Laurent NEY[1], Karl BURGMANN[2], Alexandra VOCHT[3]

# THE STERNBRÜCKE - AN ATYPICAL RAILWAY BOWSTRING

**Summary**

The planning and design of bridges and major civil engineering structures in densely built-up urban areas are complex tasks. It is therefore all the more surprising that a holistic approach is not necessarily adopted from the outset when designing major public projects. All too often, constraints – such as spatial limitations, the creation of transport links, the concerns of local residents or nature conservation – are viewed as obstacles rather than as a catalyst for creativity.

The Sternbrücke in Hamburg is a typical example of the difficulty of carrying out major infrastructural projects in the heart of the city. The design resulted in an atypical railway bowstring which combines the functional and architectural requirements in an integrated design.

**Key words:** urban bridges; Hamburg; Sternbrücke; railway bridge; urban integration; bowstring

## Sternbrücke – netipičen železniški ločni most

**Povzetek**

Načrtovanje in projektiranje mostov ter večjih inženirskih objektov v gosto pozidanih urbanih območjih je zahtevna naloga. Še toliko bolj preseneča, da pri zasnovi velikih javnih projektov celovit pristop ni vedno sprejet že od začetka. Prepogosto se omejitve, kot so prostorske zahteve, zagotavljanje prometnih povezav, interesi lokalnih prebivalcev ali varstvo narave, obravnavajo kot ovire in ne kot spodbudo za ustvarjalne rešitve.

Most Sternbrücke v Hamburgu je značilen primer zahtevne izvedbe večjega infrastrukturnega posega v osrčju mesta. Končna zasnova predstavlja netipičen železniški ločni most s poševnimi zategami, ki na celovit način združuje funkcionalne in arhitekturne zahteve.

**Ključne besede:** mestni mostovi; Hamburg; Sternbrücke; železniški most; vključevanje v urbano okolje; ločna konstrukcija

## 1. INTRODUCTION

The listed Sternbrücke has played a significant role in shaping the district during its nearly 100 years of operation and has been replaced while ensuring that traffic continues to flow largely as normal.

Hundreds of trains pass over it every day, whilst two major roads in Hamburg intersect beneath it. A vibrant cultural scene has developed around it, one that is unique in Hamburg.

[1] Founder and CEO, architect and structural engineer, Ney & Partners, Brussels, Belgium LN@ney.partners
[2] Senior Engineer, Ney & Partners, Brussels, Belgium KBU@ney.partners
[3] Senior Architect, Ney & Partners, Brussels, Belgium AVO@ney.partners

Mike TIBOLT[1]

# HOT-ROLLED SECTIONS IN STEEL COMPOSITE BRIDGES – RECENT DEVELOPMENTS

**Summary**

This paper presents recent bridge trends in Europe that demonstrate how the combined use of high-strength S460 hot-rolled steel sections, weathering steel, and low-emission steel grades can contribute to more sustainable bridge infrastructure. The paper also introduces the optimization of the conventional composite dowel strip concept into an innovative new solution known as the "Crocodile". Finally, the paper introduces the emerging trend of using hot-rolled sections for the arches of network arch bridges and presents the first European network arch bridge constructed entirely from hot-rolled weathering steel sections in grade S460J2W.

**Key words:** Hot-rolled steel sections, composite bridges, high-strength steel (HISTAR®), weathering steel, low carbon emission steels (XCarb®), network arch bridges....

## Vroče valjani profili v sovprežnih mostovih iz jekla in betona – najnovejši razvoj

**Povzetek**

Članek predstavlja najnovejše trende pri gradnji mostov v Evropi, ki kažejo, kako lahko kombinirana uporaba vroče valjanih jeklenih profilov iz visoko trdnostnega jekla S460, vremensko odpornega jekla ter jekla z nizkimi emisijami $CO_2$ prispeva k bolj trajnostnim mostovom. Predstavljena je tudi optimizacija konvencionalnega koncepta sovprežnega mozničnega traku (composite dowel strip) v novo inovativno rešitev, poimenovano »Crocodile«. Nazadnje članek obravnava nastajajoči trend uporabe vroče valjanih profilov za ločne nosilce mrežnih ločnih mostov (network arch bridges) ter predstavlja prvi evropski mrežni ločni most, v celoti zgrajen iz vroče valjanih profilov iz patinirajočega jekla kakovosti S460J2W.

**Ključne besede:** vroče valjani jekleni profili, sovprežni mostovi, visoko trdnostno jeklo (HISTAR®), patinirajoče (vremensko odporno) jeklo, jekla z nizkimi emisijami $CO_2$ (XCarb®), mrežni ločni mostovi.

## 1. INTRODUCTION

Steel material has been an innovation driver over the last century. It allows for the realization of light and aesthetic bridge structures while showing a recycling rate as high as 99% at end of life. To commit with the reduction targets of the global greenhouse gas emission it is essential to build all infrastructure with less emissions. Many steel producers are currently engaged in the decarbonization process to reduce the carbon footprint of the steel products. Of course, this is only one major part of the required developments to reduce the emissions in the construction sector. The other main part is due to the responsibility of the designers to adequately chose the steel material in combination with a well-designed bridge structure. Modern high-strength steels allow for a lean design with additional material and cost savings. The use of weathering steel omits the need for repainting the bridge, reducing the environmental impact of the project and the related costs for repainting of the bridge during its service time. Innovative solutions, like network arch bridges with hot-rolled sections in high strength steel and the optimized form of the composite dowel (crocodile) in weathering steel have been recently developed and already successfully applied in projects. Finally, an optimized design of the bridge infrastructure with the latest innovative solutions in combination with low-

[1] Advanced Bridge Solutions and Sustainability Lead, ArcelorMittal Steligence®; Esch-sur-Alzette, Luxembourg, mike.tibolt@arcelormittal.com

Andrea BELLERI[1]

# THE SEISMIC ROLE OF FLOOR DIAPHRAGMS IN BUILDINGS

**Summary**

Floor diaphragms provide the interface between horizontal floor systems and the vertical lateral-force-resisting structure. Their in-plane stiffness, strength, deformation capacity and connections influence how seismic actions are transferred through a building and distributed among its vertical resisting elements. This issue is relevant to both new and existing buildings: in new construction, diaphragm action must be explicitly addressed through design and detailing, while in existing buildings its actual properties and connectivity may be uncertain. The presentation examines how diaphragm action could be considered in seismic design and assessment. Selected experimental results are used to illustrate the main force-transfer mechanisms, damage patterns and parameters governing performance. Their implications for analytical modelling are then discussed. The presentation also considers the treatment of floor diaphragms in the second-generation Eurocode 8.

**Keywords:** floor diaphragms; seismic load path; precast floors; beam-and-clay-block floors.

## Vloga medetažnih diafragm pri potresnem odzivu stavb

**Povzetek**

Etažne diafragme predstavljajo povezavo med horizontalnimi etažnimi konstrukcijskimi sistemi in vertikalnim konstrukcijskim sistemom, ki prevzema horizontalne obremenitve. Njihova togost in nosilnost v ravnini, sposobnost deformiranja ter povezave vplivajo na prenos potresnih vplivov skozi stavbo in njihovo porazdelitev med vertikalne nosilne elemente, ki zagotavljajo odpornost proti horizontalnim obremenitvam. Ta problematika je pomembna tako pri novogradnjah kot pri obstoječih stavbah. Pri novogradnjah je treba delovanje diafragme izrecno upoštevati pri projektiranju in konstrukcijskem oblikovanju detajlov, medtem ko so pri obstoječih stavbah njene dejanske lastnosti in povezanost z drugimi konstrukcijskimi elementi lahko negotovi. V prispevku je obravnavano, kako je mogoče delovanje etažnih diafragm upoštevati pri potresnem projektiranju in ocenjevanju potresne odpornosti stavb. Izbrani eksperimentalni rezultati so uporabljeni za ponazoritev glavnih mehanizmov prenosa sil, značilnih vzorcev poškodb in parametrov, ki vplivajo na obnašanje diafragm. Nato so obravnavane posledice teh ugotovitev za analitično modeliranje. Prispevek obravnava tudi način upoštevanja etažnih diafragm v drugi generaciji standarda Evrokod 8.

**Ključne besede:** etažne diafragme; obtežna pot; montažne medetažne konstrukcije; medetažne konstrukcije iz nosilcev in glinenih polnilnih blokov.

## 1. INTRODUCTION

In seismic design, floor diaphragms collect inertia forces from the floor mass and transfer them to the vertical lateral force resisting elements. They also connect these elements in plane, affecting their relative displacements and the distribution of seismic forces. A common modelling assumption is to represent each floor by a rigid in-plane constraint, with the floor mass lumped at its centre of mass. This assumption may be appropriate for the global response of sufficiently stiff floors, but the constraint alone does not provide the forces developing in the diaphragm components and connections.

Diaphragm demand includes forces associated with floor inertia and forces transferred between vertical resisting elements. The latter arise when, for instance, frames and walls would undergo different lateral displacement profiles if they were not connected by the floors. The resulting force

[1] Associate professor, Department of Engineering and Applied Sciences, University of Bergamo, andrea.belleri@unibg.it

Andrea PENNA[1], Stefano BRACCHI[2]

# SEISMIC ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS IN THE NEW EUROCODE 8: RETHINKING SAFETY IN DISPLACEMENT-BASED NONLINEAR ANALYSIS

**Summary**

The second generation of Eurocode 8 introduces significant innovations in the seismic assessment of masonry buildings based on nonlinear static analysis. In particular, uncertainty is accounted for through a partial factor applied to the global displacement capacity. This paper discusses the displacement-based verification based on pushover analysis, defined by the second generation of Eurocode 8, with reference to new buildings. Then, a framework under development combining experimentally calibrated local drift-capacity models with Monte Carlo simulations of refined equivalent-frame models is presented. Finally, a two-storey AAC building illustrates the definition of input distributions. Uncertainty in mechanical properties and local deformation capacities are propagated to global capacity, accounting for dependencies within and between buildings. The study aims to estimate median capacity, dispersion and possible bias. These estimates will support subsequent factor calibration incorporating seismic displacement demand, its dispersion and dependence between demand and capacity.

**Key words:** masonry; Eurocode 8; displacement capacity; uncertainty; AAC; partial factors.

## Ocena potresne odpornosti zidanih stavb po novem evrokodu 8: ponovni razmislek o varnosti pri nelinearni analizi na podlagi pomikov

**Povzetek**

Druga generacija standarda Evrokod 8 uvaja pomembne novosti pri potresni oceni zidanih stavb na podlagi nelinearne statične analize. Negotovost se namreč upošteva z delnim faktorjem, ki se uporabi na globalni kapaciteti pomikov. V prispevku obravnavamo kontrolo pomikov na podlagi potisne analize, kot jo določa druga generacija Evrokoda 8, za nove stavbe. Nato predstavimo metodologijo, ki jo trenutno razvijamo in ki združuje eksperimentalno umerjene modele lokalne kapacitete relativnih pomikov (drift) s simulacijami Monte Carlo podrobnih modelov z nadomestnimi okvirji. Na koncu določitev vhodnih porazdelitev prikažemo na primeru dvoetažne stavbe iz porobetona (AAC). Negotovosti mehanskih lastnosti in lokalnih deformacijskih kapacitet prenesemo na globalno kapaciteto, pri čemer upoštevamo odvisnosti znotraj posamezne stavbe in med stavbami. Cilj študije je oceniti mediano kapacitete, njeno razpršenost in morebitno pristranskost. Te ocene bodo podlaga za nadaljnjo kalibracijo delnega faktorja, ki bo upoštevala potresno zahtevo po pomikih, njeno razpršenost ter odvisnost med zahtevo in kapaciteto.

**Ključne besede:** Evrokod 8; zidovje; potisna analiza; pomična nosilnost; negotovost

## 1. INTRODUCTION

Slovenian research has shaped nonlinear static analysis and its application to masonry. Fajfar's N2 method [1] and Tomaževič's POR approach [2] represent central milestones. Turnšek and Čačovič [3] and Turnšek and Sheppard [4] established influential in-plane resistance criteria, whereas Benedetti and Tomaževič [5] refined their application through an aspect-ratio correction for stress distribution. POR entered Italian provisions in 1981, when global nonlinear analysis still supported a

[1] Prof, Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, Italy
[2] PhD, European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering, Pavia, Italy

Marjan PIPENBAHER[1]

# PRVONAGRAJENA NATEČAJNA REŠITEV MOSTU PREKO KAŠTELANSKEGA ZALIVA V SPLITU

**Povzetek**

Maja 2025 je bil objavljen mednarodni natečaj za pridobitev arhitekturne in konstrukcijske rešitve več kot 1600 metrov dolgega mostu čez Kaštelanski zaliv v Splitu. Prispelo je 12 natečajnih rešitev, ki so jih izdelali najuglednejši in mednarodno priznani biroji (iz Nemčije, Velike Britanije, Danske, Nizozemske, Madžarske, Hrvaške, Srbije, Kitajske in drugih držav), ki se ukvarjajo s projektiranjem najzahtevnejših mostov z velikimi razponi. Februarja 2026 je 10-članska multidisciplinarna natečajna komisija objavila rezultate natečaja. Specializirani inženirski biro Pipenbaher Consulting Eengineers / Pipenbaher inženirji d.o.o. je skupaj s priznanim zagrebškim arhitekturnim birojem 3LHD d.o.o. prejel 1. nagrado za najboljšo konstrukcijsko in arhitekturno rešitev mostu dolžine 1604 m in širine 36 m, z višino pilonov 157 m ter dolžino maksimalnega (navigacijskega) razpona 400 m.

**Ključne besede**: projektni natečaj, Split, most s poševnimi zategami, Kaštelanski zaliv

# First-Prize Winning Competition Design for the Bridge Across Kaštela Bay in Split

**Summary**

In May 2025, an international competition was announced for the architectural and structural design of an over 1,600-meter-long bridge across the Kaštela Bay in Split. Twelve competition designs were submitted, created by the most prominent and internationally renowned firms (from Germany, the United Kingdom, Denmark, the Netherlands, Hungary, Croatia, Serbia, China, and other countries) specializing in the design of highly complex, large-span bridges. In February 2026, a 10-member multidisciplinary competition jury announced the results. The specialized engineering and design office Pipenbaher Consulting Engineers / Pipenbaher inženirji d.o.o., together with the renowned Zagreb-based architectural firm 3LHD d.o.o., was awarded 1st prize for the best structural and architectural design of the bridge, featuring a length of 1,604 m, a width of 36 m, a pylon height of 157 m, and a maximum (navigational) span of 400 m.

**Key words:** design competition, Split, cable-stayed bridge, Kaštela Bay

## 1. UVOD

Projekt "Novi ulaz u Split" predstavlja enega strateško najpomembnejših in najkompleksnejših infrastrukturnih projektov v širši dalmatinski regiji. Njegov primarni cilj je vzpostavitev visoko zmogljive prometne povezave med vozliščem Vučevica na avtocesti A1 in splitsko trajektno luko, s čimer se bo bistveno razbremenilo obstoječe obalno cestno omrežje in optimiziralo prometne tokove. Inženirsko najzahtevnejši ter prostorsko in okoljsko najobčutljivejši segment te nove prometne osi nedvomno predstavlja premostitev Kaštelanskega zaliva. Z namenom izbire najustreznejše rešitve je bil izveden mednarodni projektni natečaj za pridobitev celovite arhitekturne in konstrukcijske zasnove. Temeljni cilj natečaja je bil poiskati optimalno, tehnološko napredno in ekonomsko upravičeno rešitev, ki bo z visoko oblikovno vrednostjo hkrati predstavljala nov urbani "landmark" oziroma prepoznaven sodoben simbol mesta v specifičnem mediteranskem ambientu.

Na ta zahteven strokovni izziv se je odzvalo 12 uglednih projektantskih ekip z močno mednarodno udeležbo, ki so ponudile širok spekter inovativnih inženirskih pristopov. V tipološkem in

[1] dr.h.c., univ. dipl. inž. grad. / direktor in vodilni projektant, Pipenbaher Consulting Engineers / Pipenbaher inženirji, e-mail: marjan pipenbaher@pce.si

Viktor MARKELJ[1], Jernej MAHER[2]

# ORTO-SOVPREŽNI MOST ČEZ SAVINJO NA POLULAH

**Povzetek**

V okviru protipoplavnih ureditev Savinje na območju Polul je bila hidravlično neustrezna premostitev nadomeščena z novim mostom. Krajna 22,5 m razpona sta integralna armiranobetonska okvirja, glavni razpon 65 m pa jeklena ločna konstrukcija brez podpor v osnovni strugi. Ključna inovacija je orto-sovprežna voziščna plošča: jeklena krovna pločevina je z linijskimi mozniki povezana s 100 mm debelo mikroarmirano betonsko plastjo. Sistem združuje majhno lastno težo in montažne prednosti jekla z večjo lokalno togostjo, ugodnejšim raznosom kolesnih obtežb ter večjo odpornostjo na utrujanje. Prispevek opisuje konstrukcijski princip, zasnovo mostu in ključne projektantske ter izvedbene zahteve.

**Ključne besede:** orto-sovprežna plošča, jekleni ločni most, utrujanje, linijski mozniki, trajnost, Savinja

## Ortho-composite bridge over the Savinja River at Polule

**Summary**

As part of the flood-protection works along the Savinja River at Polule, the hydraulically inadequate crossing was replaced by a new bridge. The two 22.5 m end spans are integral reinforced-concrete frames, while the 65 m main span is a steel arch structure without supports in the main river channel. The key innovation is an ortho-composite deck in which the steel deck plate is connected to a 100 mm micro-reinforced concrete layer by continuous plate shear connectors. The system combines low self-weight and erection advantages with greater local stiffness, improved wheel-load distribution and enhanced fatigue resistance. The paper presents the structural principle, bridge concept, and principal design and construction requirements.

**Key words:** ortho-composite deck, steel arch bridge, fatigue, continuous shear connectors, durability, Savinja River

## 1. UVOD

Premostitve večjih vodotokov morajo hkrati izpolniti zahteve hidravlične prevodnosti, prometne funkcionalnosti, konstrukcijske učinkovitosti, trajnosti in kakovostnega vključevanja v prostor. Na območju Polul v Celju je bila gradnja novega mostu sestavni del protipoplavnih ureditev Savinje. Obstoječa premostitev je bila prenizka in je bila ob visokih vodah poplavljena, zato nova rešitev predvideva precej višjo svetlo odprtino in glavni razpon brez podpor v osnovni strugi [1].

Nova premostitev ima zelo zahtevne robne pogoje, saj je prostor zelo omejen zaradi morfologije terena, železnice na levem bregu ter urbanizacije na obeh bregovih. Posebej zahtevni so tudi hidrotehnični pogoji, ki zahtevajo precej večje svetle odprtine in precej višje nivoje visokih voda. Zasnova novega mosta bila precej zahtevna, saj začetek mosta na desnem bregu sega precej v cestno križišče, konec mostu pa v zavoj ceste, kar pomeni tlorisno popolnoma nepravilno obliko.

Most smo zasnovali iz dveh integralnih betonskih inundacijskih objektov, ki se zlahka prilagajata nepravilni obliki ter iz osrednjega razpona, ki je zasnovan kot jeklena ločna konstrukcija z večjim razponom.

Z jekleno ločno konstrukcijo smo dosegli nižjo konstrukcijsko višino, kar je bilo potrebno zaradi čim

[1] dr., univ. dipl. inž. grad., PONTING inženirski biro d.o.o., Maribor; UM FGPA, viktor.markelj@ponting.si
[2] univ. dipl. inž. grad., PONTING inženirski biro d.o.o., Maribor, UM FGPA, jernej.maher@ponting.si

Rok MLAKAR[1], Jernej MAHER[2], Viktor MARKELJ[3]

# MOST CERŠAK – ZASNOVA, ANALIZA IN IZVEDBA LESENEGA VISEČEGA MOSTU ČEZ MURO

**Povzetek**

Prispevek obravnava zasnovo, računsko analizo in izvedbo mostu za pešce in kolesarje čez reko Muro pri Ceršaku. Nosilni sistem je zasnovan kot elastično podprta lesena gredna konstrukcija, obešena na dve polno zaprti (zatesnjeni) jekleni nosilni vrvi, sidrani v armiranobetonske pilone. Poudarek v prispevku je na konstrukcijskem delovanju leseno-jeklenega sistema, geometrijsko nelinearni analizi, kontroli vibracij ter tehnologiji montaže. Prekladna konstrukcija dolžine 87,6 m in mase slabih 67 t je bila sestavljena na bregu in z velikim goseničnim žerjavom v enem kosu položena neposredno na nosilne vrvi, brez začasnih podpor v rečni strugi. Geodetska spremljava in kontrola sil v vrveh sta potrdili dobro ujemanje izvedenega stanja z računskimi predpostavkami.

**Ključne besede**: leseni most, viseči most, lepljeni les, jeklene vrvi, dinamična analiza, montaža

# Ceršak Bridge – design, analysis and construction of a timber suspension bridge over the Mura River

**Summary**

The paper presents the structural concept, analysis and construction of the pedestrian and cyclist bridge over the Mura River at Ceršak. The bridge is an elastically supported timber girder system suspended from two fully locked steel cables anchored in reinforced-concrete pylons. Particular attention is given to the structural interaction of timber and steel components, geometrically nonlinear analysis, vibration serviceability and erection engineering. The 87.6 m long superstructure, weighing just under 67 t, was assembled on the riverbank and lifted in one piece directly onto the main cables, without temporary supports in the riverbed. Survey monitoring and cable-force control confirmed close agreement between the completed structure and the analytical predictions.

**Key words**: timber bridge, suspension bridge, glulam, steel cables, dynamic analysis, erection

## 1. UVOD

Most Ceršak je najnovejša stalna povezava za pešce in kolesarje preko mejne reke Mure med občinama Šentilj v Sloveniji in Straß in der Steiermark v Avstriji. Objekt je umeščen v izrazito naravno okolje tik pod nekdanjim jezom in povezuje avstrijski levi breg z otokom med naravno strugo Mure in dovodnim kanalom male hidroelektrarne Ceršak. Na avstrijski strani se most navezuje na obstoječo mrežo kolesarskih poti, na slovenski strani pa na novo pohodniško in kolesarsko povezavo v smeri Sladkega Vrha. Zasnova je morala zato poleg funkcionalnih in konstrukcijskih zahtev upoštevati tudi omejitve poseganja v vodni prostor in varovano naravno okolje.

Projektiranje se je začelo z idejno zasnovo leta 2016. Sledile so faze za pridobitev dovoljenj in PZI, izvedba pa je potekala v letih 2024 in 2025. Ker gre za čezmejni objekt, je bilo treba projekt stalno usklajevati z zahtevami dveh upravnih okolij, hkrati pa zagotoviti enotno konstrukcijsko in izvedbeno rešitev.

Osnovno projektantsko izhodišče je bilo premostiti glavni tok Mure v enem razponu, brez podpor v

[1] univ. dipl. inž. grad., Ponting inženirski biro d.o.o., Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor, rok.mlakar@ponting.si
[2] univ. dipl. inž. grad., Ponting inženirski biro d.o.o., Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor; Univerza v Mariboru, FGPA, jernej.maher@ponting.si
[3] dr., univ. dipl. inž. grad., Ponting inženirski biro d.o.o., Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor; Univerza v Mariboru, FGPA, viktor.markelj@ponting.si

Dušan ROŽIČ[1], Tadej VALENKO[2]

# GRADNJA MOSTU ČEZ ODVODNI KANAL HE FORMIN PO TEHNOLOGIJI PROSTO KONZOLNE GRADNJE

**Povzetek**

V prispevku je prikazana zgodovina projektiranja in gradnje ter končna tehnična rešitev mostu čez odvodni kanal HE Formin na glavni cesti G1–2 Hajdina – Ormož, ki je trenutno v izgradnji.

Končno rešitev mostu predstavlja prednapeta armiranobetonska konstrukcija skupne dolžine 270,0 m, ki se gradi po tehnologiji prostokonzolne gradnje. Začetki projektiranja segajo v leto 1998, ko so bili izdelani IDP, leta 2000 pa je bil prvi izvajalski razpis za gradnjo, ki je bil v letu 2001 razveljavljen. Zaradi dopolnjenih pogojev mnenjedajalcev in sprememb predpisov ter optimizacij je bilo v letih 2008 – 2018 izvedeno več novelacij projektne dokumentacije vključno s PZI projektno dokumentacijo.

Leta 2024 je bil ponovni razpis za gradnjo mostu. Izvajalec je po uvedbi v delo podal predlog spremembe zasnove mostu, ki je bila že v letu 2012 predlagana s strani Projektanta in sicer od prvotne zasnove s petimi polji ter temeljenjem v strugi kanala do rešitve s tremi polji ter temeljenjem izven struge odvodnega kanala. Zaradi tega je Projektant v dogovoru z Naročnikom izdelal novelirano projektno dokumentacijo, na podlagi katere se most trenutno gradi.

**Ključne besede**: most, prednapeta konstrukcija, tehnologija proste konzolne gradnje, potres, lončna ležišča

# Construction of the Bridge over the Formin HPP Canal using the Balanced Cantilever Method

**Summary**

This paper presents the design and construction history, as well as the final technical solution for the bridge over the Formin Hydroelectric Power Plant (HPP) canal on the G1–2 Hajdina–Ormož main road, which is currently under construction.

The final bridge design consists of a prestressed reinforced concrete structure with a total length of 270.0 m, constructed using the balanced cantilever method. The initial design phases date back to 1998 with the preparation of preliminary designs. In 2000, the first construction tender was issued, but it was subsequently cancelled in 2001. Due to additional requirements from statutory consultees, changes in regulations, and design optimizations, several revisions of the project documentation, including the detailed design, were carried out between 2008 and 2018.

A new tender for the bridge construction was published in 2024. Following the commencement of works, the contractor proposed a modification to the bridge concept—a change that had already been suggested by the designer in 2012. This modification transitioned the structure from the original five-span layout with foundations located within the canal bed to a three-span solution with foundations positioned outside the tailrace canal bed. Consequently, in agreement with the client, the designer prepared the revised project documentation, which serves as the basis for the ongoing construction of the bridge.

**Key words:** bridge, prestressed structure, balanced cantilever erection, seismic, pot bearing

[1] univ. dipl. inž. grad., PONTING d.o.o., Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor, UM FGPA, dusan.rozic@ponting.si
[2] mag. inž. grad., POMGRAD d.d., Bakovska 31, 9000 Murska Sobota, tadej.valenko@pomgrad.si

Jernej MAHER [1], Viktor MARKELJ[2]

# RESSLOV MOST ČEZ REKO KRKO

**Povzetek**

Prispevek obravnava projektiranje in izvedbo novega Resslovega mostu čez reko Krko v Mršeči vasi, s poudarkom na izbiri najprimernejše rešitve premostitve. V okviru študije premostitve so bile primerjane konstrukcijsko in materialno različne variante mostu, ki so bile ovrednotene z gradbenotehničnega, hidrotehničnega, investicijskega in vzdrževalnega vidika. Na podlagi opravljene primerjave je investitor izbral prednapeto armiranobetonsko konstrukcijo. V nadaljevanju so predstavljene njene glavne konstrukcijske značilnosti, potek gradnje ter posebnosti objekta.

**Ključne besede**: študija premostitve, variantne rešitve, prednapeti beton, integralni most

## Ressel bridge over the Krka

**Summary**

This paper presents the design and construction of the new Ressel Bridge over the Krka River in Mršeča vas, with particular emphasis on the selection of the most suitable bridge solution. As part of the study, different bridge alternatives in terms of structural systems and materials were compared and evaluated from structural engineering, hydraulic, economic and maintenance perspectives. Based on this comparative assessment, the investor selected a prestressed reinforced concrete structure. The paper also outlines the main structural characteristics of the bridge, the construction process and the specific features of the structure.

**Key words:** bridge study, design alternatives, prestressed concrete, integral bridge

## 1. UVOD

Nov Resslov most čez reko Krko se nahaja na občinski cesti LC 394121 pri Mršeči vasi. Investitor objekta, občina Šentjernej, je pristopila k iskanju nove rešitve premostitve, saj je potrebovala izvedbo novega objekta, da bi se zagotovila trajna in zanesljiva povezava med obema bregovoma reke Krke. Pred izgradnjo novega mostu je promet potekal preko začasnega montažnega oziroma »pontonskega« mostu, ki je bil dotrajan in je zahteval redne posege za zagotavljanje njegove uporabnosti.



*Slika 1: Začasen pontonski most*

Nov objekt je bil v sklopu več faz projektiran v projektivnem biroju Ponting, in sicer je bila prvotno izdelana Študija premostitve reke Krke, na podlagi katere je bila iz strani investitorja izbrana končna rešitev, ki je v nadaljnjih fazah projektiranja (IDP, DGD, PZR, PZI in PID) pripeljala do realizacije nove konstrukcije. Izvajalec objekta je bil CGP d.d. iz Novega mesta.

[1] univ. dipl. inž. grad., Ponting d.o.o in UM, FGPA Maribor, jernej.maher@ponting.si
[2] dr., univ. dipl. inž. grad., Ponting d.o.o in UM, FGPA Maribor, viktor.markelj@ponting.si

Aleks VEGI KALAMAR[1], Janja SKERNIŠAK[2]

# NOVA VISEČA BRV ČEZ SAVO MED VIKRČAMI IN MEDNOM: NADOMESTNA GRADNJA PO POPLAVAH 2023

**Povzetek**

Ob poplavah 4. avgusta 2023 se je porušila lesena viseča brv čez Savo med Vikrčami in Mednom, zgrajena leta 1934 po načrtih Stanka Dimnika. Prispevek predstavlja projekt nadomestne jeklene viseče brvi z glavnim razponom 79,95 m in svetlo širino 3,50 m, ki je del državne kolesarske povezave D2. Opisani so pravni okvir interventne zakonodaje, projektna izhodišča, zasnova konstrukcije z ohranitvijo lokacije temeljev, globalna in lokalna analiza, vključno z dinamičnim odzivom pešcev.

**Ključne besede**: viseča brv, Sava, poplave, jeklena konstrukcija, dinamika pešcev

**New suspension footbridge over the Sava River between Vikrče and Medno: Replacement structure following the 2023 floodsSummary**

During the floods of 4 August 2023, the wooden suspension footbridge across the Sava River between Vikrče and Medno, built in 1934 to the designs of Stanko Dimnik, collapsed. This paper presents the design of its replacement, a steel suspension footbridge with a main span of 79,95 m and a clear width of 3,50 m, forming part of the D2 national cycling route. It outlines the legal framework established by emergency legislation, the design criteria, the structural concept, including the initial intention to retain the existing foundations, the global and local structural analyses, including the dynamic response to pedestrian loading.

**Key words:** suspension footbridge, Sava, floods, steel structure, pedestrian dynamics

## 1. UVOD

Dne 4.8.2023 so se po dolgotrajnejšem močnem nalivu, ki se je začel 3.8.2023, zgodile poplave v osrednji in severni Sloveniji. V času visokih voda se je porušila lesena brv za pešce na Savi, ki povezuje kraja Vikrče in Medno. Brv čez Savo je za vaščane Vikrč velikega pomena, saj predstavlja povezavo do sosednjega Medna, skozi katerega poteka železnica (v kraju Medno se nahaja železniška postaja).

Občina Medvode se je odločila, da bo na lokaciji po poplavah porušene brvi izvedla novo brv (slika 1).




*Slika 1: Levo: širše območje brvi ; desno: ožje območje brvi (desno)*

[1] mag. inž. grad./odgovorni projektant, HSE Invest d.o.o., Obrežna ulica 170, Maribor, aleks.vegi-kalamar@hse-invest.si
[2] univ. dipl. inž. grad./odgovorni projektant, HSE Invest d.o.o., Obrežna ulica 170, Maribor, janja.skernisak@hse-invest.si

Tomo CEROVŠEK[1]

# EVROPSKA STANDARDIZACIJA BIM IN KROŽNOSTI ZA GRADBENE KONSTRUKTERJE

**Povzetek**

Prispevek obravnava delo standardizacijskih odborov CEN/TC 442 in ISO/TC 59/SC 13, relevantno za gradbene konstrukterje, predvsem standarde ISO 19650, ISO 16739 (IFC), ISO 7817 (LOIN) ter industrijske specifikacije, kot sta IDS in SAF. Evropski regulativni okvir spodbuja interoperabilnost informacijskih modelov skozi življenjski cikel konstrukcij, razvoj digitalnih dnevnikov stavb (DBL), digitalnih podatkov in potnih listov gradbenih proizvodov (DPP) ter povezovanje BIM s krožnim gradbeništvom in okoljskimi standardi EN 15804 in EN 15978. Strategija EU za standardizacijo poudarja dostopnost standardov, razvoj strojno berljivih in izvršljivih zahtev ter nastajajočo standardizacijo umetne inteligence. Izziv predstavlja povezovanje razdrobljenih informacijskih, konstrukcijskih in okoljskih standardov v interoperabilne, sledljive in preverljive postopke.

**Ključne besede:** BIM, konstrukcije, standardizacija, DBL, krožno gradbeništvo, umetna inteligenca

# European standards for BIM and circularity for structural engineers

**Summary**

The paper examines the work of the EU and standardisation committees relevant to structural engineers, e.g. on ISO 19650, ISO 16739 (IFC), ISO 7817 (LOIN), and the specifications IDS and SAF. The European regulatory framework promotes the interoperability of information models throughout the structural lifecycle, the development of digital building logbooks (DBL), digital construction product data and passports (DPP), and the integration of BIM with circular construction and environmental standards EN 15804 and EN 15978. The EU standardisation strategy emphasises access to standards, the development of machine-readable/executable requirements, and AI. A key challenge for structural engineers is integrating fragmented information, structural engineering and environmental standards into interoperable, traceable and verifiable workflows.

**Key words:** BIM, structural engineering, standardization, IFC, SAF, DBL, circular construction, AI

## 1. UVOD

BIM spreminja način določanja, izmenjave in uporape inženirskih informacij – od zasnove, analize, izvedbe do ponovne rabe konstrukcij. V EU je vzpostavljena razmeroma razvita, toda vsebinsko razdrobljena podlaga: standardi BIM (IFC, LOIN, ISO 19650), standardi okoljskega vrednotenja (EN 15804, EN 15978), načela projektiranja za razstavljivost (ISO 20887) in okviri trajnostnega poročanja Level(s), ki se pogosto uporabljajo vzporedno, a brez enotnega podatkovnega toka, ki bi bil prilagojen ali posebej usmerjen k konstrukterjem. Posledično je za gradbene konstrukterje pomembna naloga povezovanje informacijskih zahtev, modelov, računskih preveritev, projektnih rešitev in izvedbe.

## 2. EVROPSKA STRATEGIJA IN RAZVOJ BIM-STANDARDOV

Evropska standardizacija BIM se razvija tudi v povezavi z digitalnim in zelenim prehodom gradbeništva, pri čemer se poudarek postopoma premika od izmenjave digitalnih modelov k interoperabilnim, semantično opredeljenim in strojno preverljivim informacijam skozi celoten življenjski cikel objektov.

[1] izr. prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, tomo.cerovsek@fgg.uni-lj.si

Maks ALIČ[1], Robert KLINC[2]

# STANDARDIZACIJA POPISOV KOT POGOJ ZA UČINKOVITO DIGITALIZACIJO V GRADBENIŠTVU

**Povzetek**

Učinkovita digitalizacija gradbenega sektorja je močno pogojena s stopnjo standardizacije podatkov in procesov. Kljub hitremu napredku orodij, kot na primer BIM in avtomatizirano zajemanje podatkov, se v praksi še vedno soočamo s težavami pri izdelavi osnovnih delov projektne dokumentacije, kot so recimo popisi gradbenih del. Vsak deležnik razvija lastne metodologije, opise postavk ter strukture členitve dela, saj ni enotno sprejetih nacionalnih ali panožnih standardov. Ponavljajoče se ustvarjanje ad-hoc šifrantov in neenotnih klasifikacijskih sistemov vodi do razdrobljenosti podatkov, onemogoča primerljivost ponudb ter povzroča nezdružljivost med projektantskimi in izvajalskimi orodji. Prispevek na podlagi analize obstoječih praks osvetljuje ključne težave nestandardiziranih popisov del ter poudarja, da je vzpostavitev enotne, sistemsko podprte klasifikacijske strukture predpogoj za uspeh digitalne transformacije slovenskega gradbeništva.

**Ključne besede**: digitalizacija, gradbeništvo, javna naročila, popisi gradbeno obrtniških in inštalacijskih del, struktura podatkov.

## Standardization of Bills of Quantities as a condition for effective digitalization of construction

**Summary**

Effective digitalization of the construction sector is strongly conditioned by the level of data and process standardization. Despite the rapid progress of modern tools, such as BIM and automated data capture in recent times, we still face practical difficulties in producing basic parts of project documentation, such as bills of quantities. Due to the lack of uniformly accepted national or industry standards, every stakeholder develops their own methodologies, item descriptions, and work breakdown structures. The repetitive creation of ad-hoc code lists and inconsistent classification systems leads to data fragmentation, makes offer comparability impossible, and causes incompatibility between design and contractor tools. Based on an analysis of existing practices, this paper highlights the key problems of non-standardized bills of quantities and emphasizes that the establishment of a unified, systematically supported classification structure is a prerequisite for the success of the digital transformation of Slovenian construction.

**Key words:** bills of quantities, construction, data structure, digitalisation, public procurement.

## 1. UVOD

Digitalizacija gradbeništva omogoča učinkovitejše procese v vseh fazah gradnje, saj prispeva k večji preglednosti projektov, zmanjšanju napak in pospešitvi procesov. Zaradi jasnih prednosti se gradbeni sektor vse bolj digitalizira [1], vendar je pri digiTAlizaciji treba paziti, da ne izvedemo zgolj digiTIzacije. Pri digiTIzaciji zgolj zamenjamo medij, na katerem so informacije (npr. iz analognega v digitalnega), medtem ko pri digiTAlizaciji spremenimo celoten proces [2]. Osnovni pogoj za uspešno spremembo pa sta poenotenost stroke ter vzpostavitev enotnih, splošno sprejetih standardov, ki omogočajo izmenjavo podatkov med vsemi udeleženci pri gradnji.

Kljub hitremu razvoju digitalnih tehnologij, kot je informacijsko modeliranje gradenj (angl. building

[1] mag. inž. grad., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, alicm@fgg.uni-lj.si
[2] izr. prof. dr., univ. dipl. inž. gradb. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, rklinc@fgg.uni-lj.si

Tina MAROLT ČEBAŠEK[1] Ian SMITH[2]

# DRUGA GENERACIJA EVROKODA 7

**Povzetek**

Druga generacija Evrokoda 7 predstavlja pomembno prenovo evropskega sistema geotehničnega projektiranja. Vsebina je razdeljena med EN 1997-1, EN 1997-2 in EN 1997-3, pri čemer prenovljeni EN 1990:2023 določa skupne osnove projektiranja konstrukcij in geotehničnega projektiranja. Članek obravnava ključne spremembe novega sistema, med njimi novo razmerje med vplivi, lastnostmi tal in odpornostjo, uvedbo primerov preverjanja VC1 do VC4, uporabo pristopov z delnimi faktorji za materialne lastnosti (MFA) in za odpornost (RFA) ter povezavo med razredi posledic in zahtevano ravnjo zanesljivosti. Posebna pozornost je namenjena štirifaznemu postopku geotehničnega projektiranja, ki povezuje načrtovanje in zagotavljanje zanesljivosti, preiskave tal in modeliranje tal, projektiranje in preverjanje projektiranja ter gradnjo in izvedbo. Poudarjena je tudi vloga modela tal in geotehničnega projektnega modela kot osrednjih povezovalnih elementov med preiskavami, računskim modelom in preverjanjem mejnih stanj. Nova ureditev zahteva bolj dosledno dokumentiranje projektnih predpostavk, uporabljenih delnih faktorjev in izbranih postopkov ter tesnejše povezovanje posameznih faz geotehničnega projektiranja.

**Ključne besede:** Evrokod 7, geotehnično projektiranje, mejna stanja, delni faktorji, primeri preverjanja, model tal

# The second generation of Eurocode 7

**Summary**

The second generation of Eurocode 7 represents a major revision of the European framework for geotechnical design. Its content is distributed among EN 1997-1, EN 1997-2 and EN 1997-3, while the revised EN 1990:2023 establishes the common basis for structural and geotechnical design. The paper discusses the key changes introduced by the new system, including the revised relationship between actions, ground properties and resistance, the introduction of Verification Cases VC1 to VC4, the use of the Material Factor Approach (MFA) and the Resistance Factor Approach (RFA), and the link between consequence classes and the required level of reliability. Particular attention is given to the four-stage geotechnical design process, which links planning and reliability management, ground investigation and ground modelling, design and design verification, and construction and execution. The role of the Ground Model and the Geotechnical Design Model is also emphasized as a central link between investigation, the calculation model and limit state verification. The new framework requires more consistent documentation of design assumptions, applied partial factors and selected procedures, as well as closer integration of the individual stages of geotechnical design.

**Keywords:** Eurocode 7, geotechnical design, limit states, partial factors, verification cases, ground model

[1] ¸dr., univ. dipl. inž. rud. in geotehnol /Senior Lecturer, Programme Leader Msc Civil Engineering, Liverpool John Moores Univesity, UK, t.maroltcebasek@ljmu.ac.uk
[2] prof. dr., Heriot-Watt Univesity, Edinburgh, UK

Luca CAPACCI[1], Barbara ZULIAN, Valentina BELLOTTI, Fabio MENARDO

# TIME-SAVING AND NON-INVASIVE SEISMIC UPGRADE OF STRATEGIC RC BUILDINGS: AN AMD-BASED HOSPITAL CASE STUDY

**Summary**

Seismic retrofitting of existing buildings aims to enhance structural safety and preserve operational continuity during and after seismic events. Rapid and minimally invasive retrofit solutions are particularly valuable for strategic facilities such as hospitals, which must remain fully operational throughout the seismic upgrading works. This paper presents the application of Active Mass Dampers (AMDs) to a reinforced concrete hospital complex located in an area of high seismic hazard in southern Italy. By confining most of the construction work to the roof level, this AMD-based intervention significantly reduces the seismic demand on structural components throughout the building with negligible disturbance to its occupants. The paper discusses time savings across the entire implementation process—from design revision and approval through tendering, procurement, installation, and commissioning. Furthermore, the indirect costs arising from potential disruptions to hospital operations are estimated to highlight the economic benefits of the AMD-based strategy compared to conventional retrofit solutions.

**Key words:** Seismic retrofit, strategic buildings, Active Mass Dampers, RC buildings, hospital, construction time, indirect costs.

# Časovno učinkovita in neinvazivna potresna utrditev strateško pomembnih AB stavb: študija primera bolnišnice z uporabo aktivnih masnih dušilnikov

**Povzetek**

Potresna utrditev obstoječih stavb je namenjena povečanju konstrukcijske varnosti ter ohranjanju kontinuitete dejavnosti med potresi in po njih. Hitre in minimalno invazivne rešitve so še posebej pomembne za objekte strateškega pomena, kot so bolnišnice, ki morajo med izvajanjem utrditvenih del ostati v celoti operativne. Prispevek predstavlja uporabo aktivnih masnih dušilnikov (AMD) na armiranobetonskem bolnišničnem kompleksu, na območju velike potresne nevarnosti v južni Italiji. Z omejitvijo večine gradbenih del na streho, poseg z uporabo sistema AMD, bistveno zmanjša potresno obremenjenost konstrukcijskih elementov po celotni stavbi, ob zanemarljivih motnjah za uporabnike. Prispevek obravnava časovne prihranke v celotnem izvedbenem procesu, od spremembe in potrditve projektne dokumentacije do razpisnih postopkov, nabave, vgradnje ter preizkušanja in zagona sistema. Poleg tega so ocenjeni posredni stroški morebitnih motenj v delovanju bolnišnice, da bi prikazali ekonomske prednosti strategije z uporabo sistema AMD, v primerjavi s konvencionalnimi rešitvami potresne utrditve.

**Ključne besede**: potresna utrditev, objekti strateškega pomena, aktivni masni dušilniki, armiranobetonske stavbe, bolnišnica, čas gradnje, posredni stroški.

## 1. INTRODUCTION

Seismic upgrading of the existing building stock is particularly important in seismically active regions across Europe. Special attention should be given to strategic facilities, whose post-earthquake operation is essential to effective emergency management by the responsible authorities, such as civil protection agencies. Even though maintaining system resilience under emergencies such as earthquakes is an extensively discussed topic in the scientific literature [1,2,3], service continuity and

[1] structural engineer, PhD, ISAAC Srl, via Magolfa 27, 20143 Milano (MI), luca.capacci@isaacsrl.com

Davor KNEŽEVIČ[1], Jože BOROVŠAK[2]

# REKONSTRUKCIJA VIADUKTOV ŠENTILJ VA0289 IN VA0290

**Povzetek**

Prispevek prikazuje rekonstrukcijo levega in desnega viadukta Šentilj. Pri izvedbi rekonstrukcije se je izvajalec soočal z logističnimi, tehnološkimi in terminskimi izzivi, ki bodo na kratko opisani in predstavljeni. Med izvedbo je prišlo tudi do nekaterih težav oz. zapletov, ki jih je ekipa sodelujočih (projektant, izvajalec, nadzor) morala hitro in učinkovito (ter finančno vzdržno) rešiti.

**Ključne besede**: rekonstrukcija, izzivi, težave

# Reconstruction of viaducts Šentilj VA0289 and VA0290

**Summary**

This paper shows the reconstruction of the left and right Šentilj viaducts. During the reconstruction, the contractor faced logistical, technological, and scheduling challenges, which will be briefly described and presented. During execution, certain issues or complications arose, which the project team (designer, contractor, and supervisor) had to resolve quickly, effectively, and in a financially sustainable manner.

**Key words:** reconstruction, challenges, issues

## 1. UVOD

Na podlagi pregledov med leti 2015 in 2022 je bilo splošno stanje objektov (VA0289 in VA0290) ocenjeno kot zadovoljivo z oceno 3 (poškodbeni razred III – srednje poškodbe). Večje poškodbe so bile na opremi objekta, sam objekt pa je bil v zadovoljivem stanju. Potrebna je bila sanacija nekaterih delov opornika, kril in opornih zidov.

Predmet sanacije in rekonstrukcije:

- Razširitev zg. plošča preklade za ca. 1,0 m na vsako stran objekta in odebelitev za 10 cm
- Rekonstrukcija opornika z umestitvijo prostora za pregled ležišč in dilatacije
- Izvedba novih robnih vencev in hodnikov
- Izvedba AB konzol na vrhu kril in podpornih zidov, ki omogočajo ustrezno prometno širino
- Ojačitev kape vmesnih stebrov s karbonskimi lamelami
- Ojačitve preklade z zunanjimi prednapetimi kabli
- Sanacija vseh betonski površin prekladne in podporne konstrukcije
- Menjava vseh dilatacij in ležišč
- Menjava voziščne konstrukcije
- Menjava opreme za odvodnjavanje
- Vgradnja jeklene nosilne konstrukcije za protihrupno ograjo
- Zamenjava JVO

Razširitev prekladne konstrukcije omogoča izvedbo hodnika (z robnim vencem) za vzdrževalce na zunanjem robu viadukta in širino cestišča (0,5 m + 3x3,75 m = 11,75 m), ki omogoča postavitev cestne zapore C2+2 => zahteva naročnika (DARS). Na podlagi glavnih pregledov je bila predlagana izvedba komore na oporniku => pregled dilatacije.

Dela se štejejo za vzdrževalna dela v javno korist v skladu z Zakonom o cestah.

[1] univ. dipl. inž. grad., DRI d.o.o., Kotnikova ulica 40, 1000 Ljubljana, davor.knezevic@dri.si
[2] univ. dipl. inž. grad. IPI d.o.o., Zgornje Negonje 36D, 3250 Rogaška Slatina, joze.borovsak@ipi-rogaska.si

Rihard KOVAČIČ[1], Gregor CIPOT[2]

# SANACIJA VIADUKTOV ŠKEDENJ 1, GRAPA IN ŠKEDENJ 2

**Povzetek**

V prispevku bo podan opis projektiranja in izvedbe sanacije viaduktov Škedenj 1, Grapa in Škedenj 2 na avtocestnem odseku A1 Slovenske Konjice – Dramlje.

**Ključne besede**: avtocesta, viadukt, sanacija

# Rehabilitation of the viaducts Škedenj 1, Grapa and Škedenj 2

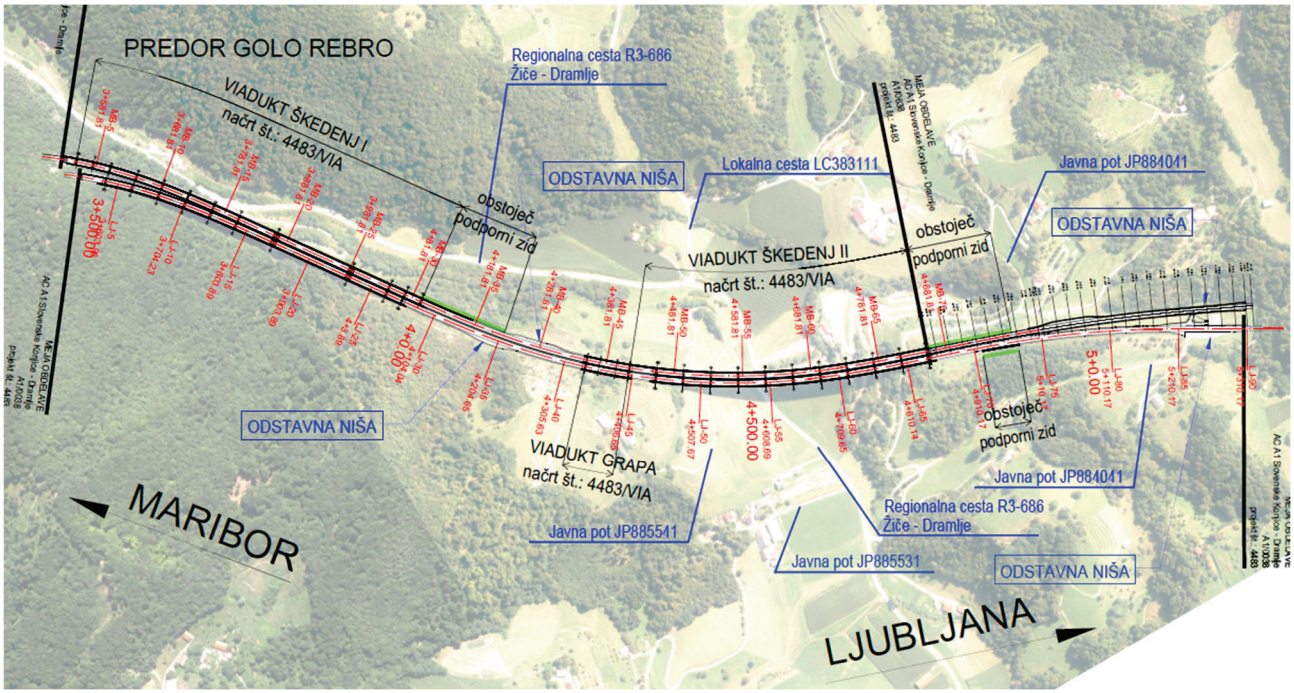
**Summary**

This paper presents the design and rehabilitation process of the viaducts Škedenj 1, Grapa and Škedenj 2 on the highway section track A1 Slovenske Konjice – Dramlje.

**Key words:** highway, viaduct, rehabilitation

## 1. UVOD

Celotna dolžina obnove avtocestnega odseka je znašala 6.5 km. Sanacija sklopa viaduktov je potekala med predoroma Golo rebro in Pletovarje. Objekti v smeri Ljubljane (desni) so bili zgrajeni v sedemdesetih letih, objekti v smeri Maribora (levi) pa leta 1996.




*Slika 1 Pregledna sitiacija*

Na osnovi ugotovljenih poškodb ter smernic za projektiranje je bilo za izvedbo sanacije potrebno izdelati projektno dokumentacijo PZI med samo gradnjo. Sanirati je bilo treba dele spodnjih konstrukcij ter spodnje in zgornje dele prekladnih konstrukcij. Prav tako je bila izvedena zamenjava poškodovane opreme. Pripravljalna dela na objektih so se začela novembra 2024. Promet po celotnem saniranem odseku je stekel septembra 2026.

[1] univ. dipl. inž. grad./nadzorni inženir, DRI d.o.o., Kotnikova ulica 40, 1000 Ljubljana, rihard.kovacic@dri.si
[2] univ. dipl. inž. grad./vodja projektov, Gradis, BP MARIBOR d.o.o., Lavričeva ulica 3,2000 Maribor, gregor.cipot@gradis.si

Iztok ARNUGA[1], Patrick HUBER[2]

# PREDNAPETI BETON V MOSTOGRADNJI V SLOVENIJI: ZGODOVINSKI PREGLED V KONTEKSTU RAZVOJA SISTEMOV IN PREDPISOV

**Povzetek**

Članek obravnava razvoj prednapetega betona v mostogradnji v Sloveniji od prvih povojnih izvedb do konca 20. stoletja, ter ga umešča v širši jugoslovanski in evropski okvir. Na podlagi strokovne literature, predpisov, arhivskih virov in opisov izvedenih objektov, so predstavljeni razvoj in proizvodnja jekla za prednapenjanje doma in v tujini, uporabljeni sistemi za prednapenjanje, uporaba injektirnih mas in izvedba injektiranja/protikorozijska zaščita kablov. Poseben poudarek je namenjen spreminjanju predpisov na področju projektiranja in izvedbe konstrukcij iz prednapetega betona.

**Ključne besede**: prednapeti beton, mostovi, jeklo za prednapenjanje, sistemi prednapetja, injektiranje kablov za prednapenjanje, predpisi prednapeti beton

# Prestressed Concrete in Bridge Construction in Slovenia: A Historical Review in the Context of the Development of Prestressing Systems and Regulations

**Summary**

This article examines the development of prestressed concrete in bridge construction in Slovenia, from the first post-war applications to the end of the 20th century, placing it within the broader Yugoslavian and European context. Drawing on technical literature, regulations, archival sources, and accounts of completed structures, it presents the development and production of prestressing steel in Slovenia and abroad, the prestressing systems employed, and the use of grouting materials, grouting practices of prestressing tendons. Particular emphasis is placed on changes in regulations governing the design and construction of prestressed concrete structures.

**Key words:** prestressed concrete, bridges, prestressing steel, prestressing systems, prestressing tendon grouting, prestressed concrete regulations

## 1. UVOD

Prispevek obravnava razvoj prednapetega betona na območju Slovenije. Predstavljeni so mostovi, ki predstavljajo pomembne mejnike pri uporabi te tehnologije doma in v tujini. V ta zgodovinski okvir so umeščeni razvoj proizvodnje jekel za prednapenjanje, ključni dosežki na področju sistemov za prednapenjanje ter pregled njihovih izvedb v slovenskem prostoru. Obravnavani so tudi primeri poškodb in porušitev, ki so privedli do sprememb oziroma dopolnitev predpisov za projektiranje in gradnjo mostov iz prednapetega betona.

## 2. TERMINOLOGIJA

V slovenski literaturi se najdejo različna poimenovanja za opis istih proizvodov ali elementov sistemov prednapenjanja. V tem prispevku so za prednapeti beton uporabljeni naslednji termini:

- žica (angl. Wire, nem. Draht): npr. hladnovlečena žica iz visokotrdnega jekla, premera 5, 6, 7 do 12 mm,
- pramen (angl. Strand, nem. Litze): pramen je sestavljen iz večih žic, najbolj razširjena izvedba iz sedmih žic,

[1] univ. assist., mag. grad., TU Wien, A-1040 Karlsplatz 13, iztok.arnuga@tuwien.ac.at
[2] univ. prof. dr.-tech, TU Wien, A-1040 Karlsplatz 13, patrick.huber@tuwien.ac.at

Lara SLIVNIK[1]

# GRADBENI INŽENIR PROF. DR. ALOIS KRÁL KOT PROJEKTANT

**Povzetek**

Gradbeni inženir prof. dr. Alois (Alojz, Alojzij) Král je pomemben zaradi svojega udejstvovanja na področju univerzitetnega izobraževanja in na področju preiskave gradbenih materialov. Rodil (1884) se je na severnem Moravskem. Diplomiral (1910) in doktoriral (1916) je na Tehniški visoki šoli Franca Jožefa v Brnu. V Ljubljani se je zaposlil pri državni stavbni upravi (1912). Sodeloval pri ustanovitvi gradbenega oddelka Tehniške fakultete (1919) na ljubljanski univerzi in postal univerzitetni profesor (1920), predaval je predmete s področja tehnične mehanike. Ustanovil je Inštitut za tehnično mehaniko z laboratorijem za preiskavo materiala (1927), kar je postalo njegovo glavno znanstveno in strokovno zanimanje, saj je napisal preko trideset člankov, en univerzitetni učbenik s ponatisom in pet strokovnih knjig. Vrnil se je na Češkoslovaško (1946) in postal profesor na brnski Tehniški fakulteti. Po upokojitvi (1958) je ostal v Brnu, kjer je umrl (1969). V članku so izpostavljena tri njegova inovativna projektantska dela: ljubljanski Šentjakobski most (1913–15) ter dve tovarniški poslopji za usnjarno C. Pollak – v Kranju (1921) in v Ljubljani (1921–23).

**Ključne besede**: Alois Král, železobeton, zgodovina gradbeništva

## Civil engineer Prof. Dr. Alois Král as the structural designer

**Summary**

The civil engineer Prof. Dr. Alois (Alojz, Alojzij) Král is important for his work in the field of university education and in the field of research into building materials. He was born (1884) in North Moravia. He graduated (1910) and received his doctorate (1916) from the Technical University in Brno. In Ljubljana, he was employed by the State Building Administration (1912). He participated in the establishment of the Civil Engineering Department of the Faculty of Engineering (1919) at the University of Ljubljana and became a university professor (1920), lecturing in the field of technical mechanics. He founded the Institute of Technical Mechanics with a laboratory for materials research (1927), which became his main scientific and professional interest, as he wrote over thirty articles, one university textbook with a reprint, and five professional books. He returned to Czechoslovakia (1946) and became a professor at the Brno Faculty of Engineering. After his retirement (1958), he remained in Brno, where he died (1969). The article highlights three of his innovative design works: the St. James Bridge in Ljubljana (1913–15) and the factory buildings for the C. Pollak tannery in Kranj (1921) and Ljubljana (1921–23).

**Key words:** Alois Král, reinforced concrete, civil engineering history

## 1. UVOD

Prof. dr. Alois (Alojz) Král (1884–1969) je bil gradbeni inženir, ki je pomemben del svoje aktivne delovne dobe preživel v Ljubljani. Deloval je na področju univerzitetnega izobraževanja in na področju preiskave materialov. Aktivno je sodeloval pri ustanovitvi gradbenega oddelka Tehniške fakultete na ljubljanski univerzi leta 1920. Postal je univerzitetni profesor in predaval predmete s področja tehnične mehanike. Pred tem je bil v gradbeni stroki aktiven kot statik in projektant. Dokončal je več projektov, pri katerih je uporabil konstrukcijske novosti. Med njimi izstopajo trije projekti, ki so predstavljeni v članku: most v Ljubljani ter tovarniški poslopji v Kranju in Ljubljani.

Za časa življenja sta bili o Aloisu Królu objavljeni vsaj dve biografski gesli v slovenskem jeziku. Prvo biografsko geslo »*Král Alojzij, gradb. inženjer*« [1] je bilo objavljeno leta 1932 v četrtem zvezku

[1] doc. dr., univ. dipl. inž. arh., UL Fakulteta za arhitekturo, Zoisova12, 1000 Ljubljana, lara.slivnik@fa.uni-lj.si

Antoine CARRY[1], Mathieu GUESDON[2], Miha MARAŽ[3]

# THE BENEFITS OF HIGHER POST-TENSIONING TENDON PROTECTION LEVELS ACCORDING TO fib BULLETIN 75

**Summary**

This paper reviews the tendon Protection Level concept defined in fib Bulletin 75 and fib Bulletin 113, presenting the benefits of PL1, PL2 and PL3 for improving the durability of post-tensioned structures. PL2 enhances corrosion protection through fully encapsulated polymer-duct systems, while PL3 adds electrical isolation and monitoring capabilities that allow verification of tendon integrity during construction – hence ensuring a high-end workmanship - throughout the structure's service life. The paper shows that higher protection levels can significantly reduce corrosion risk, maintenance needs and lifecycle costs, making them an effective solution for critical and long-life infrastructure.

**Keywords:** post-tensioning, durability, PL1, PL2, PL3, tendon monitoring, lifecycle cost.

## Prednosti višjih nivojev zaščite kablov za prednapenjanje po biltenu fib 75

**Povzetek**

Prispevek obravnava koncept zaščitnih nivojev kablov za prednapenjanje (PL1, PL2 in PL3), kot ga opredeljujeta fib Bulletin 75 in fib Bulletin 113. Namen teh nivojev je izboljšati trajnost prednapetih konstrukcij ter zmanjšati tveganje korozije in stroške vzdrževanja skozi celotno življenjsko dobo konstrukcije. PL2 zagotavlja večjo zaščito z uporabo popolnoma enkapsuliranih polimernih cevi in sidrnih glav, medtem ko PL3 dodatno omogoča električno izolacijo in stalno spremljanje stanja kablov. Prispevek prikazuje, da lahko višji zaščitni nivoji kljub nekoliko višjim začetnim stroškom pomembno zmanjšajo tveganje poškodb, potrebe po vzdrževanju in celotne stroške življenjskega cikla, zato predstavljajo učinkovito rešitev za pomembne in dolgoročne infrastrukturne objekte.

**Ključne besede:** prednapenjanje, trajnost, PL1, PL2, PL3, monitoring kablov, stroški življenjskega cikla konstrukcije.

## 1. GENERAL CONSIDERATIONS ABOUT EXISTING BRIDGES

France has approximately 350,000 bridges, while Germany has about 40,000 bridges on its federal road network and more than 25,000 railway bridges. A non-verified estimation for Slovenia is about 9,000 to 10,000 bridges of all kinds.

This estimation most likely does not include the smallest structures, yet it provides an estimation of the number of structures that sooner or later will need to be heavily maintained or demolished.

Considering the costs associated with construction, maintenance and demolition, ensuring the durability of such a large number of structures represents a significant financial challenge for owners and taxpayers (for public networks). Of course, a lot of maintenance techniques and surveillance are developed jointly between owners, contractors and equipment suppliers to address the case of existing structures built by previous generation of engineers. Not addressing such challenges can only lead to increasing maintenance costs and usage disruption cost, rehabilitation requirements and asset replacement needs in the future.

[1] Antoine CARRY, Freyssinet International & Cie, Main Project Department – antoine.carry@freyssinet.com
[2] Mathieu GUESDON, Freyssinet International & Cie, Business Activity Manager - Post-Tensioning and Stay Cables, mathieu.guesdon@freyssinet.com
[3] Miha MARAŽ, Freyssinet Adria SI, Head of Technical Department, miha.maraz@freyssinet-adria.si

Marko PAVLINJEK[1]

# NOVA ŽELEZNIŠKA POSTAJA LJUBLJANA

**Povzetek**

V prispevku sta predstavljena arhitekturna in konstrukcijska zasnova ter fazna izvedba nadhoda s postajno dvorano na železniški postaji Ljubljana. Objekt nad tiri ni le nova potniška stavba, temveč tudi nadzemna mestna ulica, ki skupaj s prenovljenim podhodom povezuje severni in južni del mesta. Streha tlorisnih dimenzij približno 110 × 90 m prekriva postajno dvorano in del peronskih površin. Glavna etaža premošča dve polji po 48 m ter je v vmesnih oseh obešena na jeklena strešna paličja. Temeljenje je izvedeno na uvrtanih pilotih, pri čemer je upoštevana tudi bodoča gradnja podzemnega železniškega koridorja. Posebna pozornost je namenjena faznosti gradnje, ki sledi faznosti tirnega prometa, potresnemu sistemu in požarni odpornosti konstrukcije. Gradnja se je pričela v drugi polovici leta 2024, dokončanje pa je predvideno v začetku leta 2027.

**Ključne besede:** železniška postaja Ljubljana, postajna dvorana, obešena konstrukcija, jekleno paličje, fazna gradnja, potresna odpornost

## Ljubljana Railway Station

**Summary**

The paper presents the architectural and structural design and staged construction of the elevated concourse at Ljubljana Railway Station. The building above the tracks is both a passenger facility and an elevated urban street which, together with the refurbished underpass, connects the northern and southern parts of the city. A steel roof measuring approximately 110 by 90 m covers the concourse and parts of the platforms. The main floor spans two 48 m bays and is suspended from the roof trusses at intermediate support lines. Bored-pile foundations also account for a future underground railway corridor. Particular attention is given to the constraction process, seismic-and fire resisting system. Construction began in the second half of 2024, with completion scheduled for early 2027.

**Key words:** Ljubljana Railway Station, elevated concourse, suspended structure, steel truss, staged construction, seismic resistance

## 1. UVOD

Poleg dotrajane in zmogljivostno podhranjene železniške infrastrukture so območje Potniškega centra Ljubljana (PCL) zaznamovali nepovezani javni prostori, neustrezno urejene površine za umirjeni promet, neustrezno urejeni dostopi za funkcionalno ovirane osebe, krajinska neurejenost ter neurejene kolesarske povezave. Deloma degradirano območje so dodatno obremenjevali dotrajani, nevarni oziroma konstrukcijsko nestabilni objekti. Prostorsko umeščen železniški promet pomeni izrazito prostorsko pregrado med Vilharjevo cesto na severu ter Masarykovo cesto in mestnim središčem na jugu. Zato temeljni cilj prenove ni zgolj povečanje zmogljivosti postaje, temveč tudi vzpostavitev prehodnega, varnega in vsem dostopnega mestnega prostora. Nova postajna dvorana nad tiri in prenovljeni podhod to pregrado preoblikujeta v dve dopolnjujoči se mestni povezavi.

Prispevek se osredotoča na nadhod s postajno dvorano.

[1] univ. dipl. inž. grad., Elea iC, d.o.o., Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana, marko.pavlinjek@elea.si

Nejc POVŠIČ[1]

# INŽENIRSKI OBJEKTI PRED JUŽNIM PORTALOM PREDORA KARAVANKE (2020–2026)

**Povzetek**

Ob gradnji vzhodne cevi predora Karavanke je pred južnim portalom, na ozkem prostoru ob Savi Dolinki, nastalo več inženirskih objektov: mostova M1 in M2, začasni most M3, podporna zidova PK-1 in PK-2, oporni zid OK-1 in nova portalna stavba z ventilatorsko postajo, galerijo in jekleno nadgradnjo. Prispevek predstavi udeležence in organizacijo gradnje, v kateri sta se na istem gradbišču srečali slovenska gradbena in avstrijska elektrostrojna pogodbena veriga. Nato predstavi območje gradnje in zasnovo posameznih objektov, podrobneje pa portalno stavbo, ki dopolnjuje nagrajeno stavbo iz leta 1989 in je osrednje mesto upravljanja predora.

**Ključne besede:** predor Karavanke, portalna stavba, integralni sovprežni most, podporni zid, galerija, olajšana plošča, jeklena nadgradnja, meddržavni projekt

# Engineering structures in front of the south portal of the Karavanke tunnel (2020–2026)

**Summary**

During the construction of the eastern tube of the Karavanke tunnel, several engineering structures were built on a confined site in front of the south portal, along the Sava Dolinka river: the M1 and M2 bridges, the temporary M3 bridge, the PK-1 and PK-2 retaining walls, the OK-1 retaining wall and a new portal building with a ventilation station, a gallery and a steel roof structure. The paper presents the parties involved and the organisation of the works, in which the Slovenian civil works contract and the Austrian contract for the tunnel E&M equipment met on one site, then the site itself and the design of the individual structures, and in more detail the new portal building, which completes the award-winning 1989 building and houses the tunnel control facilities.

**Key words:** Karavanke tunnel, portal building, integral composite bridge, retaining wall, gallery, voided slab, steel roof structure, cross-border project

## 1. UVOD

Predor Karavanke je od leta 1991 edina avtocestna povezava med Slovenijo in Avstrijo na koridorju A2–A11. Kot enocevni predor z dvosmernim prometom je ob naraščajočih obremenitvah in zahtevah evropske direktive o varnosti predorov 2004/54/ES [1] postal eno od ozkih grl vseevropskega cestnega omrežja. Slovenija in Avstrija sta se zato odločili za gradnjo druge, vzhodne cevi, dolge 7,9 km, od tega 3,5 km na slovenski strani [2].

Predorska cev pa je le del zgodbe. Med južnim portalom in cestninsko postajo Hrušica je bilo treba zgraditi še približno 620 m avtoceste, novo portalno stavbo, tri mostove, več opornih in podpornih zidov ter vrsto spremljajočih objektov – vse ob obratujočem predoru, ki ga je ves čas napajala in upravljala obstoječa portalna stavba.

Prispevek najprej predstavi udeležence in osnovne podatke o gradnji, nato na kratko opiše mostove M1, M2 in M3 ter oporne in podporne zidove, v zadnjem delu pa podrobneje portalno stavbo z ventilatorsko postajo, galerijo in jekleno nadgradnjo.

[1] mag. inž. grad., vodja projektov, Elea iC d. o. o., Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana, nejc.povsic@elea.si

Borut KORPAR[1], Matjaž KNAPIČ[2]

# GRADBENE KONSTRUKCIJE II. FAZE PROTIPOPLAVNE UREDITVE SELŠKE SORE

**Povzetek**

Prispevek obravnava projektiranje gradbenih konstrukcij v sklopu II. faze ukrepov celovitega projekta za zagotavljanje poplavne varnosti Železnikov, katerega osrednji objekt je suh zadrževalnik Pod Sušo. Ob tej nasuti pregradi z AB prelivom in talnim izpustom, je bilo sprojektiranih in izvedenih še: most dolžine 73 m, 240 m armiranih zemljin z gabioni, višine do 20 m in drugi podporni ukrepi. Sam zadrževalnik je višine 20 m, dolžine po kroni 80 m z AB talnim izpustom in vtokom ter AB varnostnim prelivom s prednapetim mostom. Zahtevna je bila tudi sama gradnja pod prometom, prestavitvijo ceste, delnih popolnih zaporah in spreminjajočih geoloških razmerah. Projektiranje in izvedba je trajala med junijem 2021 in marcem 2026.

**Ključne besede**: armirane zemljine, most, suh zadrževalnik, gradnja

# Civil engineering structures in phase II of the Selška Sora flood protection scheme

**Summary**

The paper presents the structural design of the major civil engineering structures implemented within Phase II of the comprehensive flood protection scheme for Železniki, centred on the Pod Sušo dry flood-retention reservoir. In addition to the embankment dam with a reinforced-concrete spillway and bottom outlet, the project included a 73 m long bridge, approximately 240 m of reinforced-earth structures with gabion facing up to 20 m high, and other retaining and stabilisation structures. The Pod Sušo dry retention dam is approximately 20 m high and 80 m long at crest level. Its principal hydraulic structures comprise a reinforced-concrete bottom outlet and inlet structure and an emergency spillway crossed by a prestressed-concrete bridge. The project was active between June 2021 and March 2026

**Key words:** reinforced-earth structures, bridge, dry flood-retention reservoir, construction

## 1. UVOD

V preteklih desetletjih so slikovito vasico Železniki in njihove prebivalce prizadele hude poplave. Zadnja večja poplava (2007) je poleg velike gmotne škode na kmetijskih zemljiščih, infrastrukturi in stanovanjskih površinah, terjala tudi tri smrtne žrtve. Hudourniška narava Selške Sore je svojo moč intenzivno pokazala tudi v letih 1979, 1990, 1992, 1993, 1995 in 1998.

Direkcija Republike Slovenije za vode (DRSV) je tako pričela s projektom, ki bi zmanjšal poplavno ogroženost Železnikov. Osrednji del tega sklopa zaščite tvori suhi zadrževalnik (pregrada; h = 20 m.) s prostornino 1000000 $m^3$ vode s talnim izpustom in varnostnim prelivom. Zaradi zadrževalnika je bilo potrebno prestaviti regionalno cesto v dolžini 1 km, skupaj z novim mostom, podpornimi ukrepi, prestavitvijo infrastrukture in izvedbo vodnogospodarskih ureditev na samem vodotoku.

Projekt je bil razpisan kot FIDIC rumena knjiga, t.i. »design and build«. Konzorcij glavnih izvajalcev (Kolektor, Kostak, RGP) nam je zaupal projektiranje junija 2021.

[1] mag., univ. dipl. inž. grad./ vodja gradbene službe, HSE Invest d.o.o., Obrežna ulica 170, 2000 Maribor, borut.korpar@hse-invest.si

[2] mag., univ. dipl. inž. grad./ vodja oddelka hidroprojektive, HSE Invest d.o.o., Obrežna ulica 170, 2000 Maribor, matjaz.knapic@hse-invest.si

Simon PETROVČIČ[1], Srečko VRATUŠA[2] in Edo WALLNER[3]

# ANALIZA POŠKODB OBJEKTOV PO NEURJU V OBČINI KOMENDA

**Povzetek**

Neurje z močnim vetrom, nalivi in točo, ki je 10. junija 2026 prizadelo občino Komenda, je močno poškodovalo več kot 100 stanovanjskih, kmetijskih in poslovnih objektov. V prispevku so predstavljene ugotovitve terenskih ogledov 63 objektov na 29 lokacijah. Prikazana je tipologija poškodb nosilnih in nenosilnih elementov ter razvrstitev objektov v štiri skupine ogroženosti, ki jim ustrezajo vzdrževanje, manjša ali nujna rekonstrukcija po Gradbenem zakonu. Najtežje poškodbe navpičnih nosilnih konstrukcij so se pojavile izključno pri starejših objektih z nepovezanim zidovjem brez obodnih armiranobetonskih vezi, glavni vzrok delnih in popolnih porušitev ostrešij pa je bilo pomanjkljivo sidranje strešnih leg v nosilno konstrukcijo. Podana so tehnična priporočila za utrditev konstrukcij in poudarjena obveznost izdelave projektne dokumentacije za sanacijo.

**Ključne besede**: neurje, poškodbe objektov, ostrešje, nepovezano zidovje, armiranobetonske vezi, sidranje, sanacija, projektna dokumentacija

## Analysis of damage to buildings after the storm in the Municipality of Komenda

**Summary**

The severe storm with strong winds, heavy rain and hail that struck the Municipality of Komenda on 10 June 2026 severely damaged more than 100 residential, agricultural and commercial buildings. The paper presents the findings of field inspections of 63 buildings at 29 locations. The typology of damage to load-bearing and non-load-bearing elements is described, together with the classification of buildings into four risk categories, to which maintenance works, minor reconstruction or urgent reconstruction according to the Building Act apply. The most severe damage to vertical load-bearing structures occurred exclusively in older unreinforced masonry buildings without reinforced concrete ring beams, while the primary cause of partial and complete roof collapses was inadequate anchorage of the eaves purlins to the supporting structure. Technical recommendations for strengthening are given and the obligation to prepare design documentation for the repair works is emphasised.

**Key words:** severe storm, building damage, timber roof, unreinforced masonry, RC ring beams, anchorage, repair, design documentation

## 1. UVOD

Neurja z močnim dežjem, vetrom in točo so med 9. in 11. junijem 2026 povzročila škodo v več kot 70 slovenskih občinah [1], [2]. Med najbolj prizadetimi je bila občina Komenda, ki jo je neurje zajelo v večernih urah 10. junija. Posledice so se pokazale predvsem v poškodbah objektov, podrtem drevju, neprevoznih cestah in izpadih električne energije. Po prvih podatkih Uprave RS za zaščito in reševanje (URSZR) je bilo v neurju močno poškodovanih več kot 150 objektov, od tega več kot 100 v občini Komenda in približno 30 v sosednji občini Cerklje na Gorenjskem [1]. Ker je predhodna ocena škode presegla 0,3 promila načrtovanih prihodkov državnega proračuna, se je začel postopek evidentiranja škode [2]. Obseg poškodb streh v enem od prizadetih naselij prikazuje slika 1.

[1] doc. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana, simon.petrovcic@fa.uni-lj.si
[2] viš. pred. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana, srecko.vratusa@fa.uni-lj.si
[3] strok. svet. mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, Ljubljana, edo.wallner@fa.uni-lj.si

Jaka PRELEC[1]

# IZVEDBA FASADNEGA OVOJA OBEŠENIH FASAD VEČNAMENSKEGA OBJEKTA ZA PISARNE IN PROIZVODNJO V MENGŠU

**Povzetek**

Članek predstavlja projektno izvedbo montažne armiranobetonske fasade na večnamenskem objektu za pisarne in proizvodnjo v Mengšu, ki ga je izvedlo podjetje CGP d.d. Prispevek opisuje PZI zasnovo fasade, projektne in tehnološke rešitve projekta z upoštevanjem tehnologije izvajalca, posebnosti procesa proizvodnje in način montaže betonske fasade.

**Ključne besede**: obešena betonska fasada, beli beton, brušen beton, montaža armiranobetonskega montažnega fasadnega ovoja

# Construction of the suspended precast concrete façade envelope of a multipurpose office and production building in Mengeš

**Summary**

This paper presents the design and construction of a precast reinforced concrete façade for a multipurpose office and production building in Mengeš, carried out by CGP d.d. The paper describes the detailed execution design of the façade, the engineering and technological solutions developed for the project in accordance with the contractor's production and construction methods, the specific characteristics of the manufacturing process, and the installation procedures for the precast concrete façade elements.

**Key words:** suspended concrete façade, white concrete, ground concrete finish, installation of precast reinforced concrete façade elements

## 1. UVOD - SPLOŠNO O AB FASADAH

V zadnjih desetletjih se je beton začel pojavljati v arhitekturi kot vrhunski visokotehnološki material in stopil v ospredje s svojim izrazitim videzom, najsi bo v obdelavi vidnega betona, kot tudi v drugih obdelavah, kot sta brušen videz belega betona ali izvedba z različnimi gumijastimi matricami. Takšne fasade so impozantne, vendar zaradi nepoznavanja oziroma pomanjkanja izkušenj, tako za projektante kot izvajalce predstavljajo precejšen izziv. Pri klasičnih AB fasadah, ki se uporabljajo večinoma na industrijskih in kmetijskih objektih je sistem takšen, da se vertikalna obtežba prenaša neposredno iz zgornjega do spodnjega fasadnega elementa in iz njega na temelj saj stojijo neposredno drug na drugem. V opisanem primeru tega članka pa gre za fasadni sistem, ki je dejansko obešen in kjer je vsak element samostojno podprt v nosilno konstrukcijo. Med obešenimi sistemi betonskih fasad je treba ločiti med sistemi, pri katerih je fasadni sistem sestavljen iz panelov oz. ima obliko kvadratne ploskve in sistemi fasadnih ovojev, pri katerih so elementi zasnovani kot tridimenzionalno telo različnih prerezov in ga je treba kot takšne tudi upoštevati. Takšna fasada zahteva večji vložek v spoje, kalupe in večjo specializacijo dela, po drugi strani pa je rezultat takšne fasade zelo impozanten, saj daje globinski občutek. Dodatno zahtevo lahko predstavlja tudi raven dodatne obdelave betonske površine. Na podlagi vzorca je treba že na začetku natančno definirati raven obdelave, kot so brušenje, peskanje, krtačenje itd.

Strošek takšnih fasad je tudi težko objektivno enačiti z bolj običajnimi izvedbami fasad, saj lahko cena kvadratnega metra takšne fasade zelo varira glede na geometrijsko zahtevnost, glede na način pritrjevanja in obdelavo. Pogost problem, ki ga imajo projektanti pri snovanju takšnih fasad, je ravno

[1] mag. inž. grad., CGP d.d., Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto, jaka.prelec@cgp.si

Davor KAUČIČ[1], Blaž KOCINA[2], Jurij JANČAR[3], Bruno DUJIČ[4],

# PROJEKTIRANJE IN IZVEDBA HIBRIDNIH LESENIH KONSTRUKCIJ

**Povzetek**

Hibridne lesene konstrukcije omogočajo smotrno povezovanje lesa, armiranega betona in jekla glede na konstrukcijske, arhitekturne in izvedbene zahteve objekta. Prispevek obravnava razloge za izbiro hibridne zasnove na makro in mikro nivoju ter vprašanja prenosa obtežb, prostorske stabilnosti in povezovanja različnih materialov. Izhodišča so predstavljena na projektih Squashland, poslovne stavbe Master S in športne dvorane z večnamenskim objektom ŠHVU Celje. Poudarek je na zasnovi nosilnega sistema, spojih, usklajevanju izvedbenih toleranc ter pripravi in poteku montaže.

Ključne besede: hibridne konstrukcije, les, projektiranje, prefabrikacija, montaža

## Design and construction of hybrid timber structures

**Summary**

Hybrid timber structures combine timber, reinforced concrete and steel according to the structural, architectural and construction requirements of a building. This paper examines the use of hybrid structural systems at building and component levels, focusing on load transfer, overall stability and connections between different materials. These aspects are illustrated through three projects: Squashland, the Master S office building and the sports hall and multipurpose building of the School of Horticulture and Visual Arts Celje. The paper focuses on structural systems, connection detailing, coordination of construction tolerances, and the planning and execution of erection.

Key words: hybrid structures, timber, structural design, prefabrication, erection

## 1. UVOD

Gradbeni materiali imajo različne mehanske in fizikalne lastnosti ter zahteve glede izdelave in vgradnje. Racionalna zasnova konstrukcije zato temelji na uporabi materialov tam, kjer njihove prednosti najbolje izkoristimo, vpliv omejitev pa zmanjšamo z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami. Pri hibridnih lesenih konstrukcijah lesene nosilne elemente povezujemo z armiranobetonskimi in jeklenimi elementi na ravni celotnega nosilnega sistema ali posameznih konstrukcijskih sklopov. Njihovo razporeditev določajo predvsem razponi, razporeditev podpor, zahteve glede prostorske stabilnosti in arhitekturna zasnova objekta.

Pri projektiranju je treba jasno opredeliti prenos vertikalnih in horizontalnih obtežb ter poleg nosilnosti posameznih elementov obravnavati tudi togost in nosilnost spojev ter medsebojno združljivost deformacij. Zasnova povezav med različnimi materiali mora upoštevati tudi zahteve prefabrikacije, možnosti vgradnje in zagotavljanje stabilnosti v posameznih fazah montaže.

Posebno pozornost zahteva usklajevanje izvedbenih toleranc. Armiranobetonski deli konstrukcij, izvedeni na gradbišču, praviloma dosegajo drugačno geometrijsko natančnost kot prefabricirani AB, jekleni in CNC - obdelani leseni elementi. Te razlike je treba upoštevati že pri zasnovi spojev in

[1] mag. inž. grad./ projektant in raziskovalec, CBD d.o.o., Lopata 19g, 3000 Celje, davor.kaucic@cbd.si
[2] univ. dipl. inž. grad./vodja projektov, CBD d.o.o., Sojerjeva 3, 1000 Ljubljana, blaz.kocina@cbd.si
[3] dr.,univ. dipl. inž. grad./vodja projektive in prokurist družbe, CBD d.o.o., Sojerjeva 3, 1000 Ljubljana, jure.jancar@cbd.si
[4] dr., univ. dipl. inž. grad./direktor in vodja razvoja, CBD d.o.o., Lopata 19g, 3000 Celje, bruno.dujic@cbd.si

Martin HAUPTMAN[1]

# PODATKI O TOVORNIH VOZILIH NA PREMOSTITVENIH OBJEKTIH Z OMEJENO NAJVEČJO DOVOLJENO MASO

**Povzetek**

Rijkswaterstaat, nizozemska državna agencija, zadolžena za upravljanje z državnimi cestami, je v obdobju od 2024 do 2026 izvedla dve daljši meritvi tovornega prometa z mostnimi sistemi za tehtanje vozil med vožnjo. Prva meritev je bila izvedena na mostu Jeroen Houweling (avtocesta A7) med rekonstrukcijo objekta, ko je bila največja dovoljena masa vozil zaradi varnosti objekta znižana na 25 t. Druga meritev pa je potekala na viaduktih Velperbroek (avtocesta A12), kjer je največja dovoljena masa vozil 45 t zaradi strukturalnih problemov z Gerberjevimi nosilci. Dejanski podatki z obeh merilnih mest kažejo na kršitve predpisanih največjih dovoljenih mas, saj so oba objekta redno prečkala tovorna vozil, težja od omejitev. Ker število omejenih mostov po Evropi narašča, ti dve meritvi predstavljata dober prikaz težav, s katerimi se bodo v prihodnje srečali številni upravljavci infrastrukture.

**Ključne besede**: nosilnost, tovorna vozila, prometne obremenitve

## Data on heavy goods vehicles crossing posted civil engineering structures

**Summary**

Between 2024 and 2026, Rijkswaterstaat, the Dutch national agency responsible for managing state roads, conducted two extensive campaigns of monitoring heavy goods vehicles (HGVs) using bridge-based weigh-in-motion (BWIM) systems. The first project took place on the Jeroen Houweling Bridge (A7 motorway) during its reconstruction, when the maximum permissible vehicle weight of HGVs crossing the structure had been reduced to 25 t in to ensure the structure's safety. The second project was carried out at the Velperbroek viaducts (A12 motorway), where the maximum permissible vehicle weight was limited to 45 tonnes due to structural issues involving Gerber girders. Data from both locations revealed violations of the prescribed weight limits, with heavy goods vehicles violating the posted limits frequently crossing both structures. As the number of bridges with weight restrictions continues to rise across Europe, these two cases serve as a clear illustration of the challenges that many infrastructure operators will face in the future.

**Key words:** load-bearing capacity, heavy goods vehicles, traffic loads

## 1. UVOD

Rijkswaterstaat, nizozemski direktorat za ceste in vode (RWS), upravlja s preko 3.500 premostitvenimi objekti na nizozemskem avtocestnem omrežju. Večina teh objektov je bila zgrajenih v 70-ih letih 20. stoletja, njihova predvidena življenjska doba pa je 80 let [3]. Mostovi so za Nizozemsko ključni del infrastrukture, saj se država nahaja v vplivnem območju treh največjih pristanišč v Evropski uniji: Hamburg, Antwerpen in Rotterdam; slednje je glede na pretovorjen tovor največje pristanišče v EU; v letu 2025 so v Rotterdamu pretovorili 428,4 milijona metričnih ton tovora [1] (za primerjavo, v Luki Koper je bilo v letu 2025 pretovorjenega 23 milijonov ton tovora [2]). Največji delež tovornega prometa na Nizozemskem predstavlja cestni tovorni promet. Po podatkih nizozemskega statističnega urada CBS je bilo v letu 2024 po cestah pretovorjenega 38,6 % vsega tovora, delež železniškega tovornega prometa pa je bil manj kot 2 % [4].

Pomembnost cestnega prometa za Nizozemsko se odraža tudi v regulaciji največjih dovoljenih mas in osnih obremenitev. Medtem ko direktiva Evropskega sveta 96/53/ES za območje Evropske unije

[1] Projektni vodja, Cestel, Špruha 32, Trzin, martin.hauptman@cestel.si

Gabrijela STAREŠINIČ[1], Zvonko COTIČ[2]

# PROJEKTIRANJE, OPRTO NA PRESKUŠANJE NA PRIMERU POKROVOV KINET

**Povzetek**

Projektiranje, oprto na preskušanje, je pristop, ki ga omogoča standard SIST EN 1990 za določanje projektne odpornosti konstrukcijskih elementov na podlagi kombinacije računskih analiz in eksperimentalnih preskusov. Prispevek predstavlja uporabo tega pristopa pri določanju projektne nosilnosti pokrova kinet iz betona z makroarmaturo. Opisani so priprava načrta preskušanja, izvedba preskusov ter statistično izvrednotenje rezultatov skladno z Dodatkom D standarda SIST EN 1990. Na podlagi rezultatov preskusov je določena projektna nosilnost konstrukcijskega elementa. Študija primera prikazuje, da je mogoče z uporabo projektiranja, oprtega na preskušanje, neposredno določiti projektno odpornost konstrukcijskih elementov, katerih dejansko obnašanje je mogoče ovrednotiti z obremenitvenimi preskusi.

**Ključne besede**: projektiranje oprto na preskušanje, SIST EN 1990, projektna odpornost, eksperimentalno preskušanje, pokrovi kinet

# Design Assisted by Testing – A Case Study of Channel Covers

**Summary**

Design assisted by testing is an approach permitted by SIST EN 1990 for determining the design resistance of structural elements based on a combination of analytical calculations and experimental testing. This paper presents the application of this approach to the determination of the design load-bearing capacity of a fibre reinforce concrete channel cover. The preparation of the testing plan, the execution of the load tests, and the statistical evaluation of the test results in accordance with Annex D of SIST EN 1990 are described. The design load-bearing capacity of the structural element was determined based on the test results. The presented case study demonstrates that design assisted by testing enables the direct determination of the design resistance of structural elements whose actual structural behaviour can be evaluated by means of load testing.

**Key words:** design assisted by testing, SIST EN 1990, design resistance, experimental testing, concrete channel cover

## 1. UVOD

Pri projektiranju konstrukcijskih elementov se projektna odpornost običajno določa na podlagi računskih modelov, geometrijskih lastnosti elementa, materialnih karakteristik in predpisanih varnostnih faktorjev. Skladno s standardom SIST EN 1990:2004 [1] projektiranje lahko temelji na kombinaciji preskusov in računskih analiz. Tak pristop se lahko uporabi zlasti v primerih, ko pravila za izračun ali lastnosti materialov, opredeljene v skupini standardov Evrokod, ne zagotavljajo ustrezne podlage za projektiranje oziroma kadar je mogoče z njim doseči gospodarnejšo rešitev [2]. Kot navaja standard, je takšen pristop posebej primeren za proizvode ali elemente, izdelane iz enega materiala.

Preskušanje se lahko izvede, kadar niso na voljo ustrezni računski modeli, kadar se uporablja veliko število enakih konstrukcijskih elementov ali kadar je treba potrditi predpostavke, uporabljene pri projektiranju [1]. V skladu z Dodatkom D navedenega standarda [1] je mogoče projektno odpornost določiti na podlagi karakteristične vrednosti odpornosti elementa, ne da bi bilo treba izrecno določiti

[1] dr., mag. inž. grad./inženir specialist, Structum d.o.o., Ajdovščina, gabrijela.staresinic@structum.si
[2] dipl. inž. grad./direktor raziskav in razvoja, Structum d.o.o., Ajdovščina, zvonko.cotic@structum.si

Jerneja ČEŠAREK KOLŠEK[1], Peter KOČMAN[2], Sebastjan BRATINA[3], Urška BLUMAUER[4]

# POŽARNI TEST PREDNAPETIH NOSILCEV ZA ZAJEM CELOVITE ZBIRKE PODATKOV ZA VALIDACIJO NUMERIČNIH MODELOV

**Povzetek**

Naknadno prednapeti armiranobetonski nosilci z jeklenimi kabli so v gradbeništvu uporabljeni pogosto, čeprav je njihovo obnašanje ob požaru lahko problematično zaradi hitrega slabšanja lastnosti prednapetega jekla pri visokih temperaturah. Numerični modeli so pomembno orodje za ocenjevanje tega tveganja, vendar je njihova zanesljivost odvisna od ustrezne eksperimentalne validacije. Eksperimentalni podatki, ki so danes na voljo v dostopni literaturi, imajo v zvezi s tem žal več omejitev. Te omejitve, ki jih podrobneje predstavimo v prispevku, otežujejo ustrezno preverjanje numeričnih modelov, zlasti v območju velikih deformacij, v območju izrazitih visokotemperaturnih reoloških pojavov ter z vidika preverjanja korektnosti modeliranja interakcije med betonom in kabli. Požarni preizkus treh nosilcev s povezanimi in nepovezanimi jeklenimi kabli, ki je nadaljnja in hkrati osrednja tema prispevka in je bil izveden v sodelovanju avtorjev in dveh industrijskih partnerjev (Freyssinet Adria SI, d.o.o. in Kolektor CPG, d.o.o.), je korak k odpravi navedenih pomanjkljivosti.

**Ključne besede**: požarna odpornost, prednapeti betonski nosilci, požarni preskus

# Fire test of prestressed beams to acquire a comprehensive dataset for the validation of numerical models

**Summary**

Post-tensioned reinforced concrete beams using steel tendons are frequently employed in construction; however, their performance during fire exposure can be problematic due to the rapid degradation of the mechanical properties of prestressed steel at elevated temperatures. Numerical models serve as a vital tool for assessing this risk, yet their reliability hinges on robust experimental validation. Unfortunately, the experimental data currently available in the literature suffer from several limitations in this regard. These limitations – discussed in detail in this paper – hinder the effective verification of numerical models, particularly concerning large deformations, significant high-temperature rheological phenomena, and the accurate representation of the interaction between the concrete and the tendons. Fire resistance test involving three beams, featuring both bonded and unbonded steel tendons, serves as the central focus of this paper. Conducted through a collaboration between the authors and two industry partners (Freyssinet Adria SI, d.o.o. and Kolektor CPG, d.o.o.), this study represents a step toward addressing these existing shortcomings.

**Key words:** fire resistance, prestressed concrete beams, fire test

## 1. UVOD

Naknadno napenjanje je ena najpogostejših tehnik prednapenjanja, zlasti pri konstrukcijah z velikimi razponi. Prednapeti beton v primerjavi z običajnim armiranim betonom zagotavlja večjo nosilnost in trajnost, zato se pogosto uporablja v visokogradnji in mostogradnji. Kljub prednostim je njegovo požarno obnašanje pomemben izziv, saj se mehanske lastnosti prednapetega jekla pri povišanih temperaturah hitro slabšajo.

Eksperimentalne raziskave pomembno prispevajo k razumevanju specifičnih aspektov obnašanja

[1] izr. prof. dr., UL FGG, Jamova 2, jerneja.cesarek-kolsek@fgg.uni-lj.si
[2] asist. dr., UL FGG, Jamova 2, peter.kocman@fgg.uni-lj.si
[3] izr. prof. dr., UL FGG, Jamova 2; IRGO Consulting, d.o.o., Slovenčeva ulica 93, sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si
[4] dr., ZAG, Dimičeva 12, urska.blumauer@zag.si

Anastasija LAZAREVIĆ[1], Tomaž PAZLAR[2], Boris AZINOVIĆ[3]

# SPREMEMBE IN NOVOSTI PRI PROJEKTIRANJU LESENIH KONSTRUKCIJ V DRUGI GENERACIJI EVROKODA 5 – IZBRANI PRIMERI

**Povzetek**

Prihajajoča druga generacija Evrokoda 5 (EC 5) predstavlja pomemben korak v razvoju projektiranja lesenih konstrukcij. Z novimi spremembami se ne dopolnjujejo le obstoječa načela in zahteve za varnost, uporabnost in trajnost konstrukcij, temveč se uvajajo novi projektni pristopi, hkrati pa se podrobneje obravnavajo obstoječi in novejši gradbeni proizvodi na osnovi lesa (npr. križno lepljen les – CLT in slojnat furnirni les – LVL). V prispevku se primerja zahteve v veljavnem standardu SIST EN 1995-1-1:2005 z določili končnega osnutka standarda FprEN 1995-1-1:2025, pri čemer je poudarek na spremembah, pomembnih za vsakodnevno projektantsko delo. S prispevkom se želi pokazati, kako se nova pravila umeščajo v obstoječi način projektiranja ter izpostaviti, kje je mogoče pričakovati bistvene razlike pri načrtovanju lesenih konstrukcij. Primerjava je podprta z izbranimi računskimi primeri, ki poleg teoretičnih sprememb izpostavljajo tudi njihove posledice pri dejanskem projektiranju.

**Ključne besede**: Evrokod 5, druga generacija, računski primeri, vibracije, krhka porušitev

# Changes and new developments in the design of timber structures in the second generation of Eurocode 5 – Selected examples

**Summary**

The forthcoming new generation of Eurocode 5 (EC 5) represents a significant step in the development of timber structures design. The new provisions not only complement the existing principles and requirements relating to the safety, serviceability and durability of structures, but also introduce new design approaches and provide a more detailed treatment of existing and newer engineered wood products (e.g. cross-laminated timber – CLT and laminated veneer lumber – LVL). This paper compares the requirements of the current standard SIST EN 1995-1-1:2005, with the provisions of the final draft FprEN 1995-1-1:2025 with particular emphasis on changes relevant to day-to-day design practice. The aim of the paper is to demonstrate how the new provisions fit within the existing design framework and to highlight areas where significant differences in the design of timber structures can be expected. The comparison is supported by selected design examples, which illustrate not only the theoretical changes but also their practical implications for structural design.

**Keywords:** Eurocode 5, second generation, calculation examples, vibrations, brittle failure

## 1. UVOD

Lesene konstrukcije so v zadnjih desetletjih doživele izrazit razvoj, ki ga zaznamujeta predvsem uvajanje novih konstrukcijskih sistemov in širša uporaba sodobnih gradbenih proizvodov na osnovi lesa. Križno lepljeni les (CLT), lepljeni lamelirani les (LLL) in sodobna mehanska vezna sredstva širijo ciljna področja rabe lesenih konstrukcij in hkrati postavljajo nove principe za njihovo projektiranje, ki presegajo določila trenutno veljavljenega standarda SIST EN 1995-1-1:2005 [1]. Posodobitev standarda zato predstavlja pomemben korak pri usklajevanju projektnih pravil z vse bolj zahtevnimi pričakovanji glede varnosti, uporabnosti in trajnosti konstrukcij.

[1] dipl. inž. grad. (UN), Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, anastasija.lazarevic@zag.si
[2] dr., univ. dipl. inž. grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, tomaz.pazlar@zag.si
[3] dr., univ. dipl. inž. grad., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, boris.azinovic@zag.si

Drago SAJE[1], Goran TURK[2], Jože LOPATIČ[3]

# NOSILNOST ŽEBLJANIH SPOJEV IZ BUKOVINE: PRIMERJAVA EKSPERIMENTALNIH REZULTATOV Z EVROKODOM 5

**Povzetek**

Žeblji sodijo med pogosto uporabljena mehanska vezna sredstva v lesenih konstrukcijah, njihova nosilnost pa se v projektantski praksi določa v skladu z določbami standarda Evrokod 5 (EC5). Ker so bile projektantske enačbe razvite predvsem na podlagi raziskav konstrukcijskega lesa iglavcev, ostaja vprašanje njihove ustreznosti pri gostih listnatih vrstah lesa, kot je bukovina.

V prispevku je predstavljena primerjava eksperimentalno določene karakteristične nosilnosti žebljanih dvostrižnih spojev iz bukovine z nosilnostjo, izračunano po Johansenovi teoriji plastičnosti. Na podlagi 44 laboratorijskih preizkusov je bila v skladu s standardom EN 14358 določena karakteristična gostota lesa 641 kg/m³ in karakteristična nosilnost spojev 21,4 kN, medtem ko je znašala karakteristična nosilnost po EC5 9,55 kN.

Rezultati so torej pokazali, da je bila eksperimentalno določena karakteristična nosilnost 2,24–kratnik karakteristične nosilnosti, izračunane po EC5. Ugotovitve kažejo na izrazito konzervativnost obstoječih projektantskih določb za obravnavane žebljane spoje iz bukovine ter nakazujejo potrebo po nadaljnji validaciji projektantskih modelov za uporabo pri gostih listnatih vrstah lesa.

**Ključne besede**: bukovina, žebljani spoji, Evrokod 5, Johansenova teorija, nosilnost spojev.

# Load-carrying capacity of beech nailed connections: comparison of experimental results with Eurocode 5

**Summary**

Nails are commonly used mechanical fasteners in timber structures, and their load-carrying capacity is determined in design practice in accordance with the provisions of Eurocode 5 (EC5). As the design equations were primarily developed on the basis of research on softwood structural timber, questions remain regarding their applicability to dense hardwood species such as beech.

This paper presents a comparison between the experimentally determined characteristic load-carrying capacity of double-shear nailed beech connections and the load-carrying capacity calculated according to Johansen's yield theory. Based on 44 laboratory tests, a characteristic wood density of 641 kg/m³ and a characteristic connection load-carrying capacity of 21.4 kN were determined in accordance with EN 14358, whereas the characteristic load-carrying capacity calculated according to EC5 was 9.55 kN.

The results show that the experimentally determined characteristic load-carrying capacity is 2.24 times the characteristic load-carrying capacity predicted by EC5. The findings indicate pronounced conservatism in the current design provisions for the investigated nailed beech connections and suggest the need for further validation of design models for application to dense hardwood species.

**Key words:** beech wood, nailed connections, Eurocode 5, Johansen's yield theory, load-carrying capacity.

[1] doc. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, drago.saje@fgg.uni-lj.si
[2] prof. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, goran.turk@fgg.uni-lj.si
[3] doc. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, joze.lopatic@fgg.uni-lj.si

Barbara Mihaela SAJE[1], Drago SAJE[2]

# TLAČNA NOSILNOST LESENEGA ENOJNEGA ZASEKA GLEDE NA KOT MED ELEMENTOMA IN TRDNOSTNI RAZRED LESA

**Povzetek**

Prispevek obravnava nosilnost lesenega enojnega zaseka z vidika kontaktnih tlačnih napetosti na naležnih ploskvah med osnovnim in priključnim elementom. Analiza temelji na določilih druge generacije standarda Evrokod 5 (EN 1995-1-1:2025, EC5), ki podaja postopke za določanje tlačne trdnosti lesa pod poljubnim kotom glede na smer vlaken ter za določitev geometrije zaseka. Kot ključna parametra raziskave sta bila izbrana kot med osema osnovnega in priključnega elementa ter trdnostni razred lesa. Za parametrično analizo je bil v okolju Microsoft Excel razvit računski pripomoček za določitev kontaktnih napetosti na obeh naležnih ploskvah in projektne nosilnosti zveze. Rezultati kažejo, da kot med osema osnovnega in priključnega elementa pomembno vpliva na tlačno nosilnost zaseka in porazdelitev kontaktnih napetosti med obema naležnima ploskvama. Nad kritičnim kotom postane merodajna zadnja naležna ploskev, zato je treba preveriti obe naležni ploskvi. V primerjavi s poenostavljenim postopkom druge generacije EC5 je razlika pri kotih do 50° majhna, pri večjih kotih pa predstavljeni postopek da bistveno večjo nosilnost. Predstavljeni postopek omogoča podrobnejšo analizo tlačne nosilnosti enojnih zasekov in je lahko podlaga za nadaljnje raziskave in razvoj projektantskih pravil.

**Ključne besede**: lesene konstrukcije, enojni zasek, kontaktne napetosti, Evrokod 5, nosilnost spojev.

# Compressive Load-Carrying Resistance of a Timber One-Sided Single-Step Front-Notched Connection as a Function of Member Angle and Timber Strength Class

**Summary**

This paper investigates the compressive load-carrying resistance of a timber one-sided single-step connection with front notch, where force transfer is achieved through contact compressive stresses acting on the bearing surfaces between the tie-beam (main member) and the rafter (connected member). The analysis follows the provisions of the second-generation Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2025, EC5) for the compressive strength of timber at an angle to the grain and for the notch geometry. The key parameters are the angle between the axes of the members and the timber strength class. A computational tool developed in Microsoft Excel was used to determine the contact stresses on both bearing surfaces and the corresponding design load-carrying resistances. The results show that the angle between the members significantly affects the compressive load-carrying resistance and the distribution of contact stresses between the two bearing surfaces. Above a critical angle, the back surface becomes governing; therefore, both bearing surfaces should be checked. Compared with the simplified procedure of the second-generation EC5, the difference is small for angles up to 50°, whereas for larger angles the proposed procedure yields a considerably higher resistance. The proposed procedure enables a more detailed analysis of single-step connections and provides a basis for further research and the development of design rules.

**Key words:** timber structures, one-sided single-step connection with front notch, contact stresses, Eurocode 5, load-carrying resistance of connections.

[1] mag., univ. dipl. inž. grad., GI ZRMK, d.o.o., Dimičeva ulica 12, Ljubljana, barbara.mihaela.saje@gi-zrmk.si
[2] doc. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, drago.saje@fgg.uni-lj.si

Pavlína LAKATOSOVÁ[1], Tomáš SVOBODA[2], Josef KVĚTOŇ[3]

# ANCHORAGE DESIGN USING THE 3D CSFM METHOD

**Summary**

The 3D CSFM (3D Compatible Stress Field Method) is a modern tool for the design and assessment of discontinuity regions in reinforced concrete structures. Compared with conventional methods, it allows a more realistic representation of the stress state and of the redistribution of forces within the anchorage detail under consideration. The paper addresses the use of this method in the verification of selected failure modes defined in EN 1992-4, namely those relating to failure of the anchorage caused by exceeding the tensile resistance of the concrete or its compressive resistance in bearing. The relative influence of the selected failure modes on the overall resistance of a headed anchor is compared. The individual criteria given by the code expressions and the resistance of the reinforced anchor block are evaluated separately; their interaction is discussed for various anchor diameters and lengths, with emphasis on the efficient use of material.

**Keywords**: 3D CSFM, anchorage, EN 1992-4, failure modes, anchor pull-out, concrete cone failure

# Projektiranje sidranja v beton z metodo 3D CSFM

**Povzetek**

Metoda 3D CSFM (3D Compatible Stress Field Method – metoda kompatibilnih napetostnih polj) je sodoben pristop k projektiranju in preverjanju območij nezveznosti v armiranobetonskih konstrukcijah, ki v primerjavi s konvencionalnimi metodami omogoča bolj realen opis napetostnega stanja in prerazporeditve sil v obravnavanem detajlu sidranja. Prispevek obravnava uporabo te metode pri preverjanju izbranih načinov porušitve (failure modes) po standardu EN 1992-4, ki so povezani s prekoračitvijo natezne trdnosti betona oziroma njegove tlačne trdnosti pod glavo sidra. Primerjan je vpliv posameznih načinov porušitve na skupno nosilnost sidra z glavo (headed fastener): porušitve z izvlekom sidra (pull-out failure) in porušitve betonskega stožca (concrete cone failure), ob tem pa tudi porušitve jekla (steel failure) kot referenčnega merila. Posamezna merila, ovrednotena z izrazi iz standarda, in nosilnost armiranega sidrnega bloka so ovrednotena ločeno, njihova interakcija pa je obravnavana za različne premere sider in globine sidranja, s poudarkom na racionalni rabi materiala.

**Ključne besede**: 3D CSFM, sidranje, pritrjevanje v beton, EN 1992-4, porušni mehanizmi, izvlek sidra, porušitev betonskega stožca

## 1. INTRODUCTION

In the course of their design practice, most structural engineers working with concrete structures encounter the design of discontinuity regions (D-regions), that is, regions in which the Bernoulli–Navier hypothesis of the preservation of plane sections does not apply. These are regions subjected to concentrated loads, regions with an abrupt change of cross-section, frame corners, short corbels and the like. The region where a structure is anchored into a concrete block also belongs to this group.

In design, the engineer has several options for verifying such regions and for designing adequate reinforcement in them. One of them is the strut-and-tie method (hereinafter SaT), which is given in the design codes. Its correct application, however, requires experience in setting up a suitable truss model. It is therefore often advantageous to use specialised software based on the finite element

[1] Ing., Ph.D., IDEA StatiCa s.r.o., Šumavská 519/35, 602 00 Brno, Czech Republic, pavlina.lakatosova@ideastatica.com
[2] Ing., IDEA StatiCa s.r.o., Šumavská 519/35, 602 00 Brno, Czech Republic, tomas.svoboda@ideastatica.com
[3] Ing., Ph.D., Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic, josef.kveton@vut.cz

Sebastjan BRATINA[1], Jan PANIČ[2], Jerneja ČEŠAREK KOLŠEK[3], Peter KOČMAN[4]

# VPLIV GEOMETRIJSKE NELINEARNOSTI NA MEJNO NOSILNOST IN DEFORMABILNOST NAKNADNO PREDNAPETE BETONSKE KONSTRUKCIJE

**Povzetek**

Pri analizi mejnih stanj relativno vitkih armiranobetonskih in prednapetih konstrukcij so pomiki v primerjavi z dimenzijami konstrukcije lahko relativno veliki. V prispevku zato analiziramo vpliv geometrijsko nelinearne teorije na mejno nosilnost in deformabilnost naknadno prednapete betonske konstrukcije pri delovanju kratkotrajne statične obtežbe. Vpliv prednapetja na betonsko konstrukcijo upoštevamo z nadomestno obtežbo, ki jo pri geometrijsko nelinearni analizi določimo glede na deformirano lego konstrukcije. V analizi upoštevamo tudi materialno nelinearnost betona, armature in jekla za prednapenjanje. Obravnavamo primer prednapetega prostoležečega nosilca in stebra viadukta z obojestranskima konzolama med prostokonzolno gradnjo. Na podlagi rezultatov analize ugotovimo, da geometrijska nelinearnost vpliva tako na mejno nosilnost kot na deformabilnost prednapete betonske konstrukcije.

**Ključne besede**: prednapeti beton, nadomestna obtežba, geometrijska nelinearnost, materialna nelinearnost, mejna nosilnost

## Influence of geometric nonlinearity on the ultimate load-bearing capacity and deformability of a post-tensioned concrete structure

**Summary**

In limit state analysis of relatively slender reinforced and prestressed concrete structures, displacements may be relatively large compared with the dimensions of the structure. This paper therefore examines the influence of geometrically nonlinear theory on the ultimate load-bearing capacity and deformability of a post-tensioned concrete structure under short-term static loading. The effect of prestressing on the concrete structure is modelled by equivalent loads, which in the geometrically nonlinear analysis are determined from the deformed position of the structure. The analysis also accounts for the material nonlinearity of concrete, reinforcing steel and prestressing steel. Two examples are considered: a simply supported prestressed beam and a viaduct pier with two cantilever arms during balanced cantilever construction. The results show that geometric nonlinearity affects both the ultimate load-bearing capacity and the deformability of a prestressed concrete structure.

**Key words:** prestressed concrete, equivalent load, geometric nonlinearity, material nonlinearity, ultimate load-bearing capacity

## 1. UVOD

Pri projektiranju in dimenzioniranju naknadno prednapetih betonskih konstrukcij se v praksi uporabljajo komercialni programi, kot so SOFiSTiK [1], SCIA Engineer [2] in Tower [3], za zahtevnejše nelinearne analize pa tudi Abaqus [4]. Prednapetje je v njih mogoče upoštevati z nadomestno obtežbo ali z ločenim modeliranjem kablov, pri čemer so navodila za izdelavo ustreznega

[1] izr. prof. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova 2, Ljubljana in IRGO Consulting, d.o.o., Slovenčeva 2, Ljubljana, sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si
[2] dipl. inž. grad. (UN)., UL FGG, Jamova 2, Ljubljana, jan.panic@fgg.uni-lj.si
[3] izr. prof. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova 2, Ljubljana, jerneja.kolsek@fgg.uni-lj.si
[4] asist. dr., mag. inž. teh. var., UL FGG, Jamova 2, Ljubljana, peter.kocman@fgg.uni-lj.si

Tomaž HOZJAN[1], Urban RODMAN[2], Andrej INDIHAR[3], Sabina HUČ[4]

# NUMERIČNO NAPOVEDOVANJE DOLGOROČNEGA ODZIVA LESENEGA NOSILCA

**Povzetek**

V prispevku je predstavljena numerična analiza dolgoročnega odziva lesenega nosilca v obdobju 100 let z uporabo vlažnostno-mehanskega modela. Obravnavan je vpliv realnih časovnih potekov relativne zračne vlažnosti in velikosti prečnega prereza na razvoj pomika, deformacijskega faktorja ter mehanosorptivnih deformacij. Rezultati kažejo, da zgodovina izpostavljenosti relativni zračni vlažnosti pomembno vpliva na dolgoročni odziv, večji prečni prerez pa zmanjša občutljivost nosilca na vlažnostna nihanja. Predstavljeni model omogoča napoved odziva lesenih konstrukcijskih elementov pri realnih pogojih okolja za celotno življenjsko dobo, kar omogoča uporabo rezultatov v analizah življenjskega cikla konstrukcijskega elementa in lesene konstrukcije kot celote.

**Ključne besede**: leseni nosilec, dolgoročni odziv, relativna vlažnost, mehanosorpcija, deformacijski faktor, vlažnostno-mehanski model

# Numerical Prediction of the Long-Term Response of a Timber Beam

**Summary**

This paper presents a numerical analysis of the long-term response of a timber beam over a period of 100 years using a coupled hygro-mechanical model. The influence of realistic time histories of ambient relative humidity and cross-sectional size on the development of deflection, the deformation factor, and mechano-sorptive strains is investigated. The results show that the history of exposure to relative humidity has a significant influence on the long-term response, while a larger cross-section reduces the sensitivity of the beam to humidity fluctuations. The presented model enables prediction of the response of timber structural elements under realistic environmental conditions over their entire service life, allowing the results to be used in life-cycle analyses of both individual structural elements and timber structures as a whole.

**Key words:** timber beam, long-term response, relative humidity, mechano-sorption, deformation factor, hygro-mechanical model

## 1. UVOD

Lesene konstrukcije se zaradi ugodnega razmerja med mehanskimi lastnostmi in lastno težo, nizkega ogljičnega odtisa ter možnosti industrijske prefabrikacije vse pogosteje uporabljajo tudi v več-etažni gradnji [1]–[4]. Sodobni pristopi trajnostnega načrtovanja ob tem vse bolj poudarjajo podaljševanje življenjske dobe konstrukcijskih elementov, njihovo razstavljivost in možnost ponovne uporabe [5].

Določitev življenjske dobe konstrukcijskih elementov in razvoj okvirja z momentno odpornimi spoji za več-etažne lesene stavbe sta med cilji raziskovalnega projekta CRESTIMB, ki vključuje znanstvene partnerje iz šestih evropskih držav in Avstralije ter vrsto industrijskih partnerjev, med katerimi je tudi slovensko podjetje Harco d.o.o.. Projekt vključuje eksperimentalne in numerične raziskave kratkoročnega in dolgoročnega odziva posameznih komponent konstrukcije ter njihovo povezavo z ocenjevanjem življenjske dobe in trajnosti sistema. Dolgoročni mehanski odziv lesenih konstrukcijskih elementov je zaradi reoloških in higroskopnih lastnosti lesa izrazito odvisen od

[1] prof. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si
[2] asist. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, urban.rodman@fgg.uni-lj.si
[3] univ. dipl. inž. grad./direktor, Harco d.o.o., Litijska cesta 45, 1000 Ljubljana, andrej.indihar@harco.si
[4] doc. dr., univ. dipl. inž. grad., UL FGG, Jamova cesta 2, Ljubljana, sabina.huc@fgg.uni-lj.si