

januar 2024

letnik 73

# Gradbeni vestnik

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN  
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKA ZBORNICE SLOVENIJE



2

**ANALIZA ZANESLJIVOSTI IN VARNOSTI  
POENOSTAVLJENIH PRISTOPOV K POŽARNI ANALIZI  
KONSTRUKCIJ, KOT JIH PREDLAGA EVROKOD,  
NA PRIMERU ARMIRANOBETONSKE STAVBE**

13

**PODHOD LATTERMAN**

# Gradbeni vestnik

Izdajatelj:  
**Zveza društev gradbenih inženirjev in  
tehnikov Slovenije (ZDGITS),**  
Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana,  
telefon 01 52 40 200  
v sodelovanju z **Matično sekcijo  
gradbenih inženirjev Inženirske  
zbornice Slovenije (IZS MSG),**  
ob podpori **Javne agencije za  
raziskovalno dejavnost RS, Fakultete  
za gradbeništvo in geodezijo Univerze  
v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo  
Univerze v Mariboru in Zavoda za  
gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:  
ZDGITS: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**  
**izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski**  
**Dušan Jukič**  
IZS MSG: **dr. Rok Cajzek**  
**mag. Jernej Nučič**  
**Tina Bučič**  
UL FGG: **doc. dr. Matija Gams**  
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**  
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor: **izr. prof. dr. Sebastjan  
Bratina, glavni in odgovorni urednik**  
**doc. dr. Milan Kuhta**

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:  
**Romana Hudin**

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:  
**Kočeviski tisk**

**Naklada: 400 tiskanih izvodov**  
**3000 naročnikov elektronske verzije**

Podatki o objavah v reviji so navedeni  
v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA  
(The Int. Construction Database) ter na  
[www.zveza-dgits.si](http://www.zveza-dgits.si)

Letno izide 12 številčk. Letna naročnina  
za individualne naročnike znaša 25,50 EUR;  
za študente in upokojene 10,50 EUR;  
za družbe, ustanove in samostojne podjetnike  
188,50 EUR za en izvod revije; za  
naročnike iz tujine 88,00 EUR.  
V ceni je všteti DDV.  
Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:  
**dom za varstvo odraslih Velenje,**  
**foto: Tomaž Mohorko**

**Glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in  
Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije.**  
UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;  
spletna izdaja ISSN 2536-4332.  
**Ljubljana, januar 2024, letnik 73, str. 1-28**

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: [priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: [sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si](mailto:sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si). V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

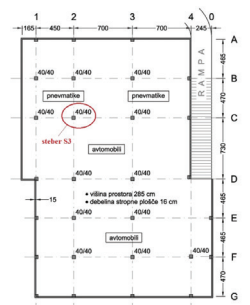
**Uredništvo**

# VSEBINA CONTENTS

## ČLANKI PAPERS

Martin Maglica, dipl. inž. grad.  
doc. dr. Peter Češarek, univ. dipl. inž. grad.  
doc. dr. Jerneja Češarek Kolšek, univ. dipl. inž. grad.  
**ANALIZA ZANESLJIVOSTI IN VARNOSTI  
POENOSTAVLJENIH PRISTOPOV K POŽARNI ANALIZI  
KONSTRUKCIJ, KOT JIH PREDLAGA EVROKOD, NA  
PRIMERU ARMIRANOBETONSKE STAVBE  
ON RELIABILITY AND SAFETY OF SIMPLIFIED METHODS  
TO STRUCTURAL FIRE ENGINEERING AS PROPOSED  
IN EUROCODE USING AN EXAMPLE OF REINFORCED  
CONCRETE BUILDING**

2



Matjaž Beltram, univ. dipl. inž. grad.  
dr. Jaka Zevnik, univ. dipl. inž. grad.  
**PODHOD LATTERMAN  
LATTERMAN UNDERPASS**

13



## POROČILI S STROKOVNIH SREČANJ

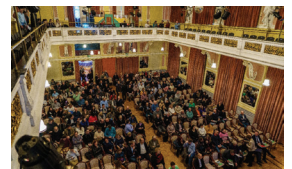
ITA Slovenija  
**14. MEDNARODNA KONFERENCA  
O PREDORIH IN PODZEMNIH OBJEKTIH**

20



mag. Smiljan JUVAN, univ. dipl. inž. grad.  
**34. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2023**

22



**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI  
ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA  
GRADBENO STROKO V LETU 2024**

24

## OBVESTILA ZDGITS

Direkcija RS za infrastrukturo  
**RUŠENJE JUŽNEGA DELA ŽELEZNIŠKEGA  
NADVOZA NAD DUNAJSKO CESTO V LJUBLJANI**

25



## NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

## KOLEDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

**Martin Maglica, dipl. inž. grad.**

u695888f@ecs.osaka-u.ac.jp  
Yamadaoka, Suita, Prefektura Osaka 565-0871, Japonska



**doc. dr. Peter Češarek, univ. dipl. inž. grad.**

peter.cesarek@fgg.uni-lj.si



**doc. dr. Jerneja Češarek Kolšek, univ. dipl. inž. grad.**

jerneja.kolsek@fgg.uni-lj.si  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Jamova 2, 1000 Ljubljana



**Znanstveni članek**

UDK/UDC: 614.841.5:658.2(497.45)Jesenice)

# ANALIZA ZANESLJIVOSTI IN VARNOSTI POENOSTAVLJENIH PRISTOPOV K POŽARNI ANALIZI KONSTRUKCIJ, KOT JIH PREDLAGA EVROKOD, NA PRIMERU ARMIRANOBETONSKE STAVBE

## ON RELIABILITY AND SAFETY OF SIMPLIFIED METHODS TO STRUCTURAL FIRE ENGINEERING AS PROPOSED IN EUROCODE USING AN EXAMPLE OF REINFORCED CONCRETE BUILDING

### Povzetek

Za požarno analizo konstrukcij je skladno z Evrokodom danes dovoljena raba poenostavljenih in naprednejših pristopov. Za razliko od naprednih metod, za katere Evrokod žal podaja zgolj osnovne usmeritve, natančneje pa metod ne opisuje, so poenostavljene metode opisane sorazmerno dobro. Verjetno jih tudi zato inženirji v praksi uporabijo najpogosteje. Med inženirji se pogosto pojavlja domneva, da so poenostavljene metode velikokrat pretirano na (kot pogovorno rečemo) "varni" strani, kar vzbuja sum, da so pogosto pretirane tudi projektne rešitve, npr. v smislu pretirane požarne zaščite konstrukcije. Po drugi strani pa se v znanstveni literaturi pojavljajo namigi, da bi v nekaterih specifičnih primerih te metode lahko bile nasprotno celo na "nevarni" strani. A da bi bolje raziskali tovrstna ugibanja in zvišali motivacijo inženirjev k učenju novih, naprednejših pristopov požarno varnega projektiranja, bomo v zvezi s tem potrebovali jasnejše dokaze, ti pa bodo morali temeljiti na primerih resničnih požarov stavb, ki so javnosti poznani iz preteklosti. Na enega takšnih primerov se opira tudi ta članek. V njem je analizirana AB-konstrukcija poslovne stavbe, podobne stavbi servisno-prodajne avtomobilске dejavnosti na Jesenicah, kjer se je konec leta 2016 zgodil hud požar.

Ključne besede: požarna analiza, AB-konstrukcije, požar avtomobilskih pnevmatik, naprednejša analiza, poenostavljena analiza

## Summary

For fire analyses of structures, Eurocode generally allows the use of simplified calculation procedures as well as the use of more advanced methods. Only basic guidelines are provided for the latter while the former are relatively well described. This is probably the reason why in practice simplified procedures are still applied most often. There is often an assumption among engineers that simplified approaches frequently lead to exaggerated 'safe-side' solutions, such as excessive fire protection of the structure. On the other hand, there are indications in the scientific literature that these methods could even be 'unsafe' for some specific cases. But to investigate these suspicions in more detail and to increase the motivation of engineers to implement new, advanced design approaches, more evidence in this regard will be needed in the future, based on real cases of building fires known to the public from the past. This article contributes to this goal by analysing the RC structure of a building similar to the one used for the service and sales of cars in Jesenice, where a severe fire occurred in late 2016.

Key words: fire analysis, RC structures, fire of car tires, advanced analysis, simplified analysis

## 1 UVOD

Obravnavamo stavbo, namenjeno prodaji in servisu avtomobilov, v kateri se lahko glede na naravo dejavnosti v času njene življenjske dobe nakopičijo večje zaloge avtomobilskih pnevmatik. Te so sorazmerno enostavno vnetljive, prav tako pa pomenijo potencialno resno požarno obremenitev armiranobetonske (AB) nosilne konstrukcije stavbe, zato mora biti ta temu primerno dimenzionirana.

Predpostavke, na katerih običajno osnujemo poenostavljene metode za požarno analizo nosilne konstrukcije takšne stavbe, so glede na opisane specifikke objekta lahko vprašljive. Zato v primerjavi z naprednejšo metodo, ki jo osnujemo na realnejših predpostavkah, pričakujemo znatna odstopanja v rezultatih.

V prispevku predstavimo izsledke, ki so rezultat dela pred nekaj leti zaključenega podoktorskega raziskovalnega projekta FİRESİM [Kolšek, 2018]. Ta se je med drugim posvetil razvoju naprednejših računalniških simulacij nekaterih znanih požarov, ki so se v bližnji preteklosti zgodili v Sloveniji, tudi požara avtomobilskih pnevmatik v AB-stavbi za prodajo in servis avtomobilov, ki se je konec leta 2016 zgodil na Jesenicah. Prav tako v prispevku predstavimo izsledke, ki so rezultat diplomske naloge [Maglica, 2021], kjer je bila omenjena simulacija požara na Jesenicah nadalje uporabljena še za analizo požarne odpornosti AB-stebrov, ki so v požaru jeseniške stavbe predstavljali enega najbolj toplotno obremenjenih delov nosilne konstrukcije.

## 2 PODATKI O STAVBI IN POŽARU

### 2.1 Obravnavana stavba

Lastnosti stavbe, ki jo izberemo za obravnavo v tem prispevku, temeljijo na karakteristikah poslovne stavbe na Jesenicah, ki jo je konec leta 2016 prizadel hud požar, opisan v delu [Kolšek, 2017]. Skladno s tem virom povzamemo del podatkov o stavbi, kot so namembnost stavbe, tip nosilne konstrukcije in lastnosti požarnega sektorja, kjer se zgodi požar (med drugim požarna obtežba, rasporeditev in velikost odprtin, preko katerih med požarom poteka izmenjava zraka med zunanostjo in notranostjo sektorja). Del podatkov, ki v viru [Kolšek, 2017] niso navedeni (med drugim obtežba konstrukcije stavbe, tlorsne značilnosti stavbe izven območja prizadetega požarnega sektorja, vrsta betona, količina in vrsta armature), pa smiselno predpostavimo.

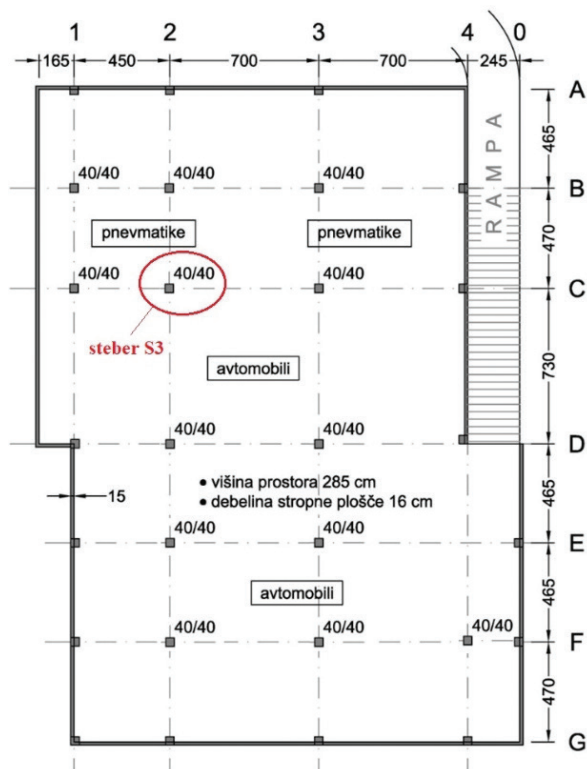
Stavba ima tri etaže (klet, pritličje in nadstropje). Nosilna konstrukcija je mešani sistem AB-sten in AB-okvirov, polnih AB-medetažnih plošč ter polne ravne AB-strešne plošče. Del kleti, kjer se zgodi požar, je tlorsne površine približno 600 m<sup>2</sup> in je enak delu kleti omenjene AB-stavbe na Jesenicah (slika 1). Rasporeditev in količina požarne obtežbe v tem delu kleti je enaka, kot je bila v jeseniški stavbi tik pred požarom leta 2016. In sicer se v času požara tu skladišči približno 3000 avtomobilskih pnevmatik (zloženih v stolpiče 2,2 m visoko), v kleti pa je parkiranih tudi nekaj avtomobilov. Rasporeditev omenjene požarne obtežbe je razvidna s slike 1.

V računskih analizah, predstavljenih kasneje v članku, se osredotočamo na preverjanje požarne odpornosti AB-stebrov v prizadetem delu kleti. Pri tem se osredotočamo le na steber, za

katerega določimo, da ga visoke temperature med požarom najbolj prizadenejo (na sliki 1 je to steber S3).

Izbrani steber S3 je visok 3 m, njegov prečni prerez je kvadratne oblike s stranico 40 cm. Potrebno vzdolžno armaturo v stebru in kvaliteto materialov ocenimo s pomočjo kontrole stebra na stalna projektna stanja, iz skupine mejnih stanj nosilnosti, kot jih definira Evrokod ([SIST, 2004a], [SIST, 2005a]). Upoštevamo, da steber S3 prenaša del stalne in koristne obtežbe s pripadajočega dela stropa kleti med osmi 1-3 ter B-C (glej sliko 1 za oznake osi). Ker predpostavimo, da je pripadajoči del tlorske pritličja in nadstropja stavbe enak delu tlorske kleti (slika 1), se v enakem odstotku preko stebra S3 prenašata tudi stalna in koristna obtežba AB-plošče med pritličjem in prvim nadstropjem ter stalna obtežba in obtežba snega z ravne strešne AB-plošče. Pri tem upoštevamo naslednje karakteristične vrednosti omenjenih obtežb:  $g_{k,stop}$  = 5,8 kN/m<sup>2</sup>,  $g_{k,streha} \sim g_{k,stop}$  = 5,8 kN/m<sup>2</sup>,  $q_{koristna,stop}$  = 2,8 kN/m<sup>2</sup>,  $q_{sneg,streha}$  = 1,2 kN/m<sup>2</sup>. Drugih obtežb na steber ne upoštevamo. Izkoriščenost stebra z vidika njegove osne nosilnosti je pri tako predpostavljeni obtežbi enaka 10 %, z vidika njegove upogibne nosilnosti pri znani osni sili pa je enaka 13,7 %.

Glede na navedene podatke zaključimo, da mora biti steber pri predpostavljeni obtežbi armiran s štirimi vzdolžnimi palicami premera 12 mm (v vsak vogal stebra namestimo eno palico). Za odmik težišča palice od roba prereza upoštevamo vrednost 4 cm (krovni sloj betona je 3,4 cm). Privzamemo beton trdnostnega razreda C40/50 in armaturno jeklo kvalitete B500.



Slika 1. Tlorski del kleti, v katerem se je zgodil požar (dimenzije so v cm).

Kot smo že omenili, zgoraj povzeti podatki o stavbi le delno posnemajo lastnosti jeseniške stavbe, saj v delu [Kolšek, 2017] vsi podatki niso na voljo. Ne glede na to pa je podatek, ki so povzeti po tem viru, dovolj, da lahko tudi pri obravnavani stavbi predpostavimo, da se v njej zgodi primerljiv požar, kot se je leta 2016 zgodil v stavbi na Jesenicah (glej poglavje 2.2). Čeprav bi bilo možnih požarnih scenarijev sicer več, se zaradi preglednosti v tem prispevku osredotočimo le na slednjega. Hkrati nam podobnost s primerom jeseniškega požara omogoči tudi neposredno aplikacijo podatkov o vplivu požara na nosilno konstrukcijo kleti, ki so prav tako na voljo v delu [Kolšek, 2017] (poglavje 2.2), za validacijo naprednejših računskih modelov, ki jih predstavimo kasneje v članku.

## 2.2 Požarni scenarij

Kot domnevajo avtorji dela [Kolšek, 2017], se je požar v stavbi na Jesenicah leta 2016 najverjetneje zgodil zaradi vžiga pregretega kondenzatorja ene od stropnih svetilk nad delom kleti, kjer je bila v času požara skladiščena večja količina avtomobilskih pnevmatik. S kondenzatorja se je plamen razširil na ohišje svetilke in na gorljivo tanjšo izolacijsko oblogo, nameščeno pod spodnji rob AB-stropa kleti, od tod pa preko gorečih kapljic, ki so padale s stropa, na v kleti skladiščene pnevmatike. Požar je bil, kot navaja [Kolšek, 2017], pogašen po petih urah. V tem času, kot je bilo ocenjeno, pa so zgorele skoraj vse pnevmatike. Te so predstavljale glavno požarno obtežbo prostora. Opisani požarni scenarij predpostavimo tudi v primeru stavbe, ki jo obravnavamo v tem prispevku.

## 2.3 Vpliv na nosilno konstrukcijo prizadetega požarnega sektorja

Kot nadalje navaja Kolšek, je bila v požaru na Jesenicah najbolj poškodovana stropna plošča kleti, ki je mestoma razpadla na račun eksplozijskega luščenja betona. Luščenje je razgalilo tako zgornjo kot spodnjo armaturo (slika 2). Vidno poškodovani so bili tudi AB-stebri v območju, kjer so bile zložene avtomobilske pnevmatike (območje je prikazano na sliki 1), se pa ti med požarom niso opazneje luščili. Kljub opaženim poškodbam se med požarom ni porušil noben del konstrukcije. Ob pregledu pogorišča [Kolšek, 2017] so bili iz najbolj prizadetih AB-stebrov odvzeti vzorci betona. Laboratorijske analize teh vzorcev, izvedene na Zavodu za gradbeništvo (Ljubljana), so pokazale, da je bila med požarom izoterma 500 °C največ 5-8 cm pod površino stebra [Kolšek, 2017]. Ker so karakteristike požara in prizadetega požarnega sektorja jeseniške stavbe enake tovrstnim karakteristikam v stavbi, ki jo obravnavamo v tem prispevku, lahko podatke, predstavljene v tem poglavju, uporabimo v neposredni obliki tudi za validacijo računskih modelov, ki jih predstavimo v nadaljevanju.

## 3 DOKAZOVANJE POŽARNE ODPORNOSTI STEBRA S3 PO EVROKODU

Za vsako betonsko konstrukcijo, ki je izpostavljena požaru, Evrokod [SIST, 2005b] v splošnem zahteva izpolnitev pogoja  $R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$ . Pri tem je  $R_{fi,d,t}$  projektna odpornost konstrukcije v požarnem projektnejem stanju pri času  $t$ ,  $E_{fi,d,t}$  pa je pripadajoča projektna vrednost notranjih sil. Seveda se obe vrednosti s časom spreminjata, zato je treba definirati čas  $t$ , do katerega

naj bo pogoj še izpolnjen. V tem prispevku se zaradi kasnejše validacije predstavljenih rezultatov najprej odločimo za čas, v katerem je gasilec na terenu uspelo pogasiti omenjeni požar (5 ur oz. 300 minut). Takšna izbira je smiselna, saj imamo za ta čas na voljo rezultate laboratorijskih preiskav vzorcev betona, odvzetih z jeseniškega pogorišča (poglavje 2.3), ki so osnova za izvedeno validacijo.



**Slika 2.** Poškodbe stropne plošče prizadetega dela kleti jeseniške stavbe [Kolšek, 2017].

Projektna vrednost notranjih sil  $E_{fi,d,t}$  v pogoju  $R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$  se določa pri obtežni kombinaciji za nezgodna projektna stanja:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ali } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Pri tem so  $G_{k,j}$  stalni vplivi na konstrukcijo,  $Q_{k,1}$  in  $Q_{k,i}$  so prevladujoč in drugi spremenljivi vplivi,  $A_d$  pa nezgodni vplivi (v obravnavanem primeru vplivi požara). Vplivi  $A_d$  so pri tem lahko neposredni, na primer vpliv visokih temperatur na mehanske lastnosti materiala. Lahko pa so posredni in odvisni od lastnosti konstrukcije. Med slednjimi najprej izpostavimo visokotemperaturno eksplozivno luščenje betona, ki bi lahko v določenem trenutku požara hipno zmanjšalo učinkoviti prerez stebra v večjem delu njegove višine (kot kažejo eksperimenti, je temu običajno izpostavljena zlasti srednja tretjina višine). Omenimo še spremembe robnih pogojev, ki bi jih v obravnavanem primeru morebiti prav tako lahko povzročilo lokalno luščenje betona v območju podpor. Vendar luščenje stebrov ni bilo opaženo med pregledom pogorišča, zato ga zanemarimo tudi v nadaljnjih analizah. Nazadnje med posredne vplive požara, ki bi lahko bili pomembni za obravnavani primer, štejemo ovirano temperaturno raztezanje stebra, zaradi katerega bi se lahko v stebru inducirale dodatne tlačne napetosti. Ta vpliv v prispevku zanemarimo. Skladno z Evrokodom (glej člena 2.4.2(4) in 2.4.2(5) [SIST, 2005b]) je takšna predpostavka dovoljena za analizo posameznih elementov, ki so izolirani od preostalega dela konstrukcije (takšen pristop uporabimo tudi v predstavljenih analizah), če se odpornost elementa preverja pri izpostavljenosti standardnemu požaru (člen 2.4.1(3) [SIST, 2005b]). Kadar pa odpornost elementa preverjamo pri izpostavljenosti naravnemu požaru (kot ga bomo tudi mi pri naprednejšem tipu analize), je požarna odpornost elementa zadostno dokazana le, kadar se vpliv omenjenih zanemarnjenih vplivov preveri še v kombinaciji z analizo večjega dela konstrukcije. Zainteresirani

bralec lahko predlog takšne nadgradnje izračuna poišče v literaturi kot na primer v delu [Erklavec, 2012] za primer AB-konstrukcije ali pa v delu [Kralj, 2019] za primer jeklene konstrukcije, kjer so ti vplivi še toliko bolj pomembni. Za obravnavano konstrukcijo pa so takšne analize predmet aktivnih nadaljnjih raziskav avtorjev. Kratek komentar na to, kako bi vplivi oviranih temperaturnih deformacij lahko vplivali na zaključke o zanesljivosti in varnosti poenostavljenih pristopov k požarni analizi AB-konstrukcij, je kljub temu podan v poglavju 7.

Za obravnavani steber S3 izračunamo, da sta relevantni vrednosti notranjih sil v požarnem projektnem stanju enaki  $N_{Ed} = -1198$  kN in  $M_{Ed} = -23,15$  kNm.

Postopek dokazovanja požarne odpornosti stebra S3, ki ga prikažemo v nadaljevanju, razdelimo v tri bistvene faze. V prvi fazi določimo požarni scenarij in temu pripadajočo požarno krivuljo, ki opiše, kako se pri požaru s časom spreminja temperatura okolice opazovanega konstrukcijskega elementa. Skladno s tem v drugi fazi (*toplotna analiza*), določimo, kako se s časom spreminjajo temperature samega elementa. V tretji fazi (*mehanska analiza*) pa analiziramo, kako se zaradi vpliva naraščanja temperatur stebra med požarom spreminja njegov mehanski odziv (deformacije). Vsako izmed omenjenih analiz v poglavju 4 najprej izvedemo po poenostavljenem postopku, v poglavju 5 pa uporabimo naprednejše pristope.

## 4 POENOSTAVLJENA ANALIZA STEBRA S3

### 4.1 Požarni scenarij

Požarni scenarij v splošnem pomeni časovno odvisno funkcijo temperaturnega polja plinov v notranjosti tistega dela stavbe, ki ga je prizadel požar. Pri analizah konstrukcije v požaru tak način podajanja temperature okolice običajno poenostavimo v eno ali več preprostejših požarnih krivulj. Ko določeno požarno krivuljo nato pripišemo vzdolž določenega dela konstrukcije, sprejememo predpostavko, da je ob izbranem času požara  $t$  temperatura okolice okrog tega dela konstrukcije homogena.

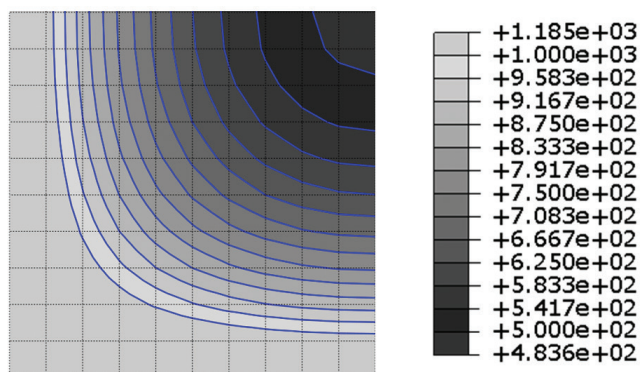
Požarne krivulje so v Evrokodu [SIST, 2004b] podane v obliki enovrstičnih obrazcev (funkcij časa), s katerimi lahko hitro določimo eno od  $t$ , i. nazivnih požarnih krivulj (standardna, ogljikovodikova ali krivulja zunanega požara). V dodatku A tega standarda pa je predstavljena še preprosta analitična procedura za določitev natančnejše parametrične krivulje. Za stavbo oz. požar, ki ju obravnavamo, bi bila za izvedbo poenostavljene požarne analize med nazivnimi krivuljami verjetno najbolj smiselna ogljikovodikova krivulja, saj obravnavamo požar odpadnih avtomobilskih pnevmatik, ki so v splošnem proizvod iz materialov skupine ogljikovodikov. Po drugi strani pa se zdi smiselna tudi raba standardne požarne krivulje, ki sicer predstavlja požar celuloznega tipa, a se po napotkih Evrokoda uporabi tudi v vseh drugih primerih, kadar v Študiji požarne varnosti stavbe ni eksplicitno zahtevano drugače (velika večina primerov iz vsakdanje inženirske prakse). Parametrične krivulje skladno z metodo iz dodatka A [SIST, 2004b] ne moremo določiti, ker je ta metoda med drugim primerna za požarne sektorje s tlorsko površino manjšo kot 500 m<sup>2</sup>, česar pa obravnavani požarni sektor ne izpolnjuje. Poleg tega je ta metoda primerna za požare, kjer je požarna obtežba pretežno celuloznega tipa.

V nadaljevanju predpostavimo, da imamo opravka z najpogostejšim scenarijem iz prakse, to je, da požarna krivulja v Študiji požarne varnosti stavbe ni posebej določena, in se zato privzamemo, da je za dokazovanje požarne odpornosti konstrukcije uporabljena standardna požarna krivulja.

### 4.2 Toplotna analiza stebra S3

Pri standardni požarni krivulji lahko toplotno analizo v poenostavljeni obliki izvedemo že s preprostim odčitavanjem temperatur prečnega prereza stebra iz temperaturnih profilov, kot jih na primer prikazuje dodatek A [SIST, 2005b]. Za obravnavani primer bi prišli v poštev profili, ki so tu podani za kvadraten prečni prerez dimenzij 300 mm × 300 mm, ki je segrevan iz vseh štirih strani (varna stran v primerjavi s prerezom 400 mm × 400 mm). Žal so profili podani le za čas do 240 minut požara, kar se ne sklada z obravnavanim primerom. Temperaturni profil za čas 300 minut (pet ur) zato povzamemo po delu [Kolšek, 2018] in ga prikazujemo na sliki 3.

#### Temperatura betona [°C]:



**Slika 3.** Temperature po prečnem prerezu stebra dimenzij 400 mm × 400 mm po petih urah izpostavljenosti standardnemu požaru (prikazana le četrtina prereza zaradi simetrije). Modro obarvane izoterme na sliki povezujejo točke s temperaturo 1000 °C, 958 °C ..., 542 °C in 500 °C. Stranica celice v mreži, napeti preko prereza, je dolga 2 cm.

### 4.3 Mehanska analiza stebra S3

V tem poglavju za izvedbo zadnje faze poenostavljene požarne analize stebra (tj. mehanske analize) uporabimo dva pristopa po metodi reduciranega prečnega prereza, kot ju predlaga [SIST, 2005b]. To sta metoda izoterme 500 °C in metoda območij. Tako pri eni kot pri drugi metodi je postopek sledeč:

- Določimo debelino zunanje betonske plasti elementa, za katero predpostavimo, da ne prispeva k njegovi nosilnosti pri opazovanem času požara. Postopek določitve je drugačen pri eni in drugi metodi, pri čemer je metoda izoterme 500 °C praviloma (lahko tudi precej) konservativnejša.
- V preostalem delu prereza predpostavimo intaktno nosilnost betona (privzamemo enako trdnost, kot jo ima ta pred začetkom požara).
- Pri računu nosilnosti armature upoštevamo trdnost in elastični modul armaturnega jekla, reducirana za faktor, ki



skladno s standardom [SIST, 2005b] pritiče temperaturi armaturne palice ob opazovanem času požara.

- Steber s tako reduciranim betonskim prerezom ter tako reduciranimi materialnimi karakteristikami armaturnega jekla analiziramo po postopkih za AB-stebre pri običajni temperaturi. Za potrebe tega prispevka se odločimo za metodo, ki temelji na nazivni ukrivljenosti, ki jo opisuje poglavje 5.8.8 standarda [SIST, 2005b].

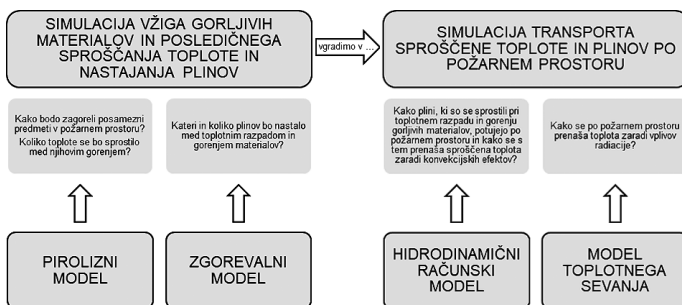
Glede na opisani postopek lahko z metodo izoterme 500 °C za obravnavani primer ugotovimo, da znaša reducirana širina stebra, znotraj katere je temperatura betona nižja od 500 °C, po petih urah požara zgolj 6 cm (slika 3). Jasno je, da je steber po tej metodi ob tem času že porušen. Pri metodi območij, pri kateri pa širino sodelujočega betonskega prereza določimo po obrazcih iz poglavja 3.3.3 standarda [SIST, 2005b], pa je reducirana širina stebra enaka 21 cm. Skladno z metodo, ki temelji na nazivni ukrivljenosti, nas to pripelje do zaključka, da steber pri opazovanem času požara svojo nosilnost sicer še ohranja, je pa izkoriščenost njegove nosilnosti 83 % (vrednost ustreza izkoriščenosti glede na upogibno nosilnost stebra pri znani osni sili in pri obtežbi za požarna projektna stanja). Podrobnosti izračunov so podane v delu [Maglica, 2021].

## 5 NAPREDNEJŠA ANALIZA STEBRA S3

### 5.1 Požarni scenarij (računalniška simulacija predvidenega požara)

Za potrebe določitve naprednejše (bolj zanesljive) požarne krivulje uporabimo natančno računalniško simulacijo predvidenega požara, za katerega smo predhodno predpostavili, da bo enak požaru v jeseniški stavbi.

Računalniške simulacije požarov, ki so v uporabi danes, so različnih vrst in zahtevnosti, s tem pa tudi različne natančnosti. Pri tem se v skupino najnatančnejših uvrščajo tiste, ki so kombinacija štirih osnovnih tipov računskih modelov, ki med simulacijo med sabo ves čas komunicirajo in izmenjujejo rezultate. To so pirolizni model, zgorevalni model, hidrodinamični model in model toplotnega sevanja (radiacije). Kaj so odgovornosti posamezne skupine modelov, znotraj simulacije požara, je v poenostavljeni obliki prikazano na sliki 4.



Slika 4. Shema računalniške simulacije požara, uporabljene v obravnavam primeru.

Hidrodinamični računski modeli (CFD modeli – angl. »Computational Fluid Dynamics«) in modeli toplotnega sevanja so danes že dobro razviti, k čemur največ prispeva dejstvo, da se

ti modeli tradicionalno uporabljajo tudi v drugih naravoslovnih disciplinah, kot so strojništvo, energetika in fizika. Drugače je s piroliznimi modeli, ki so specifični za področje požarnega inženirstva in opisujejo vžig in hitrost gorenja različnih gorljivih predmetov, ter z zgorevalnimi modeli, ki opisujejo sproščanje plinov pri njihovem gorenju. Želja uporabnikov računalniških orodij, predstavljenih na sliki 4, je že leta enaka, in sicer, da bi bile v tovrstne računalniške programe vgrajene tudi knjižnice materialov z že podanimi osnovnimi parametri za pirolizne modele in modele zgorevanja. Dejstvo je, da bi bilo takšni želji zelo težko ugoditi, saj je gorenje tudi načeloma enakega materiala lahko zelo odvisno od njegovih specifičnih lastnosti (točne kemijske sestave, ki je do neke mere pogosto poslovna skrivnost proizvajalca) in fizikalnega stanja (vlažnosti, termične obdelave, obdelave z zaviralci gorenja ...). Tako ostaja odgovornost za določitev parametrov piroliznih in zgorevalnih modelov na ramenih vsakokratnega uporabnika.

Za modeliranje jeseniškega požara iz leta 2016 izberemo prosto dostopno programsko orodje FDS [NIST, 2010]. Osnovno shemo modela, ki ga v njem pripravimo, prikazuje slika 5. Znotraj računске domene se tu območje opazovanega dela kleti razteza med koordinatama  $X = -17$  m in  $X = 14$  m v smeri  $X$ , v smeri  $Y$  med  $Y = -7,7$  m in  $Y = 14,5$  m, v smeri  $Z$  pa med  $Z = 0$  m in  $Z = 2,85$  m. Prvo območje, kjer so v stolpiče zložene avtomobilske pnevmatike, je kvadratne oblike in se razteza med koordinatama  $X = -16,5$  m in  $X = -7,5$  m ter med koordinatama  $Y = 5,5$  m in  $Y = 11,5$  m. Podobno velja za drugo območje, ki se razteza med koordinatama  $X = -3,9$  m in  $X = 16,5$  m ter med koordinatama  $Y = -6$  m do  $Y = -1,8$  m. Višina posameznega stolpiča je 2,2 m, stranica poenostavljene oblike pnevmatike (okrogla pnevmatika je poenostavljeno simulirana kot kvadratna) pa je enaka 0,4 m. Debelina gume je 0,04 m (upoštevani so le gorljivi deli pnevmatike). Posamezni stolpiči pnevmatik stojijo tesno eden ob drugem.

V modelu so z opcijo HOLE definirane tudi odprtine v stenah opazovanega dela kleti, skozi katere se med požarom izmenjujeta svež zunanji zrak in zadimljen zrak iz notranjosti kleti. Pozicije in velikosti odprtin podaja preglednica 1, medtem ko so oznake odprtin prikazane na sliki 5.

Vzrok nastanka požara in širjenje plamena do faze, ko se v požarnem prostoru vnamejo vsi stolpiči avtomobilskih pnevmatik, v modelu povzamemo po predvidevanjih iz vira [Kolšek, 2017]. Predpostavimo torej, da se najprej vname stropna svetilka, nato pa se plamen od tam po gorljivi oblogi stropa kleti hitro razširi po vsej površini stropa. Skupna količina gorljivih snovi je v tej začetni fazi požara še relativno majhna, zato predpostavimo, da ima sproščena toplotna energija zanemarljiv vpliv na analizirane AB-stebre. Zato gorenja teh snovi v simulacijo požara posebej ne vključimo. Bistveno pa na to vplivajo stolpiči skladiščene pnevmatike, ki se s časom vnamejo zaradi gorljivih kosov izolacije in svetil, ki padajo s stropa. Ker ti zagotovo padajo z večje površine stropa, lahko predpostavimo, da se vsi stolpiči pnevmatik vnamejo približno sočasno. Gorilnike, s katerimi v modelu sprožimo začetni vžig stolpičev, pa zato razporedimo enakomerno po celotnem območju, kjer se ti nahajajo (slika 5). Da so predpostavke in poenostavitve, omenjene v tem odstavku, ustrezne, kasneje pokaže validacija modela, ki jo predstavimo v poglavju 6.

oznaka odprtine	pozicija glede na tloris kleti	višina odprtine [m]
vrata v hodnik (izhod proti zunanosti preko stopnišča na koncu hodnika)	$X = -4,8 \text{ m do } X = -3,8 \text{ m}$	2
vrata v spiralno stopnišče (izhod proti strehi)	$X = -2,8 \text{ m do } X = -1,8 \text{ m}$	2
vrata v hodnik, ki predstavlja povezavo s preostalim delom kleti	$X = 0,2 \text{ m do } X = 1,2 \text{ m}$	2
vhod na območje uvozne rampe	$Y = 12,1 \text{ m do } Y = 14,4 \text{ m}$	3
izhod z območja uvozne rampe	$Y = 12,1 \text{ m do } Y = 14,4 \text{ m}$	3
okno v steni med območjem uvozne rampe in preostalim delom kleti	$X = -5 \text{ m do } X = -2 \text{ m}$	0,9
okno v severni zunanji steni kleti	$Y = 0,5 \text{ m do } Y = 1,5 \text{ m}$	1
okno v zunanji steni uvozne rampe	$X = -16,8 \text{ m do } X = 11,6 \text{ m}$	2,2

**Preglednica 1.** Odprtine v stenah numeričnega modela obravnavanega dela kleti.

## 5.1.1 Pirolizni model gume

Piroliza je toplotna degradacija gorljive trdne snovi, do katere pride med segrevanjem materiala. Pri tem se lomijo vezi med molekulami, pri čemer se sproščajo plini, masa materiala pa se zmanjšuje. V naprednih simulacijah požara opišemo pirolizo trdne snovi z dvema osnovnima enačbama [NIST, 2010]:

- Arrheniusovo enačbo termogravimetričnega razpada snovi, kjer upoštevamo, da se različne kemijske vezi v materialu rušijo pri različnih temperaturah:

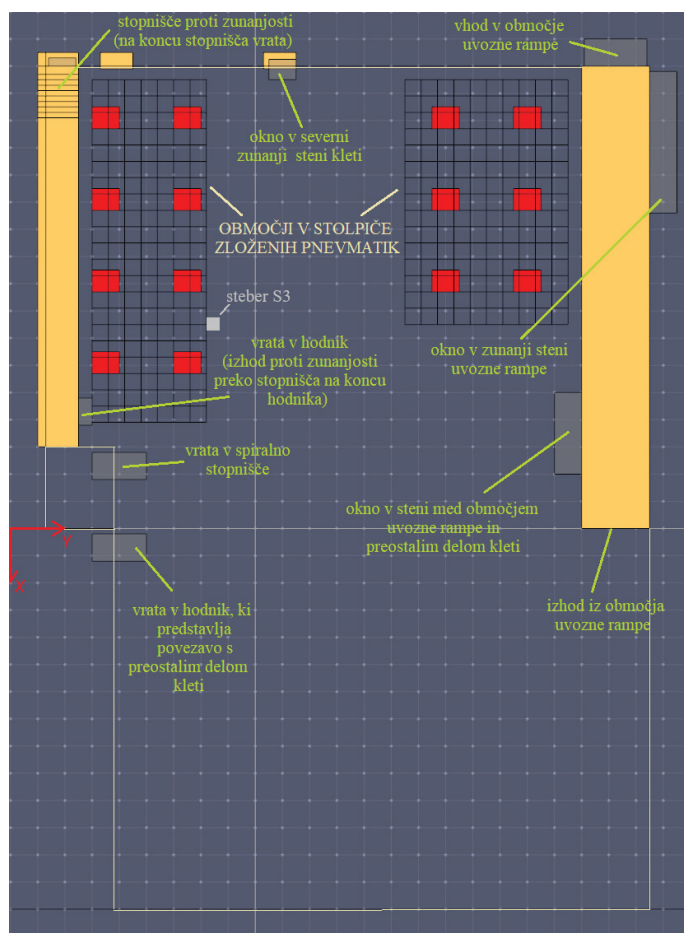
$$\frac{d\alpha}{dt} = - \sum_{j=1}^{N_j} A_j \alpha^{N_j} e^{-\frac{E_j}{RT}} \alpha_{O_2}^{N_{O_2}} \quad (2)$$

V enačbi (2) je  $\alpha(t)$  delež konverzije trdne snovi v plinasto fazo ob času  $t$ ,  $T$  pa je temperatura snovi.  $R$  nadalje označuje univerzalno plinsko konstanto,  $\alpha_{O_2}$  in  $N_{O_2}$  pa koncentracijo kisika in temu pripadajoč koeficient. Koeficienti  $A_j$ ,  $E_j$  in  $N_j$  so trije kinetični koeficienti reakcije 'j' ( $j = 1, \dots, N_j$ ).

- Fourierovo enačbo prevajanja toplote skozi snov:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} k \frac{\partial T}{\partial x_i} + \dot{q}_s''' \quad (3)$$

V enačbi (3) je  $x_i$  ( $i = X, Y, Z$ ) smer prevajanja toplote skozi snov,  $\dot{q}_s'''$  pa je reakcijska toplota zgoraj omenjenih notranjih reakcij.  $N_j$ ,  $\rho$ ,  $k$ ,  $c_p$  so gostota, toplotna prevodnost in specifična toplota snovi, ki predstavljajo tri toplotne koeficiente snovi.



**Slika 5.** Model prizadetega dela kleti v programskem orodju FDS z označenimi odprtinami in območji v stolpiče zloženih pnevmatik. Rdeče obarvani pravokotniki označujejo območja gorilnikov, ki jih uporabimo za sprožitev gorenja pnevmatik na začetku simulacije.

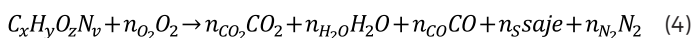
Pirolizni model v napredni računalniški simulaciji požara bo enolično določen, kadar bomo za vsak gorljiv material požarnega sektorja znali določiti set njegovih toplotnih in kinetičnih parametrov ( $A_j$ ,  $E_j$ ,  $N_j$ , pri čemer je  $j = 1, \dots, N_j$ , ter  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $k$ ). Tak postopek vključuje iteracijsko numerično prilagajanje rezultatov piroliznega modela, opisanega z enačbama (2) in (3), meritvam iz visokotemperaturnih materialnih eksperimentov ([Lautenberger, 2007], [Lautenberger, 2011], [McGrattan, 2015]), kot sta na primer preskus TGA (*ang.* Thermo-Gravimetric Analysis) in preskus s konusnim kalorimetrom (slika 6). Rezultate piroliznega modela pri tem prilagajamo na način, da postopno spreminjamo vrednosti njegovih kinetičnih in toplotnih parametrov.

Podobno, kot je opisano v prejšnjem odstavku, je bil za potrebe računalniškega modela jeseniškega požara v sklopu projekta FİRESİM razvit pirolizni model gume, in sicer s pomočjo vzorca nepogorele pnevmatike, ki je bil odvzet s pogorišča (slika 6). V prispevku kot zadosten približek uporabimo pirolizni model za polimetil metakrilat (*angl.* polymethyl methacrylate, PMMA), objavljen v delu [Matala, 2008]. Kot so pokazali rezultati preskusov s konusnim kalorimetrom, izvedeni znotraj

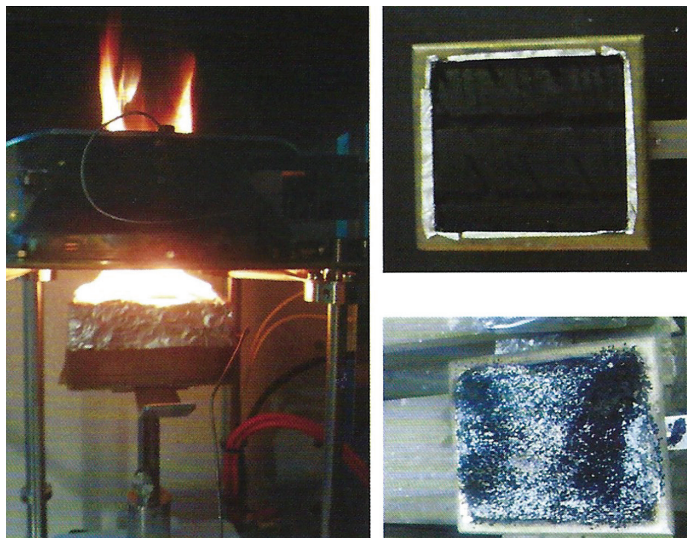
projekta FIRESIM, in kot kažejo rezultati iz dostopne znanstvene literature (npr. [Rybinski, 2013], [Wang, 2018], [Simionescu, 2019]), je gorenje PMMA po svojih osnovnih značilnostih podobno gorenju avtomobilske pnevmatike (zlasti oblika in magnituda krivulje hitrosti sproščanja toplote).

## 5.1.2 Zgorevalni model

Zgorevalni model je v programskem orodju FDS določen s stehiometrično enačbo (enačba kemijske reakcije v plinasti fazi) [NIST, 2010]. Z njo je določena sestava plinastega goriva, ki je posledica toplotnega razpada snovi, in sestava nastalih produktov gorenja. Poenostavljena oblika stehiometrične enačbe predpostavlja, da so molekule plinaste zmesi, ki nastane zaradi toplotnega razpada materiala, sestavljene iz ogljika (C), vodika (H), kisika (O) in dušika (N). Ob reakciji s kisikom iz zraka pa te tvorijo vodo (H<sub>2</sub>O), ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), saje in ogljikov monoksid (CO):



Za enolično določitev enačbe (4) FDS od uporabnika eksplicitno zahteva le specifikacijo koeficientov  $x, y, z$  in  $v$  na levi strani enačbe (4), na desni pa specifikacijo deleža mase goriva, ki se pretvori v ogljikov monoksid ( $n_{CO}$ ), in deleža mase goriva, ki se pretvori v dim ( $n_s$ ). Drugi koeficienti se lahko v FDS poračunajo avtomatsko z notranjimi algoritmi.

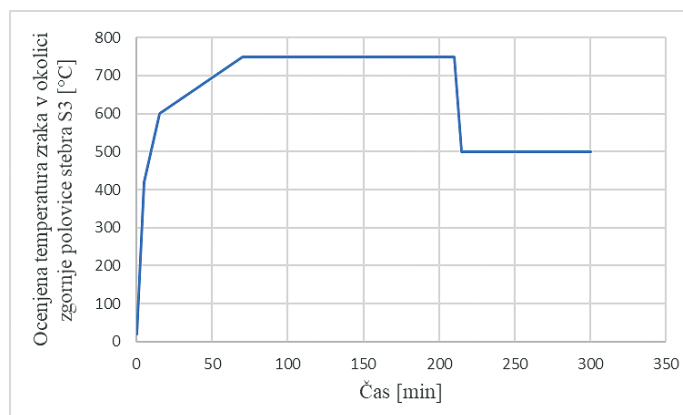


**Slika 6.** Preskus s konusnim kalorimetrom (levo). Vzorec pnevmatike, odvzete z jeseniškega pogorišča pred preskusom (desno zgoraj) in po njem (desno spodaj) [Kolšek, 2017].

Cilj analiz, ki jih prikazujemo v nadaljevanju, je čim natančnejša določitev temperatur okolice obravnavanega stebra S3, ne pa tudi natančna določitev plinastih produktov, ki so med gorenjem nastajali (ti bi bili pomembni, kadar bi s simulacijo načrtovali evakuacijo iz stavbe med požarom). Zato jeseniški požar poenostavljeno opišemo kot tipičen požar ogljikovodikov. Takšen požar je npr. požar kerozina. Za slednjega vrednosti omenjenih koeficientov lahko poiščemo v dostopni literaturi [Hurley, 2016].

## 5.1.3 Požarna krivulja

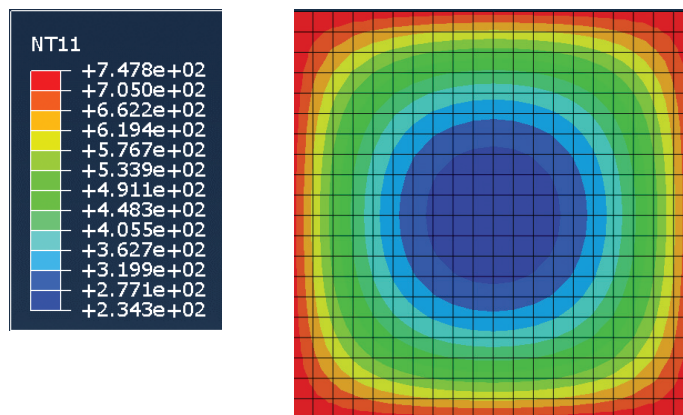
Iz opisanega modela za računalniško simulacijo jeseniškega požara lahko izvozimo požarno krivuljo za nadaljnjo toplotno analizo opazovanega stebra S3 (slika 7). Krivulja predstavlja časovni razvoj temperature okolice stebra, izmerjene v točki, ki glede na tlorski kleti (glej sliko 1) sovpada s pozicijo stebra S3 in je na višini 2,5 m od tal kleti. V analizah, ki sledijo, predpostavimo, da je tak razvoj temperatur enak vzdolž celotne višine stebra, čeprav je jasno, da je to poenostavitev in da so temperature, ki se razvijejo ob nižje ležečih predelih stebra, v splošnem nižje. Takšna poenostavitev je na varni strani, a kot kažejo prve preliminarnе analize avtorjev, rezultata ne spremeni bistveno (do največ 8 %).



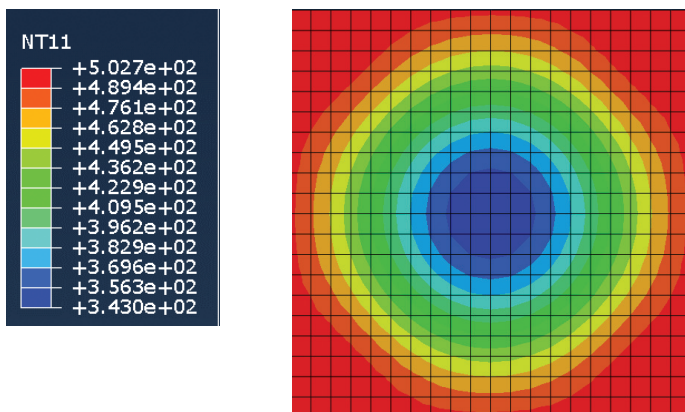
**Slika 7.** Požarna krivulja za nadaljnjo toplotno analizo stebra S3 [Maglica, 2021].

## 5.2 Toplotna analiza stebra S3

Toplotna analiza stebra S3, ki jo opisujemo v nadaljevanju, je analiza nestacionarnega prevajanja toplote po trdni snovi, ki jo izvedemo v računalniškem programu Abaqus [Simulia, 2011]. Osnovne enačbe toplotne analize so podane v delu [Maglica, 2021]. Temperatura okolice stebra je predstavljena s požarno krivuljo na sliki 7. Rezultat toplotne analize so temperaturna polja, ki se razvijejo vzdolž prečnega prereza stebra v odvisno-



**Slika 8.** Temperaturni profil stebra S3 po 3,5 ure izpostavljenosti temperaturam okolice, kot jih definira krivulja na sliki 7.



Slika 9. Temperaturni profil stebra S3 po 5 urah izpostavljenosti temperaturam okolice, kot jih definira krivulja na sliki 7.

sti od časa. Sliki 8 in 9 prikazujeta temperaturni polji pri času 3,5 ure (210 min), ko doseže temperatura zraka v okolici stebra najvišjo vrednost, in pri času 5 ur (300 min), kar predstavlja konec požara.

### 5.3 Mehanska analiza stebra S3

Naprednejši postopek mehanske analize je lahko vsaka nadgradnja poenostavljenega postopka iz poglavja 4.3, ki nas pripelje do natančnejših rezultatov. Načinov možne nadgradnje je veliko, v nadaljevanju uporabimo postopek natančnejšega opisa spreminjanja toplotnih in mehanskih lastnosti materiala s temperaturo. To pomeni, da namesto zgolj reducirane dela betonskega prereza, na katerem predpostavimo začetno temperaturo in začetne, tj. ne reducirane mehanske lastnosti, upoštevamo celoten prerez in realno razporeditev temperatur po njem. Predstavnica takšne metode je metoda iz dodatka B.3 standarda [SIST, 2005b]. Ta metoda je modifikacija metode nazivne ukrivljenosti [SIST, 2005a], ki smo jo uporabili v poglavju 4.3, saj v vsaki točki prereza (v odvisnosti od temperature materiala) upošteva drugačne materialne karakteristike betona, tj. drugačno napetostno deformacijsko zvezo  $\sigma - \epsilon_m$ . Tu smo s simbolom  $\sigma$  označili normalne napetosti, s simbolom  $\epsilon_m$  pa mehanske deformacije. Poleg mehanskih v vsaki točki upoštevamo tudi temperaturne deformacije ( $\epsilon_{th}$ ), preostale deformacije (deformacije lezenja in prehodne deformacije) pa zanemarimo. Podrobnosti postopka so, med drugim, bralcu dostopne v delih [Maglica, 2021] in [Šmid, 2020].

Ker temperatura zraka v okolici stebra S3 (slika 7) ne narašča ves čas požara, temperaturni profil, ki pripada času 5 ur, seveda ni nujno tisti, ki je merodajen za mehansko analizo stebra. Drži sicer, da bo ob tem času jedro stebra segreto najbolj, a bodo temperature v njegovih zunanjih slojih betona pri tem času že nižje kot ob času 3,5 ure. Zagotovo je zato nosilnost stebra smiselno preveriti tudi ob času 3,5 ure. Dodatno bi v splošnem veljalo preveriti tudi katerega od vmesnih časov med 3,5 in 5 urami požara. V obravnavanem primeru se izkaže, da ti niso merodajni, zato se jim v nadaljevanju tega prispevka ne posvečamo.

Največja izkoriščenost upogibne nosilnosti analiziranega stebra S3 pri nespremenljivi osni sili iz požarnega projektnega

stanja je bila dosežena 3,5 ure po začetku požara in je enaka 17,5 %. Za primerjavo omenimo, da je bila izkoriščenost stebra pri tej osni sili ob začetku požara enaka 10 %.

## 6 POVZETEK REZULTATOV IN VALIDACIJA MODELOV

S poenostavljenim pristopom k požarni analizi stebra S3, kot smo ga prikazali v poglavju 4, smo ocenili, da bo po petih urah požara steber že porušen (metoda izoterme 500 °C) ali pa bo ta dosegel 83 % svoje izkoriščenosti (metoda območij). Pri naprednejšem pristopu je največja izkoriščenost upogibne nosilnosti, ki jo za steber izračunamo znotraj opazovanih petih ur požara, enaka zgolj 17,5 %. Dodatno velja poudariti, da je pri naprednejšem pristopu računsko ocenjena največja globina izoterme 500 °C med požarom približno 6 cm pod površino stebra. Ta ugotovitev se lepo ujema z rezultati pregleda pogorišča in spremljajočih laboratorijskih analiz odvzetih vzorcev betona [Kolšek, 2017], ki so to globino ocenili med 5 in 8 cm. Primerjava dokazuje, da smo se realni oceni požarne odpornosti konstrukcije veliko bolje približali z naprednejšim pristopom. Razlika v primerjavi s poenostavljenim pristopom pa je izredno velika.

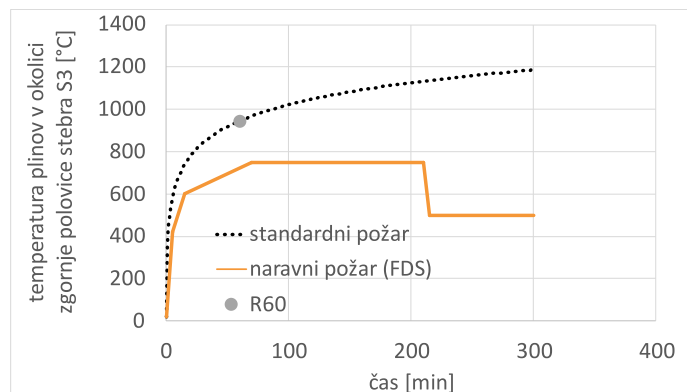
## 7 DISKUSIJA O REZULTATIH: JE TOREJ POENOSTAVLJENI PRISTOP PRI OBRAVNAVANEM PRIMERU NA PREVEČ VARNI STRANI?

Odgovor na zastavljeno vprašanje je vse prej kot preprost in je odvisen od tega, kateri čas požara se nam zdi smotrno upoštevati pri poenostavljenem pristopu in katerega pri naprednejšem. Je res pri obeh smiselno upoštevati čas 5 ur?

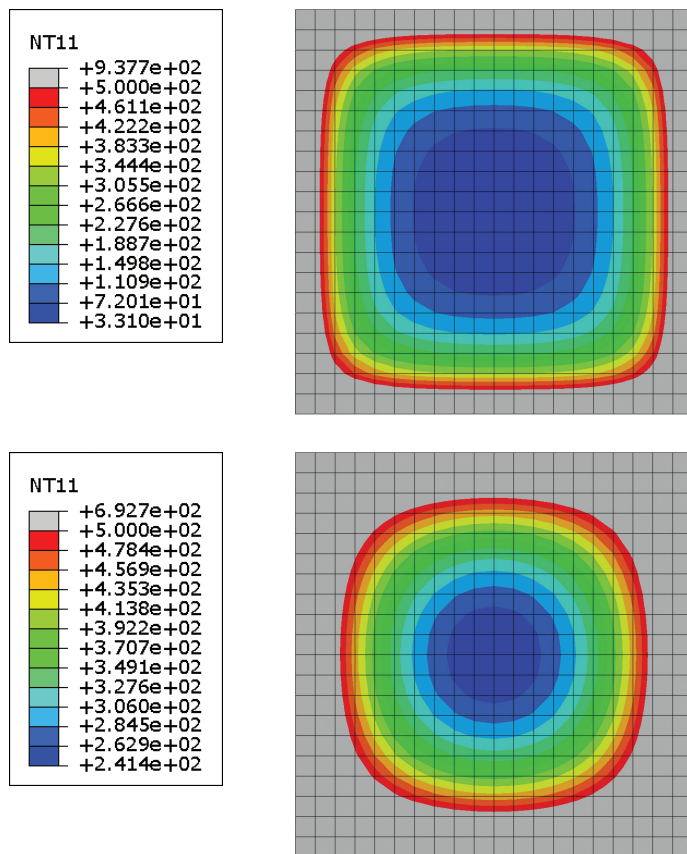
Odgovor je seveda da, če govorimo o naprednejši analizi, pri kateri naj bi se čim bolj približali realnemu dogajanju. Glede na to, da se je požar v obravnavani stavbi že zgodil, namreč vemo, da je čas 5 ur tisti čas, ki je enak dejanskemu. Poleg tega smo pri naprednejši analizi izbrali vhodne parametre požarne analize tako, da so temperature stebra čim bolj sledile dejanskim (slednje smo dokazali v poglavju 6). Verjetno pa je k izbiri opazovanega časa treba pristopiti drugače, kadar govorimo o poenostavljenem pristopu.

V inženirski praksi bi požarni inženir, če bi ta pri projektiranju požarne varnosti stavbe sledil slovenski smernici TSG-1-001 [MOP RS, 2019], glede na karakteristike stavbe verjetno zahteval požarno odpornost konstrukcije R60 (to je 60 minut). Pri tem bi se zahteva nanašala na izpostavljenost standardnemu požaru. Tudi nosilna konstrukcija stavbe in njena morebiti potrebna požarna zaščita bi tako bili sprojektirani ob teh predpostavkah. Zato razmislimo še, kakšna bi bila razlika med enim in drugim pristopom, če bi pri poenostavljeni analizi, ki smo jo izvedli za standardni požar, opazovali le čas 60 minut. Izkaže se, da je bila velika razlika med pristopoma, ki smo ju opazili v poglavju 6, predvsem posledica velikih razlik v požarnih krivuljah (slika 10), s tem pa tudi velikih razlik v temperaturnih poljih prereza ob specifičnih časih, zato si tokrat oglejmo le temperaturne profi-

le. Primerjavo kaže slika 11. Tu sta profila pri obeh analizah prikazana za najbolj kritičen čas požara. Pri poenostavljeni analizi, kjer temperatura okolice ves čas narašča, je to končni opazovani čas 60 min, pri napredni analizi pa čas 3,5 ure oz. 210 minut.



Slika 10. Primerjava požarnih krivulj, ki sta bili uporabljeni pri poenostavljenem (...) in naprednejšem (-) pristopu.



Slika 11. Primerjava temperaturnih profilov prečnega prereza stebra S3 po 60 minutah standardnega požara (zgoraj) in po 210 minutah naravnega požara (spodaj). Območje s temperaturami nad 500 °C je obarvano sivo.

Ugotovimo lahko, da bi se rezultat primerjave obeh pristopov v tem primeru bistveno spremenil. Razlika med enim in drugim pristopom bi se sicer zmanjšala, vendar bi se poenostavljeni pristop tokrat izkazal kot pristop na "nevarni" strani. K temu bi dodaten delež lahko prispevalo tudi ovirano temperaturno raztezanje stebra, ki smo ga v naprednejšem modelu sicer zanemarili (glej poglavje 3). Če pa bi ga upoštevali, bi to lahko rezultiralo v večji tlačni osni sili stebra v začetnih fazah požara pri naprednejšem pristopu, s čimer bi bila "nevarna" stran poenostavljenega pristopa lahko še bolj izrazita. Vendarle pa je slednje odvisno predvsem od geometrijskih karakteristik preostale konstrukcije, s katero je stebel monolitno povezan, in temperatur, ki se med požarom razvijajo v njej.

## 8 SKLEP

V članku smo predstavili primer požarnega projektiranja AB-stebra poslovne stavbe, katere lastnosti so podobne lastnostim stavbe za servis in prodajo avtomobilov na Jesenicah, ki jo je leta 2016 prizadel hud požar. Večino podatkov o stavbi in požaru smo privzeli iz razpoložljive literature, preostanek pa smo smiselno predpostavili. Steber smo analizirali pri požarnem scenariju, ki je bil enak omenjenemu požaru jeseniške stavbe, in sicer najprej po danes že dobro uveljavljenih poenostavljenih postopkih, ki se v inženirski praksi uporabljajo najpogosteje, in po naprednejši metodi. Validacija obeh pristopov, ki smo jo opravili z eksperimentalnimi rezultati iz dostopne literature, je pokazala, da smo se z naprednejšo metodo realnemu stanju približali neprimerljivo bolje. V krajši diskusiji rezultatov ob koncu članka smo ugotovili, da bi poenostavljeni pristop pri obravnavanem primeru lahko označili celo kot (kot temu rečemo pogovorno) pristop na "nevarni strani".

Naprednejši model požara v kleti analizirane stavbe, ki smo ga predstavili v prispevku, je bil zasnovan za obravnavo enega od možnih požarnih scenarijev, ki se lahko tam zgodijo, in je bil predpostavljeno enak požaru v omenjeni jeseniški stavbi. Zasnova takšnega modela je seveda lažja v primerjavi s situacijo, ko bi bilo tak model treba zasnovati npr. za potrebe Študije požarne varnosti stavbe, torej za požar, ki se še ni zgodil in bi ga bilo zato treba predvideti vnaprej. V tem primeru bi simulaciji, predstavljeni v tem prispevku, zagotovo dodali še simulacije več drugih možnih scenarijev, pri čemer bi bilo najprej treba predvideti različne možne vrste, količine in razporeditve gorljivih snovi v kleti, za kar pa bi bilo v prvi vrsti zelo pomembno projektantovo dobro poznavanje dejanske namembnosti kleti. Če bi rezultate teh simulacij potrebovali le za požarno analizo nosilne konstrukcije kleti, podobno kot v tem prispevku, bi bil podatek o razlogu vžiga teh snovi manj pomemben. Pomemben pa bi lahko bil še razmislek o tem, ali se vnamejo vse gorljive snovi hkrati ali je širjenje požara postopno.

## 9 ZAHVALA

Delo P. Češarka in J. Č. Kolšek je bilo opravljeno v okviru raziskovalnih programov P2-0158 in P2-0260, ki ju financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS). Za podporo se zahvaljujemo.

## 10 PRISPEVKI AVTORJEV

M. Maglica: pregled literature, izvedba računskih analiz

P. Češarek: metodologija, pisanje članka, razvoj računskega orodja za izvedbo mehanskih analiz stebra, konceptualizacija

J. Č. Kolšek: pregled literature, pisanje članka, metodologija, razvoj računskega orodja za izvedbo naprednih požarnih analiz, izvedba računskih analiz, konceptualizacija

## 11 LITERATURA

Erklavec, K., Projektiranje in ocena požarne odpornosti izolirane AB stebra v večetažni poslovni stavbi, diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2012.

Hurley, M. (Editor-in-Chief), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition, Springer, 2016.

Kolšek, J., Rebec, A. Analiza nosilne konstrukcije po požaru objekta ASP na Jesenicah, POŽAR, strokovna revija za varstvo pred požari, 23(4), 18-22, 2017.

Kolšek, J., FIRESIM – Požarno-varno umeščanje gorljivih materialov v stavbe z jekleno okvirno nosilno konstrukcijo: Razvoj modelov in verifikacija z eksperimenti, Zaključno poročilo podoktorskega projekta, ARRS, Z7-7677, <http://arrs-firesim.zag.si>, 2018.

Kralj, B., Vpliv požara v načrtovanem jeklenem prizidku na nosilnost obstoječega armiranobetonskega objekta, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2019.

Lautenberger, C., A Generalized Pyrolysis Model for Combustible Solids, doktorska disertacija, University of California, Berkeley, 2007.

Lautenberger, C., Fernandez Pello, C., Optimization Algorithms for Material Pyrolysis Property Estimation, Fire Safety Science, 10, 751-764, 2011.

Matala, A., Estimation of solid phase reaction parameters for fire simulation, Master's thesis, Helsinki University of Technology, Faculty of Information and Natural Sciences, 2008.

McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R., Vanella, M., Mueller, E., Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, National Institute of Standards and Technology, USA, 2023.

MOP RS, Tehnična smernica TSG-1-001:2019: Požarna varnost v stavbah, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, 2019.

NIST, Fire Dynamics Simulator 5.5.3, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, 2010.

Rybinski, P., Janowska, G., Jozwiak, M., Jozwiak, M., Thermal stability and flammability of styrene-butadiene rubber (SBR) composites, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 113, 43-52, 2013.

Simionescu, T. M., Minea, A. A., Balbis dos Reis, P. N., Fire Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene Enhanced with Organic Montmorillonite and Exolit Fire Retardant, Applied Sciences, 9,1-14, 2019.

Simulia, Abaqus 6.11, Dassault Systmes Simulia Corp., 2011.

SIST, SIST EN 1990, Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij, Slovenski inštitut za standardizacijo, 2004a.

SIST, SIST EN 1991-1-2, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-2. del: Splošni vplivi: Vplivi požara na konstrukcije, Slovenski inštitut za standardizacijo, 2004b.

SIST, SIST EN 1992-1-1, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, Slovenski inštitut za standardizacijo, 2005a.

SIST, SIST EN 1992-1-2, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-2. del: Splošna pravila - Projektiranje požarnovarnih konstrukcij, Slovenski inštitut za standardizacijo, 2005b.

Šmid, G., Analiza karakterističnih nosilnih elementov stavbe za zdravstveno oskrbo v različnih projektnih stanjih, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2020.

Wang, N., Zhang, M., Kang, P., Zhang, J., Fang, Q., Li, W., Synergistic Effect of Graphene Oxide and Mesoporous Structure on Flame Retardancy of Nature Rubber/IFR Composites, Materials, 11(6), 1-13, 2018.

Matjaž Beltram, univ. dipl. inž. grad.  
matjaz.beltram@elea.si



dr. Jaka Zevnik, univ. dipl. inž. grad.  
jaka.zevnik@elea.si  
Elea iC. d. o. o.,  
Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana



**Strokovni članek**  
UDK/UDC: 624.01:725.95(497.451.1)

# PODHOD LATTERMAN LATTERMAN UNDERPASS

## Povzetek

Podhod Latterman omogoča oživitev stare povezave središča Ljubljane z mestnim parkom Tivoli. Objekt leži pod dvotirno progo na eni najbolj obremenjenih železniških povezav v Sloveniji. Gradnja podhoda je potekala s tehnologijo podrivanja in sprotnim izkopavanjem materiala, kar je omogočilo neprekinjenost železniškega prometa. Gre za najdaljši tovrstni objekt, zgrajen s tako tehnologijo, v Sloveniji. Objekt je zasnovan kot škatlasta armiranobetonska konstrukcija. Investitorja objekta sta bila Mestna občina Ljubljana in Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo, projektant objekta je projektantski biro Elea iC, d. o. o., izvajalec del pa Makro 5 gradnje, d. o. o.

Ključne besede: podhod, podrivanje, železnica, integralna konstrukcija

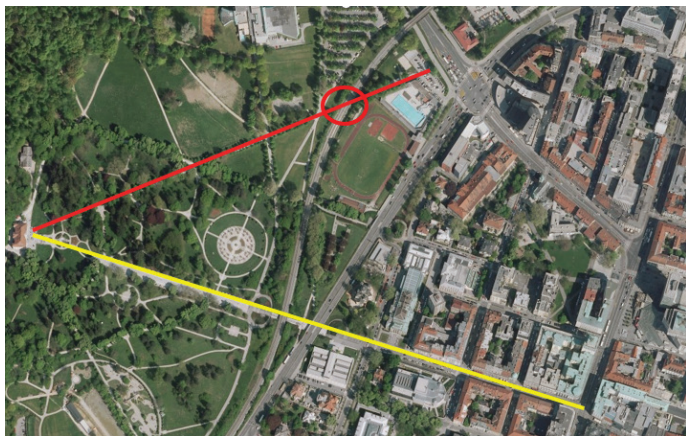
## Summary

The Latterman underpass enables the revival of the old connection between the center of Ljubljana and the Tivoli city park. The underpass is located under a double-track line on one of the busiest railway connections in Slovenia. The underpass was constructed using box jacking technology with continuous excavation of the soil. It is the longest structure of its kind to be built in Slovenia with this technology. The underpass is designed as a box structure made of reinforced concrete. The investors are the Municipality of Ljubljana and the Directorate of Infrastructure of the Republic of Slovenia, while the designer of the building is Elea iC. d. o. o., design bureau, and the contractor is Makro 5 gradnje, d. o. o.

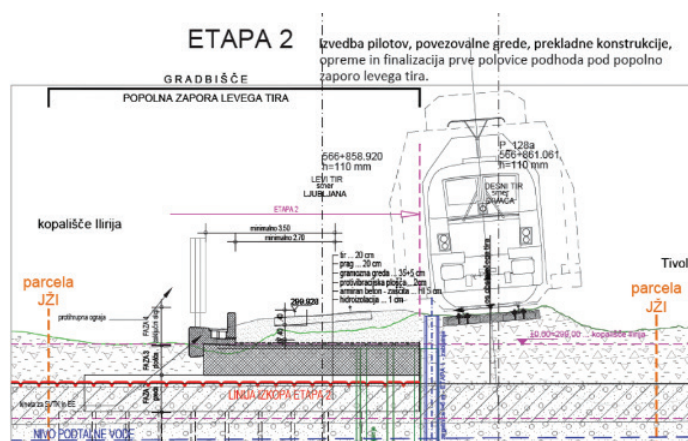
Key words: underpass, box jacking, railway, integral construction

## 1 UVOD

Podhod Latterman leži na Tivolskem loku v Ljubljani in predstavlja nadaljevanje starega Lattermanovega drevoreda, ki poteka v parku Tivoli (slika 1). Podhod nosi ime po Krištofu Lattermanu, avstrijskem guvernerju, ki je snoval ureditev osrednjega ljubljanskega parka. Zasnova in začetki parka Tivoli segajo v leto 1813, v čas Ilirskih provinc. Jean Blanchard je takrat začel urejanje parka in snovanje drevoredov. A ker so Ilirske province hitro propadle, je njegovo delo nadaljeval avstrijski guverner Krištof Latterman, po katerem se podhod imenuje. Krištof Latterman je parku dodal novo pot – drevored, ki



**Slika 1.** Območje Tivolskega parka in lokacija podhoda. Z rumeno črto je označena prvotna Lattermanova linija, z rdečo pa sedanja.



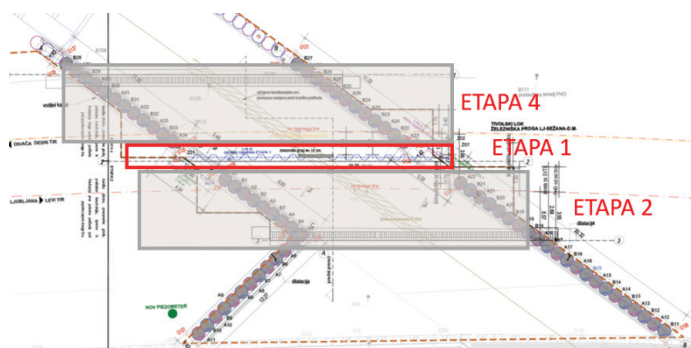
**Slika 2.** Prvotna zasnova z etapno gradnjo [Elea iC, 2021].

povezuje današnjo Namo preko Cankarjeve ceste z gradom Tivoli. Nova povezava je bila med meščani zelo priljubljena in sprejeta, zato so drevored poimenovali po njem. Kasneje sta na drevoredu in povezavi svojo sled pustila še slikar Rihard Jakopič in arhitekt Jože Plečnik, zato so ga preimenovali v Jakopičev drevored oziroma v Jakopičevo sprehajališče. Ker pa je imel Latterman velike zasluge pri zasnovi in razvoju parka, so po njem kasneje poimenovali drevored med gradom Tivoli in kopaljščem Ilirija.

Leta 1850 zgrajena železnica je park zmanjšala, presekala njegove povezovalne poti in ga s tem ločila od mesta. Da bi povezanost ponovno obudili, so v drugi polovici 20. stoletja zgradili tri podhode, in sicer pri Rožni dolini, Moderni galeriji in Narodnem domu, in tako je do pred kratkim manjkala le še povezava na mestu Lattermanovega drevoreda.

Ko je investitor izrazil željo po obuditvi povezave s parkom Tivoli, je bila v izvedbi že gradnja novega kopaljšča Ilirija, in ker je Lattermanova linija zaščitena, se vanjo ne sme posegati z objekti. Zaradi tega je kopaljšče Ilirija razdeljeno na dva objekta; na plavalni kompleks in telovadnico. Vmes po Lattermanovi liniji poteka sprehajališče, ki je dostopno vsem meščanom. Ker pa bi bila ta delitev objektov Ilirije nesmiselna, če s sprehajališčem ne bi nadaljevali proti Tivoliju, je investitor izrazil željo po gradnji novega podhoda na mestu, kjer Lattermanovo linijo seka dvotirna železnica.

Oktober 2021 smo v podjetju dobili nalogo sprojektirati nov podhod na mestu Lattermanove linije. Ker je takrat na tem mestu ravno potekala nadgradnja železniške proge med Ljubljano in Brezovico, smo zasnovali rešitev z etapno gradnjo (slika 2). V času projektiranja je bila aktivna zapora levega tira, zato je bila najprej predvidena gradnja polovice objekta pod tem delom, ko pa bi se zapora tirov obrnila, bi se zgradila še preostala polovica. V ta namen se je v medtirni prostor tudi že zabilo zagatnice za varovanje izkopa med gradnjo. Ker pa se investitorju, nadzorniku in izvajalcu ni uspelo pravočasno dogovoriti glede izvedbe in je bilo do konca zapore levega tira premalo časa za izvedbo prve polovice objekta, so projekt in vsa pripravljena dokumentacija padli v vodo.



Delitev objektov kopaljšča in izvedba sprehajališča, ki bi brez izvedbe podhoda trčilo v tيره, bi bila nesmiselna, zato smo pristopili k iskanju novih možnosti izvedbe podhoda.

## 2 ZASNOVA

Pri zasnovi je veliko vlogo igrala izbira načina gradnje. Na mestu podhoda poteka dvotirna železnica, ki je ena najbolj obremenjenih v državi, zaradi česar smo stremeli k načinu gradnje,



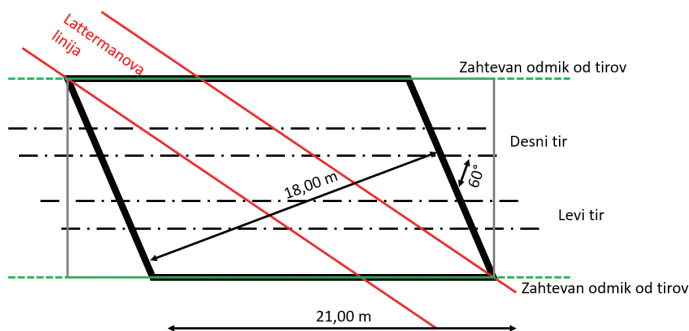
ki bi čim manj vplival na železniški promet. Daljših zapor železniškega prometa nismo imeli na voljo.

<b>Investitor:</b>	Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo in Mestna občina Ljubljana
<b>Projekt:</b>	Podhod Latterman
<b>Projektant:</b>	Elea iC, d. o. o.
<b>Izvajalec:</b>	Makro 5 gradnje, d. o. o.
<b>Nadzor:</b>	DRI upravljanje investicij, d. o. o., GTS inženiring, d. o. o.

### Preglednica 1. Osnovni podatki o projektu.

Izbrali smo tehnologijo gradnje s podiranjem in sprotnim izkopavanjem. Pri tem načinu gradnje se objekt v celoti zgradi ob končni lokaciji, nato pa se ga s pomočjo hidravličnih batov potisne na končno mesto.

S takim načinom gradnje se lahko objekt potiska ali vleče. Gradnja na strani parka Tivoli zaradi posega v park in samih dostopov ni bila mogoča, zato je bila edina možnost gradnja s strani Ilirije, kjer je že bilo aktivno gradbišče kopališča. To je pomenilo, da terminsko vplivamo na gradnjo kopališča, saj je bilo



Slika 3. Gabarit objekta.

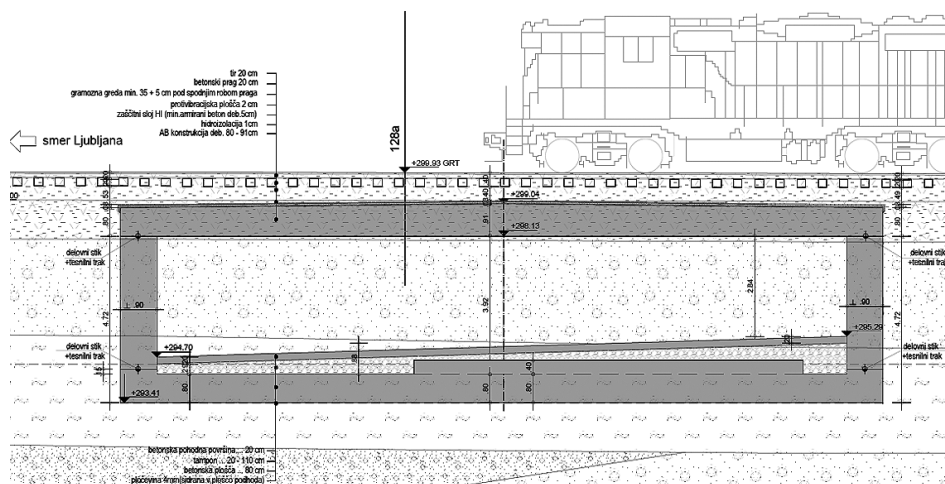
gradbišče podhoda sredi gradbišča Ilirije, s čimer ga je oviralo. Vsled tega smo imeli zelo kratke roke, ki pa smo jih z angažmajem vseh akterjev tudi izpolnili.

Vsa projektna dokumentacija, z opravljeno revizijo, verifikacijo in pridobljenimi soglasji, je bila izdelana v šestih mesecih. Podhod je bil izveden kot vzdrževalna dela v javno korist, saj leži na območju javne železniške infrastrukture.

Obliko in zasnovo podhoda narekuje izbrana tehnologija gradnje. Zaradi podiravanja mora biti objekt zasnovan kot škatla. Lattermanova linija seka smer železniške proge pod zelo ostrim, neugodnim kotom. Pravilniki [DRSC, 2001] narekujejo, da je lahko najmanjši dovoljeni kot križanja železnice z objektom  $60^\circ$ . Pri manjšem kotu križanja je treba izvesti dodatne ukrepe, ki pa v primeru podiravanja ne pridejo v poštev. Poleg tega pravilniki določajo minimalen odmik kinete, ograj in posledično roba objekta od osi tira. Z upoštevanjem vseh teh robnih pogojev dobimo objekt zelo velikih dimenzij, zaradi katerih je bilo treba prekladno ploščo podpreti z dvema stebroma; pravokotna razdalja med opornikoma znaša kar 18 m, dolžina objekta vzdolž robnega venca pa 21 m. To je najdaljši tovrsten objekt, zgrajen s tehnologijo podiravanja v Sloveniji.

Minimalni odmik prekladne plošče od tirov je definiran s pravilniki [UL RS, 2010], prav tako minimalna svetla višina znotraj podhoda. Višina opornika je 3,92 m, kar zadošča zahtevam. Znotraj podhoda namreč pot poteka v naklonu in v nasutju, saj smo le tako dosegli še sprejemljive velikosti naklonov navezavalnih poti, s katerimi se priključujemo na že obstoječe poti v parku Tivoli.

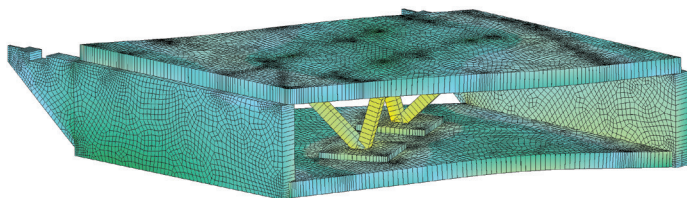
Objekt je zasnovan kot škatla z debelino temeljne plošče 80 cm, ki je na mestu stebrov povečana za 40 cm. Stene podhoda so debeline 90 cm, preklada pa ima strešni naklon in je pri vpetju v stene debeline 80 cm, na sredini razpona pa 91 cm. Uporabljen je bil beton trdnostnega razreda C40/50. Na obeh straneh objekta je robni venec s kineto. Celotna širina mostne kape je 146 cm, kineta je široka 50 cm. Na robni venec je nameščena protihrupna ograja z večjimi transparentnimi paneli. Vse notranje površine so vidne, predpisan je vidni beton tipa VB3. Objekt je narejen iz neprepustnih betonov po metodi bele kadi.



Slika 4. Vzdolžni prerez objekta [Elea iC, 2022].

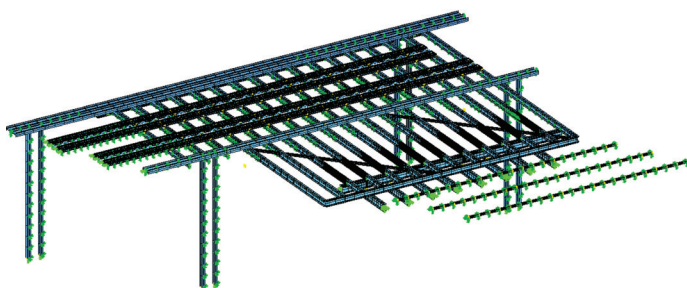
Računska hitrost proge za tovarne in klasične vlake na tem mestu je 100 km/h, kategorija nosilnosti proge pa D4. Proga na podhodu poteka v radiju  $R = 500$  m in ima vzdolžni naklon 0,18 % (L50) oz. 0,23 % (D50).

S programskim orodjem SOFISTiK [SOFISTiK, 2020] je bila naredjena statična analiza z upoštevanjem obtežnih shem LM71, SW0 in SW/2 [SIST, 2004]. Dinamični vplivi so bili zajeti z dinamičnim faktorjem  $\Phi = 1,21$ , upoštevan je bil faktor razreda obtežbe  $\alpha = 1,21$ . Ob vertikalnih obremenitvah so bili upoštevani tudi vplivi pripadajočih horizontalnih sil (pospeševanje in zaviranje, bočna sila in centrifugalna sila). Masa podhoda je 2200 t.



Slika 5. Model podhoda [SOFISTiK, 2020].

Ločeno je bila zmodelirana in preverjena tudi celotna jeklena konstrukcija, ki podpira železniški promet med gradnjo.



Slika 6. Model jeklene podporne konstrukcije [SOFISTiK, 2020].

### 3 TEHNOLOGIJA GRADNJE

Gradnja objekta s podiranjem in sprotim izkopavanjem ima najmanjši vpliv na železniški promet. Objekt je bil v celoti zgrajen na delavnici, 30 m oddaljeni od končne lokacije.

Delavnico predstavlja armiranobetonska plošča, na kateri je bil zgrajen celoten podhod. Robovi delavnice imajo vodila, ki služijo usmerjanju objekta med podiranjem. Površina delavnice mora biti ustrezno zglajena, da se doseže čim manjše trenje med podiranjem objekta. Zadnji del delavnice predstavlja odrivna greda, v katero se upre s hidravličnimi bati. Greda je bila dimenzij 150 x 100 cm in temeljena s 45 jet grouting slopi v obliki kože, torej s tlačno-nateznim parom.

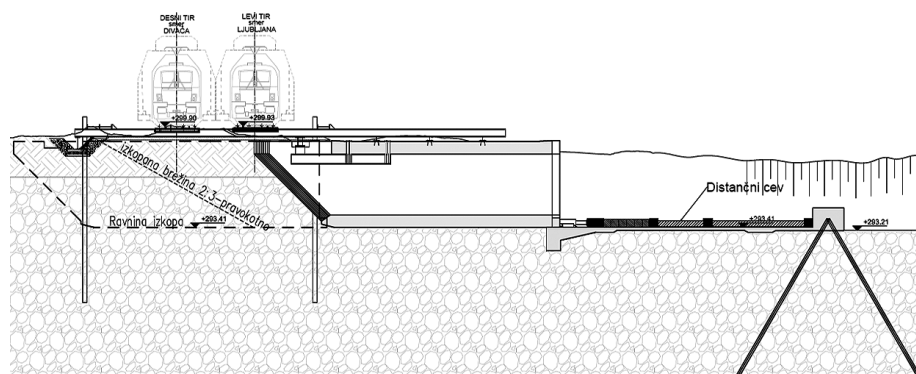
Zaradi tehnologije s sprotim izkopavanjem je bilo treba opornika podaljšati v nože. Gre za armiranobetonski element trikotne oblike, ki med podiranjem varuje izkop, poleg tega pa služi kot podpora jeklenim nosilcem, preko katerih se prenaša železniška obtežba.

Pripraviti je bilo treba tudi železniško opremo. Betonski pragovi so bili zaradi pritrdjevanja provizorijev zamenjani z lesenimi, tir je bil višinsko reguliran, vozna mreža pa korigirana. Nato so bili na tise nameščeni tirnični provizoriji. Zaradi velike dolžine objekta je bilo na vsakem tiru treba sestaviti več provizorijev različnih dolžin (6,5 m + 12 m + 12 m + 6,5 m), čemur je sledila namestitev nosilcev HEB 600, ki so se uvlekli pravokotno pod tise in katerih funkcija je bila prenos železniške obtežbe. Nosilci so na eni strani podprti z objektom, ki pod njimi drsi, na strani Tivolija pa so sloneli na nosilcu HEB 600, ki je bil podprt s točkovnimi temelji. Horizontalne obremenitve so se prenašale preko nosilcev HEB 800, ki so se upirali v štiri armiranobetonske grede, sidrane z jet grouting slopi. Zaradi velike razdalje med noži je bil prvi podporni nosilec na objektu podprt s konzolami HEB 400.

Na vsakem tiru je bila potrebna 12-urna zapora, znotraj katere so bili zamenjani pragovi, ter urejena tir in vozna mreža. Namestitev provizorijev in uvlečenje nosilcev je potekalo pod aktivnim železniškim prometom, ob prisotnosti čuvajev. Med celotnim podiranjem je bila največja dovoljena hitrost vlakov 30 km/h.

Ko je bilo vse pripravljeno in je beton podhoda dosegel zadostno trdnost, se je začelo podiravanje. Podiravanje se je izvajalo s 16 bati, ki so bili razporejeni v dve skupini, postavljeni vsaka na svoj rob podhoda. S tem je bilo zagotovljeno lažje manevriranje pri podiravanju. Hod bata znaša 50 cm in po vsakem raztegu se je bat skrčil, praznina pa se je založila z distančnikom.

Podiravanje se je začelo 9. 1. 2023 in je trajalo tri tedne, sočasno pa je potekal izkop materiala. Podiravanje je potekalo v oteženih pogojih. Poleg majhne svetle višine podhoda in stebrov v osrednjem delu, ki so upočasnjevali hitrost odvoza materiala,



Slika 7. Shema tehnologije podiravanja [Elea iC, 2022].



**Slika 8.** Vgradnja provzorijev in uvlačenje nosilcev pod treme med prometom (slika levo) ter delavnica (slika desno).



**Slika 9.** Izvedena temeljna plošča (slika levo) in betoniranje preklade (slika desno).

sta izkop oteževala še deževno obdobje in velik dotok zaledne vode na čelu izkopa, ki je izkopni material spreminjal v tekoče blato. Temperature so bile blizu ledišča, gradbišče pa je med podiranjem celo pobelil sneg.

Podirvanje je bilo razdeljeno v dve fazi; prva faza je bila dolžine 15 m, druga pa 14,5 m. Po prvi fazi se je distančnike odmaknilo, za objektom pa je bila dodatno zabetonirana odzivna plošča,

ki je bila povezana s temeljno ploščo objekta. Z dodatno ploščo smo se izognili velikim uklonskim dolžinam distančnikov in naredili prehod objekta iz delavnice na teren bolj zvezen.

Med podiranjem smo naleteli na še eno oviro, in sicer na zagatnice, ki so ostale v terenu od prvotne zasnove in ki niso bile pravočasno odstranjene. Zagatnice so bile postavljene v osi opornika in so onemogočale nadaljnje podirvanje. Po petih



**Slika 10.** Začetek podirvanja (slika levo) in zalaganje distančnikov (slika desno).



**Slika 11.** Oteženi pogoji izkopa.

dneh naporega dela so bile zagatnice naposled odstranjene in podpiranje se je nadaljevalo. Celotno podpiranje je trajalo 18 dni in je bilo končano 26. 1. 2023. Brez zamud z zagatnicami bi (skupaj z betoniranjem dodatne odrivne plošče) podpiranje trajalo 14 dni.



gostem stanju. Plasti se prepletajo s slojem peščenega melja in meljne gline v srednje do težko gnetnem stanju in se različno izklinjajo v prostoru. Geološka sestava je na tem območju zelo heterogena, s pogostim menjavanjem slojev, zato je bilo težko določiti natančen potek plasti.



**Slika 12.** Začetek podpiranja (slika levo) in preboj ter sklepna faza podpiranja (slika desno).

Ko je bil objekt na končni lokaciji, se je začela rušitev delavnice in odrivne grede, da se je v čim krajšem času sprostilo gradbišče kopališča Ilirija. Sledili so odstranjevanje jeklenih nosilcev, tirničnih provizorijev, menjava pragov ter regulacija vozne mreže in tirov. Za to je bila potrebna 12-urna zapora na vsakem tiru. Sledili so izvedba robnih vencev, rušitev nožev ter nadaljevanje izkopov za navezovalne poti proti Tivoliju. Skupaj so bile na tirih potrebne štiri 12-urne zapore in še dodatna 12-urna zapora za končno regulacijo objekta.

## 4 ZALEDNE VODE

Podpiranje je oteževal velik dotok zaledne vode na čelu izkopa, ki ga z raziskovalnimi vrtninami nismo zaznali. Tla so slabo nosilna, sestavljena iz peščeno zaglinjenih prodov, ki so v srednje

V sklopu gradnje kopališča Ilirija je bila vzdolž gradbene jame za varovanje izkopa izvedena diafragma, ki je preprečila naraven pretok zaledne vode z območja Šišenskega hriba proti Ljubljani. Voda se je verjetno kanalizirala in nabrala ravno na območju podhoda, ki predstavlja edino odprtino v diafragmi in hkrati preprečuje pretok vod naprej proti Celovski cesti. Višina zalednih vod se je po končanem podpiranju ob podhodu dvignila za 1 m.

Zaradi tega smo okoli podhoda naredili nearmirano tesnilno zaveso iz jet grouting slopov premera 60 cm in v rastru 50 cm, ki je segala v nepropusten glinen sloj. S tem smo preprečili dotok zaledne vode v podhod. Za primer ekstremnih vremenskih razmer in prelivanja vode preko tesnilne zaveso so v podhodu nameščene drenažne cevi, ki so speljane v črpališče, od koder se voda po potrebi prečrpava.

## 5 IZHOD TIVOLI

Zasnova navezovalnih poti in izhoda je prinesla kar nekaj iz-  
zivov, saj je podhod v krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski  
hrib. Pri načrtovanju je bilo treba ob že tako neugodnih robnih  
pogojih zadostiti še pogojem in željam veliko deležnikov. Na  
zelo kratki razdalji je bilo treba premostiti večjo višinsko raz-  
liko, ob tem pa ugoditi pravilnikom za gibalno ovirane osebe  
in kolesarje. Poleg tega je bilo treba upoštevati zahteve glede  
zasaditev in poteka drevoreda Zavoda za varstvo narave Repu-  
blike Slovenije [ZRSVN, 2023] ter poteka Lattermanove linije  
Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije [ZVKDS, 2022]  
in hkrati izhod smotrno umestiti v prostor. Končna rešitev je  
zasnovana tako, da glavna promenada poteka po Latterma-  
novi liniji in se v zadnjem delu, preko stopnic, dvigne na nivo  
preostalih poti v Tivoliju. Ob promeni je zasajen kostanjev  
drevored, ki se bo navezal na obstoječ drevored v parku. Za  
gibalno ovirane osebe je bila dodana rampa blažjega naklona  
v obliki cikcaka.



Slika 13. Gradnja izhoda iz podhoda.

Kolesarji se v zadnjem delu od skupne osrednje poti ločijo  
in se po svoji rampi navežejo na preostale kolesarske poti v  
Tivoliju.

Tlaki znotraj podhoda potekajo v naklonu 3,5 %, saj smo s tem  
dosegli navezavo na pot na strani Ilirije in hkrati največjo mož-  
no višino tlaka na izstopu iz podhoda, kar nam je omogočilo  
manjše naklone navezave na obstoječe poti v Tivoliju. Višinska  
razlika do obstoječih poti v parku Tivoli tako znaša 3,45 m in  
smo jo premostili z za kolesarje še sprejemljivo rampo naklona  
8,1 %. Za gibalno ovirane osebe je bila dodana rampa naklona  
6,4 %.

## 6 SKLEP

Tehnologija gradnje podhoda je pomenila svojevrsten izziv. Za  
gradbene projekte ni ravno vsakdanje, da so zgrajeni na eni  
lokaciji in jih nato premaknejo na končno lokacijo. Pri opisa-

nem projektu smo bili primorani v tako rešitev, saj večje zapore  
železniškega prometa niso bile mogoče.

Lattermanov podhod tako predstavlja novo izvennivojsko kri-  
žanje z železnico in to v samem središču Ljubljane. Z novim  
podhodom se oživlja stara povezava mesta s parkom Tivoli.  
Lattermanova avenija bo tako postala ena glavnih vhodnih  
točk v mestni park in s tem velika pridobitev glavnega mesta  
in njegovih uporabnikov.

## 7 LITERATURA

Dr Jam Travels, spletna stran - <https://drjamtravels.blog/sl/tivoli-roznik-in-sisenski-hrib>, popotniški dnevnik Dr Jam Travels-  
Experiencing the Earth, 2023.

DRSC, TSC 07.114, Premostitveni objekti v območjih železniških  
prog, Direkcija Republike Slovenije za ceste, Ljubljana, 2001.

Elea iC, d. o. o, Podhod Latterman, etapna gradnja, Projektna  
dokumentacija IDZ, Izvedbeni načrt, 2021.

Elea iC, d. o. o, Podhod Latterman, Projektna dokumentacija  
IDZ, Izvedbeni načrt, 2022.

SIST, SIST EN 1991-2: 2004, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije –  
2. del: Prometna obtežba mostov, Slovenski inštitut za standar-  
dizacijo, Ljubljana, 2004.

SOFISTIK, SOFISTIK AG, Flataustr. 14, 90411 Nürnberg, 2020.

UL RS, Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Uradni  
list RS, št. 92/10, 2010.

ZRSVN, Projektni in drugi pogoji v postopku pridobitve grad-  
benega dovoljenja št.: 3562-0724/2021-16, Zavod Republike  
Slovenija za varstvo narave, Ljubljana, 2023.

ZVKDS, Kulturnovarstveni pogoji št.: 35102-0954/2021-3, Zavod  
za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Ljubljana 2022.

# 14. MEDNARODNA KONFERENCA O PREDORIH IN PODZEMNIH OBJEKTIH



**Slika 1.** Konferenco je odprl predsednik ITA Slovenija Angelo Žigon.

Slovensko društvo za podzemne gradnje, ITA Slovenija, je v sodelovanju z Inženirsko zbornico Slovenije organiziralo že **14. Mednarodno konferenco o predorih in podzemnih objektih**. Dogodek, ki je bil med **15. in 17. novembrom** v Ljubljani, je bil razdeljen na delavnico, predavanja in strokovno ekskurzijo. Letošnjo konferenco je obiskalo približno 180 inženirjev, strokovnjakov in študentov gradbeništva. Prva dva dneva so se udeleženci izobraževali v hotelu Austria Trend, zadnji dan pa na gradbišču drugega tira železniške proge Divača-Koper.

Sredino delavnico o vzdrževanju železniške predorske infrastrukture je odprl predsednik ITA Slovenije **Angelo Žigon**, ki je poudaril, da se trenutno gradi veliko število predorov, ki bodo v prihodnosti potrebovali vzdrževanje. Oder so nato zavzeli tuji strokovnjaki, med drugim tudi **Farid Achha**, vodja oddelka za predore v podjetju Tran-



**Slika 2.** Srečanje mladih članov na delavnici.

sport for London, ki vodi vzdrževanje londonske podzemne železnice. Predstavil je sodobne pristope dela na tem obsežnem omrežju in najstarejši podzemni železnici na svetu. V popoldanskem terminu so se v sosednji dvorani srečali mladi člani ITA Slovenija, ki so se tudi sami preizkusili v projektiranju podzemne železnice in njene umestitve v prostor.

Na osrednjem dnevu konference, **16. novembra**, je navzoče prvi pozdravil predsednik ITA Slovenije **Angelo Žigon**. Navzoče je nato pozdravil tudi državni sekretar z ministrstva za infrastrukturo mag. **Andrej Rajh**. Sledil mu je častni gost, predsednik svetovnega združenja ITA-AITES, **Arnold Dix**, ki je predstavil pogoje za pravičnejše pogodbe v predorogradnji. Zadnji v sklopu je dvorano naslovil **Rick Lovat**, direktor podjetja Lovat Tunneling Solutions, ki je govoril o prednostih in izzivih gradnje pre-

dorov s tehnologijo TBM. Čez dan je oder gostil še 11 predavateljev, med njimi pet tujih strokovnjakov. Program je bil tematsko razdeljen na tri sklope, in sicer gradbene materiale, primere dobrih praks z gradbišč in inovacije v gradbeništvu.

Uradni del konference se je zaključil z okroglo mizo na temo gradbenih pogodb za izgradnjo predorov. V enournem pogovoru med prof. Arnoldom Dixom (pred. ITA-AITES), Angelom Žigonom (predsednik ITA Slovenija), Markom Brezigarjem (2TDK), Kristjanom Mugerlijem (Kolektor) in Anjo Hočevnar (DRSI) so sodelujoči izmenjali mnenja in poglede na trenutno gradbeno zakonodajo ter se strinjali,

da je na tem področju v Sloveniji še veliko priložnosti za napredek. Udeleženci so dan sklenili s svečano večerjo in druženjem ob glasbeni spremljavi Neishe.

Po dveh dneh bogatega programa v hotelu so se obiskovalci konference odpravili še na teren, kjer so si ogledali eno najbolj zanimivih gradbišč pri nas, drugi tir železniške proge Divača-Koper. Prvi postanek skupine je bil na info točki na **Klancu pri Kozini**, kjer so se predvsem tuji gostje seznanili z obširnostjo projekta in izvedeli več o zahtevni gradnji na kraškem terenu. Ekскурzija se je nadaljevala v predoru T8 in se zaključila s kosilom v restavraciji Brič.



**Slika 3.** Osrednji dan konference.



**Slika 4.** Okrogla miza o pogodbah pri gradnji tunelov.



**Sliki 5 in 6.** Strokovna ekskurzija na drugem tiru železniške proge Divača-Koper.

**Avtorji poročila: Člani ITA Slovenija**

Fotografije: Tamara Vidmar

## 34. MIŠIČEV VODARSKI DAN – strokovni posvet slovenskih vodarjev



**Slika 1.** Uvodni nagovor soorganizatorja direktorja VGP Drava Ptuj, d. o. o., g. Boruta Roškarja.



**Slika 2.** Pozdravni nagovor direktorice Direkcije RS za vode, mag. Neže Kodre.



**Slika 3.** Pozdravni nagovor predstavnika MNVP, mag. Luke Štravsca.

Organizatorja Vodnogospodarski biro Maribor, d. o. o., in VGP Drava Ptuj, d. o. o., sta v sodelovanju z Ministrstvom za naravne vire in prostor (MNVP) ter Direkcijo RS za vode (DRSV) 6. decembra izvedla že 34. Mišičev vodarski dan (MVD).

Posveta se je udeležilo več kot 350 strokovnjakov vodnogospodarskih, projektantskih in raziskovalnih organizacij, javnih in upravnih služb ter vseh, ki se kakorkoli ukvarjajo z upravljanjem, urejanjem in varovanjem voda.

Vodilna tema posveta so bile **katastrofalne poplave**, ki so lani avgusta prizadele velik del Slovenije. Na podlagi prikaza poplavnih dogodkov so bila podana razmišljanja o možnem obvladovanju poplavne ogroženosti v prihodnosti. Prikazane so bile posledice poplav na posameznih vodnogospodarskih

objektih na porečjih Meže, Savinje in Mure. Predstavljena je bila tehnologija satelitskega snemanja slovenskega satelita s poudarkom na snemanju poplav.

Posebna tema je bila namenjena **hudourniškim poplavam** s poudarkom na pomenu urejanja povirij.

V okviru predstavitev **količinskega in kakovostnega stanja podzemnih vod** v Sloveniji je bilo prikazano kemijsko stanje pomembnejših vodonosnikov v Sloveniji. Žal so še vedno najbolj obremenjeni sicer izdatni vodonosniki z medzrnsko poroznostjo v Savinjski, Dravski in Murski kotlini.

Prikazan je bil tudi pregled vodnih virov za dopolnilno oskrbo slovenske Obale s pitno vodo, ki se je v preteklih letih pokazala za nezadostno.





**Slika 4.** Udeleženci 34. Mišičevega vodarskega dne v Narodnem domu v Mariboru.

Četrta tema s predstavitvijo **aktualnih projektov s področja upravljanja in urejanja voda** je stalnica Mišičevih vodarskih dni. Izmenjava informacij o aktivnostih, izkušnjah in znanjih je predstavljala bistvo priprave prispevkov v zadnjem sklopu posveta.

Na razpisane teme smo prejeli 27 strokovnih prispevkov, ki so objavljeni v tiskanem zborniku in na spletni strani organizatorja.

Na predvečer Mišičevega vodarskega dne je bila organizirana okrogla miza na temo **Vodarska stroka o celostnem načrtovanju ukrepov za večjo poplavno varnost**. Na okrogli mizi, ki jo je povezoval predstavnik organizatorja mag. Smiljan Juvan, so sodelovali predsednik sveta za vode mag. Rok Fazarinc, član sveta za vode dr. Primož Banovec, direktorica DRSV mag. Neža Kodre in predstavnik MNVP mag. Luka Štravs. Okrogle mize se je udeležilo 30 vabljenih strokovnjakov, ki se ukvarjajo z načrtovanjem urejanja voda.

Po temeljiti razpravi so bili pripravljene zaključki okrogle mize:

- Po izvedbi interventnih ukrepov, ki so bili z izjemno organiziranostjo in solidarnostjo izvedeni z namenom zavarovanja ljudi in premoženja, bo treba pristopiti k sanaciji poškodovane vodne infrastrukture. Ukrepi morajo biti načrtovani celostno, z obravnavo celotnih porečij, z vključevanjem vseh vidikov pojavnosti vode v prostoru.

- Potrebna je izdelava hidrološko-hidravličnih študij na temo zmanjšanja poplavne ogroženosti za posamezna porečja.
- Glede na omejeno število razpoložljivih strokovnjakov bo treba pristopiti k izdelavi strategije razvoja kadrov na področju vodarstva s poudarkom na vseživljenjskem učenju.

**Predsednik organizacijskega odbora MVD**  
**mag. Smiljan Juvan, univ. dipl. inž. grad.**

Fotografije: Šimen Zupančič

# PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2024

SEMINAR	IZPIT
12. - 14. 02. 2024	19.03. do 26.03.2024
15. - 17. 04. 2024	21.05. do 28.05.2024
14. - 16. 10. 2024	19.11. do 26.11.2024

## A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana**;

Telefon: (01) 52-40-200; e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

**Uradne ure:** od ponedeljka do četrтка od 09.00 do 14.00 ure; v petek ni uradnih ur za stranke!

Pripravljalni seminar bo za:

- Pooblašcene inženirje gradbene stroke**
- Vodje del za področje gradbene stroke**

Predavanja bodo iz naslednjih predmetov izpitnega programa:

- Predpisi s področja graditve objektov, urejanja prostora, arhitekturne in inženirske dejavnosti, zborničnega sistema ter osnov varstva okolja in splošnega upravnega postopka**
- Investicijski procesi in vodenje projektov**
- Varstvo zdravja in življenja ljudi ter varstvo okolja pri graditvi objektov**
- Področni predpisi in standardizacija s področja graditve objektov**

**Cena** za udeležbo na seminarju in za literaturo znaša 685,54 EUR z DDV.

Kandidati lahko poslušajo tudi zgolj posamezno predavanje v okviru rednih seminarjev, cena za obisk posameznega predavanja je 137,11 EUR z DDV.

V cenah so všteti tudi odmori za kavo.

Seminarji načeloma potekajo v predavalnici, v primeru višje sile se izvedejo kot video konferenca. Vabilo na seminar z urnikom in vsemi ustreznimi navodili prejme vsak udeleženec teden dni pred začetkom predavanj.

**Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi na poslovni račun ZDGITS: SI56 0201 7001 5398 955.**

Prijavo je potrebno posredovati organizatorju (ZDGITS) na e-naslov [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net) najmanj **7 dni pred začetkom** seminarja!

Prijavni obrazec je objavljen na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

## B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpiti in izpitnih programih je mogoče dobiti na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek in petek od 8.00 do 12.00 ure, torek od 12.00 do 16.00 ure), na spletni strani IZS ([www.izs.si](http://www.izs.si)) ali po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure).

# FOTOREPORTAŽA RUŠENJE JUŽNEGA DELA ŽELEZNIŠKEGA NADVOZA NAD DUNAJSKO CESTO V LJUBLJANI



*Slika 1. Pogled na gradbišče v času izvedbe rušitvenih del na južnem delu nadvoza čez Dunajsko cesto v Ljubljani.*

**Lokacija:** Dunajska cesta v Ljubljani

**Investitor:** Ministrstvo za infrastrukturo, Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo

**Projektant arhitekture:** Elea iC, d. o. o.

**Projektant gradbenih konstrukcij:** Tiring, d. o. o., in Elea iC, d. o. o.

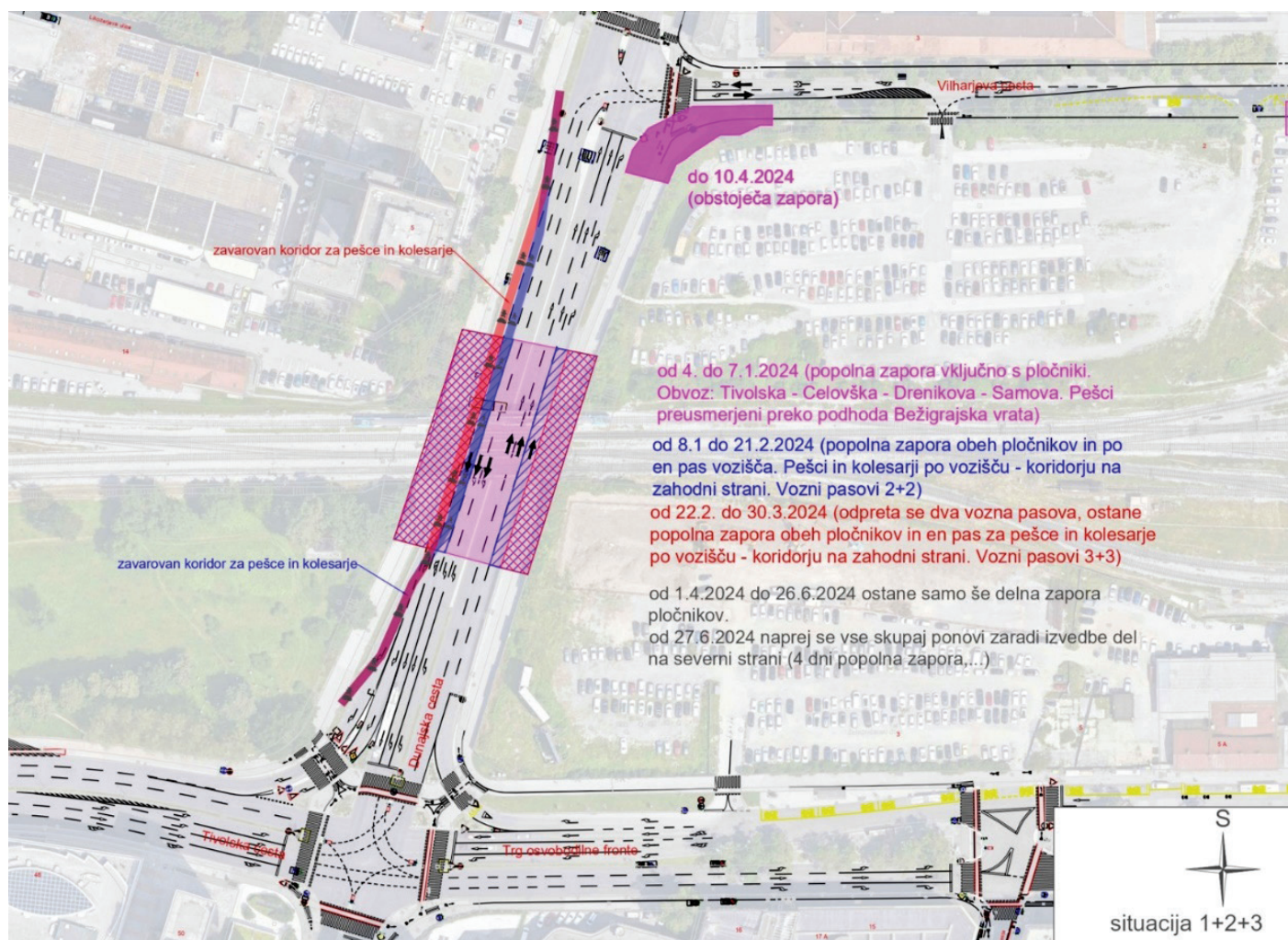
**Inženir:** DRI upravljanje investicij, d. o. o.

**Izvajalec:** Konzorcij: CGP, d. d. (vodilni partner), SŽ-ŽGP Ljubljana, d. d., GH Holding, d. o. o., in Gorenjska gradbena družba, d. d.

V sklopu nadgradnje železniške infrastrukture na območju železniške postaje Ljubljana je v fazi A predvidena rušitev obstoječega in gradnja nadomestnega železniškega nadvoza čez Dunajsko cesto v Ljubljani. Obstoječi objekt je omogočal povezavo štirih tirov, po njegovi odstranitvi pa bo na tem mestu stal nov nadvoz, ki bo imel vzpostavljenih šest tirov.

Obstoječa sovprežna konstrukcija je bila sestavljena iz petih vzdolžnih jeklenih nosilcev (dva zunanja in trije notranji) s spremenljivo višino. Jekleni nosilci so nalegali na krajne opornike in vmesne jeklene stebre. Med jeklenimi nosilci je bila prednapeta armiranobetonska (AB) plošča, ki je služila kot podlaga za gramozno gredo in tire. Vzdolžni nosilci so bili med seboj povezani s prečnimi jeklenimi nosilci. Krajna opornika sta bila AB-zidova spremenljive debeline in zaključena z vzporednimi križnimi zidovi.

Pred rušenjem južnega dela nadvoza sta bila odstranjena obstoječa dva tira (vključno z odstranitvijo gramozne grede) in izvedene navezave primorske, gorenjske in kamniške proge na preostala dva tira na severni strani obstoječega nadvoza. V sklopu pripravljanih del je bil zaradi zmanjšane obsega prevozov potniških vlakov na postaji Ljubljana Šiška izveden začasni peron za potniške vlake, ki prihajajo z gorenjske in kamniške proge. Zaradi povezave postaje Ljubljana Šiška z glavno železniško postajo je bila urejena linija LPP. Zaradi zavarovanja tirov, ki potekajo po severni strani nadvoza, so bili na obeh straneh nadvoza izvedeni AB-piloti.



**Slika 2.** Predvidene zapore Dunajske ceste za izvedbo rušenja in gradnjo nadomestnega železniškega nadvoza čez Dunajsko cesto v Ljubljani.

Po izvedbi pripravljanih del se je uredila štiridnevna popolna zapora Dunajske ceste na območju železniškega nadvoza, in sicer od 4. do 7. januarja 2024. Rušenje južnega dela nadvoza je potekalo v obratnem vrstnem redu, kot je potekala gradnja. Najprej so se odstranili nenosilni elementi (pripravljala dela), nato pa nosilni elementi (prednapeta AB-plošča, prečni nosilci, glavni vzdolžni nosilci ter vmesni in krajni oporniki). Prednapeta AB-plošča zunanjega polja (med zunanjim in notranjim vzdolžnim jeklenim nosilcem) se je razrezala na osem segmentov širine 2,40 m in dolžine od 3,80 do 6,80 m. V posamezno polje so bile zvrtni štiri luknje, ki so kasneje služile za pritrditev bremenskih verig in dvig. Prednapeta AB-plošča se je na krajnih opornikih rezala z diamantno žično žago z namenom, da se sprostijo prednapeti kabli. Na drugih mestih je bil razrez izveden z rezalkami za beton. Po razrezu betona se je posamezno polje plošče dvignilo z avtodvigalom in odložilo na preklopnik. Najprej se je odstranila betonska plošča sredinskega polja, nato pa betonski plošči s sosednjih polj. Krajni plošči sta bili odstranjeni s pikiranjem po odstranitvi sredinskega dela jeklenega nosilca.



**Slika 3.** Pogled na pritrditev prednapete AB-plošče na avtodvigalo.

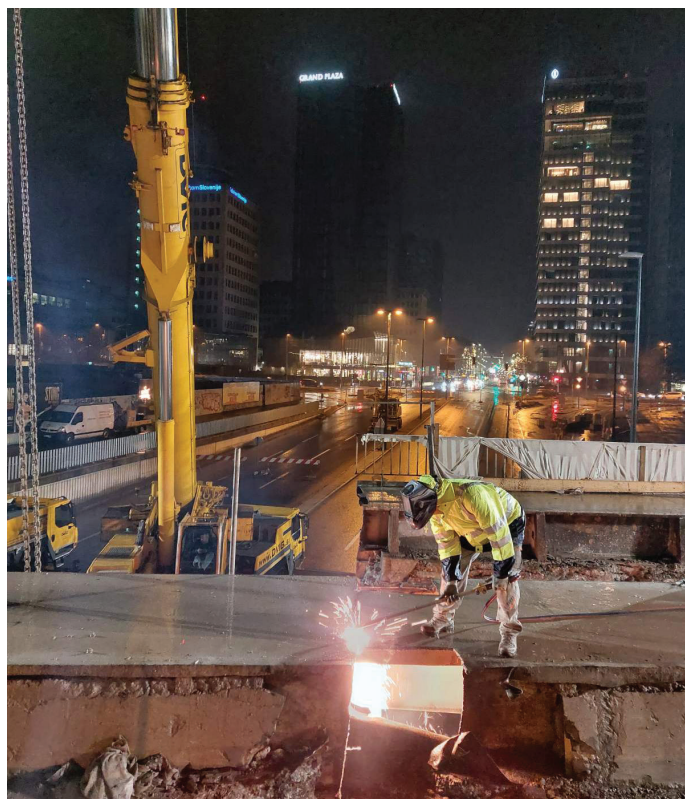


**Slika 4.** Sovprežna konstrukcija z vzdolžnimi in prečnimi jeklenimi nosilci in prednapeto AB-ploščo.

Po odstranitvi prednapetih AB-plošč sredinskih polj je sledila odstranitev sredinskega dela jeklenega nosilca. Najprej so bila označena mesta rezanja in mesta vrtanja lukenj, skozi katere so se napele bremenske verige. Nosilec je bil predviden za razrez na tri dele, na krajna dela dolžine od 13,10 do 13,40 m in sredinski del dolžine 19,00 m. Sredinski del jeklenega nosilca se je z bremenskimi verigami pritrtil na dve avtodvigali. Po pritrditvi je sledilo plamensko rezanje jeklene konstrukcije. Celoten sredinski del jeklenega nosilca se je odložil na tla, kjer je bil zaradi lažjega transporta razrezan še na dva dela in odpeljan na deponijo.



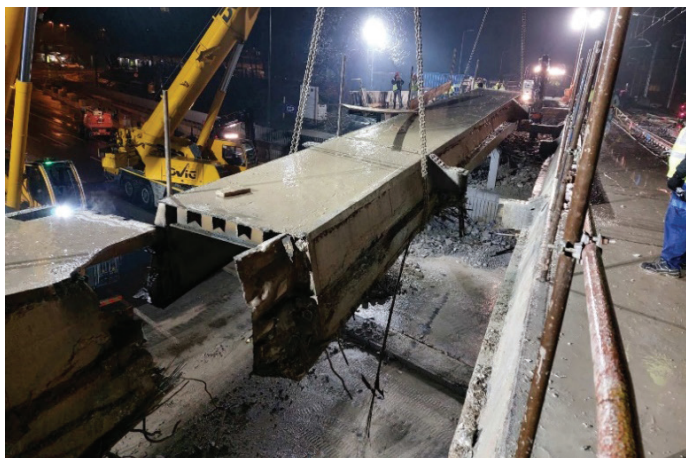
**Slika 5.** Rezanje prednapete AB-plošče s krožno žago.



**Slika 6.** Plamensko rezanje jeklenega nosilca.

Po odstranitvi krajnih prednapetih AB-plošč s pikiranjem se je preostanek jeklenega nosilca pritrtilo na avtodvigalo, odrezalo in naložilo na preklonnik za odvoz na deponijo. Nato sta se odstranila še jeklena stebra pod jeklenim nosilcem.

Sledila je odstranitev prednapete AB-plošče in jeklenega dela konstrukcije v notranjem polju, tj. med dvema notranjima vzdolžnima nosilcema. Postopek dela je bil enak kot pri odstranjevanju zunanega polja. Po odstranitvi prednapete AB-plošče in dveh jeklenih nosilcev je sledila odstranitev krajin AB-opornikov in podpornih zidov med cestiščem in hodnikom za kolesarje in pešce. Zaradi zagotavljanja stabilnosti in varovanja sosednjega tira so bili predhodno v medtirju izvedeni AB-piloti. Krajna opornika in podporna zidova se je porušilo s pikiranjem in odpeljalo na deponijo.



**Slika 7.** Odstranjevanje srednjega polja vmesnega jeklene-ga nosilca.



**Slika 8.** Pikiranje podpornega zidu med cestiščem in hodnikom za kolesarje in pešce.

Ko so bili odstranjeni vsi deli konstrukcije, je bila končana popolna zapora Dunajske ceste. Uredila se je delna zapora ceste, in sicer tako, da sta aktivna po dva pasova v vsako smer, trajala pa bo predvidoma od 8. januarja do 21. februarja 2024. Poleg delne zapore za cestni promet se je uredila tudi ločena površina za kolesarje in pešce na zahodni strani objekta, ki je od cestišča ločena z betonsko varnostno ograjo. Po vzpostavitvi delne zapore se dela nadaljujejo z izvedbo globokega temeljenja krajin opornikov in vmesnih podpor.



**Slika 9.** Pogled na ureditev železniškega in cestnega prometa v času gradnje južnega dela železniškega nadvoza čez Dunajsko cesto v Ljubljani.

**Avtor fotoreportaže:** Direkcija RS za infrastrukturo

# NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Rok Pristavec**, Primerjalna analiza trga stanovanjskih nepremičnin v občinah Vrhnika, Logatec in Postojna v obdobju 2010 - 2022, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153405&lang=slv>

**Patricija Kastelic**, Potencial uporabe blata iz čistilnih naprav v geotehničnih kompozitih, mentor prof. dr. Janko Logar, somentorja asist. dr. Jasna Smolar in dr. Primož Pavšič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153304>

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Minca Čufer**, Informacijske podlage za ocenjevanje tržne vrednosti stanovanjskih nepremičnin v mestni občini Celje, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153303>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smeri Gradbene konstrukcije, Geotehnika-hidrotehnika, Nizke gradnje)

**Amir Karadžić**, Vpliv modelnih negotovosti na potisno analizo okvirne armiranobetonske stavbe, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor doc. dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153378>

**Davor Kaučič**, Razvoj postopkov za projektiranje z iQwood lesenimi paneli, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor dr. Jurij Jančar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153376>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

**Matej Lahne**, Analiza vpliva podnebnih sprememb na hidrološke procese v porečju Save do vodomerne postaje Litija, mentor doc. dr. Nejc Bezak, somentorica prof. dr. Mojca Šraj; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153165>

**Nina Poglič**, Vrednotenje rešitev za ravnanje z odpadno vodo v planinskih kočah z metodo analize življenjskega cikla, mentorica izr. prof. dr. Nataša Atanasova, somentorja doc. dr. Darja Istenič in Maximilian Grau; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153168>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

**Anja Rupčić**, Odvisnost dinamike radona od gradbenotehničnih karakteristik in režima dela v izbranih stavbah vzgojno-varstvenih zavodov v Sloveniji in Črni gori, mentorica izr. prof. dr. Mateja Dovjak, somentorica prof. dr. Janja Vaupotič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=153373>

### III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

**Blaž Kurent**, Verjetnostno modeliranje in posodabljanje modelov visokih lesenih stavb, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentorica dr. Noemi Friedman; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=152918>

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

### I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Ksenija Verbič**, Organizacija gradbišča in terminsko planiranje rekonstrukcije objekta Generator v Celju, mentor prof. dr. Uroš Klanšek; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=86118&lang=slv>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Angel Machevski**, Avtomatizacija v projektiranju mostnih konstrukcij z uporabo parametričnega modeliranja znotraj BIM delotoka, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Dušan Rožič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=86536&lang=slv>

**Luka Papa**, Analiza hidroloških zahtev za načrtovanje novega sistema odvajanja meteornih voda v Brežicah, mentorica izr. prof. dr. Janja Kramer Stajniko, somentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=86437&lang=slv>

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### INTERDISCIPLINARNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

#### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM

**Matjaž Hozjan**, Vpliv energetske učinkovitosti na stroške obratovanja in vzdrževanja večstanovanjske stavbe, mentorja izr. prof. dr. Nataša Šuman in prof. dr. Žan Jan Oplotnik; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=86287&lang=slv>

Rubriko ureja **Eva Okorn**, [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)

**26.-29.2.2024**

**ICBMC 2024 — 9th International Conference on Building Materials and Construction**  
Tokio, Japonska  
[www.icbmc.org](http://www.icbmc.org)

**18.-20.3.2024**

**Konferenca »Podnebne spremembe in vodooskrba Istre«**  
Pula, Hrvaška  
<https://vode-istre.eu/>

**4.-5.4.2024**

**CIGOS — 7th International Conference series on Geotechnics, Civil Engineering and Structures**  
Hošiminh, Vietnam  
<https://cigos2024.sciencesconf.org/>

**19.-25.4.2024**

**WTC 2024 - World Tunnel Congress 2024**  
Shenzhen, Kitajska  
[www.wtc2024.cn](http://www.wtc2024.cn)

**24.-26.4.2024**

**ICSCER 2024 - 8th International Conference on Structure and Civil Engineering Research**  
Madrid, Španija  
[www.icscer.org](http://www.icscer.org)

**25.-27.4.2024**

**ICGE'24 — International Conference on Geotechnical Engineering**  
Hammamet, Tunizija  
[www.icge24.com/](http://www.icge24.com/)

**28.-30.5.2024**

**2nd annual Conference on Foundation Decarbonization and Re-use**  
Amsterdam, Nizozemska  
<https://foundationreuse.com/>

**18.-21.6.2024**

**7th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization**  
Barcelona, Španija  
<https://isc7.cimne.com>

**30.6.-5.7.2024**

**WCEE2024 - 18th World Conference on Earthquake Engineering**  
Milano, Italija  
[www.wcee2024.it](http://www.wcee2024.it)

**4.-6.7.2024**

**EGRWSE 2024 - 5th Environmental Geotechnology, Recycled Waste Materials and Sustainable Engineering**  
Varšava, Poljska  
<https://iil.sggw.edu.pl/egrwse-2024/>

**8.-12.7.2024**

**14th International Symposium on Landslides**  
Chambéry, Francija  
[www.isl2024.com/](http://www.isl2024.com/)

**26.-30.8.2024**

**ECSMGE 24 – XVIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**  
Lizbona, Portugalska  
<https://www.ecsmge-2024.com>

**23.-25.9.2024**

**CDA Conference 2024 - Canadian Dam Association 2024 Annual Conference & Exhibition**  
Niagara Falls, Ontario, Kanada  
<https://cda.ca/events/2024/09/23/cda-conference-2024>

**23.-27.9.2024**

**IS-Grenoble 2024 — International Symposium on Geomechanics from Micro to Macro**  
Grenoble, Francija  
<https://is-grenoble2024.sciencesconf.org/>

**29.9.-3.10.2024**

**92nd ICOLD Annual Meeting and International Symposium**  
New Delhi, Indija  
[www.icold2024.org/#/home](http://www.icold2024.org/#/home)

**20.-22.11.2024**

**5th International Conference on Transportation Geotechnics**  
Sydney, Avstralija  
[www.ictg2024.com.au/](http://www.ictg2024.com.au/)

**2.-5.12.2024**

**Deep Mixing 2024**  
Jokohama, Japonska  
<https://dm2024.info/>

**9.-15.5.2025**

**WTC 2025 — World Tunnel Congress**  
Stockholm, Švedska  
[www.wtc2025.se](http://www.wtc2025.se)

Rubriko ureja **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)