonstrukce, Brno, 2000.

[4] VEJPUSTEK, Z.: Rekonstrukce zastřešení kaple na Radhošti. Diplomová práce. Fakulta stavební VUT v Brně, Brno, 2001.

[5] MOLAT, Velké Opatovice, spol. s r.o.: Obnova krovů a střešního pláště Státního zámku Bučovice, Brno, 2002.

ИЗГОТВЯНЕ НА ПРОЕКТ ЗА ОБЕКТ „РЕМОНТ НА МОСТ НА Р. БОТУНЯ ОБЩИНА ВЪРШЕЦ, ОБЛАСТ МОНТАНА

Иван Якимов[1], Петър Велев[2]

Якимов проджектс, София 1407, Лозенец, ул. Кричим, 17В, ап.4, ЕООД

PREPARATION OF A PROJECT FOR A SITE "REPAIR OF A BRIDGE ON THE BOTUNYA RIVER, VARSHETS MUNICIPALITY, MONTANA DISTRICT

Ivan Yakimov[1], Peter Velev[2]

Yakimov projects, Sofia 1407, Lozenetz, str. Krichim, 17B, ap.4, LTD

***Abstract**: The contribution is focused on rehabilitation of existing riveted old steel bridge on the Botunya river, Varshets Minicipality, Montana district. Characteristic features of the analysed structures, results of their diagnosis from the point of view of material properties and connectors are reviewed. Results of solutions of calculation models as well as conclusions from real behaviour of structures are also included. In the road –deck structures with failures, the causes of structural failures have been determined, the impact of these failures on the load-carrying capacity and serviceability of structures has been evaluated and the method of rehabilitation has been proposed. Findings from behaviour of structures after their rehabilitation are crucial for further research into real behaviour of composite steel - concrete structures*

Key words: *rehabilitation, strengthening, existing old steel bridge, calculation models*

1. Въведение

1.1. Общи бележки. Необходимост от ремонт на моста.

Настоящият проект се прави въз основа на Договор с ОПУ Монтана от 14.10.2010 г., както и на приложеното Техническо задание, одобрено от инж. Лазар Лазаров като член на Управителния съвет на Агенция „Пътна инфраструктура". Теренът е собственост на Министерството на транспорта, информационните технологии и съобщенията - имот с номер 000082 в землището на с. Стояново с ЕКАТТЕ 69597, общ. Вършец, с площ 16,528 дка, начин на трайно ползване – Път III кл., Собственост – Държавна публична. Заснемането на видимите части на моста беше предшествано от оглед на моста, чиято насоченост беше обусловена и силно подпомогната от Техническия доклад от обследване, съставен от н.с. инж. Илиян Ванков, н-к с-р „Пътни съоръжения и бетон" в „Централна лаборатория по пътища и мостове", подписан от Директора н.с. Лазар Лазаров на 15.09.2009 г. Констатациите

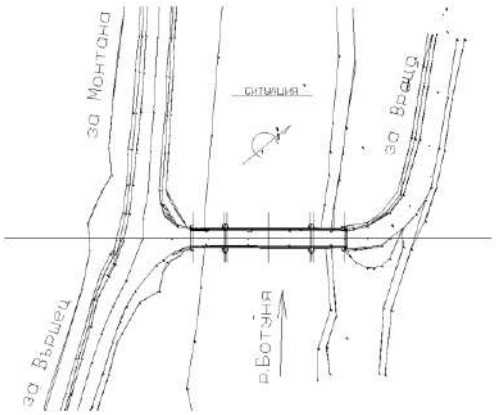
[1] Иван Якимов(*1935-*2024) **,** доц. **д-р** инж., София 1407, Кричим 17, В, e-mail: jakimov@netissat.bg
[2] Петър Велев, маг. инж.,Мездра, e-mail: p.welew@gmail.com

в този доклад се потвърдиха. Някои от тях през изминалите две години са имали свое допълнително развитие. Анализът и изводите в Техническия доклад, както и предложенията в него, ефективно допълват Техническото задание за проекта. Мостът не е ремонтиран от 1993 г.. Цялата конструкция на моста се нуждае от саниране, а в много опасно предаварийно състояние е лагеруването при деснобрежния устой. Видимо разрушеният каменен блок под северния лагер всеки момент може да се разпадне на множество парчета – отломки с неправилна форма. Долната лагерна плоча е пропаднала около 25 – 30 милиметра и се е наклонила към реката. Внезапно пълно разрушаване на подлагерния камък е много вероятно. При това стоманеният лагер над него ще пропадне с поне 35 см, стоманената скара на връхната конструкция ще се посучи, може да се деформира непоправимо и да се наложи направа на напълно нова конструкция. А непреустановеното движение на МПС по моста може да предизвика сериозно пътно-транспортно произшествие. С изключение на едно заснемане на страничната връхна конструкция на моста (наречена „допълнителна” в споменатия по-горе Технически доклад на Централната лаборатория по пътища и мостовеI), никаква друга информация от геометрично или геодезическо заснемане или следи от проекта, по който е бил построен, не бяха намерени.

2. Моментно експлоатационно състояние на моста

Специално трябва да се отбележи, че въпреки неколкократно правените от ОПУ Монтана земнонасипни прегради – бариери с височина до два метра от двете страни на моста за спиране на движението, и въпреки поставените пътни знаци, преградите скоро след направата им се разриват и движението на МПС по моста не се прекратява(Фиг.1а,б).



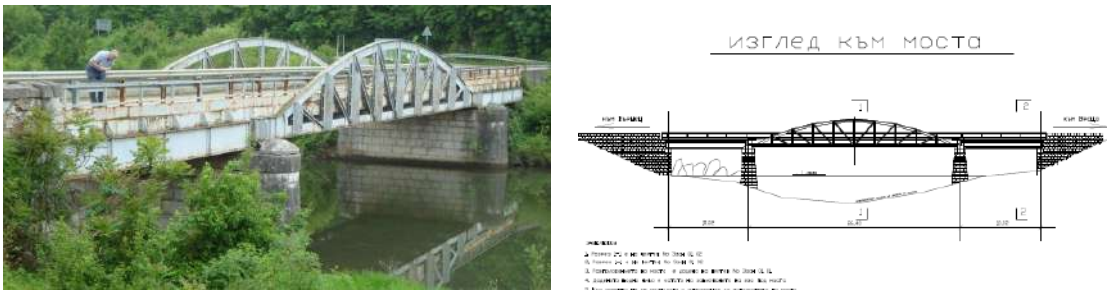


Фиг. 1а, б. а) Земно-насипни прегради – бариери с височина до два метра от двете страни на моста за спиране на движението, б) ситуация

3. Предназначение, акценти и резултати от заснемането

3.1. Общо описание на конструкцията

Мостовата конструкция е съставена условно от три прости греди по ориентировъчната схема: 10,00 – 25,00 – 10,00 метра. Разположена е нормално на речното русло и създава по-пряка връзка между селищата на Община Вършец и направлението към Враца(Фиг.2).



Фиг. 2а,б. а) Мостовата конструкция- разположена нормално на речното русло, б) изглед към моста

Мостът е на р. Ботуня в Природния парк „Врачански Балкан" и попада в чашата на завирения обем на ВЕЦ с яз, намиращи се на около 200 метра надолу от моста по течението на реката (Фиг.3). Дълбочината на водата, мерена от постоянното завирено ниво, не е известна. Още по-малко известна е картината на фундирането на моста. Може да се предполага обаче, че фундирането е плоско и директно върху скалата, която оформя речното корито.



Фиг.3. Мостът е на р. Ботуня в Природния парк „Врачански Балкан"

Към момента поведението на фундирането на моста е абсолютно стабилно. Няма никакви смущаващи индикации. Долното строене на моста – двата устоя и двата стълба – са направени от безупречна квадрова зидария от врачански варовик, добиван от кариера на десния бряг на няколко десетки метра от моста(Фиг. 4,5,6).





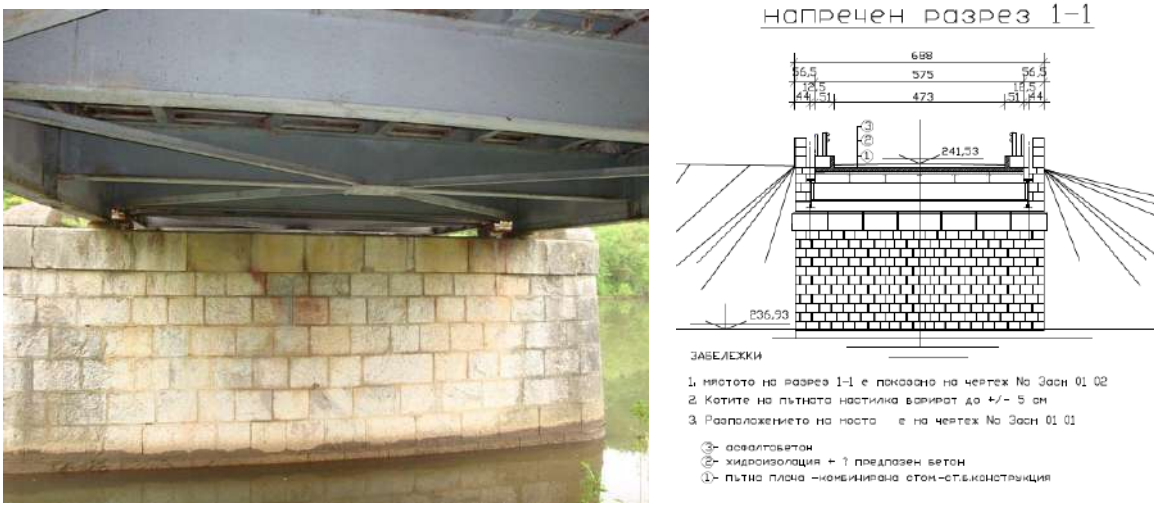
Фиг.4. Два Стълба от квадрова зидария
Фиг.5 Ляв устой от квадрова зидария
Фиг.6. Десен устой от квадрова зидария

Връхната конструкция е стоманена, а само пътната плоча е стомано-стоманобетонна. Двата крайни отвора имат връхни конструкции от гредоскари с път горе, с по две главни пълностенни нитовани греди, високи по 800 мм, разположени на осово разстояние една от друга кръгло 5100 мм(Фиг.7).



Фиг.7а,б). Две главни пълностенни нитовани греди; б) надлъжен разрез

Всяка от тези връхни конструкции има по четири напречни валцувани греди с височина по 500 мм и ширина на фланшовете 185 мм, вързани за надлъжните греди с нитовани L-профили (Фиг.8).



Фиг.8а,б: а)Между главните пълностенни греди са монтирани по четири напречни валцувани греди, б) Напречен разрез 1-1

Върху валцованите напречни греди лягат 5 броя надлъжни валцовани I-греди с височина 220 мм и 2 броя U-греди до горните фланшове на главните греди, образуващи заедно гредоскара с растер 800 мм. Върху тази гредоскара е направена стомано-стоманобетонна конструкция на пътната плоча(Фиг.9).



Фиг.9. Върху валцованите напречни греди лягат 5 броя надлъжни валцовани I-греди

Носещата конструкция на централния отвор се състои от две прътови параболични ферми с подпорно разстояние кръгло 25,00 метра и с път долу, между които има напречни валцувани греди както в двата крайни отвора, и както в крайните отвори след скара от валцовани профили е оформена пътната плоча от стомано-ст.бетон(Фиг.10а). Лагеруването е реализирано чрез тангенциални и ролкови лагери(Фиг.10б).



Фиг.10а. Две прътови параболични ферми,

3.2. Данни от статическото изследване и оразмерителни проверки

Един мост, построен през 1902 г., може да се очаква, че е изчисляван най-много за парен валяк. Сега по него преминават ТИР-ове. Широчината му не позволява спокойно разминаване дори само на две леки коли. Предварителното проучване показа, че за изчисляване на мостовата конструкция за целите на санирането й ползването на ЕС не е удачно както като натоварване, така и като оразмерителна процедура. Мостовата конструкция беше изчислена за подвижните товари Н-300 и НК-800, по метода на „допустимите напрежения“. За тези товари се наложи горният и долният пояси на фермите, както и част от пълнежните пръти, да бъдат усилени.

Усилването на долните пояси е предвидено да стане с карбонови ленти, а на останалите пръти – със стоманени плочи и профили.

3.3. Специално заснемане за изготвяне на много спешен проект за ликвидиране на аварийното състояние на северния лагер на устой „Враца"

Експресно беше заснет лагера на устой „Враца', подлагерния камък на който е напълно разрушен. Лагерът бавно поддава, но може да се очаква следващо бързо пропадане с непоправимо деформиране на стоманената носеща конструкция на крайния отвор. Едновременно със заснемането беше изготвен и подготвен за предаване на Възложителя проект за временно (евентуално и оставащо) подпиране на авариралия лагер, така, че ако се намери някаква възможност, временното подпиране да бъде направено незабавно.

3.4. Принципи на заснемането

Те са: *Заснема се само видимото; *Заснема се това, което е необходимо за санирането; *Изследвания за качествата на стоманата на конструкцията, ако това е свързано с нарушаване на самата конструкция, няма да се правят; *Точността на заснемането ще бъде обичайната; Всички резултати от заснемането ще влезат в едно досие на моста, включително в дигитален вид; Снимковият материал ще остане също като съставна част от досието на моста; Ще се препоръча преди започване и след завършване на санирането да се направят записи на динамичните характеристики на моста по указания на проектанта.

3.5. Резултати от заснемането на стоманената конструкция

Те са отразени в графическата част на настоящата Част 1, Раздел 2 на проекта. Графическата част е представена в dwg и pdf файлове(Фиг.10б). В последните са дадени заснетите напречни сечения на стоманенита пръти и елементи на конструкцията. Всички части на стоманената конструкция се нуждаят от песъкоструене, грундиране и двукратно боядисване с трайна боя, одобрена от проектанта и от надзорника.



Фиг.10б. Заснемане на напречните сечения на стоманенита пръти и елементи на конструкцията.

3.6. Състояние на лагерите

То трябва да бъде разгледано поотделно : *за лагерните площадки; *за конструкцията на металните лагери; *за лагерните плочи. Всички лагерни площадки се нуждаят от почистване и фугиране на фугите между каменните блокове, както и от полагане на армирана с мрежа от Fiberglas замазка с Fibermesh 1 кг/m^3 с наклон 2 % по указание на проектанта. Състоянието на конструкцията на металните лагери видимо е добро. Има съмнения само за състоянието на дюбелните чугунени обувки, които са поставяни на времето под долните плочи на лагерите, за да се получи дюбелно зацепване с подлагерния каменен блок. Чашката, издълбана в горната повърхност на лагерния камък, като правило е запълвана с варов разтвор, около който винаги се е задържала вода. След 100 години бихме могли да се представим какво би могло да бъде състоянието му. В процеса на санирането може би ще може да се получи допълнителна информация за проблема. Всички лагерни плочи като правило са силно кородирали.

3.7. Състояние на комбинираната стомано-ст.б. пътна плоча.

Армировката на тази плоча, както и параметрите на стоманените коритообразни профили, използвани за корава армировка, не можаха да бъдат установени. Като се изключи това, че почти всички тези профили са кородирали, но самата пътна плоча през целия наблюдаван период беше суха въпреки дъждовете, може да се предположи, че корозията е от по-старо време. Някои от етернитовите плочки, ползвани като кофраж между коритообразните профили, при бетонирането са се счупили надъжно и бетонът на тези места се е „издул". Профилите се нуждаят от песъкоструене, грундиране и двукратно боядисване с трайна боя, одобрена от проектанта и от надзорника, а бетоновите повърхности трябва да се обработят напр. с „Zentrifix KMH" и "Nafufill 103". Пътната плоча видимо минава без прекъсване през зоните на стълбовете, превръщайки цялата конструкция в температурно непрекъсната, и това, ако действително е така, може да се отчете като положителен елемент. Пътната плоча видимо минава и над деформационните фуги при устоите. За да се преустанови навлизането на вода на лагерните площадки при устоите, се предлага те да бъдат удължени с около 400 см като преходни плочи с наклон 1;10, или да бъдат свързани с тези плочи, ако се окаже, че има такива.

3.8. Състояние на тротоарите

Тротоарите са ограничени от външна страна от ламаринени листове – вертикално продължение на крайните U-профили на стоманените гредоскари, и бетонови бордюри. Последните са в прилично състояние, неизвестно как свързани с пътната плоча на моста. Не е известно, дали в пълнежния бетон на тротоарите, има вложена тръбна мрежа от ПВЦ тръби за кабели. Този бетон е в много лошо състояние и трябва изцяло да бъде подменен по указание на проектанта.

3.9. Парапети.

Парапетите са стоманени - върху мостовата конструкция и от каменна редова зидария – на крилата на моста. Зиданите парапети са силно увредени от удари на тежки возила, и се нуждаят от презиждане и дозиждане по указание на проектанта. Стоманените парапети се нуждаят от повдигане до 110 см и саниране.

3.10. Предпазна ограда включително на подходите на моста

Предпазните огради трябва изцяло да бъдат подменени, в т.ч. и на подходите на моста.

3.11. Бояджийски работи

Видът и цветът на боите задължително предварително се съгласуват с проектанта!

3.12. Хидроизолация на моста

Макар че съществуващата хидроизолация е в нелошо състояние , тя вече е твърде стара и подлежи на подмяна. Новата хидроизолация трябва да бъде номинално двупластова върху Primer, а при регулите, отводнителите е деформационните фуги – трипластова по детайл и указание на проектанта. Тя трябва да има точка на омекване над 190 °C, за да бъде възможно полагане на асфалтобетонова смес директно върху нея. При регулите трябва да се направи 4 см заливка с битумен мастик след полагане на асфалтобетоновата смес.

3.13. Асфалтобетонова настилка

Новата асфалтобетонова настилка (2 * 5 см) да се изпълни с асфалтобетон – полимер суперпласт - с напречен наклон 2,5 % към регулите и посочения на чертежите (много малък за съжаление) надлъжен наклон, с повишено внимание и точност, за да не се получават локвички с вода при дъжд.

3.14. Фуга между горните фланшове на главните надлъжни греди на гредоскарите в двете крайни полета и U –профилите на гредоскарата.

Тази фуга е по цялата дължина на главните греди, а ширината й е около 5 мм. Влияе негативно на работата на конструкцията и следва да се запълни напр. с тиокол (като холкер) или със силикон.

3.15. Подходи и хоризонтална маркировка

Както на самия мост, така и на подходите към него, хоризонталната маркировка е почти изчезнала. Изчезнала е и вертикалната маркировка. Те трябва да бъдат възстановени по приложения проект. Препоръчва се и поставяне на насочващи светлоотразители.

Заключение:

Природният парк „Врачански балкан" изисква и заслужава този красив и сигурен мост. Трябва да го направим такъв!

4. КРАТКА ТЕХНИЧЕСКА (К О Н С Т Р У К Т И В Н А) ЕКСПЕРТИЗА ЗА СЪОРЪЖЕНИЕТО

4.1. Задача на експертизата

Задачата на експеризата е да установи, има ли увреждания на конструктивните елементи на моста, ако да – какъв е тяхния вид, както и тяхното влияние върху експлоатационните качества и пригодност на конструкцията.

4.2. Експертен оглед на конструкцията

Експертният оглед на конструкцията беше направен неколкократно през м. ноември 2010 г. Съоръжението е на третокласен път от Републиканската пътна мрежа, следователно е от **втора „а" категория** по Номенклатурата за видовете строежи.

5. Общо експлоатационно състояние на моста

Със съответна вертикална маркировка е означено, че **пътят през моста е затворен**. Освен това от двете страни на моста са направени земнонасипни прегради, за около един месец неколкократно донасипвани, но и разривани, най-вероятно от заинтересовани водачи на МПС (Фиг. 11а,б).




Фиг.11а,б. От двете страни на моста са направени земно- насипни прегради

6. Резултати от експертния оглед на конструкцията

6.1. Долно строене на моста

6.1.1. Фундиране

Не се разполага с данни за фундирането на моста. Може да се предполага, че то е плоско, на скалното дъно на реката. *Съществено е това, че към момента в експлоатационното поведение на фундирането няма нищо притеснително.*

6.1.2. Устой

Каменният блок под северния лагер на деснобрежния устой е практически напълно разрушен и тангенциалният лагер над него е потънал с около 25мм(Фиг.2-12). Явно този подлагерен камък няма абсолютно никаква носеща способност. Основателно и правилно е направено възможното по горната причина: движение по моста да няма. Фактически цялата подлагерна площадка е в лошо състояние, вода прониква на нея през каменната гардбаластова стена. Без специално проектирана и изпълнена защита на тази площадка и южния подлагерен каменен блок може да последва съдбата на северния. Левобрежният устой в момента е гъсто обрасъл до горе с капини и други храсти и е нидостъпен, както и подмостовото пространство чак до левия стълб(Фиг.3-12). Вижда се обаче, че той също е направен от редова каменна зидария и се нуждае от спешно саниране на фугите и на лагерната площадка с осигуряване на възможност за оттичане на попадналата вода върху нея.



Фиг.12. Левобрежният устой в момента е гъсто обрасъл до горе с къпини и други храсти и е недостъпен

6.1.3. Стълбове

Редовата каменната зидария на стълбовете е с дълбоко кородирали фуги и стартиращо разместване на големите каменни блокове, особенно на тези, които са при лагерните площадки. Последните са направени без наклони за отводняване. Това създава риск да се получи разрушаване на подлагерните каменни блокове и при стълбовете, а по тях могат вече да се забележат космовидни пукнатини(Фиг.13).



Фиг.13. Разместване на каменни блокове при стълбовете

6.1.4. Лагери

Лагерите са два типа – тангенциални и ролкови. Лагерните плочи на всички лагери са силно кородирали, а и самите лагери се нуждаят от песъкоструене, грундиране и боядисване, евентуално с изваждане(Фиг.14).



Фиг.14. Лагеруване чрез тангенциални и ролкови лагери

6.2. Връхна конструкция

6.2.1. Крайни полета

Стоманените конструкции на гредоскарите в крайните полета не са в лошо състояние, ако изключим спешната необходимост да се спре корозията й с песъкоструене, грундиране и двукратно боядисване. *Пътната плоча от комбиниран стомано-стоманобетон е със силно кородирали стоманени коритообразни профили, които с продуктите на корозията разрушават бетона на плочата(Фиг.4).* По изчислителен път трябва да се докаже способността на тези конструкции да поемат сегашните автомобилни товари. *Предпазните огради и парапети са силно амортизирани и трябва да се подменят(Фиг.15).*



Фиг.14а,б. а)Пътна плоча от комбиниран стомано-стоманобетон, със силно кородирали стоманени коритообразни профили; б) Пътна плоча от комбиниран стомано-стоманобетон със силно кородирали стоманени коритообразни профили



Фиг.15а,б. Предпазните огради и парапети са силно амортизирани и трябва да се подменят

6.2.2. Средно поле: Важи текста по т. 6.2.1.

6.3. Пътна настилка

Съществуващата асфалтобетонна настилка е напукана, амортизирана и прави голяма локва върху моста, много опасна при замръзване(Фиг. 16).



Фиг. 16. Образуване на голяма локва върху моста

Заключение

Движението по моста е основателно спряно. От ново изграждане не се нуждаят, не само подлагерния блок при северния лагер на устоя страна „Враца", но и всички лагерни площадки. Спешният авариен ремонт на моста е абсолютно необходим.

Вид на увреждането	Тежест	Техн.състояние
Тежка конструктивна повреда, при която е нарушена общата товароносимост и устойчивост на конструкцията, необходимо е възстановяване на конструктивен елемент подлагерна площадка, наложена е забрана за ползване-спряно е движението по моста	Много тежко	Предаварийно

7. ТЕХНИЧЕСКИ ПРОЕКТ ЗА РЕМОНТ НА УСТОЙ И ВРЪХНА КОНСТРУКЦИЯ

7.1. Общи бележки

По задание проектът за ремонтните работи трябва да включи само (деснобрежния) устой и връхната конструкция на моста. Фактически проектът включва и останалите части на долното строене, които бяха обследвани и включени в техническия проект за ремонта на моста.

Техническият проект обхваща: -работите по възстановяване на разрушения подлагерен камък на деснобрежния устой (страна „Враца"); саниране на видимите части на моста; усилване на носещите елементи на моста, за да се приведе носещата им способност към действащите в момента норми, където това е възможно. По технологични изисквания работите по втора и по трета позиция трябва да си сменят местата.

7.2. Усилване на носещите елементи на моста, за да се приведе носещата им способност към действащите в моментас норми, където това е възможно.

Статическите и оразмерителните изчисления показаха, че носещата способност на стоманените конструкции в крайните отвори на моста е достатъчна вкл. за поемане на нормативното натоварване НК800, за което нормалните

напрежения в поясите не надвишават 200 MPa. За носещите конструкции в средния отвор обаче се налагат усилвания, както е показано в съответните детайли.

8. СТАТИЧЕСКИ И ОРАЗМЕРИТЕЛНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

8.1. Проверка (съкратена) за крайните полета.

За НК800 е отчетено за w,екв,10 м = 14 т/м
К,напр.разпр = 0,65
макс М,НК800 = (1/8) *14,00*9,60^2*0,65 = 104,8 тм
I,гл.гр. = 245300 см4
s = 10480000*40/245300 = 1710 кг/см2 < 2400 кг/см2 = s доп ОК

8.2. Проверка за средните полета.

Определянето на разрезние усилия във фермата е направено на Excel I и е приложено към проекта. От усилване се нуждаят редица елементи на прътовите ферми, което ще се реализира по дадените детайли. Горните пояси, напр., ще се усилят с непрекъсната стоманена плоча с дебелина 12 мм и ширина 300 мм, а долните пояси – с карбонова лента. Както е обичайно, вероятно в процеса на хода на работите по усилването ще се наложат някои промени.

8.3. Ограничения за теглото на МПС, които ще могат да преминават по моста след санирането и усилването му.

Не всички елементи на носещата конструкция на моста на средния отвор можаха да бъдат точно заснети поради недостъпност. В хода на ремонтните работи те ще станат достъпни и ще може да се уточни носещата им способност, съответно да се вземе окончателно решение за максималното тегло на МПС, допустимо за моста.

Засега трябва да се приеме ограничение от максимум 30 тона!

8.4. Саниране на видимите части на моста.

Санирането трябва да обхване: -фугите на каменната зидария на долното строене на моста; зоните зад гардбаластовите стени на двата устоя – продължаване на пътната плоча като преходни плочи с наклон 1 :10 и подложни греди в ниския им край; дозиждане (фактически възстановяване) на каменните парапети над крилата на устоите, с едрорязани каменни блокове от врачански варовик, или, евент. с бетонни блокове с подходяща фактура; саниране на металните конструкции, вкл. подмяна на парапетите и на предпазните огради, песъкостроене, грундиране и боядисване двукратно на всички стоманени повърхности с приета от проектанта боя; саниране на долната повърхност на пътната плоча; саниране евент. на горната повърхност на пътната плоча; отстраняване на старите тротоари; направа на нови тротоари с по 2 бр. PVC Ф110 като тръбна мрежа за кабели; удължаване на отводнителните тръби; направа на нова хидроизолция; полагане на нова асф.бетонова настилка; направа на хоризонтална и вертикална маркировка вкл. със светлоотражателни знаци.

8.5. Направа на стартови измервания на динамичното поведение на носещите конструкции на трите полета на моста

Периодичното измерване на честотите на собствените трептения на носещите елементи на конструкцията, включително, в случая преди и след усилването и санирането, и след това, е ефективно средство за бързо и обективно диагностициране на състоянието на конструкцията. Фирмата, която спечели търга за извършване ремонта на моста, трябва да предвиди съответни средства за това.

Литература

1. Работна документация за изготвяне на проект за обект „Ремонт на мост на р. Ботуня на рп III-162 „граница ОПУ- София – ГБречка – Стояново – граница ОПУ Враца" на км. 32+514", Община Вършец, област Монтана

КРАТКО ИСТОРИЧЕСКО ВЪВЕДЕНИЕ В СТРОИТЕЛНИТЕ КОНСТРУКЦИИ, ИЗПЪЛНЯВАНИ С КОМБИНИРАНИ СТОМАНО-СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДИ И КОЛОНИ

Дончо Партов[1], Милен Петков[2] , Любомир Карадех[3] , Борислав Козарев[4]

[1,3 и 4] Висше строително училище, ВСУ „Любен Каравелов"-София
[2] Егнатия България – София

A BRIEF HISTORICAL INTRODUCTION TO BUILDING STRUCTURES MADE WITH COMPOSITE STEEL-CONCRETE BEAMS AND COLUMNS

Doncho Partov[1], Milen Petkov[2], Lyubomir Karadeh[3] , Borislav Kozarev[4]

Higher School of Civil Engineering " Lyuben Karavelov" -Sofia

***Abstract**: В доклада авторите правят опит за съставяне на достъпно за читателите историческо въведение в изпълнението на конструкции за сгради и съоръжения с комбинирани стомано-стоманобетонни греди и колони.*

***Key words**: composite steel –concrete construction, comparative analysis between various building systems, advantages and disadvantages*

1. Въведение

1.1. Характерни свойства на стоманените и монолитно изпълнени стоманобетонни греди и колони

Всеки от добре известните ни строителни материали (стомана или стоманобетон), различаващи се един спрямо друг със своите предимства и недостатъци, притежават свой собствени характерни свойства а също така и своя оптимална област на приложение. Тези характерни свойства най – добре проличават когато се извърши сравнителен анализ на изпълнени конструкции изцяло от един от двата материала. В табл. 1.1 е направен опит да се сравнят отделните технически характеристики и свойства на двата материала от няколко гледни точки, през погледа на големият словашки строителен инженер J. Kozak[1,2]. В таблицата е означено според съответния критерии (например за многоетажна сграда), кой строителен материал – стомана или стоманобетон – е по –целесъобразен. Въпреки,

[1] Дончо Партов, проф. д-р инж., Стр. Факултет, ВСУ, Л. Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, partov@vsu.bg
[2] Милен Петков, Егнатиа, бул. Симеоновско шосе, 128, София, milenspetkov@abv.bg
[3] Любомир Карадех, ВСУ, Л. Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, karadeh@abv.bg
[4] Борислав Козарев, ВСУ, Л. Каравелов, 1373 София, ул. Суходолска 175, boko.cad@gmail.com

че в нея са въведени достатъчно голям брой гледни точки и критерии за оценка целесъобразносттта на един или друг материал, известни от проектантската практика, при изграждането на нов обект не може да се гарантира, че са обхванати и разгледани всички възможни комбинации от тези съображения и критерии, както и връзките между тях, които се преплитат най различно за всеки конкретен случай. При всяко едно обстойно анализиране и оценяване на отделните гледни точки може да се види, че определена характеристика разгледана самостоятелно със своите предимства, в комбинация с други, така се трансформира, че в повечето случаи нейното значение чувствително се редуцира. С други думи всяко предимство е условно и ограничено. Ето защо за отделните материали е твърде рисковано да се дефинират оптималните им области за приложение . Ако например, считаме, че за съществен недостатък на бетона се явява неговото сравнително голямо собствено тегло, то тази му характеристика, при преодоляване на големи подпорни разстояния и приложение при неблагоприятни геоложки условия не звучи със същата сила, както при приложението му в обекти с обикновени подпорни разстояния. Също така по един начин се тълкува приложението на тежкия стоманобетон във вертикални елементи и по друг начин за хоризонтални. Една и съща характеристика поставена в едни условия на експлоатация, не изглежда толкова целесъобразна за дадения случаи, ако анализът и се извърши от друг аспект. От статическа и икономическа гледна точки (разгледани самостоятелно), би трябвало в строителството да се използват само стоманобетонни колони, но често в практиката примерите са точно обратни. При използване на технологията за пакетно – повдигани плочи или изпълнение на касетирани стоманобетонни плочи, все по – често се използват стоманени тръбни колони с или без бетон в тях, или стоманени колони с "I" напречно сечение. Плюсовете са в технологичните предимства, при свързването на тези колони и стоманобетонната плоча, както и в по – малките размери на колоните, с което се увеличава използваното пространство в сградата (фиг.1.1).



Фиг.1.1. Сграда на Интерпред в София със стоманени колони и стоманобетонни касетирани плочи[архив: Д.Н.П]

Добрата устойчивост на стоманобетонните конструкции на хоризонтални въздействия от вятър и земетръс, може да се окаже нецелесъобразна характеристика при използването на стоманобетона в строителството върху терени, намиращи се

върху минни басейни и в силно земетръсни райони, поради монолитните връзки между отделните конструктивни елементи и пространственото им действие, което рефлектира в голямата коравина на сградата като цяло. Големи предимства на стоманобетона като дълготрайност и разходи за поддържане, в класически изпълнените монолитни конструкции почти не са валидни при сглобяемото строителство с монтажни връзки между отделните конструктивни елементи: колони, греди, плочи, стени, при наличието на кухини, отвори и канали за напрягащата армировка. Тези предимства почти загубват своето значение при сгради с временно предназначение, или при сгради с изисквания за голяма флексабилност. Известният технологичен недостатък на монолитния стоманобетон, известен в практиката като „мокър процес", което представлява времето за неговото втвърдяване и узряване след изливането му, се разглежда в различни нюанси при бетониране на вертикални елементи – колони и шайби, и хоризонтални подови плочи. Вертикалните елементи обикновено се армират, кофрират и изливат в изпреварваща дистанция във времето спрямо хоризонталните елементи. Вертикалните елементи са натоварени обикновено от собственото си тегло само на натиск и това дава възможност на строителите да свалят кофражите в кратък период след бетонирането им. Това позволява да не се разглежда проблемът „мокър процес" със същата острота, както при хоризонталните конструкции.

Табл. 1.1. Сравняване характеристиките на стоманата и стоманобетона с оглед целесъобразността им за избора при строителство на даден обект

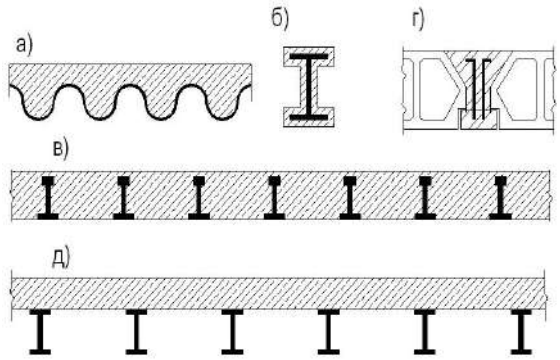
Гледна точка	**Техническа характеристика**	**Стомана**	**Стоманобетон**
Статическа	якост / собствено тегло (маса)	целесъобразност на материала (цм)	-
	якост на натиск, разходи	-	цм
	якост на опън, разходи	цм	-
	коравина	-	цм
	коравина (маса)	цм	-
	постоянни деформации	цм	-
	дуктилност	цм	-
	циклично натоварване (умора)	цм	-
	погасяване на вибрации	цм	
	земетръсни въздействия	цм	-
строителна физика	пожароустойчивост	-	цм
	температурна и звукова изолация	-	цм
Конструктивна	**с**ъвместяване на носещата функция на елементите с ограждаща	-	цм
	достъпност на конструкцията за инсталации	цм	-
	производствена точност	цм	-

	простота на детайлите	-	цм
	флексабилност и адаптивност	цм	-
	дълготрайност, поддръжка	-	
Технологичност	период на изграждане	цм	-
	Заводска готовност, транспортируемост, монтаж	цм	-
	зависимост от годишни сезони	цм	-
	при изтекъл срок на годност демонтаж и възвращаемост на материалите	цм	-

Забележка : ЦМ – целесъобразност на материалите

1.2. Мотиви за комбиниране на двата вида конструктивни материала

Комбинирането на двата материала в миналото се обяснява в днешно време с необходимостта от допълнение на бетона към стоманата в качеството си на строителен материал със следните изразени функции (фиг.1.2).



Фиг.1.2. Стоманени конструкции комбинирани с бетон, без да се отчита съвместната им работа[1, 2]

а) при подове с вълнообразна ламарина бетонът е изпълнявал функцията на изравняваща подова настилка, върху която след това се полага топлоизолация и хидроизолация;

б) при горещо валцувани профили използвани в миналото в индустриални сгради бетонът е служел за осигуряване на пожароустойчивостта на стоманата;

в) тежки подови плочи, изпълнени от стоманен релсов материал, които допълнително е трябвало да бъдат бетонирани;

г) при подови плочи от стоманени греди и керамични елементи между тях, бетонът играе ролята на свързващ компонент между стоманеното греда и керамичното тяло;

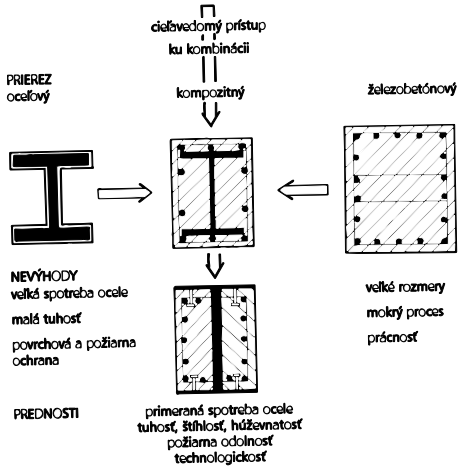
д) подова конструкция от класически тип: стоманени греди върху които е излята стоманобетонна подова плоча е използвана за първи път в строителството през 1914 год. В тези конструкции по това време, поемането на целият товар се осигурява от стоманената греда.

Научна обосновка за комбинирането на двата материала и за тяхното съвместно поведение се предлага на Конгреса на Международната асоциация по мостове и конструктивно инженерство (IABSE) в Париж през 1932 година [1, 2].

Стоманобетонните подови плочи, подпрени върху стоманените греди, допринасят първоначално за увеличаване коравината на подовата конструкция, но до опити за тяхното свързване се стига едва след Втората световна война. Недостигът на строителни материали в този период и особено липсата на стомана принуждава строителните инженери да потърсят нови конструктивни форми за по – целесъобразно използване на двата вида строителни материала – стомана и стоманобетон. Това можеше да се осъществи само чрез комбинираните конструкции, в които на бетона се предоставя функцията да поеме част от натисковите напрежения, а на стоманата изцяло опънните напрежения.

С комбинирането на двата материала в единен „композитен" конструктивен елемент са постигнати достатъчно високи технико-икономически параметри на конструкцията, изразени в подобрени якостни и коравинни стойности, намаляване разхода на стомана, подобрени антикорозионни и противопожарни качества, увеличаване дълготрайността, редуциране и опростяване на довършителните работи. Това всичко дава резултати, които се изразяват в съкращаване сроковете на строителство и в подобрявана икономическите параметри на строителния процес.

Стремежът на проектантите да запазят в известна степен предимствата на единия или друг материал комбинирайки ги, или редуцират някои от техните недостатъци, не винаги води обаче до очакваният по добър резултат и по –високи технико-икономически покзатели на обекта. Различните производствени допуски в техническите параметри на двата материала, по сложните комбинации при съгласуване и координиране на своевременното изпълнение, доставка и монтаж на различнте видове конструктивни елементи и не на последно място сложните изследвания на комбинираните конструкции с отчитане на реологичните свойства на бетона[6,7], носят със себе си други проблеми, които трябва да бъдат добре и точно решени. Независимо от това в областта на комбинираните конструкции се работи в цял свят систематично и с устойчиво темпо върху развитието най-вече на строителни системи за сгради с комбинирани конструкции. Всяка една нова сграда се анализира достатъчно подробно, за да се прецени дали нейната ефективност ще бъде плод на рационалната комбинация на различните технологии за изграждането на стоманата и бетона като материали; дали ще се търси разнообразяване на класическите стоманобетонни конструкции с нови нестандартни стоманени елементи; дали ще се търсят минимални геометрични параметри при натиснати елементи, при които комбинацията от двата материала е очевидна (фиг. 1.3).



Фиг. 1.3. Избор на оптимално напречно сечение след сравняване на предимствата и недостатъци на стоманена, стоманобетонна и комбинирана конструкция [1,2].

Един малък пример показва с каква педантичност се търси най – икономичното решение за случай на комбинирана колона с вбетонирано I сечение, приета за изпълнение при I-ва итерация.При по – подробен анализ на трудоемкостта на бетонните работи и на пожароустойчивостта се конструира напречно сечение с частично вбетонирано стебло от стомана Клас S355 и видими пояси от стомана Клас S235. Друг още по-красноречив пример от нашата съвременност, при който в основата му стоят сериозните изследвания на проектантите е изграждането на сграда в Германия с многоетажен скелет и комбинирани подови греди[1, 2]. В този случай стремежът на проектантите да намалят конструктивната височина на етажната конструкция с няколко сантиметра, води до възможността да се реализират допълнително два етажа[1,2].

1.3. Категоризация на комбинираните стомано-стоманобетонни конструкции

Комбинираните стомано – стоманобетонни конструкции съвместяват в една статико – конструктивна единица (елемент, част, подсистема, система) стоманена и стоманобетонна конструкция. Ако се вгледаме в развитието на стоманобетонните конструкции у нас и в чужбина [1-7], ще отбележим как с развитието на технологиите на строителство се формират три главни групи, а именно:

- монолитен стоманобетон, който се изпълнява на мястото на строежа върху предварително заготвен за тази цел кофраж (in situ) и започва да изпълнява своите носещи функции чак след своето узряване и втвърдяване.
- сглобяем стоманобетон, чиито елементи: фундаменти, колони, греди, плочи, стени се изпълняват в заводски условия, след което се сглобяват на строителната площадка.
- сглобяемо-монолитен стоманобетон, който представлява съчетание от сглобяеми елементи (предплочи, предстени) изпълняващи функцията на кофраж, върху който на местостроежа се полага монолитната част на конструкцията.

При съчетаване на отделните видове строителни технологии, които обхващат: стоманените, монолитните и сглобяемите стоманобетонни конструкции, в практиката се получават дву-компонентни композити, които могат да се разделят по следния начин:

- комбинирани стомано-стоманобетонни елементи, в които доминираща роля играе стоманената част.
- комбинирани стомано-стоманобетонни елементи, в които доминираща роля играе стоманобетонната част.

След включването на тези три вида едноматериални компоненти (стомана, монолитен стоманобетон и сглобяем стоманобетон) в комбинация помежду им, се получават три вида композити.

От тези строително-конструктивни елементи се изграждат отделните строителни подсистеми, които дават възможност да се създаде в последствие окончателната строително-конструктивна и статико-динамична схема на бъдещата сграда. Ако при съставянето на концепцията на един обект се използват следните входни данни: строителна технология, въздействия и натоварване, местоположение и задача на конструктивния елемент в сградата е възможно да се създаде алгоритъм, с който да се удовлетвори произволна архитектурна задача, за изпълнение на сграда или съоръжение с комбинирани конструкции.

1.4 Комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции

1.4.1. Общи данни - класификация

Комбинираните стомано-стоманобетонни конструкции притежават няколко характерни признака, които се изразяват в следното:

- изпълнени са от две самостоятелни части – стомана и стоманобетон.
- стоманената част притежава собствена огъвна коравина, която и дава възможност самостоятелно да поема определена част от общото натоварване, както в монтажно състояние преди втвърдяването на бетона, така и в случай на излизането му от експлоатация в резултата на разрушаването му от екстремни външни въздействия – земетръс и терористични атаки (виж: комбинирани греди).
- стоманената част играе роля на армировка след втвърдяването на бетонната част от комбинираната конструкция: (ламаринобетонна плоча, стоманобетонна колона с корава армировка)

1.4.2 Комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции с доминираща стоманобетонна част и наличие на специална армировка

Този тип комбинирани конструкции се отличават от другите видове с характера на своето изпълнение. Стоманената част на конструктивния елемент изпълнява функцията на армировъчна стомана, както в класическите стоманобетонни конструкции. Този вид армировка представлява: стоманен скелет от горещо валцувани профили, със собствена огъвна коравина или листова стоманена обшивка, анкерирана към стоманобетонната част на комбинираната конструкция. Комбинираните конструкции могат да бъдат разграничавани помежду си като се сравнява структурата на напречните им сечения, геометрията, формата и големината на техните доминиращи съставни компоненти, разликата между отделните видове се търси в различната технология на изпълнение на бетонната част и във вида на преобладаващото натоварване върху тях.

Според структурата на напречното сечение, вида на съставните му части и доминирането на определена част от тях, различаваме два основни вида комбинирани конструкции:

а) стоманобетонни конструкции със специална стоманена армировка. Същата притежава голяма собствена огъвна коравина. Взаимодействието на тази армировка с бетона е възможна благодарение на сцеплението, което се реализира между тях след втвърдяване на бетона. Това позволява да се постигнат определени конструктивни и реализационни предимства. Доминираща роля в този вид елементи играе бетонната част. Поради тази причина, този вид комбинирани елементи все още се причисляват към стоманобетонните конструкции.

б) Комбинирани стомано – стоманобетонни конструкции[5]. Изпълнени са от два самостоятелни конструктивни елемента – стоманена греда и стоманобетонна плоча. Всяка от тези две части притежава собствена огъвна коравина. Свързването между тях, което се изпълнява с т.н тангенциални връзки, им осигурява съвместното поведение (принуждава ги да работят съвместно), при което се създава единен конструктивен комбиниран стомано – стоманобетонен елмент. Приносът към сумарната коравина на елемента респ. носимоспособност е приблизително еднаква и за двата материала. Доминираща роля в този вид конструктивни елементи притежава стоманената част. Преобладаващата част от теоретичните изследвания в тази област са ориентирани към проблемите със стоманената греда. Стоманобетонната компонента, все още се счита за допълнителна конструкция, подобряваща свойствата и функцията на цялостната комбинирана конструкция. За един от

основните проблеми на този вид конструкции се приема начинът на свързване между двете части на комбинираната греда.

В настоящия етап от своето развитие комбинираните строително – конструктивни елементи представляват самостоятелна категория строителна конструкция със собствена оразмерителна методология и с безспорно доказани технико - икономически показатели и предимства. Според строителната технология, която се използва за изграждане на комбинирани конструкции, различаваме два вида:

- монолитно изградени комбинирани конструкции, при които стоманобетонната плоча се изпълнява по монолитен начин върху стоманената подова конструкция, на мястото на строежа(IN SITU).

- сглобяемо изпълнени комбинирани конструкции, при които стомонобетонната част представлява предварително изпълнен в заводски условия, сглобяем елемент(панел), който се монтира върху стоманения гредоред.

По ред преобладаващия тип външни въздействия, комбинираните конструкции се разделят на две групи:

- елементи натоварени предимно на огъване, при които преобладава огъващ момент M и напречна сила V, каквито са греди, плочи, ригели на рамки.

- елементи натоварени предимно надлъжно с преобладаваща натискова сила N, каквито са колони, стълбове, стени, мачти, натискови пръти във фермови конструкции.

При комбинираните конструкции със специална армировка, в резултат на развитието им, в практиката се обособяват следните няколко вида:

А) стомано-бетонни конструкции с листова армировка

Този вид конструкции принадлежат към най-съвременните и се срещат обикновено при двумерни и тримерни тела: стени, плочи и черупки, каквито са резервоарите, защитни черупки над атомни реактори и др. Листовата стомана може да се разполага от едната или двете външни страни на бетонната конструкция. Съвместното поведение на стоманената част с бетонната се осигурява обикновено чрез болтови дюбели, разположени равномерно или по – често с тангенциални връзки с линейно разпределение. Листовата стомана е в състояние да поеме в своята равнина опънните напрежения във всички направления. Листовата стомана разположена върху бетонната черупка, изпълнява статическа функция на носещ елемент, играе ролята на хидроизолация и охрана срещу радиоактивното излъчване и не на последно място изпълнява естетически изисквания. При изследване на такъв вид комбинирана конструкция се приема , че конструкцията е стоманобетонна, при която дискретно изпълнената армировъчна мрежа се замества с напрекъснат слой листова армировка.

Б) тръбобетонни конструкции

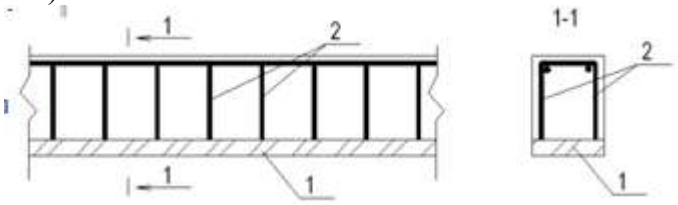
При тях тръбното затворено стоманено сечение поема напречните опънни напрежения а бетонното ядро работи в триосово напрегнато състояние, като спирално напречно армиран бетон. Те представляват самостоятелен раздел в областта на комбинираните конструкции[4]. Като се отчете и достатъчно голямата линейна и огъвна коравина на стоманената тръба, този вид конструкции се причисляват от някои специалисти към комбинираните.стомано-стоманобетонни конструкции.

В) бетонни конструкции с корава армировка, изпълнени от горещо валцувани I образни, Г и П образни профили.

Този начин на класифициране на комбинираните конструкции, дава лесна представа за многообразието им в строителната практика. Тяхното реализиране не винаги е възможно да се осъществи на база съществуващи нормативни документи. *Това доказва още веднъж недвусмислено, че практиката изпреварва понякога научните изследвания и е въпрос на лична отговорност на проектанта да реализира определена архитектурна концепция с познати в практиката конструктивни решения или да избере предизвикателството на нови конструктивни форми, които след реализирането им проправят нови пътища в науката. Евростандартите не разглеждат именно поради тази причина показаните тук видове комбинирани конструкции.*

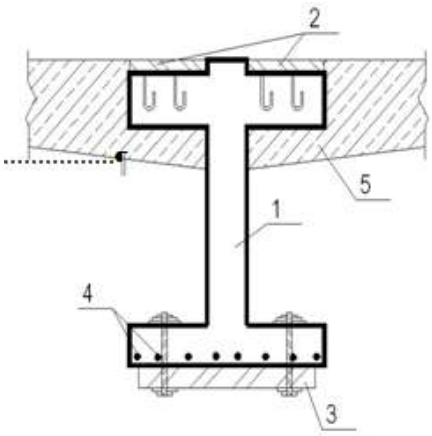
1.4.2.1 Стоманобетонни конструкции с листова армировка

Стоманобетонните конструкции с външна армировка изпълнена от листова стомана, най често с дебелина в диапазона от 8 mm до 16 mm, представляват в последно време нова разновидност на стоманобетонните конструкции, прилагани в най-отговорните съоръжения, необходими за перспективните отрасли на строителството. С листова армировка се изпълняват гредови елементи с правоъгълно, "Т" и "I" напречни сечения с подпорни разстояния от 6 до 18 метра. В много случаи е възможно комбинирането на вътрешно разположена в долния пояс на гредата предварително напрегната армировка и външно усилване с листова стомана. В много случаи самата листова стомана може да бъде предварително напрегната. Използването на този вид комбинирани конструкции преди всичко води до по-малки конструктивни височини на елементите и по–висока носимоспособност-показатели особено важни за многоетажни обществени и производствени сгради. Армирането на гредите с листова стомана може да се изпълни само върху долния им пояс, но се срещат конструктивни елементи с двустранно поставена листова стомана. Наличието на листова стомана в горен и долен пояс на гредата осигурява нейната универсалност от гледна точка на полагането и закрепването към нея на различни настилки и инсталации, даже и в процеса на нейната експлоатация, както и усилването и в кратки срокове. Функцията на анкери в тези комбинирани конструкции изпълняват заварена към листовата стомана напречна армировка във вид на стремена(фиг.1.4).



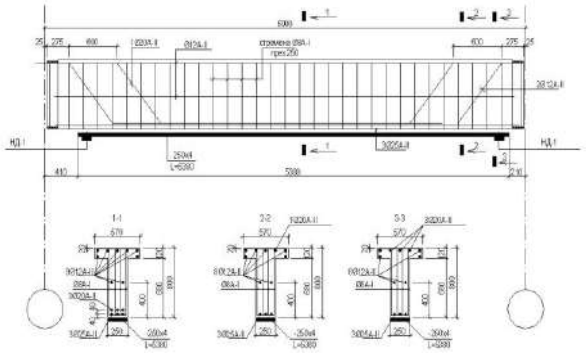
Фиг.1.4. Предварително напрегната града с външно армиране от листова стомана [1] (1-предварително напрегната листова стомана, 2-анкериращи пръти – изпълняващи ролята на стремена)

Връзката между листовата стомана и долния пояс на стоманобетонната греда се осъществява и с болтови съединения. Този детайл е използван в комбинираните греди известни под наименованието"Willstress" разработени в Белгия за строителство на пътни надлези и обществени сгради (фиг.1.5).



Фиг.1.5. Напречно сечение на комбинирана конструкция тип: "Willstress" [3,4] (1-стоманобетонно сечение; 2-горна стоманена плоча, 3-долна стоманена плоча, 4-предварително-напрегната армировка, 5-стоманобетонна плоча между гредите, 6-високоякостни предварително напрегнати болтове)

Използването им в практиката позволява да се проектират конструкции с височина на гредата 1/40 от нейния отвор. Често пъти в практиката се налага да се усилят стоманобетонни греди с помощта на външна листова стомана, която се залепва към долния пояс на гредата с епоксидно лепило (фиг.1.6).



Фиг. 1.6. Конструктивно решение на усилена с листова стомана подкранова греда [3]

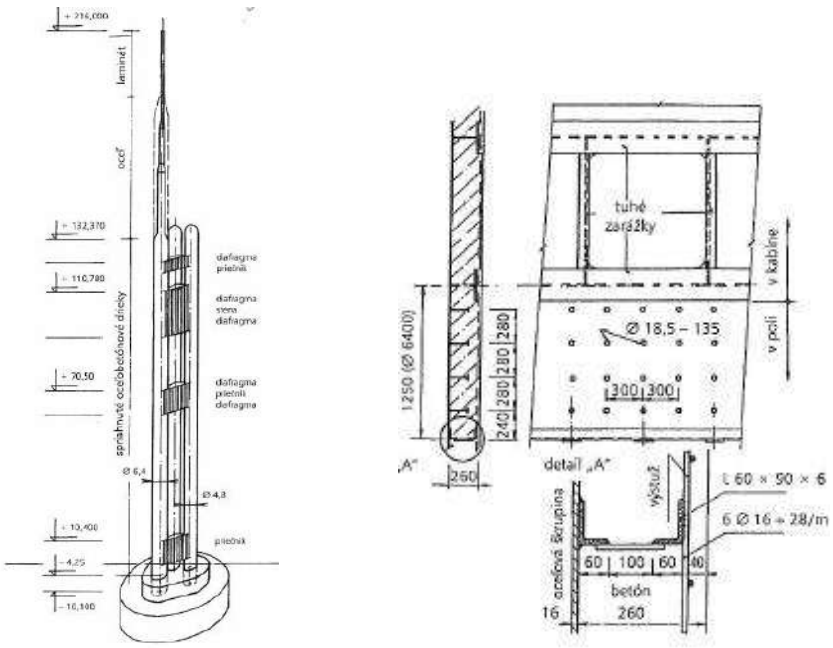
Външното листово армиране се използува много често при изграждане на ротационни черупкови конструкции:

- прилагат се обикновено при атомните централи за куполи над реакторното отделение(фиг.1.7);



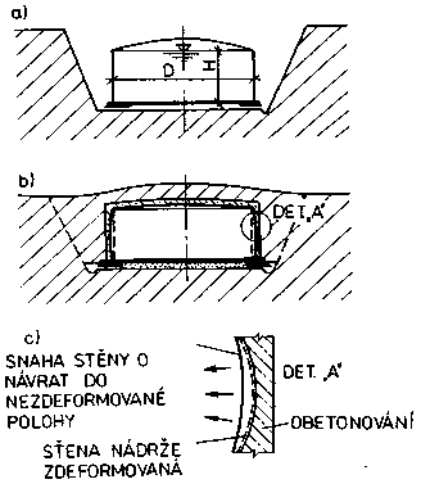
Фиг. 1.7. Купол над реакторното отделение при атомните централи [4]

-при изграждане на телевизионни кули (фиг.1.8 а,б);



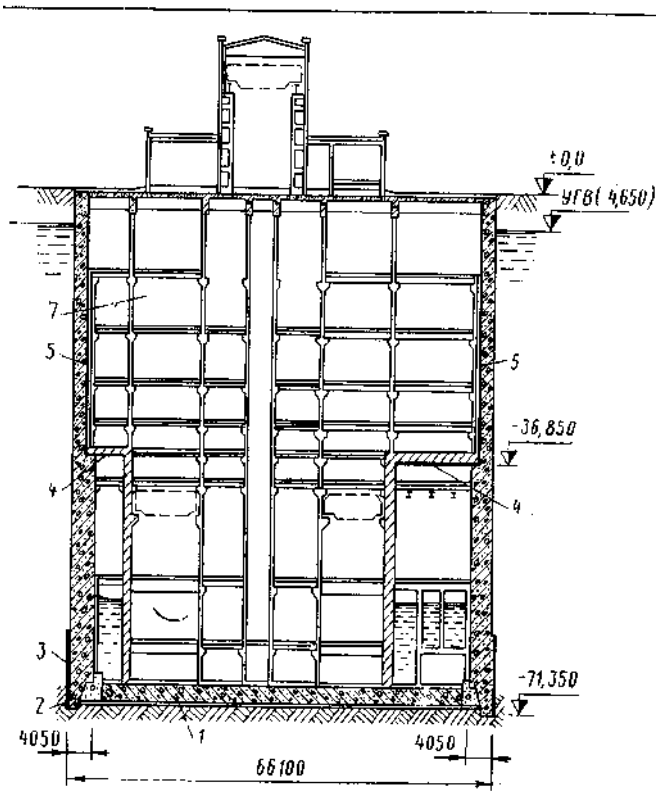
Фиг.1.8. Телевизионна кула в Прага изпълнена от стоманени тръби пълни с бетон[1,2]

а) триделна стоманена тръбна конструкция;
б) болтови дюбели осигуряващи съвместното поведение на двата материала
- при изграждане на подземни резервоари за нефтопродукти (фиг.1.9);



Фиг.1.9. Подземен разервоар от монолитен стоманобетон с външна обшивка от листова стомана [2]
а) изграждане на цилиндрична стоманена черупка като свободно стоящ резервоар
б) бетониране на черупката отвън при състояние напълнена с вода
в) схема на деформиране на на стоманената обшивка

- при изграждане на конструкциите на подземни помпени станции, (фиг.1.10);.

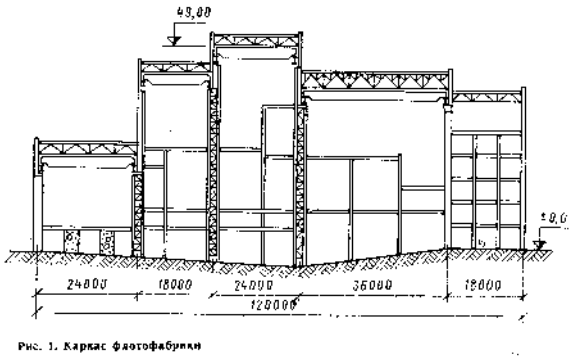


Фиг.1.10. Вертикален разрез на подземна помпена станция [4]
1-дъно, 2-ножова част на цилиндричната черука, 3-външна листова стомана, използувана като кофраж за ножовата стоманобетонна част, 4-листова стомана, 5-листова стомана за „сухото" отделение, 6-листова стомана за стълбище и асансйорно отделение, 7-„сухо" отделение

Във всички по-горе изброени случаи листовата стомана работи съвместно със стоманобетонната част на конструкцията като поема, както нормални и тангенциални усилия, така и огъващи моменти.

1.4.2.2. Тръбобетонни конструкции

Строителни конструкции, изпълнени от стоманени тръби, напълнени с бетон се появяват за първи път през 1931 год., в предградие на Париж, където е изграден дъгов мост с отвор 9 м, който се състои от две дъги, всяка от които е изпълнена от 6 тръби с диаметър 60х3.5 мм, напълнени от своя страна с бетон. Тази идея, реализирана през 1936 год., в дъгов мост с отвор 10 м. над река Нева в Петербург, където за параболоидната дъга се използват 40 бр. тръби с диаметър 140х5 мм. доказва предимството на този вид конструкции пред стоманобетона[4]. В гражданското и промишлено строителство тръбобетонните конструкции се използват в качеството си на натискови елементи и се прилагат в местата на колоните(фиг. 1.11.).



Фиг 1.11. Стоманен скелет на флотационна фабрика с тръбобетонни колони [4].

Тръбобетонът дължи своето широко приложение на своята по-ниска себестойност в сравнение със стоманобетонните и стоманени конструкции[4]. По малкото тегло на тръбобетонът, в сравнение със стоманобетона намалява разходите за транспорт и монтаж. Липсата на кофраж и скеле го прави по-конкурентен спрямо стоманобетона. Наличието на металната черупка на тръбите предпазва стоманобетонното ядро от неблагоприятни условия на експлоатация в промишлени предприятия. Напълнената с бетон стоманена тръба е с подобрени противокорозионнни и противопожарни свойства, с увеличена местна устойчивост на стените на тръбата, с намалена стройност, с увеличена коравина, като се разглежда вече съвместното им поведение. Икономията в разхода на стомана при тръбобетон използван за колони в сравнение с чисто стоманени колони възлиза до 55%. Голямата му носимоспособност при натиск и вследствие на това по- малките размери на натиснатите елементи от тръбобетон го правят практически без конкуренция при изграждането на многоетажни стоманени скелети (фиг. 1.12).

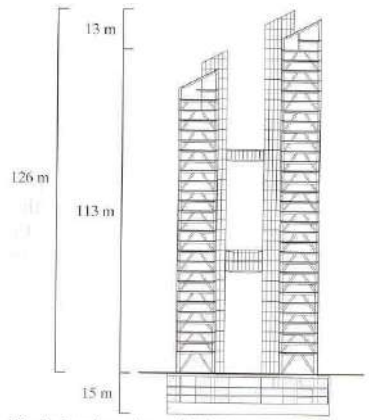


Fig. 3: Section through the two high-rise buildings with bracing structure



Fig. 4: Isometric view of the end channel framing

Фиг.1.12. Многоетажна сграда във Франкфурт –Германия [1]

Фиг.1.12а. Фрагмент от етажната конструкция на сградата с тръбобетонни колони [1]

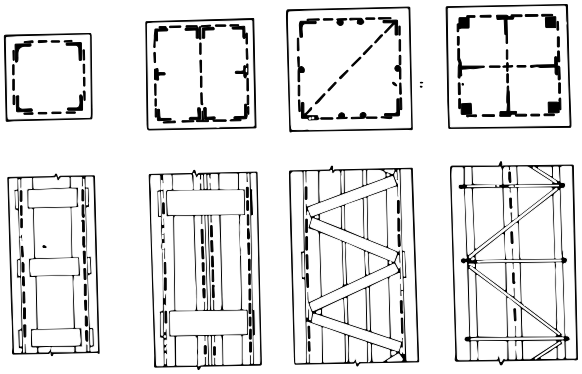


Фиг1.12б. Тръбобетонни колони на сградата за първият етаж [2]

1.4.2.3. Бетонни конструкции с корава профилна армировка

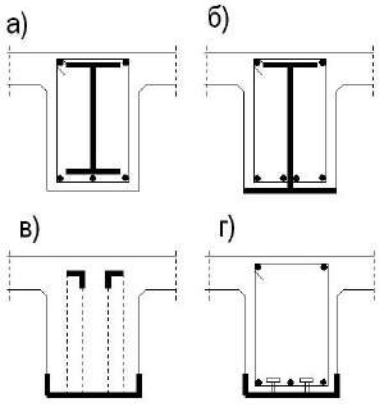
При този вид комбинирани конструкции, надлъжната армировка притежава характера на стоманен скелет, изпълнен от горещо валцуувани I, Г, П,Т -образни профили. Коравият скелет притежава собствена голяма огъвна коравина, която дава възможност да се поеме определено натоварване и в процеса на строителството, преди втвърдяването на бетона, например да служат за носещи стойки на скелето. Стоманеният скелет, които в последствие се вбетонира напълно или частично в бетона, се доставя на обекта без антикорозионно покритие Така изпълнените комбинирани конструкции дават възможност за лесно изпълними конструктивни детайли на съединенията колона – подова конструкция и др.

При вертикални конструктивни елементи: колони, стени, стоманеният скелет е изпълнен като прътова решетъчна или рамкова конструкция от горещовалцувана прътова профилна стомана (фиг. 1.13).



Фиг.1.13. Видове бетонни колони с корава армировка [1]

При хоризонтална конструкция от гредови тип, коравата армировка дава възможност да се реализират подобни решения, както във вертикалните комбинирани конструкции. При монолитно изпълнен бетон, същият е армиран с надлъжна и напречна армировка, като бетонирането на греди и подова плоча се извършва едновременно. При този вид комбинирани греди трябва задължително да се съблюдава доброто качество на бетонирането и вибрирането на бетонната смес. Няколко конструктивни решения на бетонни подови конструкции с корава армировка са показани на (фиг. 1.14).



Фиг.1.14. Стоманобетонни греди с корава армировка [1,5]
а) пълно вбетониран горещовалцуван профил, б) вбетонрано стебло и видим долен пояс, в) вбетонирана прътова конструкция, г) стоманен профил, представляващ долен пояс на гредата

1.4.2.4. Предимства на стоманобетонните конструкции със специална армировка

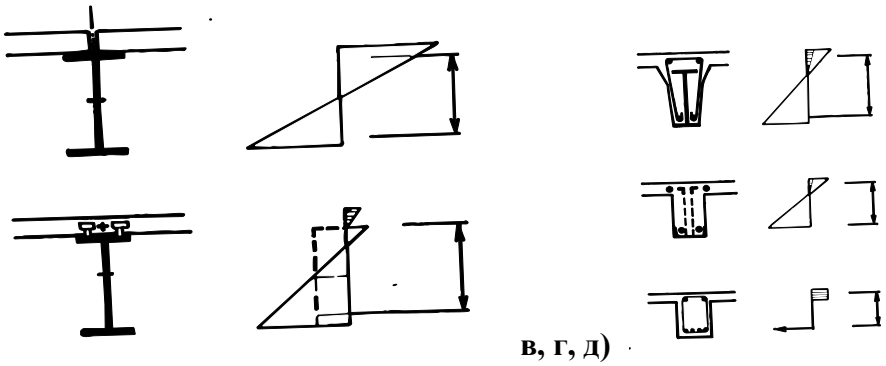
Този тип строителни конструкции се характеризират със свои, собствени предимства, които достатъчно добре отговарят на някои от изискванията, известни в строителната практика:

Статико-конструктивни изисквания: предимствата се изразяват във възможности за надеждно решаване местата от конструкцията със сложно напрегнато и деформирано състояние (например: местата на опорите на гредите, конзолите, главите на петите на колоните); точно се решават детайлите на свързване с между отделните елементи участващи в концепцията на конструктивната схема на сградата; безпроблемно се свързват към основната носеща конструкция леките преградни и ограждащи стени, окачени тавани, инсталации и др. Технологично – производствени изисквания: - предимствата се изразяват във високата степен на индустриализация на строителството и на голяма част от технологичните операции при изпълнението на коравата армировка под формата на армиране с кошове, скелети с голяма дължина и др.); постига се висока рационализация при бетонирането с възможности за бързо декофриране. При тръбобетонните конструкции и при използването на листова стомана за армировка този проблем с декофрирането изобщо отпада. Всичко това прави тези конструкции достатъчно ефективни в строителната практика и води до сериозни икономии на инвестиции при изпълнението им. Изисквания за рационалност при довършителните работи: при този тип комбинирани конструкции, при които стоманата е вбетонирана, е осигурена както нейната антикорозионна защита така и нейната пожароустойчивост. Всичко това , разгледано заедно с високата степен на комплектизация с прокараните в конструкцията инсталации съкращава чувствително сроковете за изграждане и води до добри икономически резултати.

1.4.3. Комбинирани стомано-стоманобетонни елементи натоварени на огъване

Този вид комбинирани конструкции се срещат като: главни и второстепенни греди в подови конструкции; като неприкъснати греди, ригели на рамки, фасадни греди и др. При натоварените на огъване конструктивни елементи напрегнатото им състояние се определя от големината на огъващия момент M и напречната сила V. Целесъобразното решение на елемента поставя условие за постигане на максимално

рамо на вътрешните разрезни хоризонтални усилия. С оглед коравината на елемента и неговата носимоспособност се изисква максимален инерционен момент J и максимален съпротивителен момент W. При определена конструктивна височина на подовата конструкция, това предполага материалът на сечението да се изтегли в неговите ръбови точки. При подовите конструкции, където е желателно да се постигне малка конструктивна височина, тенденцията е да се включи във височината на гредата и подовата плоча, при което се използва цялата конструктивнависочина на пода. Включването на подовата плоча в еквивалентното стоманено сечение на комбинираната греда, разтоварва горния пояс на симетричното стоманено сечение от натисковото напрежение. В този случай решаващи остават опънните напрежения в долния пояс на стоманената греда. Поради тази причина, при комбинираните подови греди, по - рационални за прилагане са несиметрични „I„ стоманени сечения с усилен долен пояс. На фиг. 1.15 са показани възможни напречни сечения на комбинирани стомано – стоманобетонни греди, натоварени на огъване.



Фиг.1.15. Структури на комбинирани стомано-стоманобетонни греди[1,5]
а) стоманена греда и свободно подпряна върху нея стоманобетона плоча, б) стоманена греда, комбинирана със стоманобетонна плоча с малка огъвна коравина, в) стоманена греда, комбинирана със стоманобетонна плоча с голяма огъвна коравина, г) вбетонирана стоманена прътова конструкция, д) стоманобетонна греда

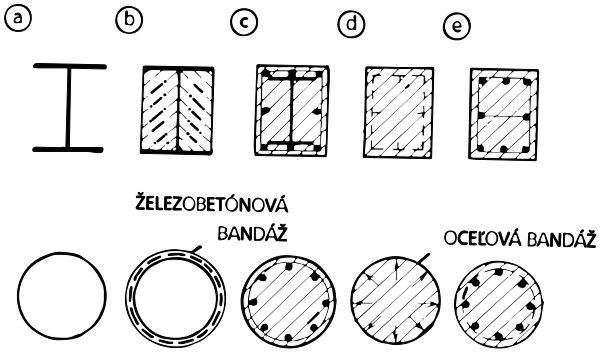
1.4.4. Комбинирани конструкции, натоварени надлъжно с осови сили

Тези комбинирани елементи се използват в практиката като колони, пилони, рамкови стойки, натиснати елементи в прътови системи, сводови греди и др. Решаващо усилие за носимоспособността на тези елементи е нормалната сила N. При наличие на ексцентрицитет при изкълчването на пръта се появява допълнително огъващ момент M и малко напречно усилие V.

При по – високи стройности е меродавно оразмеряването на устойчивост, при което изискванията към напречното сечение се формулира чрез условието за максимален инерционен радиус....$i= (I/A.)^{0,5}$, където: (I – инерционен момент, A – площта на напречното сечение).

Тук трябва да отбележим, че не винаги напречното сечение с високо числено на инерционния радиус „i" води до оптималното решение. В този случай проблеми могат да създадат големите размери на сечението, поемането на тангенциалните сили, тънкостенността на сечението и др. Категорично, при избора на комбинирани елементи, натоварени с осови натискови сили, не се препоръчва съществуването на „слаба"инерционна ос на напречното сечение. Както при комбинираните елементи, натоварени на огъване и тук се среща твърде голямо разнообразие от различни напречни сечения (фиг. 1.16).

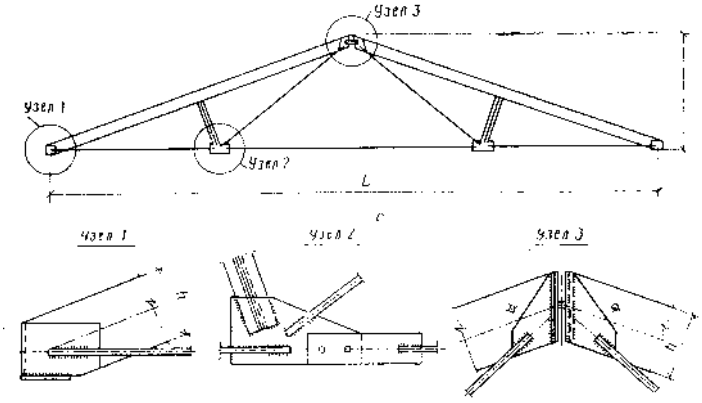
Относителния дял на поемането на натисковата сила от едната или другата част на сечението (стомана или бетон) може да се изрази с отношението: ...a_j...=$N_j./N_u.$; където Nj – носимоспособност на някоя от частите j; N_u – цялата носимоспособност на елемента.



Фиг.1.16. Структури на комбинирани стомано-стоманобетонни колони[1,5]
а) Стоманено напречно сечение (плътно, тръбно), б) частично вбетонирано стоманено сечение, в) изцяло вбетонирано стоманено сечение, г)бетонно сечение със специална армировка-прътова решетъчна конструкция или тънкостенна цилиндрична черупка.

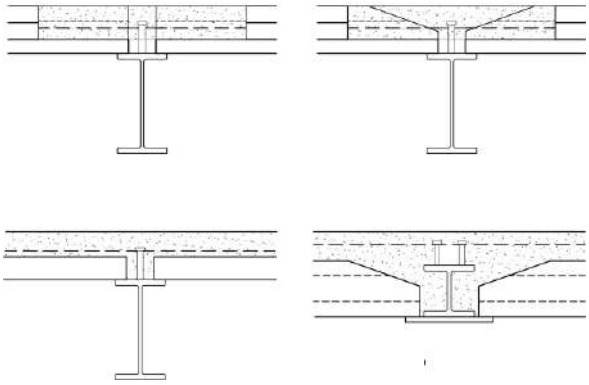
1.5. Смесени стомано-стоманобетонни конструкции

Характерно за смесените конструкциие е, че се композират от стоманени и стоманобетонни елементи (части). В своята разновидност смесените конструкции могат да представляват покривни конструкции, изпълнени от прътови системи, в които горния натиснат пояс е от стоманобетон, а останалите пръти са стоманени (фиг. 1.17).



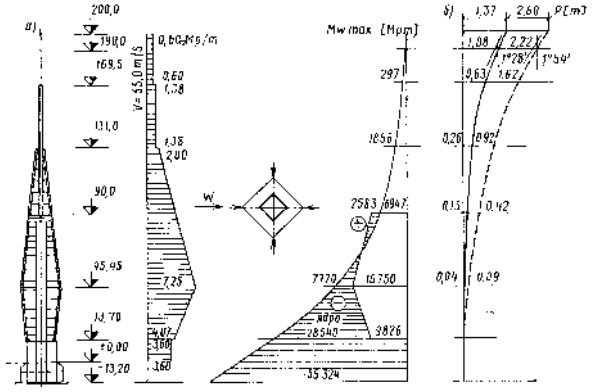
Фиг.1.17. Смесена стомано-стоманобетонна ферма за селскостопански сгради [4]

Характерно за смесените конструкции е комбинирането на елементи от стомана и стоманобетон в цялостна конструкция, а не в едно единствено сечение. При смесените конструкции всеки елемент притежава свойствата и характеристиките на материала, от които са изпълнени. Към този вид конструкции принадлежат и подови конструкции, съставени от стоманени греди и сглобяеми кухинообразни панели „Спирол" или други, които лягат върху горния или долния пояс на гредата (фиг.1.18), или се опират встрани на стеблото, чрез опорни столчета.



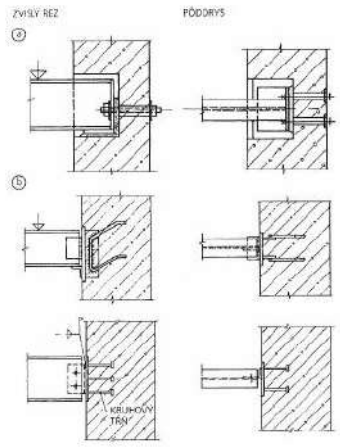
Фиг.1.18. Различни видове смесени подови конструкции[3]

Полагането на тези панели върху стоманените греди, се реализира съвсем просто, защото стоманените греди се монтират с голяма точност и площите върху които лягат панелите са равни и гладки и даже не е необходима циментo – пясъчна подливка. След свързването на отделните елементи чрез замонолитването, което се извършва между панелите е въпрос на избор от проектанта да прецени до каква степен може да отчете в своите изчисления съвместната работа на двата отделни вида материал, какви конструктивни мерки да вземе, за да получи комбинирана стомано – стоманобетонна конструкция (чрез дюбели и замонолитване на панелите). Интегрираната пространствена система, състояща се от комбинацията на вертикално, стоманобетонно асансьорно ядро и стоманен скелет в телевизионната кула на (фиг.1.19) се разглежда също така като смесена конструкция. В моментовата диаграма ясно се вижда участието на стоманобетонното ядро и стоманената конструкция в поемането на огъващия момент на конзолата на телевизионната кула в Братислава.



Фиг.1.19. Телевизионна кула в Братислава[1,2]
а) разпределение на огъващият момент в конзолата между стоманобетонното ядро и стоманеният скелет на кулата; б) хоризонтални деферации

Определени проблеми може да възникнат в местата на контакта между стоманените греди и бетона, където се решават детайлите, които трябва да отговарят на създадения статико-динамичен модел на сградата, а именно да се детайлизират и изпълнят детайли на кораво запъване, неподвижна или подвижна става. Често срещани детайли при смесените конструкции е връзката между стоманената греда и стоманобетонното ядро, стена и други (фиг.1.20).

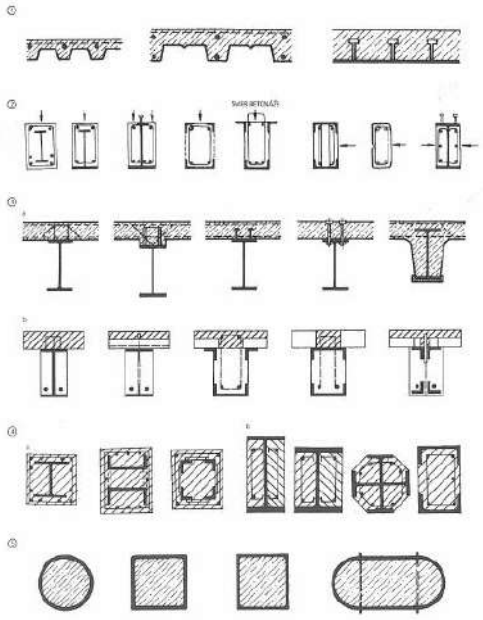


Фиг.1.20. Монтаж на стоманени греди в стоманобетонни диафрагми [1]
а) в специални ниши оставени в стената; б) с помоща на стоманени столчета и закладни части

1.6. Групиране на комбинираните стомано-стоманобетонни конструкцции

Комбинираните стомано-стоманобетонни конструкции в последно време се делят на следните групи(фиг. 1.6):

1. Комплексни ламарино бетонни плочи;
2. Вбетонирани стоманени напречни сечения, натоварени предимно напречно с усилия(M,V), които работят като греди, биндери, при което могат да бъдат комбинирани със стоманобетонна плоча, изпълнена по различни технологии;
3. Стоманени греди, комбинирани по различен начин със ст. бет. плочи;
4. Бетонирани стоманени сечения натоварени предимно надлъжно (с нормална сила N), която работи като колона, стълб, устой, натиснати пръти в рамкови и прътови системи.
5. Затворени кутия-образни стоманени профили напълнени с бетон или армировъчна стомана, които се използват като стълбове, устои , натиснати елементи.



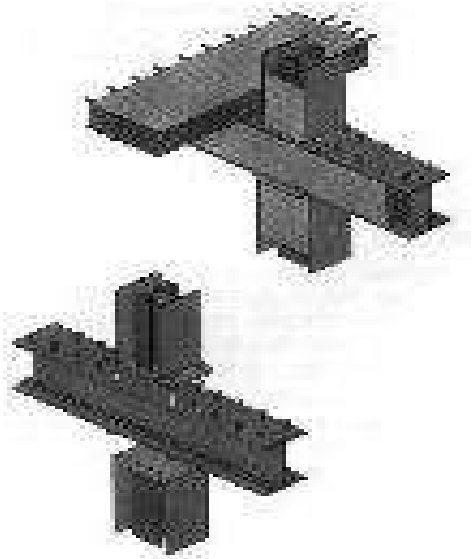
Фиг.1.21. Групиране на комбинираните стомано-стоманобетонни конструкцции [1,2]

2. Приложение на комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции у нас.

За първи път в строителството се използват комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции през 1914г. Научната обосновка за комбинирането на двата материала се предлага на Конгреса на международната асоциация по високо строителство и мостове (IVHB) в Париж (Франция)- 1932г. Недостигът на материали за строителството, особено на стомана, принуди строителните инженери да потърсят нови форми за по-целесъобразно използване на двата строителни материала- стоманата и стоманобетона. Това можеше да се осъществи само чрез комбинирани конструкции, в които на бетона се предоставя функцията да поеме част от натисковите напрежения, а на стоманата опънните напрежения(фиг.2.1-2.2).



Фиг. 2.1. Комбинирана греда с дюбели



Фиг. 2.2. Конструктивен детайл от комбиниран скелет

Отчитайки предимствата, които притежават комбинираните стомано-стоманобетонни конструкции, в сравнение с чисто стоманените, а така също и в някои отношения и със стоманобетонните конструкции, в икономически развитите държави продължава интензивното разработване на конструктивни системи за:

- изграждане на мостови съоръжения с отвори до 60 m [14];

● изграждане на обществени сгради с височини до 16 етажа, подпорни разстояния в напречно или надлъжно направление до 12/18 m и полезно натоварване 3,5 kN/m^2 [9,10,13];

● класическият тип комбинирани конструкции представлява стоманена греда, свързана със стоманобетонна плоча в горния си пояс . Въпреки, че на пръв поглед всички проблеми на този вид конструкции са решени, постоянно изникват нови, които очакват своето разрешаване [11,12];

● проблеми възникват при изследването на конструкциите от температурни въздействия, в следствие различните коефициенти на температурно разширение на двата материала при високи температури [11].



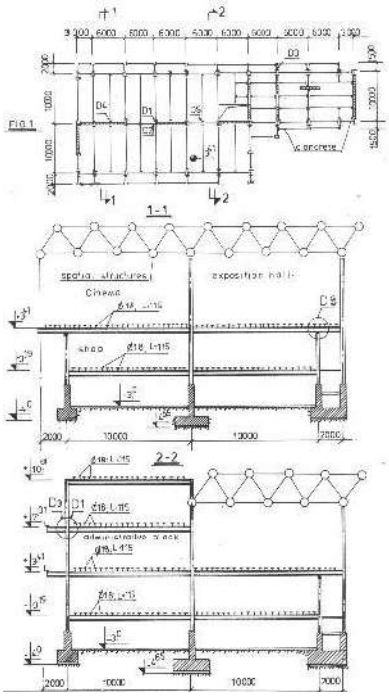
Фиг. 2.3. Заваряване на Nelson-дюбели

Разработват се нови видове конструктивни елементи. Особено устойчиво развитие в това направление показва люксембургската фирма "ARBED", която използва комбинираните конструкции в един извънредно широк диапазон. Особено внимание е обърнато върху защитата на тези конструкции от пожарни въздействия. Разработена е специална компютърна програма на база МКЕ наречена CEFICOSS (Computer Engineering of the Fire Resistance for Composite and Steel Structures) [12].

Продължават експериментите за определяне реалното поведение на комбинираните конструкции при динамично натоварване. Актуално е поведението им в условието на дълговременно действуващ постоянен товар, когато се проявяват реологичните и обемни изменения на бетона, влияещи върху преразпределението на напреженията между двата материала [6, 7]. Изследват се нови видове свързващи елементи между двата материала- дюбели, перфорирани шини и специални лепила [13,14]. Изследва се поведението на стоманобетонната плоча в еластопластичен стадий при многоетажни обществени сгради.

2.1. Изграждане на изложбена зала в панаирния град в Пловдив

През 1987г. за изложбената палата на асоциация "Строителство и строителна индустрия" на Международния панаир в гр.Пловдив бяха проектирани: триетажна административна сграда, киносалон и магазин с комбинирани подови конструкции (фиг. 4).



Фиг. 2.4. Конструктивна схема на изложбена палата в Пловдив

Конструктивното решение на коти ±0,00, +3,60, +7,20 и +10,80 m представлява ставна скелетно-гредова комбинирана стомано-стоманобетонна конструкция, която се състои от напречни, надлъжни греди и колони изпълнени от пълностенни "I" заварени сечения. Композиционното междуосие е 3.00 и 2.50 m (фиг.4). Гредите по статическа схема са прости, с отвори от 3.00 до 10.00 m. Те се подпират върху стоманени колони и стоманобетонни шайби. Връзката между греди и колони е конструирана така, че да поема само вертикална реакция. За тази цел към пояса на колоните е заварено специално столче от листова стомана, върху която гредата стъпва посредством два неравнораменни ъглови профила L140.90.10, заварени към стеблото й. С цел да поемат монтажни хоризонтални сили, ъгловите профили се прикрепят към колоните посредством два болта М20. Връзката между греди и стоманобетонни шайби се реализира чрез вградена стоманена плоча в шайбата. Всички колони от триетажния скелет- галерия, киносалон и магазин са с унифицирани размери 200/340mm. Колоните завършват в долния си край с опорна плоча с размери 40/400/600 mm. Стъпката на колоната се свързва с ивичния фундамент чрез два анкерни болта с ∅30 mm. Подовата плоча с дебелина 14 cm се изпълнява от две части: сглобяема, предварително изготвена в заводски условия, предплоча с дебелина 8cm и монолитно излята част с дебелина 6 cm. Връзката между двете части са специално разработени скелети от армировъчна стомана, поставени през 300mm. Съвместната работа между стоманените греди и стоманобетонната плоча се осъществява чрез болтови дюбели с ∅18mm и дължина 115 mm, заварени в остта на горния пояс на гредите равномерно по цялата им дължина с електрозаваръчен апарат на английската фирма "KROMP-ARC". Пространствената устойчивост на сградата е осигурена чрез вертикални стоманобетонни шайби, разположени между стоманените колони и кораво свързани с тях посредством дюбелни връзки. Приложението на комбинираните конструкции за първи път на този обект в нашата строителна практика доказа необходимостта от тяхната употреба. Използването им води до голяма икономия на стомана в подови конструкции, която възлиза на 40÷50 % в сравнение с традиционните стоманени конструкции. При големи подпорни разстояния се постига малка конструктивна височина на подовата

конструкция, икономия на оставащ кофраж от трапецовидна ламарина [6] (фиг.3). По този начин се прави икономия на технологично време за изготвяне на армировката, при изцяло монолитно изпълнение на местостроежа.

Приложението на комбинираните конструкции за първи път на този обект в нашата строителна практика доказа необходимостта от тяхната употреба. Използването им води до голяма икономия на стомана в подови конструкции, която възлиза на 40÷50 % в сравнение с традиционните стоманени конструкции. При големи подпорни разстояния постига малка конструктивна височина на подовата конструкция.

3. Заключение

Изградените у нас обекти с комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции практически ни доближават до европейските стандарти на строителство [14]. Тяхното бъдещо развитие ще създаде условия за комплексно и качествено удовлетворяване на изискванията за икономии на суровини и енергия в строителството.

Литература

[1] Kozák, J., Gramblička, Št., Lapos, J., Spriahnutè a kombinovanè ocelobetónovè konštrukcie pozemných staveb, Bratislava, Jaga Group, 2000.
[2] Kozák, J., Konštrukcie vysokých budov, Bratislava, ALFA, 1980.
[3] Johnson, R. P., Composite Structures of Steel and Concrete. Volume 1, New York, John Wiley and Sons, 1975.
[4] Кикин, А., И., Санжаровский , Р.С., Трулль, В. А., Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном, Москва, Стройиздат, 1974.
[5] Studnička, J., Ocelovè konstrukce 10. Ocelobetónovè konstrukce, Praha , CVUT, 1999.
[6] Bustin, J., Šubr, J., Spřaženè ocelobetónovè konstrukce, Praha, SNTL, 1964.
[7] Ranzi, G., Time dependent Beahviour and Design of Composite Steel- Concrete Structures , IABSE Buletins, SED 18, Structural Engineering Documents, State - of -Art - Review, 2021, pp. 200.

[8] Kuhlmann U., Perspektiven im Verbundbrueckenbau, Stahlbau 65(1996), Heft 10.

[9] Bode H., Minas F., Bemessungsdiagramme zur Vordimensionierung von Geschossdecken in Stahlverbundbauweise, Bautechnik 72(1995), Heft 11.

[10] Kattner M., Crisinel M., Neues Verfahren fuer Entwurf und Bemessung von Rahmen mit Verbundknoten, Stahlbau 69(2000) Heft 3.

[11] Kindman R., Xia G., Erweiterung der Berechnungsverfahren fuer Verbundtraeger, Stahlbau, 69(2000), Heft 3.

[12] Schleich, J., Numerical simulations, the forthcoming approach in fire engineering design of steel structures, ARBED Research Centre, 1987.

[13] Bouda M. Hospodarnè vyuziti oceli ve spřaženich konstrukcich, 15 Konference Současnost a budoucnost ocelových konstrukci, Praha, 1988.

[14] Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, Revised draft, March 1992. Part 2: Composite Bridges. Final Draft, May 1997.

IN MEMORIUM: Assoc. Prof. Eng. Bohumil Straka, PhD, (1939-2025)



Bohumil Straka (1939-2025)

На 28.6.2025 год. в гр. Бърно, Чехия внезапно ни напуска в солиднатата възраст от 85 години, доц. д-р инж. Бохумил Страка. Роден на 24.12.1939 год. в Бърно, Чехия, той работи във Факултета по строително инженерство на Бърненския университет от края на обучението си през 1962 г., в катедрата по стоманени и дървени конструкции. Доцент Страка беше един от водещите специалисти в областта на дървените конструкции в продължение на много десетилетия в Чешката Република. Той бе известен и уважаван експерт, както в академичните среди, така и сред чешката инженерна колегия. Като дългогодишен преподавател той обучи в областта на дървените конструкции десетки добри строителни инженери, един от които бе и авторът на този материал в сборника на БАНИ за 2025 год.

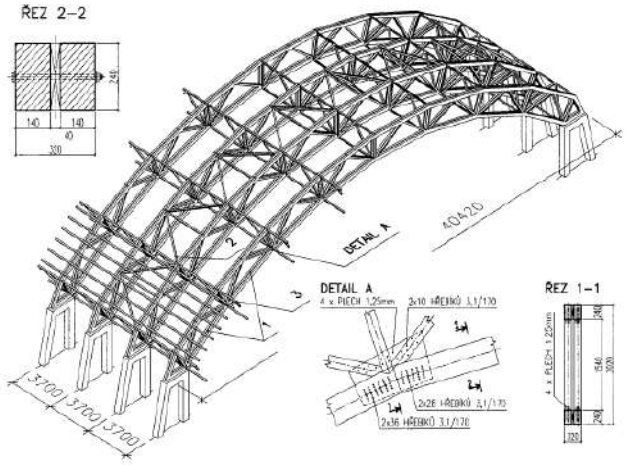
Доцент Страка е заемал и длъжността заместник-декан на Строителния факултет в Бърненския университет от 1999 до 2003 г. В областта на научната дейност той е фокусиран предимно върху проблематиката на конструктивните системи от дърво и дървесни материали, тяхната оценка и реална експлоатация в реални условия. Доцент Страка бе съдебен експерт в областта на металните конструкции и мостове, конструкции от дърво и дървесни материали, а също така е активен член на комисията по стандартизация на дървени конструкции.

Доцент Б. Страка изпълнява длъжността, заместник-декан на Строителния факултет в Бърненския университет от 1999 до 2003 г. В областта на научната дейност той се фокусира предимно върху проблематиката на конструктивните системи от дърво и дървесни материали, тяхната оценка и реална експлоатация в реални условия. Доцент Б. Страка бе съдебен експерт в областта на металните конструкции и мостове, конструкции от дърво и дървесни материали, а също така е активен член на Комисията по стандартизация на дървени конструкции.

Доцент Б. Страка е автор и съавтор в редица местни и чуждестранни професионални публикации. Важна област в работата му е сътрудничеството с практиката като автор на множество експертизи, доклади и реализирани дървени конструкции и мостове, част от които ще бъдат показани в този доклад(Фиг.1-14). Доцент Б. Страка е носител на Златният медал на Технологичния университет в Бърно, който му се присъжда през 2019 год., за дългогодишната му (почти 57 години) педагогическа и научноизследователска работа във Факултета по строително инженерство на Технологичния университет в Бърно и за значителния му принос в областта на дървените конструкции. През същата година той излиза в заслужен дългогодишен отдих като пенсионер.

1. Конструктивна система за ставно-прътова дъгова ферма

Първата конструкция, реализирана през 1996/97 г., след резултатите от експерименталното и теоретично решение, е изграждането на покрива на тенис залата във Фридлант над Острависи с размери в план 40,5 х 60,0 м. Поясните и междупоясните пръти на дъгите, изпълнени като прътови системи и всички останали пръти на носещата система са изработени от масивна дървесина с квадратно напречно сечение, със стандартни размери. Дървената конструкция се подпира върху стоманобетонни рамки посредством стоманени напречни елементи със затворено напречно сечение. Методът на подпиране на дъгите съответства на запъване на конструкциите от статическа гледна точка. Детайлите на връзките на прътите в съединенията са изпълнени с помощта на гвоздей и ивична стомана. Само монтажните съединения и връзките на опорните пръти към стоманените напречни греди са решени с помощта на болтови съединения, също от типа "стомана-дърво". Съставът на конструктивната система е показан на Фиг. 1.



Фиг. 1. Част от носещата конструкция на ставно-прътовата дъга и характеристичен детайл на възела

От съображения за транспорт и монтаж, дъговите конструкции са разделени на три секции, които са сглобени с помощта на леко монтажно скеле(Фиг.2). Пространственатаустойчивост на системата се осигурява от надлъжни и напречни прътови връзки(Фиг. 3).





Фиг. 2. Монтаж на крайно поле, съставено от три секции, с поставена напречна ПВВ
Фиг. 3. Конструктивна система на покрива на тенис залата във Frýdlant над Ostravicí

2. Конструктивна система изпълнена от триставни дъги

Последният строеж, завършен през 2001 г., е изграждането на покрива на спортната зала в Биловец с прътови дъгови конструкции с отвор от 59,0 м. Това е най-голямата ставно-прътова дъгообразна конструкция с отвор, правен някога в Чешката Република от масивна дървесина и със съединения, базирани на фугиращи плочи от ивична стомана. Основната носеща система е по принцип подобна на конструкцията, упомената в предишния параграф, въпреки че конструкцията се различава по редица специфични решения(Фиг.4). Носещата система действа като пространствена прътова система, изработена от дървени пръти със стандартно напречно сечение (най-голямото напречно сечение е 140 x 200 мм за поясни пръти), свързани с тънки стоманени листове с дебелина 1,25 мм и гвоздеи с диаметър 3,1 мм. Цялостната композиция на конструкцията е показана на фиг. 5.



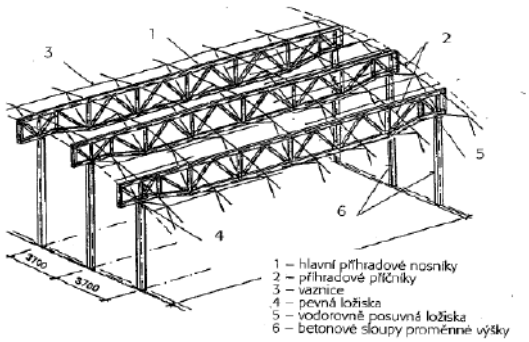


Фиг. 4. Монтиране на секция, изработена от две полудъги и ПВВ, върху монтажното скеле

Фиг. 5 Изглед на носещата конструкция на фитнес залата в Биловец с разстояние между опорите 60 м

3. Конструктивна ставно - прътова система

Конструкцията със ставно- прътова система с променлива височина е реализирана през 1997/98 г., като втора от серията за дървени носеши конструкции. Конструкцията е проектирана за покрива на централния тенис корт във Фридлант над Острависи. За първи път в чешките условия е реализирана система, използваща масивни пръти от многослойни залепени напречни сечения (поясни пръти от дървената ферма) и дървени прът от масивна дървесина (междупоясни пръти) с помощта на тънки съединителни плочи и съединения от гвоздеи. Композицията на част от конструктивната система е показан на фиг. 6.



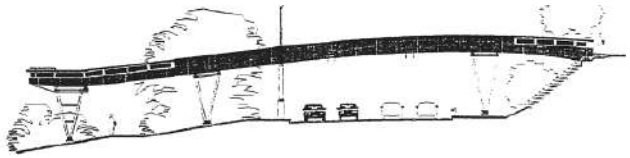


Фиг.6. Схема на конструкция от прътови фермиc разстояние на отворите от 24,4 м
Фиг. 7. Пространствена композиция на конструкция с ферми

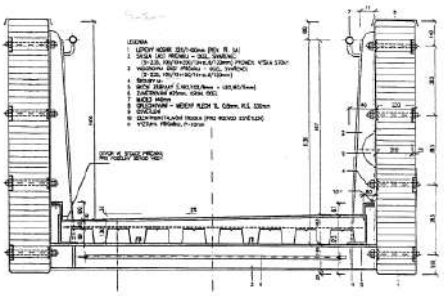
Изискваната в архитектурния проект криволинейна форма на покривната конструкция се създава чрез подпиране на дървените ферми върху стоманобетонни колони с променлива височина(Фиг.7). Въздействието от натоварването се предават към основната носеща конструкция от покривната обшивка чрез столици поставени върху дървените ферми. Някои знания от изпълнението на лепени прътови конструкции със съединения от горепосочения тип бяха известни от чуждестранни източници, но в чешките условия това бе нов подход по отношение на проектирането и изпълнението на тези конструкции. Предвид това се наложи да се решат някои теоретични и производствени проблеми в рамките на дадената задача.

4. Изграждане на пешеходен мост

Пешеходният мост, свързващ Университета по земеделие и лесовъдство „Мендел“ с дендрариума през оживен път, е построен през 2000 г. в Бърно. Дизайнът на конструкцията е базиран на архитектурно решение, разработено от бърненското студио Zlámal-Stolek(Фиг.8).



Фиг. 8. Изглед на централното поле на пешеходния мост над пътя



Фиг. 9. Напречно сечение на мостова конструкция от многослойни лепени главни греди

Изграждането на конструкцията на пешеходния мост е извършено от строителната фирма Kaláb spol. s r.o. от Бърно, а многослойните лепени дървени основни греди са произведени от фирмата České dřevařské závody Praha a.s., завод Tesko. Конструкцията на пешеходния мост се състои от основен отвор, преодоляващ пътя, и рампа за качване, която води от дендрариума приблизително перпендикулярно на основния отвор (фиг. 8). Основните греди на пешеходния мост са от многослойни лепени дървени ламели със сечение 220 x 1400 мм (фиг. 9). Височината на напречното сечение на лепените греди е променлива. Отворът на най-дългия отвор е 24,0 м. Дървената конструкция е поддържана от вътрешни стоманени опори (фиг. 20) и от външни стоманобетонни устои (фиг. 9). Процедурата по монтаж беше проектирана така, че първо три стоманени опори са поставени на предварително определено и геодезически ориентирано място и закрепени с помощно монтажно скеле. На следващия етап външните участъци на пешеходния мост и рампата са монтирани в подготвените лагери върху външните бетонни и стоманени опори. Най-взискателната фаза от монтажа, състояща се в монтиране на основния участък, преодоляващ пътя, трябваше да се извърши през нощта, когато движението бе затворено в рамките на определения срок (фиг. 10).





Фиг. 10. Изглед на дървен мост от лепена дървесина над улица Дробнехо в Бърно
Фиг. 11. Свързване на полурамки от стоманена мостова пътна настилка към лепените дървени главни греди

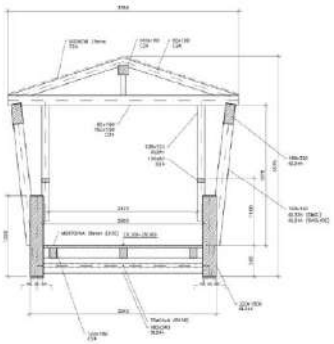
Стоманените полурамки на мостовото платно (фиг. 11) са свързани с дървените мнпгослойни лепени греди посредством болтови съединения комбинирани със стоманени назъбени дюбели. Важен проблем от гледна точка на реалната експлоатация на моста бе теоретичното определяне на приплъзването на този тип връзка, което ще бъде наблюдавано и оценявано за дълъг период от време в експлоатационния етап с помощта на геодезически методи. Едновременно с това ще бъдат измервани и оценявани свойствата на дървесината, като се отчита влиянието на влагата в незащитена конструкция, изложена на директни атмосферни влияния.

5. Пример за използване на болтови съединения в конструкция на пешеходен мост

5.1. Дървена конструкция на пешеходен мост в нов кей на язовира в гр. Бърно

Дървената конструкция на пешеходен мост, свързваща спирката за лодки в новия кей под замъка Вевержи на язовир Бърно, е проектирана от доц. Бохумил Страка и негови сътрудници през 2014/2015 г., следвайки архитектурното проектно предложение(Фиг.12).





Фиг. 12. Монтаж на покрита пасарелка с помощта на кран (теглото на пасарелката е 14,5 т
Фиг. 13. Характерно напречно сечение на покритата пешеходна пътека

Основната носеща система на покрития пешеходен мост с петоъгълно напречно сечение (фиг. 13) се състои от две основни греди, изработени от многослойни лепени греди от дървесен материал GL24h, и фермова система, също изработена от многослойни лепени греди от дървесен материал (горен пояс GL24h, диагонали и вертикали GL32h). Прътовата система е отклонена от вертикалната ос с

приблизително 7°. Пешеходният мост с отвор 26,10 м е свързан чрез свързващ пешеходен мост с отвор 9,05 м. Ширината на пешеходния мост е 2,82 м.

Основният проблем при проектирането на пешеходния мост беше изборът на вида крепежни елементи и разрешаването на конструктивните детайли на съединенията. При проектирането на конструкцията са използвани резултати от експериментални изследвания (особено от ефекта на подсилени болтови съединения и съединения на пръти с променлива дебелина) и опит, натрупан от вече реализирани конструкции с болтови съединения (строителство на спортни зали във Фридлант над Остравици и Биловец от 1997 до 2001 г., изграждане на покрива на зимния стадион във Врхлаби от 2002 г., пешеходен мост в Брно над улица Дробнехо от 2002 г., пешеходни мостове в Пасохлавки и Иванчице от 2010 г., изграждане на планински хотел в Крконошските планини от 2012 г. и изграждане на зала за плувен басейн в Брно-Кохоутовице от 2010 г.). За основните конструктивни детайли са използвани прецизни болтови съединения с диаметър 16 мм или 20 мм, изработени от стомана с клас на якост S355 (диаметърът на пробиването в дървото е същият като диаметъра на болта, диаметърът на отворите в стоманените елементи е с 1 мм по-голям). За съединенията на второстепенните носещи елементи и стоманените свързващи елементи са използвани винтове, предимно от тип SFS WT (фиг. 14). При проектирането на съединенията са използвани резултатите, получени от експериментални изследвания на болтови съединения, и знанията от реалната експлоатация на тези съединения в реализираните конструкции. Конструкцията включва съединения дърво-дърво и стомана-дърво.



Фиг.14. Изглед отвътре на моста

Автор на материала:
Професор, д-р инж. D-r h.c. на ВСУ Л.Каравелов
Дончо Партов