





Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, 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: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukič
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
Ana Brunčič
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 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

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojenca 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteta DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, januar 2019, letnik 68, str. 1-24

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 presledki 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. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja 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: janez.duhovnik@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

Nagrajeni gradbeniki

stran 2

MARJAN PIPENBAHER, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. –
PUHOVA NAGRADA ZA VRHUNSKÉ DOSEŽKE
NA PODROČJU PROJEKTIRANJA MOSTOV 2018

Jubilej

stran 3

BORIS PEČENKO, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 80 LET

Članki • Papers

stran 6

Iztok Turk, univ. dipl. inž. grad.
Matej Oman, univ. dipl. inž. grad.
Vit Ljubetič, inž. grad.

**INOVATIVNE IN PRILAGOJENE REŠITVE OJAČITVE VIADUKTOV RAVBARKOMANDA
MED LETOMA 2017 IN 2019**

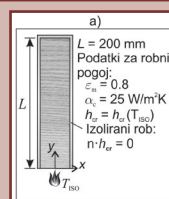
INNOVATIVE AND MODIFIED SOLUTIONS OF
STRENGTHENING VIADUCTS RAVBARKOMANDA
IN YEARS 2017-2019

stran 13

asist. dr. Robert Pečenko, univ. dipl. inž. grad.

**DVOFAZNI TOPLOTNO-PIROLIZNI MODEL ZA DOLOČITEV
OGLENENJA LESA**

TWO-PHASE THERMO-PYROLYSIS MODEL
TO DETERMINE CHARRING OF WOOD



Novice iz DGIT

stran 19

Marija Rataj, dipl. inž. grad.
**DRUŠTVO GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV CELJE
V ZADNJEM ŠESTLETNEM OBDOBJU**

Poročilo s strokovnega srečanja

stran 21

mag. Mojca Ravnikar Turk, univ. dipl. inž. grad.
Suzana Svetličič, univ. dipl. inž. geol.
19. ŠUKLJETOV DAN SLOVENSKEGA GEOTEHNIŠKEGA DRUŠTVA

Obvestila ZDGITS

stran 24

**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA
STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2019**

Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Rušenje nekdanje stavbe FKKT UL v Ljubljani, foto izr. prof. dr. Sebastijan Bratina, univ. dipl. inž. grad.

MARJAN PIPENBAHER, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – PUHOVA NAGRADA ZA VRHUNSKÉ DOSEŽKE NA PODROČJU PROJEKTIRANJA MOSTOV 2018



Puhovo nagrado za vrhunske dosežke pri projektiranju mostov je 27. novembra 2018 prejel gradbeni konstruktor Marjan Pipenbaher, univ. dipl. inž. grad.

Marjan Pipenbaher je soustanovitelj, direktor in vodilni projektant v projektantskem podjetju Ponting inženirski biro ter ustanovitelj in direktor specializiranega projektantskega razvojnega podjetja Pipenbaher Consulting Engineers. Podjetjema je uspelo preživeti krizo po letu 2008, se v borbi s svetovno renomiranimi tujimi projektantskimi podjetji prebiti v tujino in povečati ugled slovenskega gradbeništva. Marjan Pipenbaher je slovenski javnosti poznan predvsem kot projektant najznamenitejšega slovenskega viadukta Črni Kal, manj pa je znano, da je v zadnjih letih s svojimi rešitvami sodeloval in zmagal na številnih mednarodnih in domačih natečajih ter projektiral tudi dva več kot 600 metrov dolga mostova Nissibi in Komurhan s poševnimi zategami in glavnim razponom 400 metrov čez reko Evfrat v Turčiji, največji železniški most dolžine 975 metrov na hitri železniški progi Tel Aviv–Jeruzalem v Izraelu, potresno izolirani viadukt dolžine 600 metrov Viaduc Sur Oued Menar v Alžiru in enega od prihodnjih največjih ter tehnološko in izvedbeno najzahtevnejših mostov v Evropi – most s šestimi piloni,

kopno–polotok Pelješac na Hrvaškem, dolg 2404 metrov. Vse navedene mostove odlikujejo inovativne, visokotehnološke in avtorsko zaščitene tehnične rešitve.

Marjan Pipenbaher je s svojimi več kot 200 projekti mostov, viaduktov in drugih inženirskih objektov dokazal, da mostovi še zdaleč niso samo inženirska stvaritev, ampak tudi umetnost konstruiranja, zato mu je zelo pomembno, kako so umeščeni v prostor in kako z njihovo gradnjo posega v naravno okolje. Pipenbaher je član najpomembnejših domačih in mednarodnih strokovnih združenj, za svoje strokovno in pedagoško delo je dobil tudi več domačih in tujih priznanj, med njimi evropsko nagrado za jeklene konstrukcije za most za pešce in kolesarje čez reko Dravo na Ptuj, priznanje izraelskega združenja gradbenih inženirjev za izjemne dosežke na področju izvedbe infrastrukture/mostov za že omenjeni projekt železniškega mostu, dvakrat nagrado Inženirske zbornice Slovenije za izjemne oziroma večkratne izjemne inženirske dosežke, Univerza v Mariboru pa mu je kot vabljenemu predavatelju na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo podelila zlato plaketo za izjemne dosežke na področju projektiranja gradbenih konstrukcij in kakovostno delo na pedagoškem področju.

Marjan Pipenbaher se je rodil 1957. v Ljubljani. Osnovno šolo je obiskoval v Slovenski Bistrici, srednjo pa na II. gimnaziji v Mariboru. Diplomiral je leta 1981 na Fakulteti za gradbeništvo v Mariboru, kjer je tudi nadaljeval podiplomski študij.

Leta 1980 se je zaposlil v Gradisovem projektivnem biroju, kjer je sodeloval pri projektiranju več velikih mostov in viaduktov, ki jih je izvedlo podjetje Gradis v Sloveniji in tujini.

V obdobju od 1984 do 1990 je deloval tudi na Fakulteti za gradbeništvo kot asistent pri predmetih Statika linijskih konstrukcij, Masivne konstrukcije in Prednapeti beton.

Leta 1990 je skupaj s partnerjem dr. Viktorjem Markljem ustanovil Inženirski biro Ponting, kjer je zaposlen kot vodilni projektant in direktor družbe. Mednarodno renomirani inženirski biro se ukvarja predvsem s projektiranjem

zahtevnih mostov, globokih temeljnj, stolpnic in drugih zahtevnih inženirskih objektov.

Leta 2002 je ustanovil specializirano inženirsko konzultantsko podjetje Pipenbaher inženirji, ki je specializirano za projektiranje mostov velikih razponov in drugih zahtevnih inženirskih objektov, izvedbo specialnih nelinearnih dinamičnih analiz, projektiranje potresnih izolacij, globokih temeljnj in geotehničnih analiz, CFD-analiz (Computational Fluid Dynamic), dinamičnih analiz konstrukcij zaradi obtežb vetra ter pripravo in organiziranje testiranja mostov velikih razponov v vetrovnikih.

Je avtor in odgovorni projektant več kot 200 večjih mostov in viaduktov doma in v tujini, med njimi tudi največjega slovenskega viadukta Črni Kal, viadukta Peračica, dveh mostov čez reko Dravo, najvišjega in več kot 1000 m dolgega železniškega mostu v Izraelu – Bridge No. 10, viadukta Oued Menar v Alžiriji.

Je tudi avtor projektnih zasnov, odgovorni projektant ali neodvisni revident več mostov z velikimi razponi in s poševnimi zategami, med drugimi tudi:

- mostu Millennium s poševnimi zategami čez reko Moračo v Podgorici z razponom 150 m,
- dveh mostov čez reko Eufkrat v Turčiji z glavnim razponom 380 in 400 m,
- mostu Izmir bay bridge dolžine več kot 4000 m čez morski zaliv v Turčiji ter
- je avtor in odgovorni projektant mostu Pelješac z dolžino več kot 2400 m, z glavnimi razponi 5 x 285 m, ki bo po izgradnji predstavljal enega izmed petih največjih in izvedbeno najzahtevnejših evropskih mostov.

Pipenbaher je avtor več kot 100 strokovnih in znanstvenih člankov, objavljenih v domači in tuji strokovni literaturi, ter avtor več kot 50 ekspertiz in neodvisnih revizij.

Kot predavatelj na Fakulteti za gradbeništvo v Mariboru je bil mentor/somentor pri več kot 20 diplomskih/magistrskih nalogah s področja prenapetih betonskih konstrukcij in mostov.

Je pooblaščen projektant in revident z licencami slovenske in hrvaške inženirske zbornice ter član naslednjih domačih in mednarodnih strokovnih združenj:

- izredni član Inženirske akademije Slovenije
 - član Inženirske zbornice Slovenije
 - član Združenja za beton Slovenije
 - član IABSE – International Association for Bridge and Structural Engineering
 - član FIB – International Federation for Structural Concrete
 - član ACI – American Concrete Institute
- Prejel je več nagrad na domačih in mednarodnih natečajih, med njimi tudi:
- 1994: 2. nagrado na javnem natečaju za projekt mostu čez reko Drave v Mariboru
 - 1999: 1. nagrado na mednarodnem natečaju za most Verige čez zaliv Boke Kotorske v Črni gori
 - 2002: 1. nagrado na natečaju za projektno rešitev viadukta Črni Kal na avtocesti Ljubljana–Koper,
 - 2004: 1. nagrado na natečaju za ločni most čez reko Vipavo v Renčah, Slovenija
 - 2005: 2. nagrado na javnem natečaju za projekt mostu čez Dravo na Ptuj, Slovenija
 - 2006: 1. nagrado (soavtor) na mednarodnem natečaju za most čez Savo v Beogradu, Srbija

- 2014: 2. nagrado na mednarodnem natečaju za projekt mostu čez reko Donavo v Linzu, Avstrija
- 2017: 1. nagrado na javnem natečaju za brv za pešce čez reko Krko pri Lrči vasi, Slovenija
- 2018: 1. nagrado na javnem natečaju za avtocestni most čez reko Krko na avtocesti A2 Ljubljana–Obrežje pri Novem mestu, Slovenija
- 2018: nagradni odkup natečajne rešitve na mednarodnem javnem natečaju za projekt novega mostu čez reko Donavo v Budimpešti

Za svoje strokovno, raziskovalno in pedagoško delo na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo je prejel več domačih in tujih priznanj, med njimi tudi:

- 1999: ECCS, evropsko nagrado za jeklene konstrukcije/most za pešce in kolesarje čez reko Dravo na Ptuj, Slovenija
- 2004: zlato plaketo Univerze v Mariboru za izjemne dosežke na področju projektiranja gradbenih konstrukcij in kakovostno delo na pedagoškem področju

- 2004: IZS – nagrado Inženirske zbornice Slovenije za izjemne inženirske dosežke
- 2006: priznanje družbe DRC za raziskave v cestni in prometni stroki za izjemne inženirske dosežke na področju projektiranja premostitvenih objektov in velik prispevek k razvoju cestne stroke
- 2010: Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor/DGIT Maribor, priznanje, naziv inženir leta
- 2013: Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor/DGIT Maribor, naziv častni član za izjemne dosežke na področju razvoja v gradbeništvo
- 2017: nagrada Inženirske zbornice Slovenije za večkratne izjemne inženirske dosežke
- 2017: priznanje IACIE – priznanje izraelskega združenja gradbenih inženirjev za izjemne dosežke na področju izvedbe infrastrukture – mostov/za projekt železniškega mostu (Bridge no. 10) na novi hitri železniški progi Tel Aviv–Jeruzalem

Nagrajencu iskreno čestitamo!

BORIS PEČENKO, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 80 LET



Boris Pečenko, univ. dipl. inž. grad., je januarja 2019 dopolnil 80 let. Poklicno delo je kot mlad inženir začel opravljati pri Gradisu, kjer ga je tudi končal kot eden med vodilnimi delavci. Poleg zahtevnih nalog v takrat največjem slovenskem gradbenem podjetju je bil aktiven tudi v Zvezi gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije.

Za bralce Gradbenega vestnika je zapisal nekaj spominov.

Rodil sem se leta 1939 v Slovenj Gradcu. S staršema sem živel nekaj časa v Mariboru, od leta 1940 pa v Ljubljani. Po kapitulaciji Italije sem se s staršema začasno preselil na avstrijsko Koroško, od koder je izhajala moja mama. Po osvoboditvi sva se z mamo vrnila v Ljubljano oktobra 1945, oče pa se je malo prej vrnil iz taborišča Dachau.

Osnovno šolo sem obiskoval na Vadnici. Starša sta me nato vpisala na Klasično gimnazijo, kjer sem maturiral leta 1957. Kot posebnost za današnje čase lahko ugotovim,

da nas je od treh paralelk v prvi gimnaziji ostalo le za en razred in da nas je vseh 34 dijakov tudi maturiralo. Čeprav so bile obremenitve hude, nam je to v nadaljnjem življenju pogosto koristilo. Hkrati se je obrestoval tudi ves trud naših profesorjev.

Po maturi sem se odločil o nadaljnjem študiju med elektrotehniko in gradbeništvom. Končno sem se s še tremi sošolci vpisal na gradbeno fakulteto. Junija 1963 sem končal študij gradbeništva kot diplomirani gradbeni inženir.

Še istega leta sem se zaposlil pri GIP Gradis – gradbišče Ljubljana okolica in do odhoda na služnje vojaškega roka vodil manjše gradbišče treh stanovanjskih hiš. Na začetku leta 1964 sem odšel na služnje vojaškega roka ter se po vrnitvi februarja 1965 ponovno zaposlil pri isti poslovni enoti. Takrat sem prevzel vodenje gradbišča Kemične tovarne Yulon v Mostah, kar je bilo za tedanje razmere precej zahtevna naloga. To obdobje mi je

ostalo v spominu, ker smo se skupaj z investitorjem soočali s problemi, ki jih je za tedanji čas povzročala vrhunska tehnologija izdelave umetnih vlaken. Še bolj pa ostaja v spominu to leto zaradi začete radikalne gospodarske reforme, ki je ustavila razne gradnje, in so bili delavci čez noč na cesti. K sreči je naš objekt zaradi že plačane opreme imel prioriteto. Nekateri odpuščeni delavci so od drugod prihajali na naše gradbišče s prošnjo, da jih zaposlimo, tudi »samo za hrano«. Vsekakor so postale licitacije za pridobitev novih naročil »samomorilske«. V takih razmerah smo na licitaciji pridobili naročilo investitorja Emona za gradnjo visokoregalnega skladišča. Z dvoizmenskim delom in dobro organizacijo smo pravočasno dokončali objekt v zadovoljstvo investitorja ter si s tem odprli možnost, da gradimo večnamenski objekt s hladilnico, predelovalnimi prostori in takrat redkim računalniškim centrom. Tudi ta objekt smo zgradili pravočasno in v zadovoljstvo naročnika, ki je na osnovi teh izkušenj ostal naš naročnik tudi drugje po Sloveniji. Obenem sem že opravljal naloge tehničnega vodje v poslovnih enoti in se tako seznanil tudi z drugimi deli Gradisa in razmerami, v katerih so delovali. Vodil sem tudi gradnjo Toplarne v Šiški, kjer je bil najzahtevnejši del 120 m visok dimnik.

Potem me je poklical generalni direktor in mi rekel, da mi ponuja vodenje OGP – obrata gradbenih polizdelkov iz betona v Ljubljani. Za odločitev mi je dal čas do naslednjega dne. To ni bila posebna nagrada, ker je bil obrat zelo zastarel, z izgubo in brez dovoljenja za črpanje mineralnega agregata v bližnji gramoznici. Ko sem prevzel to nalogo, sem šele spoznal, v kako obupnem stanju je obrat. Tudi poslovanje obrata je imelo čisto drugačno logiko kot delovanje gradbišča. Še večje presenečenje je bila zame kvaliteta betona, ki je bila vsaj na gradbiščih, ki sem jih vodil, višja. Z veliko mero optimizma, napora in pripravljenostjo nekaterih novih sodelavcev, da sodelujejo pri sanaciji, smo ob finančni podpori matične družbe obnovili strojno opremo ter postavili centralno stolpno betonarno, ki je bila sad znanja strokovnjakov iz vseh delov Gradisa. V tistem času namreč nismo mogli dobiti dovoljenja za uvoz tako potrebne opreme. Ob tem podvigu smo se vsi veliko naučili.

Hkrati je bilo treba realizirati veljavno mednarodno pogodbo »joint venture« z italijansko družbo com. Angelo Velo, ki je vstopala v skupno družbo s svojim »knowhow« pri gradnji betonskih montažnih hal s prednapetimi strešnimi nosilci. Na moje veliko presenečenje

tehnična dokumentacija sploh ni bila usklajena z našimi standardi, ki so izhajali iz takratnih mednarodnih ISO-standardov. Z velikim trudom smo s projektanti iz Maribora in ob sodelovanju ZRMK rešili tudi ta problem. Prenos proizvodnega programa skupaj s prilagoditvijo na pri nas veljavne predpise je bil zelo uspešen in je takrat že TOZD OGP pripeljal na vrh uspešnosti v Gradisu.

Za tem sem prevzel vodenje službe za razvoj na centrali Gradisa, ki praktično sploh ni sodelovala z operativo oz. pomagala pri poslovanju družbe. Prevzel pa sem ekipo, ki je bila pripravljena pomagati reševati sistemske in vsakodnevne naloge iz širokega spektra problemov v tako velikem sistemu in seveda tudi tehnično knjižnico, ki je bila dobro založena s strokovno literaturo in je imela dve sposobni knjižničarki.

Za povrh sem dobil še nalogo, da vodim za tiste čase moderni računalniški center z velikim številom zaposlenih, ki smo jih potrebovali predvsem zaradi vnosa podatkov na luknjaste kartice.

Glede na svoje dosedanje izkušnje z več področij Gradisa sem poznal težave, ki so jih moji novi sodelavci pomagali uspešno reševati. To sodelovanje je v resnici zaživelo, ko smo skupaj rešili nekaj problemov. Uporabniki so spoznali tudi, da se je treba dodatno izobraževati, pri čemer so uspešno pomagale naša knjižnica in seveda obe knjižničarki.

Bili smo med prvimi, ki smo ustanovili raziskovalno enoto, s katero smo sodelovali pri pridobivanju denarnih sredstev iz sklada Raziskovalne skupnosti. Najobsežnejši je bil projekt Pridobivanje mineralnih agregatov v Sloveniji, ker je bilo odpiranje gramoznic že takrat vedno bolj omejeno.

Pojav prvih osebnih računalnikov sredi osemdesetih let je dal nov impulz računalništvu v gospodarstvu. Imeli smo možnost, da smo med prvimi nabavili deset osebnih računalnikov in s tem spodbudili interes tistih, ki so v tem videli prihodnost. Organizirani so bili interni tečajji računalništva, ki so se jih lahko udeležili vsi zainteresirani. Široke možnosti uporabe osebnih računalnikov so izzivale uporabo te opreme pri reševanju tekočih nalog in problemov. Žal ponekod vodilne strukture niso znale uporabiti ponujenega orodja.

Ker so se v Iraku odprle možnosti za gradbeno dejavnost, sem dobil nalogo, da organiziram službo za investicijska dela v tujini. Pri iskanju sodelavcev sem imel srečno roko, ker so mi z drugih oddelkov dali sodelavce,

ki so bili »težavnejši«. Boljših sodelavcev ne bi mogel dobiti. Prvi projekt je bila gradnja manjšega vojaškega objekta v okolici Bagdada, ki smo ga izpeljali skupaj z IMP Ljubljana. Zaradi dobrih rezultatov na tem objektu smo se udeležili licitacije oz. zbiranja ponudb s strani iraškega ministrstva za ceste in mostove na trasi avtoceste Bagdad–Basra. Poveljeni smo bili, ker smo ravno dokončali most čez reko Evfrat v Amari. Zaradi izbora ustrezne tehnologije gradnje in dobre organizacije smo izločili konkurenco. Po zaslugi ekipe Nizkih gradenj iz Maribora je bil projekt končan v roku in z dobrim finančnim rezultatom. Obnesla se je tudi delitev dela med ekipo v domovini in na gradbišču. Vse operativne probleme so reševali na gradbišču, vse stike glede drugih zadev pa smo vodili iz Ljubljane. Isti investitor nam je ob koncu del ponudil, da zgradimo še en most bližje Bagdadu, brez licitacije, vendar so bili finančni riziki preveliki in z NLB nismo našli primerne rešitve.

Po tem projektu sem bil izvoljen v kolektivni poslovodni organ Gradisa za področje razvoja.

V tem obdobju se je začela reorganizacija sistema Gradisa, ker je na osnovi sprejetega zakona TOZD postal samostojna družba. Za tedanji TOZD (temeljne organizacije združenega dela) je to zvenelo zelo privlačno, ker so lahko sami odločali o svojih dejanjih. Celotno premoženje Gradisa se je razdelilo med novonastale družbe. Vsi poskusi, ne samo Gradisa, ampak tudi drugih podobnih gospodarskih sistemov, da bi našli razumno obliko organizacije celotnega sistema, so bili neuspešni. Vsi avtorji tega zakona in seveda samostojni odločevalci v novonastalih družbah so pozabili, da posamezni deli prejšnjega sistema nimajo dovolj znanja in kadrov za delovanje na tako raznolikem področju, kot je gradbeništvo. Poleg tega ni bilo nikogar več, ki bi lahko v primeru problemov posameznega dela prejšnjega sistema uspešno pomagal prizadetim.

Ne glede na mnoge notranje probleme je bil Gradis cenjen po vsej nekdanji Jugoslaviji in tudi v tujini. Naše reference pri gradnji raznovrstnih objektov, posebno mostov in NE Krško, so bile dovolj, da so nas imeli za primerne sogovornike tako v Evropi kot tudi v ZDA, kjer nas je znana družba Bechtel povabila, da smo skupaj ponujali izgradnjo rafinerije v Kirkuku. Zaradi vojnih dogodkov je projekt propadel. V Evropi so nas pri KWU – nemškem združenju za gradnjo energetskega objekta – priznavali za primerne

partnerja ob morebitnem nadaljevanju sicer zaradi političnih razlogov prekinjene gradnje nuklearne elektrarne Buser v Iranu. S KWU smo sodelovali tudi pri začetnih razgovorih o izgradnji nuklearne elektrarne Prevlaka, za katero smo po naročilu Elektrogospodarstva Slovenije in Hrvaške pripravili idejne tehnološke rešitve za posamezne funkcionalne dele projekta.

Po osamosvojitvi se je povečal interes posameznih tujih podjetij iz Avstrije in Nemčije, s katerimi smo imeli zelo dolgo poslovne stike, da bi del njihovih stranskih dejavnosti, ki so pri njih zaradi previsokih stroškov za delovno silo postale nerentabilne, preselili v Slovenijo. Zato sem bil pristojen, da v okviru Gradisa ustanovim novo družbo Gradis Consult, d. o. o., ki naj bi prevzela organizacijo teh aktivnosti. Ekipa je bila minimalna, saj smo jo sestavljali le trije zaposleni; poleg mene še kolegica iz kadrovske službe, ki je poznala postopke v zvezi s pošiljanjem delavcev v tujino in posebej v ZRN ter vse človeške probleme, ki jih je bilo treba reševati, ter tajnica.

Vendar so nas sredi končnega dogovora leta 1991 presenetili vojni dogodki v domovini.

Zaradi mrtvila, ki je nastalo v zvezi z reorganizacijo oziroma razpadom Gradisa in dogodki v Sloveniji, sem prepričal direktorje družb, ki so zaposlovalle svoje delavce v ZRN, da so z družbeno pogodbo prenesli vsa pooblastila in tudi kapital v naši izpostavi v ZRN na to novo družbo in postali njeni lastniki.

Zaradi nastalega stanja smo bili prisiljeni takoj usmeriti vso dejavnost na probleme naših delavcev v Nemčiji, ki so bili čez noč odrezani od svojih družin. Pomagali smo jim, da so vzpostavili stike z njimi oz. jim omogočili vrnitev v domovino. Delovanje v ZRN smo nadaljevali, ker je naša vlada pridobila pravico do dodatnih delovnih dovoljenj zunaj takratnega jugoslovanskega kontingenta. Teh in drugih operativnih problemom v zvezi z našimi delavci se je lotila delovna skupina v okviru ministrstva za delo, v katero sem bil imenovan kot zastopnik družb z delavci v ZRN. Moja sodelavka pa je medtem vzpostavila dobre stike z ambasado BiH in reševala probleme s potnimi listinami ter drugimi težavami delavcev, ki so bili ločeni od svojih domov.

Delovna skupina ministrstva za delo je medtem s korektnim in poslovnim odnosom z nemško stranjo vzpostavila odnose, ki so omogočili, da smo sproti reševali mnoge formalne probleme. Delovanje v ZRN smo nadaljevali, vendar je kriza v ZRN pripomogla, da

je padla odločitev o likvidaciji naše izpostave, posebno zato, ker je interes naših sodelavcev v Nemčiji, da bi tam nadaljevali delo zaradi porasta naročil doma kot posledice velikih investicij v cestno infrastrukturo, in ker so si mnogi delavci iz drugih delov nekdanje Jugoslavije želeli vrniti domov.

Zopet sem bil v okviru Gradisa pristojen za izpeljavo likvidacije naše enote v ZRN. Na tem področju v našem okolju ni bilo nikogar, ki bi nam lahko pomagal, ker so take probleme reševali le v Beogradu. Od tam smo pridobili tudi vse izvorne dokumente o odnosih z ZRN na tem področju. Pri tem nam ni moglo pomagati niti Združenje INGRA iz Zagreba. Kljub vsemu mi je uspelo izpeljati vse zelo zapletene postopke likvidacije naše izpostave v Frankfurtu, sprostiti bančne garancije in devizna sredstva transferirati v domovino.

Konec leta 1999 sem predlagal Gradisovim podjetjem in SKB Inženiringu, ki je zaradi nepovrnjenih kreditov nekaterih naših podjetij postal solastnik Počitniškega naselja v Ankaranu, da se lotimo izgradnje prvega dela apartmajskega naselja s 65 luksuznimi apartmaji.

Od ideje do pridobitve vseh dovoljenj, projektov in izgradnje ter uporabnega dovoljenja in seveda prodaje vseh apartmajev smo z isto ekipo potrebovali le dve leti. Seveda je bila hkrati zgrajena komunalna infrastruktura tudi za drugo fazo projekta.

Po tem projektu sem se odločil za upokožitev, ker sem imel izpolnjene vse pogoje in ker so bile moje fizične in psihične rezerve porabljene.

S tem zapisom sem poskušal prikazati, da včasih gradbeništvo ni bila le gradnja večjih ali manjših, bolj ali manj zahtevnih zgradb, pač pa je bilo treba posegati tudi na druga področja in tega ne prepuščati bolj ali manj usposobljenim specialistom ali posrednikom. Zato smo morali pridobiti znanja, ki jih izobraževalne institucije ne morejo ponuditi. To so lahko omogočili le veliki gospodarski sistemi, in to ne le v gradbeništvu.

V Zvezo društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS) sem se vključil pred leti, ker mi je takratni glavni direktor to naročil z nalogo, naj po svoji moči pomagam pri delovanju ZDGITS. Odtlej sem sodeloval, če sem le utegnil. Najbolj mi je ostala v spominu akcija, ko je ZDGITS leta 1987 izdal Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton s prevodi JUS. V tem obdobju naša nekdanja skupna država ni imela več sredstev,

da bi izdala pravilnik v slovenskem jeziku. Ker sem bil takrat delegat GZS v Zavodu za standardizacijo v Beogradu, sem po dogovoru s kolegi pri ZRMK predlagal, da pravilnik izjemoma izda naš ZDGITS. Zvezni zavod za standardizacijo je naš predlog podprl in GZS dostavil prevod oziroma slovensko verzijo pravilnika na magnetnem mediju. Seveda sem moral pridobiti še soglasje zveznega organa, pristojnega za to področje. Kolegi pri ZRMK so se z veliko zagnanostjo lotili te naloge in poleg napak v slovenskem prevodu odkrili tudi precej sistemskih napak.

Ko je pravilnik izšel, je bilo v gradbeniških vrstah zanj veliko zanimanje. Mnoga društva gradbenih inženirjev in tehnikov, ki so bila član ZDGITS, so s predavatelji z ZRMK izpeljala seminarje s številnimi udeleženci. Ta akcija je ponovno aktivirala društva in njihove člane. Glede na to, da sem imel zelo veliko službenih obveznosti, sem pregovoril kar nekaj svojih službenih kolegov, da so se angažirali pri delu v ZDGITS.

Sicer pa sem bil vedno na razpolago, če je bilo treba urediti dokumente za delovanje ZDGITS. Zlasti je bilo tega veliko, ko je začel veljati Zakon o društvih. Pripravljene so bile spremembe statuta ZDGITS ter poslovniki s pripadajočimi dokumenti v zvezi z izdajanjem strokovne in znanstvene revije Gradbeni vestnik.

Sodeloval sem tudi pri ustanavljanju Inženirske zbornice Slovenije in vodil ustanovni zbor matične sekcije gradbenikov.

Jubilantu iskreno čestitamo!

INOVATIVNE IN PRILAGOJENE REŠITVE OJAČITVE VIADUKTOV RAVBARKOMANDA MED LETOMA 2017 IN 2019

INNOVATIVE AND MODIFIED SOLUTIONS OF STRENGTHENING VIADUCTS RAVBARKOMANDA IN YEARS 2017-2019

Iztok Turk, univ. dipl. inž. grad.

iztok.turk@promico.si

Matej Oman, univ. dipl. inž. grad.

matej.oman@promico.si

Vit Ljubetič, inž. grad.

vit.ljubetic@promico.si

Promico, d. o. o., Dunajska cesta 106,
1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 624.21.037:001.895(497.4)

Povzetek | Predstavljene so inovativne rešitve, uvedene in preizkušene pri celoviti rekonstrukciji z ojačitvijo viaduktov Ravbarkomanda med letoma 2017 in 2018. Opisani so ukrepi pri ojačitvi podpornih konstrukcij in prekladnih konstrukcij ob istočasni razširitvi vozišč s posodobitvijo krova in opreme. Obnove mostov z njihovo ojačitvijo pogosto zahtevajo inovativne in nove prilagojene rešitve, ki se pogosto porajajo med opravljanjem del. Na viaduktu Ravbarkomanda so bile uvedene novosti, ki so optimizirale rekonstrukcijo viaduktov z vgradnjo karbonskih palic pri ojačitvi konzolnega dela krovne plošče, ojačenjem konzolnih glav stebrov s prednapetjem ter uporabo specialnih parov jeklenih jarmov za dvig prekladnih konstrukcij ob zamenjavi ležišč. Vzpostavljeno je bilo celovito stalno opazovanje, ki omogoča vpogled v obnašanje konstrukcij viaduktov. Na viaduktih Ravbarkomanda preizkušene rešitve odpirajo možnosti za njihovo nadaljnjo koristno uporabo ob obnovah z ojačitvijo konstruktivnih elementov mostov.

Ključne besede: obnova, ojačitev, most, viadukt, karbonske palice, ojačitev konzol, prednapetje glav stebrov, jekleni jarem, stalno opazovanje

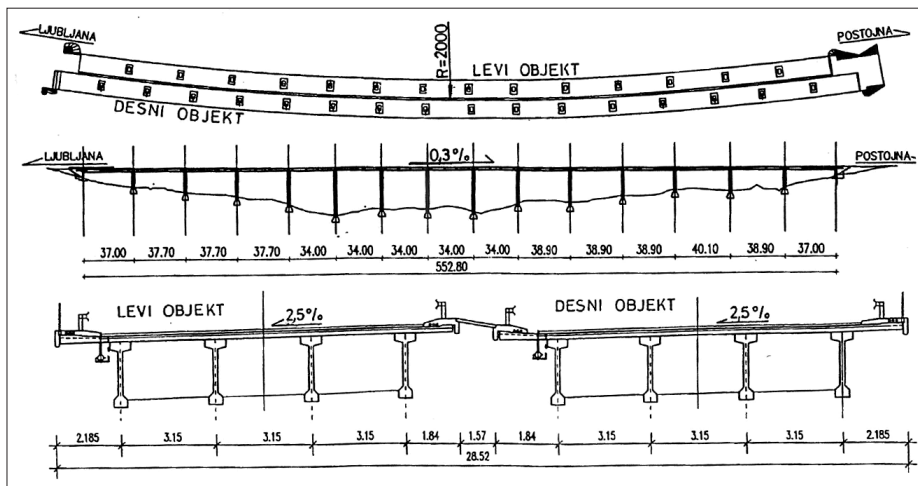
Summary | The paper presents innovations introduced and tested during comprehensive reconstruction with strengthening of the two Ravbarkomanda viaducts in 2017 and 2018. The strengthening of the substructures, the repair and strengthening works of the superstructures as well as the expansion of the carriageways, carried out while modernizing the bridge deck, and equipment are described. Bridge repair and its strengthening are demanding and complex tasks, requiring innovative and modified solutions that usually arise during the implementation. At the Ravbarkomanda viaduct, innovations were introduced that optimized the strengthening of structures with the introduction of carbon rods during non-destructive strengthening of slab cantilevers, reinforcement of heads with cantilever form of pillars with pre-stressing and the use of special pairs of steel yokes to lift superstructures while replacing bearings. Comprehensive permanent monitoring was established, which enables the insight into the behaviour of viaduct structures. The tested solutions open up possibilities for their further useful application in bridge repair and strengthening.

Key words: repair, strengthening, bridge, viaduct, carbon rods, cantilever strengthening, pre-stressing of pillar heads, steel yoke, permanent monitoring

1 • KONSTRUKCIJSKA ZASNOVA VIADUKTOV RAVBARKOMANDA

Viadukta Ravbarkomanda sta bila zgrajena leta 1972 na enem izmed prvih avtocestnih odsekov v Sloveniji. Lokacija objekta je izpostavljena ostrim podnebnim razmeram, za katere so značilne močna burja in nizke

temperature pozimi. Podobno kot drugi večji objekti na slovenskih avtocestah iz obdobja od 1970 do 1990 imata viadukta prostoležečo prekladno konstrukcijo, ki je sestavljena iz armiranobetonskih prednapetih montažnih



Slika 1 • Dispozicija viadukta Ravbarkomanda.

2 • ZGODOVINA PREDHODNO OPRAVLJENIH OBNOVITVENIH DEL IN STANJE VIADUKTOV PRED LETOM 2017

Med letoma 1996 in 1998 je bila narejena celovita obnova prekladnih konstrukcij in opreme objektov (Čabrilo, 1997). Zaradi majhnega vzdolžnega nagiba, nefunkcionalnosti odvodnje in ob hkratnem neustreznem vzdrževanju objekta je bilo odtekanje vode z vozišča pri nalivih počasno in slana pršica je močila površino zunanjih vzdolžnih nosilcev. Sčasoma je prišlo do poškodovanja nosilcev, korozije nekaterih kablov v zunanjih nosilcih ter propada betona in korozije armature konzolnih glav stebrov. Opravljena je bila celovita rekonstrukcija prekladnih konstrukcij, ki je obsegala sanacijo robnih nosilcev, nadomestitev poškodovanih kablov z zunanjimi kabli ter saniranje voziščne plošče z dobetoniranjem konzol. Zamenjana je bila tudi celotna oprema objekta (dilatacije, odvodnja, krov).

Z namenom povečanja potresne varnosti viaduktov je bilo leta 2008 izvedeno obbetoniranje spodnjih delov stebrov, nekaj nižjih stebrov pa je bilo obbetoniranih v celoti. Ostali stebri so se lokalno sanirali z reparaturnimi maltami, kar se je s pozneje pokazalo za neustrezno.

Na osnovi detajlnega pregleda, opravljenega v obsegu, predpisanem v projektni nalogi, je bil v letu 2016 izdelan PZI rehabilitacije viadukta Ravbarkomanda (Promico, 2016). V začetni fazi del na desnem viaduktu so bile ob popolni zaporu prometa na njem in postavljenih odrih omogočene detajlnejše preiskave in temeljit vizualni pregled. Ugotovljene so bile obsežne poškodbe, večinoma na bočnih JV strani vmesnih stebrov, kjer so tudi dnevna temperatura nihanja največja, oziroma na mestih predhodno neustrezno saniranih površin. Najintenzivnejše poškodbe so bile na stebrih pod neustrezno vzdrževanimi dilatacijami. Zaščitna plast betona je bila kontaminirana, armatura je korodirala, povečala svoj volumen in povzročila postopno delaminacijo zaščitne plasti betona. Ker v stebrih ni bila vgrajena stremenska armatura, ki bi objela glavno armaturo, se je ta ponekod neovirano uklonila.

Na glavah stebrov so bile ugotovljene obsežne poškodbe (nesprijetost reparaturnih malt s podlogo, razpoke betona, korozija armature). Na kritičnih konzolnih delih glav stebrov pod vzdolžnimi nosilci prekladne konstrukcije so

nosilcev, kateri s prekratki konzolami nalegajo na stebre (slika 1). Desni viadukt, dolg 595 m, ima 17 polj, levi viadukt, dolg 556 m, pa 15. Razponi polj so dolgi 34 do 40 m. Vsaka od prekladnih konstrukcij ima 4 dilatacijske enote, med katerimi so vgrajene jeklene dilatacije.

Prekladna konstrukcija ima v vsakem polju po štiri vzdolžne prednapete montažne I-nosilce, med katere so bili po montaži zabetonirani štirje prednapeti prečniki. Nad vzdolžnimi in prečnimi nosilci je bila zabetonirana voziščna plošča, ki je znotraj posamezne dilatacijske enote elastično povezana nad vmesnimi podporami.

Podporni konstrukciji viaduktov sestavljata po dva masivna krajna opornika in 16 (levi viadukt) oziroma 14 (desni viadukt) vmesnih podpor na stebrih. Stebri osmerokotnega škatlastega prereza so spodaj vpeti v plitve temelje, zgoraj pa se razširijo v konzolne glave stebra, na katere preko elastomernih ležišč nalegajo vzdolžni nosilci. Glave imajo v prečni smeri na obeh straneh daljšo konzolo, ki je običajno najbolj obremenjeni konstrukcijski element mostov tega tipa.

bile sicer za armirani beton običajne konstruktivne razpoke, ki pa so se povečevale ob zamakanju iz poškodovanih dilatacij prekladne konstrukcije.

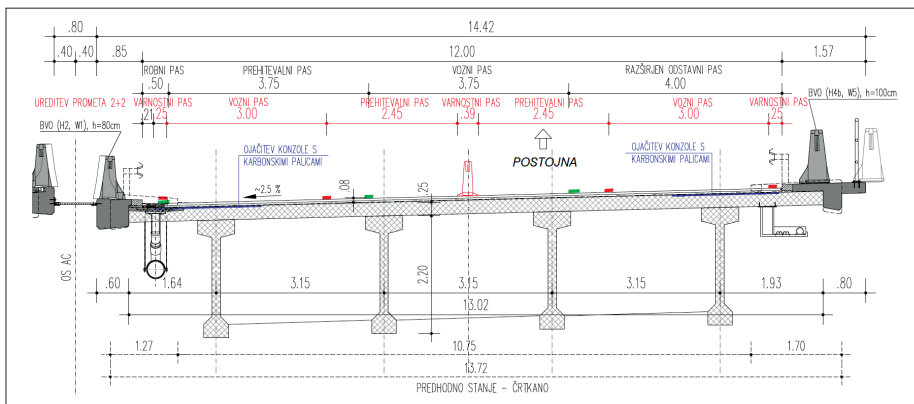
Ležišča so bila po 45 letih uporabe dotrajana, večinoma so bila vgrajena preblizu zunanjemu robu glave stebrov. Dilatacije, vgrajene pred 20 leti in več, niso bile vodotesne, ob njihovem slabem vzdrževanju so se na vseh pojavljali sledovi zamakanja.

Prekladni konstrukciji sta bili pred dobrimi dvajsetimi leti kvalitetno in celovito sanirani, tako da ni bilo zaznanih novih večjih poškodb. Na vzdolžnih nosilcih in prečnikih se je lokalno pojavljalo odstopanje reparaturne malte in krovnih plasti betona, korozija vidne armature, zaščitni premaz nosilcev iz predhodne rekonstrukcije se je lokalno odluščil. Na posameznih zunanjih kablilih so bile ugotovljene lokalne mehanske poškodbe polietilenskega zaščitnega ovoja. Na njihovih strižnih ojačitvah, sidriščih in deviatorjih so bili ponekod prisotni korozijski produkti.

Poškodbe krova objekta so bile običajne za dve desetletji uporabe v ostrih podnebnih razmerah. Cevi odvodnje so ponekod spuščale, ponekod so bile zamašene, stiki cevi in posameznih fazonskih kosov so bili netesni, izlivniki so bili poškodovani.

3 • OBNOVA VIADUKTOV MED LETOMA 2017 IN 2019

Izkazalo se je, da so predvsem na vmesnih podporah prisotne precej obsežnejše poškodbe od predhodno zaznanih. Po potrjenih rešitvah se je projekt za izvedbo dopolnjeval vzporedno z izvajanjem del, kar je z vidika racionalnosti preiskav in režima prevoznosti objekta najsmotrnejša ter pri obnovah mostov običajno. Tak pristop zahteva hitro pripravo projektnih rešitev s strani projektanta (Promico, d. o. o.) ter ažurno potrjevanje s strani inženirja (DRI, d. o. o.) in naročnika (DARS, d. d.) ter tudi fleksibilnost izvajalca (vodilni partner JV Kolektor CPG, d. o. o., s podizvajalcem Map Trade, d. o. o., in drugimi).



Slika 2 • Karakteristični prerez desnega viadukta Ravbarkomanda po obnovi.

Dela pri rehabilitaciji desnega viadukta so trajala od junija do novembra 2017. Zaradi poznega začetka del, ugotovljenih dodatnih del in obsežnejših sicer predvidenih del so bila pred zimo zaključena vsa potrebna dela za nemoteno prevoznost po dveh pasovih v vsaki smeri (sistem 2+2) med potekom rehabilitacije levega viadukta. V slabih šestih mesecih so bili opravljeni celovita ojačitev podpornega sistema, sanacija prekladne konstrukcije in zamenjavo krova. Obnova desnega viadukta bo predvidoma zaključena spomladi leta 2019.

Pri obnovi viaduktov se je vozišče objekta razširilo, tako da je zagotovljena širina objekta za začasno vodenje prometa po sistemu 2+2 pasov (slika 2), kar omogoča tudi vzpostavitev tretjega prometnega pasu (t. i. sistem »hard shoulder« na odstavnem pasu širine 4 m).

Ker je bila pri obnovi viaduktov Ravbarkomanda, ki sta na prometno močno obremenjenem odseku avtoceste, narejena njihova rekon-

strukcija, je bilo treba upoštevati prometno obtežbo po sedaj veljavnih Eurokodih.

3.1 Celovita obnova in utrditev podporna konstrukcije z ojačitvijo glav stebrov

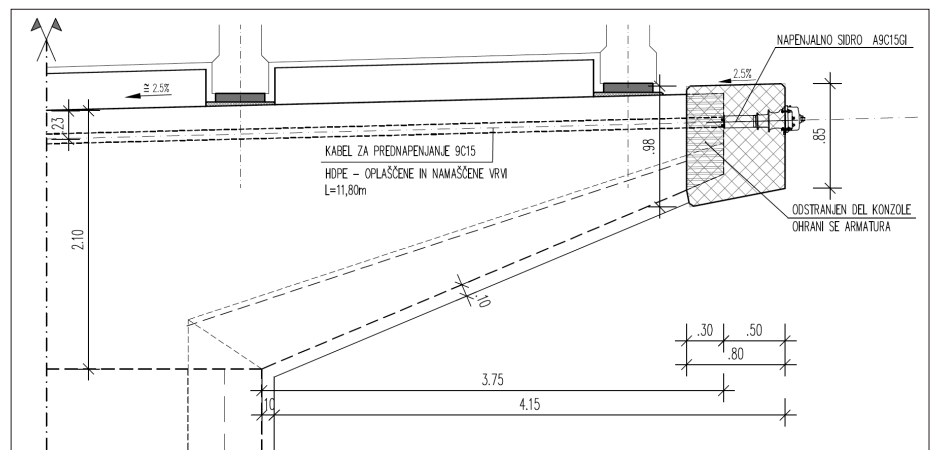
Ugotovljen obseg poškodovanosti stebrov in njihovih glav, neugodne meteorološke razmere (izpostavljenost vetru, visoke temperature) za nanašanje malte na obstoječe stebre (vezni sloj za boljšo sprijemnost se prehitro osuši, kar onemogoči korektno sprijemnost malte forkret s podlago) so pogojevali odločitev o celoviti brezkompromisni rekonstrukciji vmesnih podpor. V izogibitev možnosti ponovnih sanacij

trajno rešitev za preostalo predvideno dobo uporabe.

Na konceh glav stebrov sta se izvedla armiranobetonska sidrna bloka (slika 3), preko katerih so se glave stebrov prečno prednapele. Na ta način so se glave stebrov ojačile za upoštevano povečano prometno obtežbo, preprečilo se je povečevanje obstoječih razpok, istočasno pa z dodatnimi kabloma nadomestilo do 20 % morebitno poškodovane armature. Po zamenjavi ležišč je sledila sanacija ležiščnih površin glav stebrov (reprofilacija površin z reparaturno polimerno malto oz. dobetoniranje pri bolj poškodovanih glavah stebrov). Kompletna glava stebrov se je obbetonirala in zaščitila s specialno polimerno membrano (slika 4).

Na obeh viaduktih se je izvedla zamenjava vseh ležišč, skupaj 256 elastomernih armiranih ležišč. Ker se v času gradnje viaduktov ni predvidevalo, da se bodo ležišča v eksploatacijski dobi objektov menjavala, na viaduktih ni bilo ležiščnih polic za postavitev dvigalk pri menjavi ležišč. Za najustreznejši način dvigovanja prekladnih konstrukcij ob posameznem stebri je bila s stališča tehnologije in varnosti pri izvedbi izbrana uporaba para specialnih jeklenih jarmov (Freyssinet Adria SI, 2017).

Jarma sta se namestila na obe strani stebra, kjer sta preko dveh obešal nalegala na pripravljeno podlago na stebri. Med seboj sta bila povezana z navojnimi palicami. Z dvema nizoma po štiri hidravlične dvigalke (slika 5), nameščene na jarma pod vzdolžnimi nosilci prekladne konstrukcije, se je izvedel njen dvig za 10 mm. Sledila sta odstranitev obstoječih ležišč in kontaminiranih ali previsokih ležiščnih blokov ter vgradnja novih elastomernih armiranih ležišč z jeklenima ploščama.



Slika 3 • Ojačitev glave stebrov s prednapenjanjem.



Slika 4 • Glava stebra po ojačitvi.



Slika 5 • Zamenjava ležišč z uporabo jeklenih jarmov (tehnologija in izvedba Freyssinet Adria SI, d. o. o.).

3.2 Sanacija prekladne konstrukcije

Na prekladni konstrukciji so bila potrebna lokalna sanacijska dela. Na nosilcih, prečnih in spodnji površini voziščne plošče sta se po očiščenju poškodovanih površin izvedla injektiranje razpok ter lokalna sanacija z reparaturno malto.

Lokalna obnova zaščitnega ovoja – bandaže kabelskih cevi zunanjih kablov – se je izvedla z večplastnim sistemom toplo krčnih kabelskih manšet, ki zagotavljajo vodotesnost. Strižne ojačitve so se celovito zaščitile proti koroziji, lokalno se je obnovila protikorozijska zaščitna sidrišč in deviatorjev.

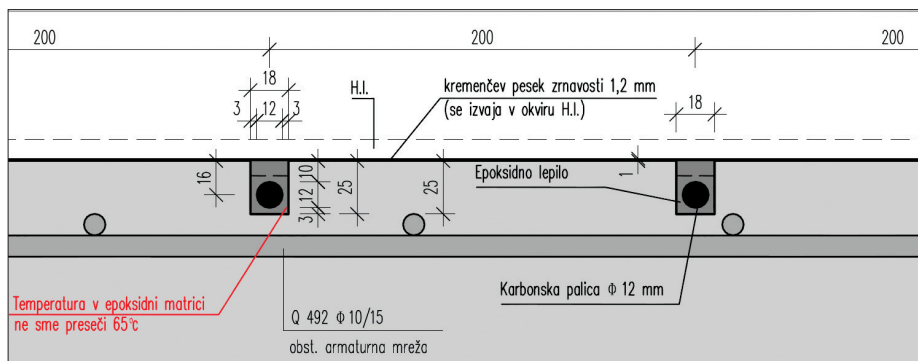
3.3 Ojačitev konzol voziščne plošče z uporabo karbonskih palic po metodi NSM CFRP

Z razširitvijo vozišč na viadukih, katere namen je bil omogočiti tudi prometni režim 2+2, in

na plošča po njeni temeljiti rekonstrukciji in ojačitvi leta 1996 v dobrem stanju, smo iskali alternativne nedestruktivne postopke ojačitve konzole s čim manjšim posegom v obstoječo konstrukcijo. Odločili smo se za ojačitev s karbonskimi palicami (slika 6), vgrajenimi v utore v zgornji površini voziščne plošče tik pod površino (metoda NSM CFRP – Near Surface Mounted Carbon Fibre Reinforced Polymer) (Ljubetič, 2017). Karbonske ojačitvene palice se vgradijo v obstoječi prerez armiranobetonske konstrukcije, s čimer so zaščitene pred poškodbami med obnovo asfaltne vozišče kakor tudi pred temperaturnimi vplivi ob polaganju hidroizolacije in asfaltiranju. Navedeno izključuje uporabo pri nas in v svetu bolj poznanih karbonskih lamel.

Ob primerno pripravljenem utoru v armiranobetonski konzoli tvori sistem ojačitve še ojačitveni element iz kompozitnih materialov (karbonske ojačitvene palice) in polimerno lepilo (epoksidna matrika). Kompoziti za ojačitev gradbenih konstrukcij so visokotehnološki izdelki, praviloma sestavljeni iz ogljikovih vlaken v epoksidni matriki (CFRP – Carbon Fibre Reinforced Polymer). Kompozitni material ima ugodne mehanske lastnosti, njegova natezna trdnost je visoka, poleg tega je odporen proti kemičnim in korozijskim vplivom. Lepila iz epoksidnih smol imajo veliko lepilno moč, zato je njihova uporaba kot medij prenosa sile z betonske površine na ojačitveni element zelo primerna.

V širšem območju konzol so se v zgornji površini voziščne plošče na razdalji 20 cm izvedli utori (b/h/L = 18/25/2000 mm). Pred vgraditvijo karbonskih palic je bil zgrajen hodnik z robnim vencem. S tem se je ob polaganju



Slika 6 • Detajl vgraditve karbonskih palic.

ob sočasnem upoštevanju prometne obtežbe po Evrokodih je bilo treba ojačati obojestranske konzole voziščne plošče. Potrebna je bila ojačitev zgornjega območja konzol. Ker je bila obstoječa armiranobetonska vozišč-

hidroizolacije in asfalta zmanjšal vpliv visokih temperatur na karbonske palice, ker te takrat še niso bile obremenjene. Epoksidne malte in veziva so občutljivi proti visokim temperaturam. Temperatura v območju karbonskih



Slika 7 • Izrezkani utori v betonu nad armaturo.

palic med vgrajevanjem hidroizolacije in asfaltnih slojev ne sme preseči 65–70 °C, ker bi kompozit ojačitve prešel iz trdega stanja v mehko stanje, stik betona in karbonske palice bi izgubil trdnost oziroma sprijemnost, kar bi vplivalo na nosilnost sistema ojačitve.

V predhodno očiščene in posušene uture (slika 7) se je nanesele sloj epoksidne matrike, v katerega so se vložile karbonske palice premera 12 mm (slika 8).

Debelina sloja veziva okoli palice je najmanj 3 mm, nad palico pa 10 mm. Z namenom preprečitve vpliva previsoke temperature na matriko palice so se palice preventivno vgradile globlje. Sledili sta izdelava hidroizolacije in vgraditev obeh slojev asfaltbetona. V projektu za izvedbo je bila preventivno predpisana vgradnja nizkotemperaturnega asfalta z dodatkom sasobita. Ta omogoča vgradnjo asfalta pri 110 °C namesto 160–170 °C. Preveritev maksimalne dosežene temperature



Slika 8 • Vgradnja karbonskih palic.

epoksidnega veziva ob karbonskih palicah med vgradnjo hidroizolacije in asfaltbetona se je predhodno izvedla na poizkusnem polju s polaganjem hidroizolacije ter asfaltiranjem z običajnim oziroma nizkotemperaturnim asfaltom, pri čemer se je merila temperatura v matriki sistema. Pri vgrajevanju asfaltnih slojev s klasičnim asfaltom je bila v matriki ob karbonski lameli ugotovljena najvišja doseže-

v primerjavi s klasičnima postopkoma ojačitve konzol mostov, kjer bi (a) odstranili zgornji sloj betona konzole, vgradili dodatno armaturo in zabetonirali nov zgornji sloj ali (b) zgradili konzolo v celoti na novo.

Na viaduktnih Ravbarkomanda je uporabljena metoda ojačitve konzol znatno cenejša od obeh klasičnih metod (za 40% oziroma 60%). V obstoječi konzoli se ne izvajajo destruktivni



Slika 9 • Spodnja stran viaduktov Ravbarkomanda po obnovi.

na temperatura ca. 50 °C. Zato v nasprotju z našimi pomisleki, osnovanimi na podlagi razpoložljive literature, uporaba nizkotemperaturnega asfalta, ki je dražji in ima slabšo sprijemnost s hidroizolacijo, ni bila potrebna. Izbrana metoda ojačitve konzol viaduktov Ravbarkomanda je pokazala svoje prednosti

posegi, pri primerjanih klasičnih metodah pa so posegi obsežni. Implementacija metode s karbonskimi palicami je časovno hitrejša od primerjanih dveh, saj je polaganje hidroizolacije mogoče že v nekaj dneh po vgradnji palic. Posebni ukrepi za varno izvedbo ojačitve, npr. zaščitni in delovni odri, niso potrebni. Sama



Slika 10 • AC na viadukih Ravbarkomanda po obnovi.

metoda ojačitve konzol s karbonskimi palicami ne omogoča izboljšanja stanja kontaminiranosti betona ali korodiranosti armature niti korekcije geometrije konzol, kar v splošnem omogočata alternativni klasični možnosti ojačenja konzol. Voziščni plošči s konzolami sta bili pri obeh viadukih Ravbarkomanda v dobrem stanju, tako da ni bilo potrebe po zamenjavi kontaminiranih betonov in protikorozijski zaščitni obstoječe armature.

Z uvedbo metode ojačitve armiranobetonskih konzol na viaduktu Ravbarkomanda je bilo

pridobljeno slovensko tehnično soglasje, kar tudi pri nas omogoča njeno nadaljnjo uporabo, ki je še posebno primerna pri ojačenju nosilnih konstruktivnih elementov različnih vrst objektov.

3.4 Zamenjava krova viaduktov s posodobljeno in dodatno opremo objektov

Na viadukih so se nadomestile nevodotesne dilatacije. Na krajnih opornikih so se vgradile kovinske lamelne dilatacije z mogočim po-

mikom do 80 mm, na vmesnih stikih dilatacijskih enot pa kovinske glavnikaste dilatacije z mogočim pomikom do 160 mm in vgrajenim vodotesnim gumijastim odvodnim kanalom.

Obstoječa sistema odvodnje z izlivniki sta se v celoti odstranila. Vgradili so se novi izlivniki na gostejšem rastru s priključnimi cevmi na odvodno zbirno cev iz armiranega poliestra premera 200–400 mm). Pod zunanijma konzolama se je namestila kabelska polica z napeljavami (slika 9). Na notranja robna venca viaduktov so se v ločilnem pasu vgradili kovinski rešetkasti pohodni elementi, široki ca. 80 cm.

Na notranji strani se je montirala betonska varnostna ograja BVO (H2, W1), na zunanji pa BVO (H4b, W5) oziroma jeklena odbojna ograja (H4b, W4). Za vzdrževalnima hodnikoma se je vgradila ograja za vzdrževalce višine 1,20 m, nanje pa montirali zaščitni paneli višine 2,0 m v območju križanj s prometnicami pod viaduktoma (slika 10).

Na obeh viadukih je bilo vzpostavljeno stalno opazovanje (ZAG, 2018), s katerim se spremljajo in evidentirajo realne prometne obtežbe, deformacije vzdolžnih nosilcev, stanje sile prednapetja na zunanjih kablkih vzdolžnih nosilcev, deformacije in temperature v karbonskih palicah ter deformacije armiranobetonskih glav stebrov. Na podlagi opazovanja, ki ga opravlja ZAG Slovenije, se določijo ključni kazalniki obnašanja najbolj pomembnih in obremenjenih konstruktivnih elementov objektov z namenom ocene mejne oz. kritične vrednosti posameznih parametrov zaradi prometnih obremenitev (npr. deformacije zunanjih nosilcev, konzolnih glav stebrov, izgub prednapetja v zunanjih kablkih ...). Večina meritev se je opravljala že med prenovo levega viadukta, ko se je spremljalo obnašanje desnega viadukta, na katerem je potekal promet po štirih vozniških pasovih (sistem 2+2).

popravili ali zamenjavo opreme mostu (ležišča, dilatacije, odvodnjavanje, krov objekta s hidroizolacijo), ki ima življenjsko dobo 20–25 let, lahko preprečimo, da bi poškodbe opreme povzročile obsežne poškodbe konstrukcije.

Investicijska vrednost izvedene celovite in temeljite obnove viaduktov Ravbarkomanda znaša ca. 700 EUR/m² (vse vrednosti so brez DDV) in predstavlja ca. 45 % investicijske vrednosti objekta.

Prvenstveni namen zadnje obnove viaduktov Ravbarkomanda je rekonstrukcija poškodovanih podpornih konstrukcij, ki do sedaj niso bile ustrezno sanirane, ter zamenjava opreme viaduktov (ležišča, dilatacije, krov objekta).

4 • STROŠKI OBNOVE V PRIMERJAVI Z ZAMENJAVO VIADUKTOV RAVBARKOMANDA

Da bi zagotovili stanje uporabnosti, nosilnosti in projektirano trajnost mostov, je nujno treba zajeti vsa opravila pri gospodarjenju z njimi: projektiranje, gradnjo ter predvsem redno vzdrževanje in pravočasno obnavljanje. Vrednost gradnje mostu znaša tretjino skupne investicijske vrednosti v njegovi celotni pričakovani življenjski dobi, ki je po Evrokodih 100 let za mostove moderne dobe. Da bi most to dosegel, je treba za stroške njegovega vzdrževanja in obnavljanja nameniti letno povprečno 2 % začetne

investicijske vrednosti. To pomeni po dve rekonstrukciji ali obnovi mostu v vrednosti 50 % začetne investicije, za redno vzdrževanje in manjše sanacije pa je treba nameniti približno 1 % te vrednosti letno. Priprava, projektiranje in gradnja mostov imajo dolgoletno tradicijo in večinoma je poudarek pri gospodarjenju z mostovi usmerjen h gradnji. Samo upravljanje oz. gospodarjenje z mostovi je bilo vse preveč potisnjeno na stran in je šele v fazi konstituiranja. Z rednim vzdrževanjem in pravočasnimi

Zaradi zahtev po povečanju nivoja uslug na objektu s širšim voziščem, ki omogoča prometni režim 2+2 in ustreza obtežbi konstrukcije po Evrokodih, so bila potrebno naslednja dela: ojačenje konzol voziščne plošče z vgradnjo karbonskih palic, reprofilacija notranje konzole desnega viadukta (razširitev vozišča zahteva prestavitve izlivnikov za 40 cm), izvedba robnih vencev večjih gabaritov za zagotovitev vgradnje ograj (višjega nivoja zadrževanja in večje delovne širine), ojačenje glav stebrov s prečnimi prednapetimi kabli (bolj poškodovani stebri, predvsem pod dilatacijami, bi se v vsakem primeru ojačali) in vzpostavitev permanentnega monitoringa objektov. Povečanje nivoja uslug na obeh viaduktih z zgoraj opisanimi ukrepi znaša približno 130 EUR/m² objekta, kar predstavlja približno petino stroškov celotne obnove viaduktov.

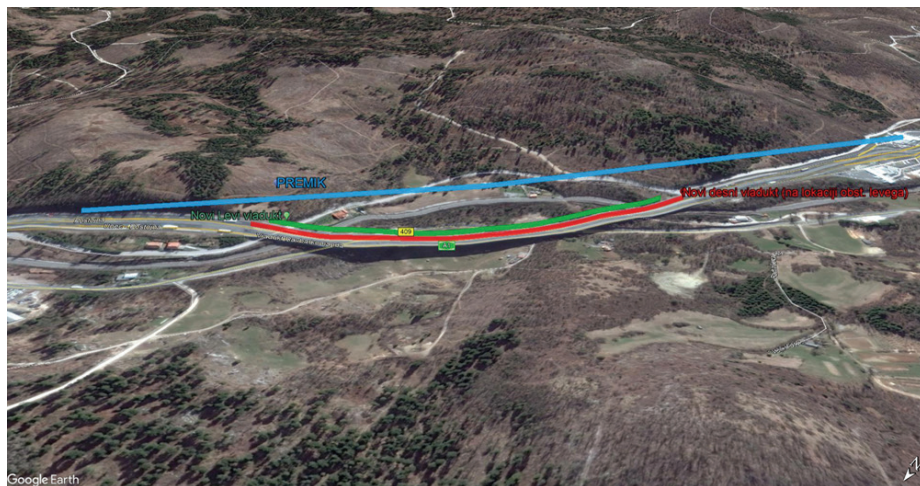
Ob izvedeni celoviti rehabilitaciji obeh viaduktov Ravbarkomanda in njegovim rednim vzdrževanjem se čas zamenjave obeh konstrukcij premakne proti letu 2050. Pri tem se nakazuje nekaj možnosti njihove nadomestitve, pri čemer je treba poudariti, da bo sama odstranitev obstoječih objektov zahtevna in draga, saj pod viaduktoma potekata dvakratni križanji z glavno dvotirno železniško progo Ljubljana–Koper, glavno regionalno cesto in lokalno cesto.

Strošek nadomestitve obstoječih viaduktov na isti lokaciji bi znašal ca. 35–40 mio. EUR.

Smiselna je umestitev novega levega viadukta JV ob obstoječem levem viaduktu (slika 11), novi desni viadukt pa bi se zgradil na lokaciji obstoječega levega viadukta. Zgrajena viadukta bi tako bila nekoliko krajša, med gradnjo obeh viaduktov pa bi lahko potekal nespremenjen prometni režim, za vsako smer

na svojem viaduktu. Strošek predlagane investicije bi znašal 30–35 mio. EUR.

Najracionalnejši pa bi bil premik trase AC na JV stran železniške proge, pri čemer bi trasa AC potekala v vkopni brežini. Vrednost radikalne prestavitve trase se ocenjuje na 25 mio. EUR, pri čemer bi bilo potrebno dolgotrajno umeščanje v prostor ob mogočih zapletih pri sprejemanju državnega prostorskega načrta.



Slika 11 • Možnosti zamenjave obstoječih viaduktov Ravbarkomanda v prihodnosti: zelena črta – novi levi viadukt, rdeča črta – novi desni viadukt na mestu starega levega viadukta, siva črta – stari desni viadukt, modra črta – prestavitev trase na pobočje.

5 • ZAKLJUČEK

Zagotovitev stanja uporabnosti, nosilnosti in projektirano trajnost mostov pogojuje vzpostavitev vseh opravil pri gospodarjenju z njimi: projektiranje, gradnja ter predvsem redno vzdrževanje in pravočasno obnavljanje. Projektiranje in gradnja mostov imata dolgoletno tradicijo in večinoma je naš poudarek pri gospodarjenju z mostovi usmerjen h gradnji, katere strošek znaša le tretjino skupne

investicije v pričakovani življenjski dobi mostu. Gospodarjenje z mostovi pri nas počasi dobiva veljavo, ki si jo zasluži, kar se kaže tudi s povečano intenziteto obnove mostov v zadnjem času.

Pri obnovitvenih delih niso zaželeni kompromisne rešitve na račun kakovosti in celovitosti. Po kompletni rekonstrukciji prekladnih konstrukcij na viaduktih Ravbarkomanda v

letu 1998 ter sedanji celoviti rekonstrukciji podpornega sistema in posodobitvi opreme z razširitvijo vozišč je uporabnikom omogočen povečan nivo uslug v naslednjih dveh do treh desetletjih.

Na viaduktih Ravbarkomanda se je uporaba reparaturnih malt za saniranje izpostavljenih betonskih površin izkazala za neustrezno. Sedaj vzpostavljeno stalno opazovanje objektov ter predvsem nove uspešno uvedene in preizkušene inovativne rešitve ponujajo možnosti za njihovo nadaljnjo uporabo pri predvidenih obnovah mostov na naših prometnicah.

6 • LITERATURA

Čabrilo, D., Rekonstrukcija viadukta Ravbarkomanda, Gradbeni vestnik, 11–12, Ljubljana, 1997.

Freyssinet Adria SI, d. o. o., Tehnološki elaborat jeklenega jarma za izvedbo dviga prekladne konstrukcije viadukta Ravbarkomanda z namenom zamenjave elastomernih ležišč, Ajdovščina, 2017.

Ljubetič, V., Uporaba karbonskih palic po metodi NSM za ojačitev konzol prekladne konstrukcije premostitvenih objektov, diplomsko delo, Center za poslovno usposabljanje, Ljubljana, 2017.

Promico, d. o. o., Projekt št. 3/2015: PZI Rehabilitacija viaduktov Ravbarkomanda VA0174 (desni) v km 6,337 in VA0175 (levi) v km 6,347, Ljubljana, 2016.

ZAG, Zavod za gradbeništvo Slovenije, Poročilo št. 604/17-620-1: O postavitvi permanentnega monitoringa na desnem viaduktu Ravbarkomanda VA0174-D in vrednotenju preliminarnih rezultatov meritev, Ljubljana, 2018.

DVOFAZNI TOPLOTNO-PIROLIZNI MODEL ZA DOLOČITEV OGLENENJA LESA

TWO-PHASE THERMO-PYROLYSIS MODEL TO DETERMINE CHARRING OF WOOD

asist. dr. Robert Pečenko, univ. dipl. inž. grad.

robert.pecenko@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo
in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 624.011.1:614.841

Povzetek | V članku je predstavljena nova metoda za določitev termokemične razgradnje lesenega elementa, izpostavljenega požaru. Metoda je dvofazna, pri čemer v prvi fazi na podlagi toplotne analize izračunamo razvoj in razporeditev temperatur v karakterističnem prečnem prerezu lesenega elementa. Nato v drugi fazi na osnovi pirolizne reakcije, ki temelji na Broido-Shafizadehovem piroliznem modelu, določimo razgradnjo lesa na aktivni les, oglje, katran in pline. Glavni namen in uporabnost novo razvite metode je določanje razvoja oglenenja ter temperature, pri kateri je izpolnjen kriterij oglenenja (v nadaljevanju temperatura oglenenja) lesenega elementa, izpostavljenega poljubni požarni obtežbi. V prikazanih primerih je obravnavani leseni element izpostavljen standardni in parametrični požarni krivulji. Analize so pokazale, da hitrost razvoja požara bistveno vpliva na razvoj debeline zoglenele plasti kakor tudi na temperaturo oglenenja. Ključne besede: piroliza lesa, oglenenje lesa, temperatura oglenenja, dvofazni model

Summary | The paper presents a new, two-phase method to determine the thermo-chemical decomposition of timber member exposed to fire. In the first phase, based on the thermal analysis, the distribution of temperatures in the characteristic cross-section of timber member is computed. Based on the pyrolysis reaction, the decomposition of wood is determined in the second phase, where Broido-Shafizadeh model is used. The main purpose and advantage of the new developed method is to determine charring of wood, charring depth and char front temperature for a timber member exposed to random fire load. Thus, the studies given in the paper present the analyses for timber member exposed to standard and parametric fire curves. The studies reveal that fire growth rate has a significant impact on the development of charring depth as well as char front temperature.

Key words: pyrolysis of wood, charring of wood, char front temperature, two-phase model

1 • UVOD

Obnašanje lesenih konstrukcij oz. njenih nosilnih elementov v požaru je v veliki meri odvisno od pojava in razvoja oglenenja lesa. Tako npr. poenostavljena metoda učinkovitega prečnega prereza ((SIST, 2005), (Pečenko, 2015a)), ki je ena od najpogosteje uporabljenih inženirskih metod za določanje požarne odpornosti lesenih konstrukcijskih elementov, temelji na

empiričnih hitrostih oglenenja (mm/min), ki jih podaja standard (SIST, 2005). Pri tem glavno pomanjkljivost predstavlja dejstvo, da so hitrosti oglenenja primerne in umerjene le za standardno požarno krivuljo (ISO, 1999) ter izjemoma tudi za parametrične požarne krivulje s podobno hitrostjo razvoja požara. Ker pa je požar izrazito negotov pojav, je s

standardno požarno krivuljo nemogoče zajeti spekter vseh možnih požarnih scenarijev ter razvojov temperatur v požarnem sektorju ob pojavu naravnega požara. To v praksi pomeni, da so trenutno podane hitrosti oglenenja neprimerne za določitev razvoja oglenenja in požarne odpornosti lesenega elementa v primeru naravnega požara. Omenjeno pomanjkljivost se je skušalo izboljšati z uporabo toplotnih (Hozjan, 2009) in toplotno-vlažnostnih računskih modelov (npr. (Pečenko, 2015b)), kjer se izračuna natančnejši potek

temperatur po lesenem prečnem prerezu, na podlagi temperaturnega kriterija oglečenja pa se nato določi razvoj oglečenja lesenega elementa, izpostavljenega požaru. Slabost teh modelov je uporaba temperaturnega kriterija skladno z Evrokodovo predlagano izotermo oglečenja pri 300 °C (SIST, 2005), pri čemer je ta kalibrirana na standardno požarno krivuljo. Kot kažejo zadnje raziskave ((Lange, 2015), (Turner, 2010)), je temperatura oglečenja različna od 300 °C, če je razvoj požara drugačen od standardne požarne krivulje. Iz tega je razvidno, da je tudi uporaba oglečenja, določenega na podlagi analiz s toplotnimi oz. toplotno-vlažnostnimi modeli, omejena le na

standardno požarno krivuljo ali v redkih primerih na parametrične požarne krivulje.

Za natančno določitev oglečenja lesenega elementa, izpostavljenega naravnemu požaru, je tako treba trenutne metode nadgraditi ter fenomen oglečenja pravilno fizikalno in matematično formulirati. To pa je mogoče samo ob poznavanju procesa pirolize, ki opisuje termokemično razgradnjo lesa pri povišanih temperaturah na različne produkte, kot so oglje, katran, plini in drugo. Pirolizna reakcija je časovno odvisen proces, kar pomeni, da ima hitrost razvoja požara vpliv na hitrost termokemične razgradnje lesa ter posledično na razvoj oglečenja kakor tudi

na temperaturo, pri kateri les začne ogleneti (temperatura oglečenja).

V članku prikazujemo novo dvofazno metodo za določitev oglečenja lesa, ki združuje obstoječi toplotni model (Hozjan, 2009) in pirolizni model, ki so ga predlagali Bradbury s sodelavci (Bradbury, 1979). V prvi fazi na podlagi toplotne analize določimo razvoj temperatur po prerezu lesenega elementa, ki v drugi fazi služi kot vhodni podatek za pirolizno reakcijo, kjer določimo razgradnjo in oglečenje lesa. S prikazano metodo razvoj oglečenja ni neposredno odvisen od temperature oglečenja in je tako bolj splošen in primeren za uporabo v pogojih naravnega požara.

2 • DVOFAZNI TOPLOTNO-PIROLIZNI MODEL

Model za določitev termokemične razgradnje lesa je dvofazen, kar pomeni, da ločeno obravnavamo toplotno analizo in pirolizno reakcijo. Razlog za to poenostavitev je, da endotermna oz. eksotermna pirolizna reakcija bistveno ne vpliva na razvoj temperatur v prečnem prerezu lesenega elementa.

2.1. Toplotna analiza

Model za toplotno analizo (Hozjan, 2009) temelji na znani Fourierjevi parcialni diferencialni enačbi, ki opisuje prenos toplote po trdni snovi. Vpliv vlage je v modelu upoštevan posredno s povečanjem specifične toplote lesa v temperaturnem območju med 100 in 120 °C, s čimer implicitno zajamemo vpliv izparevanja vode v lesu. Na stiku med lesom in okolico predpišemo površinski toplotni tok, ki je sestavljen iz konvekcijskega in sevalnega dela ($h_{cr} = h_c + h_r$). Površinski toplotni tok je zaradi konvekcije odvisen od prestopnega koeficienta α_c ter od razlike med temperaturo lesenega elementa na izpostavljenem robu T_m in temperaturo okolice T_∞ . Sevalni toplotni tok je določen na podlagi Stefan-Boltzmannovega zakona: $h_r = \sigma \varepsilon_m (T_m^4 - T_\infty^4)$, kjer σ predstavlja Stefan-Boltzmannovo konstanto, ε_m pa emisivnost površine elementa.

Enačba prevajanja toplote skupaj z robnimi in začetnimi pogoji ($T = T_0$) je rešena numerično, z Galerkinovo metodo končnih elementov, za časovno diskretizacijo je uporabljena implicitna shema. Formulacija končnih elementov je primerna za 2D-analizo prenosa toplote.

2.2. Modeliranje pirolizne reakcije

Pri povišanih temperaturah oziroma požaru je les podvržen pirolizi, tj. termokemičnemu

procesu, pri katerem se razgrajuje na oglje, katran, pline in številne druge produkte. V nadaljevanju se osredotočamo na pirolizo celuloze, saj ta komponenta lesa najbolj vpliva in nadzoruje potek pirolize celotnega lesa. V preteklosti je bilo na področju termokemične razgradnje celuloze predstavljeno veliko število različnih modelov, od preprostih enostopenjskih do zelo kompleksnih z več kot 300 reakcijami (Richter, 2017). Modeli se medsebojno razlikujejo predvsem glede na hitrost toplotne obremenitve. Tako je na primer pirolizna kinetika bistveno drugačna v primeru, ko je celuloza podvržena termični obdelavi (izotermni pogoji, do 250 °C) ali pa požaru (neizotermni pogoji, hitri razvoj temperatur). Na podlagi številnih parametričnih študij je Richter s sodelavci pokazal, da pirolizni model, ki sta ga najprej predlagala Kilzer in Broido (Kilzer, 1965), nadgradili pa Bradbury in sodelavci (Bradbury, 1979) (v nadaljevanju Broido-Shafizadehov model oz. BS-model), natančno opiše termokemično razgradnjo celuloze v pogojih, ki vladajo pri požaru. Ta model opisuje razgradnjo celuloze na aktivno celulozo, ki se nato razgrajuje na

ogljje, pline in katran, kot prikazuje slika 1. V nadaljevanju zaradi večje preglednosti izraz celuloza zamenjamo z izrazom les.

Termokemična razgradnja lesa na različne produkte je formalno zapisana s sistemom osnovnih diferencialnih enačb:

$$\text{Les: } \frac{d\rho_s}{dt} = -k_1\rho_s, \quad (1)$$

$$\text{aktivni les: } \frac{d\rho_{is}}{dt} = k_1\rho_s - (k_2 + k_3)\rho_{is}, \quad (2)$$

$$\text{ogljje: } \frac{d\rho_c}{dt} = 0.35k_2\rho_{is}, \quad (3)$$

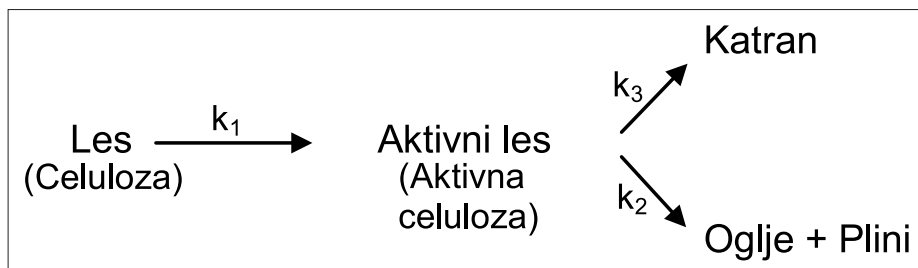
$$\text{plini: } \frac{d\rho_g}{dt} = 0.65k_2\rho_{is}, \quad (4)$$

$$\text{katran: } \frac{d\rho_t}{dt} = k_3\rho_{is}, \quad (5)$$

kjer ρ_s , ρ_{is} , ρ_c in ρ_t predstavljajo gostoto lesa, aktivnega lesa, oglja in katrana, ρ_g pa označuje koncentracijo plinov, ki se sproščajo ob procesu pirolize. Hitrost oz. stopnja i te pirolizne reakcije k_i ($i = 1, 2, 3$) sledi Arrheniusovemu zakonu:

$$k_i = A_i \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right), \quad (6)$$

kjer R predstavlja splošno plinsko konstanto, T je temperatura lesa v izbrani točki (določena na podlagi toplotne analize, poglavje 2.1), parametri hitrosti pirolizne reakcije A_i ter E_i pa so upoštevani skladno z (Bradbury, 1979) in podani v preglednici 1.



Slika 1 • Shema Broido-Shafizadehove pirolizne reakcije (Bradbury, 1979).

k_1	k_2	k_3
$E_1 = 242.6 \text{ kJ mol}^{-1}$	$E_2 = 153.1 \text{ kJ mol}^{-1}$	$E_3 = 197.9 \text{ kJ mol}^{-1}$
$A_1 = 1.7 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}$	$A_2 = 7.9 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$	$A_3 = 1.9 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$

Preglednica 1 • Kinetični parametri pirolizne reakcije.

Ob poznanih začetnih pogojih ($\rho_s(t=0) = \rho_{s,0}$, $\rho_{is}(t=0) = 0$; $\rho_c(t=0) = 0$; $\rho_i(t=0) = 0$; $\rho_g(t=0) = 0$), enačbe (1)–(6) rešimo s po-

močjo Matlabovega vgrajenega reševalca ode15s, ki temelji na implicitni časovni shemi in je primeren za reševanje »togh«

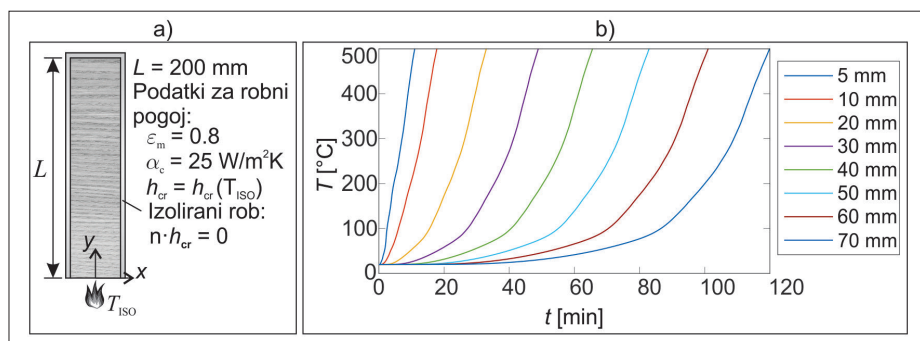
diferencialnih enačb. Celoten čas računa je razdeljen na večje število časovnih prirastkov, rešitev znotraj vsakega prirastka pa je določena iterativno. Prednost implicitnih metod pred eksplisitnimi pri reševanju tovrstnih togh problemov se izkaže predvsem v boljši konvergenci in krajšem računskem času.

3 • RAČUNSKI PRIMERI

3.1. Razvoj oglečenja pri standardni požarni izpostavljenosti

V tem računskem primeru prikazujemo uporabo naprednega toplotno-piroliznega modela za določitev razvoja oglečenja na lesenem elementu, ki je izpostavljen standardni požarni krivulji z ene strani. Obravnavani leseni element je debeline 200 mm, začetna gostota

piroliza časovno in temperaturno odvisen proces, je predvsem pomembna hitrost razvoja temperature v posamezni točki prereza, še posebno pa v temperaturnem območju med 200 in 300 °C, tj. tam, kjer je proces pirolize najbolj intenziven. Pričakovano je razvoj temperatur hitrejši, bližje ko smo izpostavljenemu robu.



Slika 2 • a) Vhodni podatki za toplotno analizo. b) Razvoj temperatur v izbranih točkah prereza.

lesa pa znaša $\rho_{s,0} = 400 \text{ kg/m}^3$. Kot je že omenjeno, je analiza dvofazna. Najprej naredimo toplotno analizo, izračunane temperature pa nato uporabimo kot vhodni podatek za analizo z BS-modelom.

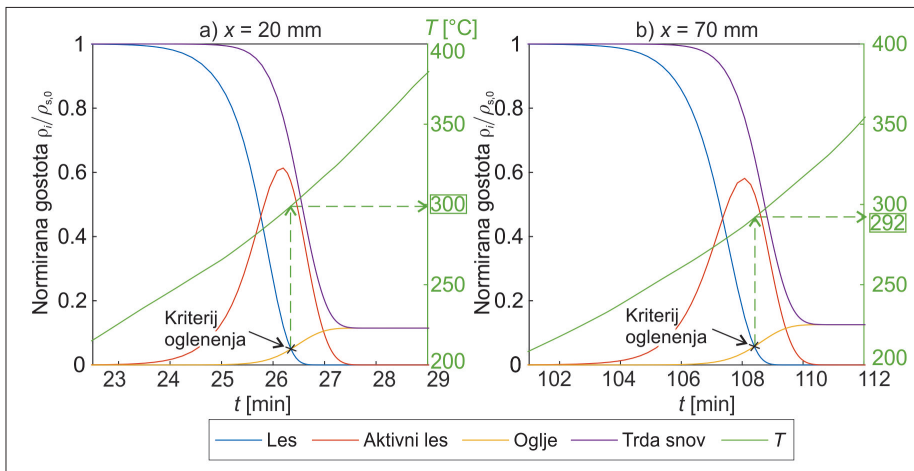
Osnovni podatki za toplotno analizo so prikazani na sliki 2a. Toplotne karakteristike lesa in prestopni koeficient ter emisivnost površine elementa upoštevamo skladno s standardom (SIST, 2005). Za toplotno analizo prerez v y -smeri razdelimo na 80 polj, v x -smeri pa zaradi 1D-problema na eno samo polje. Število končnih elementov, s katerimi diskretiziramo prerez, je 80, pri čemer je velikost posameznega elementa $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$.

Slika 2b prikazuje razvoj temperatur v izbranih točkah prereza, ki so različno oddaljene od spodnjega, požaru izpostavljenega roba (5 mm, 10 mm ...). Prikaz temperatur je omejen na 500 °C, saj se pri tej temperaturi celuloza razgradi v trenutku (Richter, 2017). Ker je

Rezultati drugega dela analize, tj. termokemične dekompozicije lesa, so predstavljeni na sliki 3. Zanima nas razgradnja trdne snovi, tj. razgradnja lesa na aktivni les in oglje, zato tvorbe plinov in katrana med pirolizno reakcijo ne prikazujemo. Slika 3a ponazarja razgradnjo lesa v točki prereza, ki je od spodnjega izpostavljenega roba oddaljena 20 mm (v nadaljevanju točka P1). Najprej opazimo, da se izrazitejša razgradnja lesa prične pri času 23 min, ko temperatura znaša 225 °C. Tukaj je treba poudariti, da se razgradnja lesa v osnovi prične že prej, in sicer pri temperaturi približno 150 °C, vendar, kot je že omenjeno, je piroliza temperaturno in časovno odvisen fenomen, kjer je pomembno, koliko časa je les izpostavljen določeni temperaturi. Na podlagi tega je mogoče izračunati prirastek razgradnje lesa znotraj časovnega koraka pri dani temperaturi, celotna razgradnja lesa pa je nato določena kot vsota

vseh prirastkov razgradenj. Če se vrnemo na obravnavani primer, pri 150 °C je prirastek razgradnje lesa zanemarljivo majhen in nima vidnejšega vpliva na celotno razgradnjo lesa. Zato je razgradnjo mogoče zaznati pozneje, in sicer pri 225 °C, ko je prirastek razgradnje dovolj izrazit, da vpliva na celotno razgradnjo lesa. Proces pirolize se konča po 27,5 min pri temperaturi 337 °C. Ker je celotna trdna snov sestavljena iz lesa, aktivnega lesa in oglja (trdna snov = % les + % aktivni les + % oglje), vidimo, da po poteku pirolizne reakcije ostane samo še oglje, ki predstavlja 11,5% trdne snovi, ostanek trdne snovi se pretvori v pline in katran. To pomeni, da gostota trdne snovi od začetnih 400 kg/m³ pade na 46 kg/m³. Na sliki 3b prikazujemo rezultate procesa pirolize v točki oddaljeni 70 mm od spodnjega roba (točka P2). Ker je razvoj temperature v tej točki počasnejši (glej sliko 2b), se zaradi prej opisanih fenomenov začetek razgradnje lesa prične pri nižji temperaturi kot v točki P1, in sicer pri $T = 199 \text{ °C}$ ($t = 101 \text{ min}$), konča pa pri 329 °C ($t = 111 \text{ min}$). Poleg tega ob koncu piroliznega procesa ostane več oglja (12,5%), kot to velja v točki P1. To je skladno z osnovnimi zakoni pirolizne reakcije, saj je znano, da pri počasnejšem naraščanju temperatur prevladuje razgradnja lesa na oglje in pline, medtem ko je pri hitrejšem razvoju temperatur izrazitejša razgradnja lesa na katran (Bradbury, 1979).

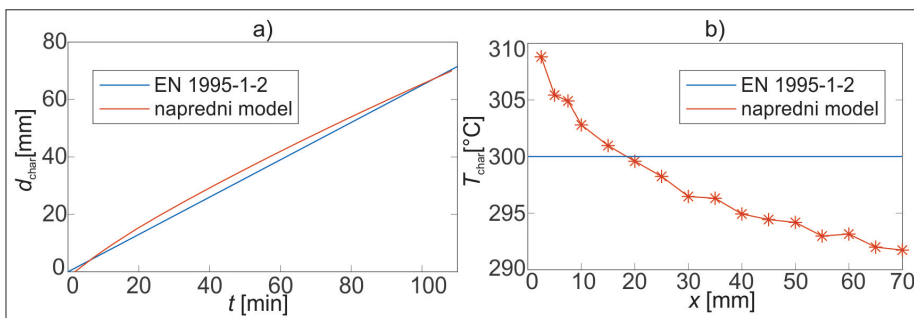
Z vidika nosilnosti lesa pri požaru je predvsem pomembno, kdaj nastopi popolna izguba mehanskih lastnosti lesa, kar je v terminologiji standarda SIST EN 1995-1-2 definirano z izrazom oglečenje, temperatura, pri kateri le-to nastopi, pa je prepoznana kot temperatura oglečenja. Na podlagi rezultatov toplotno-piroliznega modela je možnih več kriterijev nastopa oglečenja. V prvi vrsti lahko za kriterij upoštevamo, da oglečenje nastopi v trenutku, ko se začne tvoriti oglje. Tak sklep bi bil dokaj konservativen, saj se na primer v točki P2 (slika 3a) do tistega trenutka ($t \approx 25 \text{ min}$) razgradi le 13,6% lesa, kar pomeni, da ohranja še dobršen del svoje strukture in



Slika 3 • Razgradnja lesa na aktivni les in oglje v različnih točkah prereza: a) 20 mm od spodnjega roba. b) 70 mm od spodnjega roba.

s tem tudi mehanske lastnosti. Drugi možni kriterij je upoštevanje nastopa oglenenja, ko se les popolnoma razgradi in v sestavi trdne snovi ostane le še oglje. Vendar kakor kažejo zadnje raziskave na področju molekularne dinamike ((Mayes, 2012), (Paajanen, 2017)), depolimerizacija celuloznih vlaken pri povišanih temperaturah nastopi, preden reakcija pirolize v celoti poteče. To posledično pomeni, da les izgubi mehanske lastnosti, preden se v celoti razgradi. Tako upoštevamo, da kriterij oglenenja nastopi, ko je v sestavi trdne snovi delež oglja večji od deleža lesa. Na slikah 3a in b to predstavlja presečišče krivulji, ki ponazarjata razgradnjo lesa in tvorbo oglja, označujemo pa ga kot kriterij oglenenja. Temperaturo, pri kateri je izpolnjen kriterij oglenenja, pa poimenujemo temperatura oglenenja. Tako določimo, da oglenenje v točki P1 nastopi pri času 26,3 min, ko temperatura znaša

Na sliki 4a je podana primerjava med debelino zoglenele plasti, določene na podlagi kriterija oglenenja z naprednim modelom (toplotno-pirolizni model), ter poenostavljenim postopkom, ki ga podaja standard SIST EN 1995-1-2 (2005). Standard SIST EN 1995-1-2 (2005) podaja debelino zoglenele plasti kot linearno funkcijo odvisno od stopnje oglenenja β_0 in časa t ($d_{char} = \beta_0 \cdot t$), pri čemer stopnja enodimenzijskega oglenenja mehkega lesa z gostoto, večjo od 290 kg/m³, znaša 0,65 mm/min. Odstopanja med enostavno in napredno določeno debelino zoglenele plasti so zanemarljiva. To je pričakovano, saj je oglenenje, določeno po (SIST, 2005), umerjeno na standardno požarno krivuljo, torej poenostavljen postopek omogoča natančne rezultate v tem primeru, hkrati pa se izkaže, da je izbira kriterija oglenenja v BS-modelu za standardno požarno izpostavljenost primerna.



Slika 4 • Razvoj debeline zoglenele plasti s časom. b) Razvoj temperature oglenenja z oddaljenostjo od spodnjega izpostavljenega roba.

300 °C, medtem ko se v točki P2 to zgodi pri času 108,4 min pri temperaturi 292 °C. Ti dve temperaturi oglenenja sta v veliki meri skladni tudi z Evrokodovo (SIST, 2005) priporočeno temperaturo oglenenja za standardno požarno izpostavljenost, ki znaša 300 °C.

Temperaturo oglenenja, določeno z naprednim modelom v različnih točkah prereza, prikazujemo na sliki 4b, kjer je x razdalja od spodnjega izpostavljenega roba. Vidimo, da se na račun počasnejšega naraščanja temperature v notranjosti prereza temperatura

oglenenja niža z oddaljenostjo od spodnjega roba. Poleg tega se v povprečju temperatura oglenenja, določena po napredni metodi, dobro ujema s temperaturo oglenenja $T = 300$ °C, ki jo predlaga (SIST, 2005).

3.2. Razvoj oglenenja v primeru parametrične požarne krivulje

V tem poglavju prikazujemo uporabo naprednega modela za določitev razvoja oglenenja lesenega elementa, izpostavljenega naravnemu požaru. Razvoj temperatur s časom po prostoru določimo na podlagi parametrične požarne krivulje v (SIST, 2005), ki predstavlja poenostavljen model naravnega požara, pri čemer so upoštevani bistveni parametri, ki vplivajo na razvoj in jakost požara ter s tem povezanega razvoja temperature v prostoru. Analiziramo tri različne parametrične požarne krivulje, ki imajo naslednje skupne vhodne podatke: velikost požarnega prostora $\dot{S}/d/v = 15/20/4$ m³ in čas $t_{lim} = 20$ min. Drugi vhodni podatki za posamezno parametrično požarno krivuljo so podani v preglednici 2.

Obravnavane parametrične požarne krivulje prikazujemo na sliki 5, kjer je za primerjavo podana še standardna požarna krivulja. Parametrična krivulja zajema tako fazo segrevanja kakor tudi fazo ohlajanja, s čimer se že v osnovi razlikuje od standardne požarne krivulje. Kljub temu pa je možna primerjava s standardno krivuljo v fazi segrevanja, in sicer se tej krivulji najbolj približa parametrična krivulja #1, preostali dve imata bistveno hitrejši razvoj temperatur. Faza ohlajanja najprej nastopi pri krivulji #3, sledita krivulji #2 in #1.

Za toplotno analizo upoštevamo enako geometrijo, toplotne lastnosti lesa, robne pogoje in druge parametre kot v primeru, ki je predstavljen v poglavju 3.1.

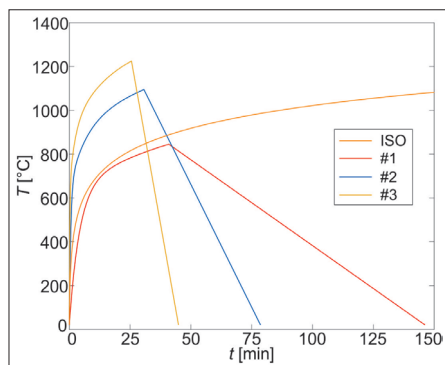
Razvoj debeline zoglenele plasti, določene z naprednim modelom, je podan na sliki 6a. Hkrati je prikazan tudi razvoj debeline zoglenele plasti, izračunane na podlagi poenostavljene metode, ki je primerna za leseni element, izpostavljen parametrični požarni krivulji, metoda pa je podana in podrobneje opisana v standardu (SIST, 2005). Po poenostavljeni metodi debelino zoglenele plasti določimo v odvisnosti od časa t_0 ($t_0 = 0.009 q_{e,d}/O$, glej (SIST, 2005)). Za čas, manjši od t_0 ($t < t_0$), debelina zoglenele plasti narašča linearno, za čas $t_0 < t < 3t_0$ narašča po kvadranti funkciji, za čas $t > 5t_0$ pa se upošteva končna debelina zoglenele plasti.

Primerjava debeline zoglenele plasti, določene z napredno in poenostavljeno metodo, za

Krivulja #1	Krivulja #2	Krivulja #3
$b = 2000 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$	$b = 2000 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$	$b = 1500 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$
$O = 0.06 \text{ m}^{1/2}$	$O = 0.16 \text{ m}^{1/2}$	$O = 0.2 \text{ m}^{1/2}$
$q_{fd} = 600 \text{ MJ}/\text{m}^2$	$q_{fd} = 1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$	$q_{fd} = 1250 \text{ MJ}/\text{m}^2$

Preglednica 2 • Vhodni podatki za tvorbo različnih parametričnih požarnih krivulj.

element, izpostavljen parametrični krivulji #1, pokaže (slika 6a), da se rezultati dobro ujemajo do časa približno 30 min, tj. do časa, ko



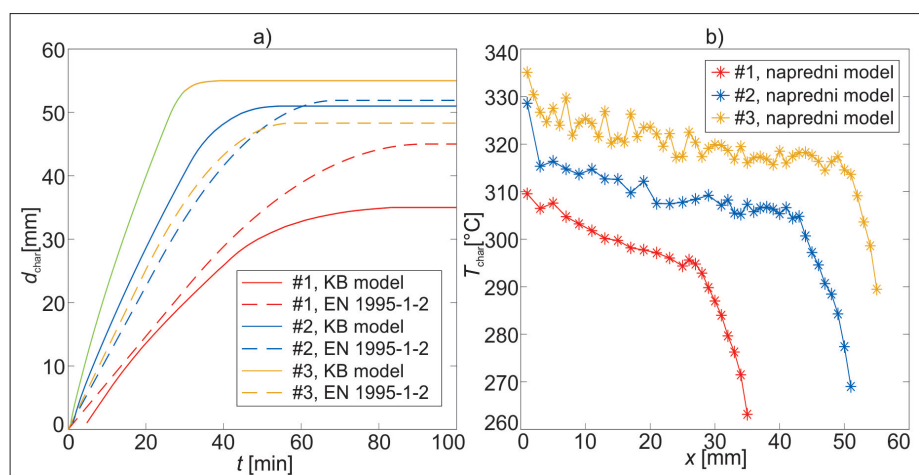
Slika 5 • Razvoj temperatur v prostoru za obravnavane parametrične požarne krivulje in standardno krivuljo.

je debelina zoglele plasti po poenostavljeni metodi določena z linearno funkcijo (t_0 za #1 je 30 min). Od časa 30 minut naprej pa sledijo velika odstopanja, saj s poenostavljenim postopkom izračunamo večjo vrednost debeline zoglele plasti kot pa v primerjavi z napredno metodo. Končna vrednost debeline zoglele plasti, določene s poenostavljeno analizo, tako znaša 45 mm, z napredno pa 35 mm. V primeru analize s parametrično krivuljo #2 se dobro ujemata končni vrednosti debeline zoglele plasti, ki znašata 51,9 mm (poenostavljena metoda) in 51 mm (napredni model), manj pa se ujemata razvoja debeline zoglele plasti do časa približno 60 min, pri čemer poenostavljen postopek predvideva počasnejši razvoj oglenjenja. Največja odsto-

panja so opazna pri analizi s parametrično krivuljo #3, kjer s poenostavljeno metodo ocenimo manjšo debelino zoglele plasti kot pa v primerjavi z napredno metodo. Na podlagi teh študij lahko sklepamo, da v primeru hitrejšega razvoja požara od standardnega (krivulji #2 in #3) poenostavljen postopek poda manjše vrednosti debeline zoglele plasti od napredne metode. To pa predstavlja velik problem, saj upoštevanje manjše debeline zoglele plasti, ki je osnova za določanje požarne odpornosti lesenega elementa s poenostavljeno metodo efektivnega prečnega prereza po (SIST, 2005), vodi v rezultate »na nevarni strani« (Lange, 2017).

Slika 4b podaja krivulje, ki prikazujejo razvoj temperatur oglenjenja v odvisnosti od od-

daljenosti od požaru izpostavljenega roba, določene na podlagi napredne analize. S slike je razvidno, da je potek krivulj bilinearen. Za primer #1 npr. vidimo, da se naklon krivulje bistveno spremeni za $x > 29 \text{ mm}$. Razlog za to je, da temperature v točkah do $x = 28 \text{ mm}$ dosežejo razmeroma hitro visoke temperature ($T > 350 \text{ °C}$), kar pomeni, da se les v celoti razgradi, preden preide v fazo ohlajanja. V točkah za $x > 29 \text{ mm}$ je temperaturni potek počasnejši in se zato del lesa razgradi tudi v fazi ohlajanja. To pa pomeni, da je celoten proces pirolize v tem delu prereza daljši, kar skladno s predhodnimi ugotovitvami vodi v nižjo temperaturo oglenjenja. Za parametrični krivulji #2 in #3 velja, da temperatura oglenjenja v fazi segrevanja znaša med 310 in 335 °C, kar je višje od temperature oglenjenja, ki jo (SIST, 2005) podaja za standardno požarno izpostavljenost ($T = 300 \text{ °C}$). Ker pa za požare, različne od standardnega (SIST, 2005), ne ponuja dodatnih priporočil ali omejitev, se v praksi predpostavi temperaturo oglenjenja 300 °C tudi v primeru naravnega požara, kar pa je, kot ta analiza prikazuje, napačna predpostavka.



Slika 6 • a) Razvoj debeline zoglele plasti, določene z napredno in poenostavljeno metodo ob upoštevanju različnih parametričnih krivulj (#1, #2, #3). b) Temperatura oglenjenja, določena z napredno metodo.

4 • ZAKLJUČKI

V prispevku je prikazana nova metoda za določitev razgradnje in oglenjenja lesa, ki temelji na dvofaznem toplotno-piroliznem modelu. V prvi fazi je bil na podlagi prenosa toplote po trdni snovi skladno s Fourierjevo parcialno diferencialno enačbo določen razvoj temperatur po prečnem prerezu lesenega elementa. Te so bile nato uporabljene kot vhodni podatek za drugo fazo, kjer je bila modelirana pirolizna reakcija, ki temelji na

BS-modelu in omogoča izračun razgradnje lesa na aktivni les, oglje, pline in katran. Glavni namen tega prispevka je bil pokazati uporabnost nove metode za določitev oglenjenja, debeline zoglele plasti in temperature oglenjenja. Poglavitna prednost pri tem je, da novo razvita metoda temelji na splošnejšem opisu problema in je zato primerna tudi za uporabo v pogojih naravnega požara.

Na podlagi izračunov in parametričnih študij je bilo ugotovljeno naslednje: (i) hitrejši razvoj temperatur v delu prereza elementa vodi v višjo temperaturo oglenjenja, hkrati pa se tvori manj oglja po poteku pirolizne reakcije, (ii) ob izpostavljenosti elementa standardni požarni krivulji se je izkazalo, da sta se poteka debeline zoglele plasti, izračunana z naprednim modelom ter poenostavljeno metodo po (SIST, 2005), dobro ujemala. Poleg tega je tudi temperatura oglenjenja, določena z naprednim modelom, dobro sovpadala s temperaturo oglenjenja $T = 300 \text{ °C}$, ki jo predpisuje

standard (SIST, 2005), (iii) za leseni element, izpostavljen parametričnim požarnim krivuljam, pa so analize pokazale, da se je razvoj debeline zoglelene plasti, določen z naprednim in poenostavljenim postopkom po (SIST, 2005), bistveno razlikoval. Pri tem je

za parametrični krivulji s hitrejšim razvojem temperatur od standardne krivulje (krivulji #2 in #3) poenostavljena metoda podcenila vrednost debeline oglja. Prav tako se je v fazi segrevanja za ti dve parametrični krivulji izkazalo, da je temperatura oglenenja, določče-

na z napredno metodo ($310 < T < 335$ °C), višja od običajno predpostavljene temperature oglenenja 300 °C, ki pa je umerjena na standardno požarno izpostavljenost, in kot z analizo pokažemo, ni primerna za druge požarne krivulje.

5 • ZAHVALA

Avtor se Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije zahvaljuje za sofinanciranje projekta Z2-8160.

6 • LITERATURA

- Bradbury, A. G. W., Sakai, Y., Shafizadeh, F., A Kinetic Model for Pyrolysis of Cellulose, *Journal of Applied Polymer Science*, 23, 3271–3280, 1979.
- Hozjan, T., Program Heatko: 2-D analiza prenosa toplote po trdni snovi, FGG, Univerza v Ljubljani, 2009.
- ISO, ISO-834, Fire-Resistance Test-Elements of Building Construction: Part 1. General Requirements, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- Kilzer, F. J., Broido, A., Speculations on the nature of cellulose pyrolysis, *Pyrodynamics*, 2, 151–163, 1965.
- Mayes, H. B., Broadbelt, L. J., Unraveling the reactions that unravel cellulose, *The Journal of Physical Chemistry A*, 116, 7098–7106, 2012.
- Lange, D., Bostroem, L., Schmid, J., Albrektsson, J., The reduced cross section method applied to glulam timber exposed to non-standard fire curves, *Fire Technology*, 51, 1311–1340, 2015.
- Paajanen, A., Varri, J., High-temperature decomposition of the cellulose molecule: a stochastic molecular dynamics study, *Cellulose*, 24, 2713–2725, 2017.
- Pečenko, R., Huč, S., Hozjan, T., Performančni način projektiranja požarne odpornosti lepljenega lesenega nosilca, Del 2, Toplotna in mehanska analiza, *Gradbeni vestnik*, 64, 134–144, 2015a.
- Pečenko, R., Svensson, S., Hozjan, T., Modelling heat and moisture transfer in timber exposed to fire, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 87, 598–605, 2015b.
- Richter, F., Rein, G., Pyrolysis kinetics and multi-objective inverse modelling of cellulose at the microscale, *Fire Safety Journal*, 91, 191–199, 2017.
- SIST, SIST EN 1995-1-2, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-2. del: Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij, 2005.
- Turner, I., Rousset, P., Rémond, R., Perré, P., An experimental and theoretical investigation of the thermal treatment of wood (*Fagus sylvatica* L.) in the range 200-260. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 715–725, 2010.

DRUŠTVO GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV CELJE V ZADNJEM ŠESTLETNEM OBDOBJU

Člani Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Celje so gradbeniki s širšega celjskega območja.

Pred desetletjem je ob krizi v gradbeništvu število članov društva nekoliko upadlo. V zadnjem obdobju pa se je na osnovi dodatnih aktivnosti pri sestavi bolj raznolikoga programa dela članstvo ponovno povečalo.

Društvena dejavnost poteka na osnovi letnega plana, ki se sprejme na letni skupščini. Program je zastavljen tako, da je raznolik, poučen in zanimiv.

Izobraževalni programi se izvajajo v prvem četrtletju tekočega leta in jih velikokrat organiziramo skupaj s Srednjo šolo za gradbeništvo in varovanje okolja v Celju, s katero zelo dobro sodelujemo. Druge aktivnosti se praviloma opravljajo v spomladanskih in jesenskih mesecih leta.

Velik poudarek je namenjen ogledom zanimivih gradbenih objektov v gradnji, novogradnjam v uporabi, proizvodnji gradbenih materialov in montažnih objektov v regiji in širše. Ekскурzije so obogatene z ogledi kulturnih ustanov, objektov kulturne in stavbne dediščine, saj je gradbeništvo zelo povezano z njimi. Ob zadnji ekscurziji ob koncu leta imamo tudi skupno srečanje članov društva, kar je še dodaten prispevek k druženju stanovskih kolegov. Predsednik društva je že tretji mandat mag. Branko Kidrič, univ. dipl. inž. gradb.

Člani društva sodelujejo v Zvezi društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, navezali smo tudi stike z Društvom gradbenih inženirjev in tehnikov Novo mesto.

Finančni viri društva so letne članarine in donatorska sredstva.

V nadaljevanju predstavljamo aktivnosti društva, strnjene v obdobju od leta 2013 do jeseni 2018.

V preteklih šestih letih so se člani društva v okviru načrtovanih izobraževalnih vsebin med drugim udeležili predavanj na temo:

- uporabe odpadkov v gradbeništvu,



• Gradnja jezua na Savinji.

- požarnoodpornega projektiranja jeklenih konstrukcij v skladu s standardi EURO-CODE,
- CAD-standardov in BIM-projektiranja.

Na temo energetske zasnove objektov sta bili za primer dobre prakse pripravljene predstavitvi:

- energetske zasnove večstanovanjskih stavb, toplotna izolacija fasade,
- trajnostne gradnje in sanacije stavb z lesom, s poudarkom na inovativnih sistemih • križno lepljenih ploščah XL-om, s katerimi je bil zgrajen tudi slovenski paviljon na EXPO 2015 v Milanu.

S področja potresne varnosti so bila opravljena naslednja izobraževanja:

- potresna varnost stanovanjskih stolpnic,
- možnosti in pogoji izboljšave potresne varnosti objekta v Trubarjevi 55 a v Celju.

Med preostalimi vsebinami so člani prisluhnili še predavanju o:

- sanaciji in zaščiti armiranobetonskih konstrukcij v vsakodnevni uporabi, sanaciji vlažnih zidov z uporabo izsuševalnih ometov, hidroizolaciji vkopanih delov objektov s hladno vgrajenimi sistemi brez varjenja.

Društvo je v preteklih letih sledilo novostim s področja urejanja javnih naročil za zaposlene v gradbenih podjetjih in spremembam Zakona o graditvi objektov. V obdobju zadnjih petih let je bilo skupaj organiziranih 12 različnih izobraževalnih vsebin, letos pa je poudarek na novostih, spremembah, primerjavah in razlikah z Zakonom o graditvi objektov, ki jih prinaša novi Gradbeni zakon z veljavo od 1. 6. 2018.

Med dejavnosti društva spada tudi organiziranje ekskurzij. V preteklih petih letih je bilo uspešno izvedenih kar 22. S področja prometne infrastrukture smo si ogledali:

- gradnjo škofjeloške obvoznice in razstavo svetil v škofjeloškem gradu,
- gradnjo nadvoza ceste G2 107, odsek 1275 Šentjur–Mestinje in preko glavne železniške proge Zidani Most–Maribor, v Grobelnem,
- gradbišče gradnje avtoceste na odseku AC G 1-9 Draženci–Gruškovje na območju Podlehnika,
- nadgradnjo in obnovo železniške postaje Celje, ki zajema še obnovo podvoza Teharske ceste, obnovo perona na železniški postaji Celje.



• Ogleđ vodnogospodarskih ukrepov na Savinji.

Preostale vsebine, ki jih je društvo realiziralo v okviru načrtovanih ekskurzij v preteklih petih letih, so:

- gradnja Medicinske fakultete v Mariboru,
- gradnja Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo in Fakultete za računalništvo v Ljubljani ter obnovitvena dela na Ljubljanskem gradu,
- gradnja vodnogospodarskih ukrepov povodja Voglajne in obnovitvena dela na Kulturnem domu Šentjur,
- Muzej neandertalcev v Krapini in gradbišče gradnje garažne hiše in tržnice v Rogaški Slatini,
- obnovljena Plečnikova hiša v Ljubljani in obnovljena Narodna galerija v Ljubljani,
- stolp Vinarium nad Lendavo in Kulturni dom v Lendavi,
- družinsko podjetje KANA Žalec z ogleđom njihovega arhitektonsko zanimivega objekta,
- Islamski kulturni center (džamija v Ljubljani) in Plečnikova cerkev v Črni vasi pri Ljubljani,
- kamnolom Marmor, Sežana, in Botanični park Sežana ter kraško naselje Štanjel,
- nova telovadnica ob I. gimnaziji Celje.

Tudi letos smo uspešno sledili načrtovanemu programu in si v okviru le-tega ogledali:

- II. fazo gradnje avtoceste G 1-9 na odseku Draženci–Gruškovje in grad Štatenberg,

- gradbišče obnove železniške postaje Poljčane z izgradnjo podvoza in podhoda na območju železniške postaje in izgradnjo nadvoza Breznica z obvoznimi cestami,
- objekt nadomestnega mostu čez Voglajno na cesti R2-423 v Šentjurju,
- predstavitev idejne rešitve razglednega stolpa Kristal, izgradnjo Poslovnega centra Vrelec in rekonstrukcijo lokalne ceste na Zdraviliškem trgu v Rogaški Slatini,
- gradbišče vodnogospodarskih ukrepov na Savinji, sanacijo Podvinskega jezua, ureditev Grušovelskega jezua in ureditev

brežin pod posebnimi pogoji ob Savinji v Rečici ob Savinji, ki je v območju Nature 2000.

- obnovo glavne železniške proge na odseku Zidani Most–Celje v Laškem, kjer se gradita nov most in podvoz ter obnavlja proga.

Dolgoročni cilj društva je ohranjanje sedanje dejavnosti, ki jo bomo skušali dopolniti z novimi pristopi. Zato želimo k članstvu privabiti čim več mladih, strokovnih kadrov, ki bodo kot nosilci gradbene dejavnosti v prihodnje pripomogli k ohranjanju in nadgradnji dejavnosti društva.

Marija Rataj, dipl. inž. grad.



• Predstavitev projekta obnove proge v Poljčanah.

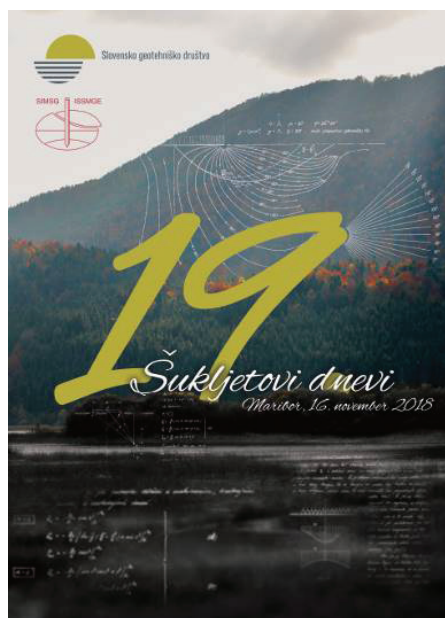
19. ŠUKLJETOV DAN SLOVENSKEGA GEOTEHNIŠKEGA DRUŠTVA

Slovensko geotehniško društvo (SloGeD), ki je leta 2017 praznovalo že 25-letnico delovanja, združuje posameznike, ki so aktivni na področju mehanike tal, mehanike kamnin, inženirske geologije in geotehničnih konstrukcij. Število članov se je v zadnjih letih povečalo, kar kaže na vse večje zanimanje za geotehniko med mladimi gradbenimi inženirji, geologi in geotehnologi. Društvo ima 150 individual-

Expanded). Več informacij o delu društva je dostopnih na naši spletni strani <http://sloged.si/>.

Vodstvo SloGeD od leta 2000 dalje vsako leto organizira enodnevna strokovna srečanja z naslovom Šukljetov dan, poimenovan po pionirju mehanike tal in akademiku prof. Luju Šukljetu. Strokovna srečanja potekajo pod okriljem svetovne stanovske organizacije ISSMGE (Inter-

numerično geotehniko na Inštitutu za mehaniko tal Tehnične univerze v Gradcu. Prof. Schweiger ima več kot 25 let izkušenj pri razvoju in uporabi numeričnih metod v geomehaniki. Študiral je gradbeništvo na Tehnični univerzi v Gradcu in doktoriral na Univerzi Wales, Swansea v Veliki Britaniji. Je član številnih uredništev mednarodnih revij, tudi revije *Geotechnique and Computers and Geotechnics*, in je podpredsednik



Naslovnica zbornika s prispevki 19. Šukljetovega dne in vabljeni predavatelj prof. Helmut F. Schweiger.



nih članov, ki prihajajo iz projektantskih in izvajalskih podjetij s področja geotehnike ter ljubljanske in mariborske univerze. Osnovni cilji društva so vseživljenjsko izobraževanje članov na področju geotehnike, krepitev mednarodnega sodelovanja in podpora članom pri raziskovalnem delu. Društvo je včlanjeno v tri mednarodna stanovska združenja, in sicer v mednarodno društvo za mehaniko tal in geotehniko (ISSMGE), mednarodno društvo za mehaniko kamnin (ISRM) in mednarodno društvo za inženirsko geologijo (IAEG). SloGeD je eden od ustanoviteljev revije *Acta Geotechnica Slovenica*, na katero smo ponosni, saj je indeksirana v SCIE (Science Citation Index

national Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), kar daje dogodku mednarodno prepoznavo in priznanje. Srečanje je namenjeno izobraževanju, druženju, povezovanju in promociji aktivnosti naših članov. Novembra 2018 smo se zbrali v Mariboru. Dogodek je podprlo več pokroviteljev, med drugim tudi Inženirska zbornica Slovenije – matična sekcija gradbenih inženirjev.

Na Šukljetovem dnevu so običajno predstavljena tri vabljena predavanja, in sicer predavanje priznanega tujega strokovnjaka in dve predavanji domačih strokovnjakov. Letošnji Šukljetov predavatelj je bil prof. Helmut F. Schweiger, vodja Fundacije za

Tehničnega odbora ISSMGE TC103 Numerične metode. Prof. Helmut F. Schweiger nam je na preprost način predstavil materialne modele zemljin in tudi nekaj zelo zanimivih praktičnih primerov modeliranja in verifikacije izračunov v praksi.

Svoje izkušnje je predstavil tudi mladi Tadej Vidnar, gradbeni inženir, ki je šolanje zaključil na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo (FGPA) v Mariboru, sedaj pa dela v tujini.

Zaradi velikih sprememb, ki jih je prinesel Gradbeni zakon, smo letos namenili nekaj časa tudi zakonodajnim temam. Dr. Samo Peter Medved, predsednik matične sekcije gradbenih inženirjev pri IZS, ter izr. prof. dr.

Janko Logar, vodja priprave »Pravil stroke« za področje geotehnike, sta predstavila zadnje aktivnosti s tega področja.

19. Šukljetovega dne se je letos udeležilo več kot 100 strokovnjakov iz Slovenije in tujine, ki so prejeli zbornik s prispevki. Srečanje je odprla predsednica društva Mojca Ravnikar Turk, ki je podala kratek pregled dela društva v zadnjem letu in plan aktivnosti za prihodnje leto. Dekan UM FGPA prof. dr. Miroslav Premrov je pozdravil navzoče ter nam zaželel uspešno delo. Prof. dr. Janko Logar je pozdravil udeležence v imenu dekana UL FGG prof. dr. Matjaža Mikoša.

Namen dogodka sta tudi neformalna izmenjava izkušenj in druženje, ki je bilo zaključeno s slavnostno večerjo in sproščenim klepetom. Na tem mestu se še enkrat zahvaljujemo pokroviteljem, ki so omogočili organizacijo 19. Šukljetovega dne.



Vabljeni predavatelji in organizatorji 19. Šukljetovega dne – od leve proti desni: Suzana Svetličič, Janko Logar, Tadej Vidnar, Helmut F. Schweiger, Vojkan Jovičič, Mojca Ravnikar Turk in Saša Galuf.

**mag. Mojca Ravnikar Turk, univ. dipl. inž. grad.,
predsednica SloGeD**

**Suzana Svetličič, univ. dipl. inž. geol.,
tajnica SloGeD**



Med predavanjem dr. Sama Petra Medveda.



Udeleženci 19. Šukljetovega dne.

Zlati sponzor



Srebrni sponzorji



Bronasti sponzorji



Sponzorji in oglaševalci



Pokrovitelji 19. Šukljetovega dne.

PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2019

SEMINAR	IZPIT
11. - 13. 2. 2019	26. 3. in 27. 3. (po potrebi še 28.)
1. - 3. 4. 2019	28. 5. in 29. 5. (po potrebi še 30.)
7. - 9. 10. 2019	26. 11. in 27. 11. (po potrebi še 28.)

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

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

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure:

od ponedeljka do četrтка od 9.00 do 14.00 ure; v petek ni uradnih ur za stranke.

Pripravljalni seminar bo za:

- Pooblaščene inženirje gradbene stroke** (to je za kandidate, ki imajo končano najmanj drugo bolonjsko stopnjo gradbeništva, oziroma univerzitetni diplomirani inženirji gradbeništva, ter za kandidate, ki izpolnjujejo pogoje po 58. členu Zakona o arhitekturni in inženirski dejavnosti)
- Vodje del za področje gradbene stroke** (to je za kandidate, ki izpolnjujejo pogoje izobrazbe iz gradbene stroke za izvajalce po 4. točki prve in druge alineje 14. člena Gradbenega zakona)

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 623,22 EUR. Kandidati lahko poslušajo tudi zgolj posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev, cena za obisk posameznega predavanja je 89,10 EUR. V cenah je vključen DDV.

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

Prijavo je potrebno posredovati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **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 spletni strani IZS (www.izs.si), 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) ali osebno na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI,
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Maša Vöröš, Povečanje varnosti na površinah za pešce, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=105845>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Neven Verdnik, Ureditev suhega zadrževalnika ob reki Muri na območju Gaberja v občini Lendava, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor doc. dr. Gašper Rak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=105841>

Sandi Kalfak, Matematično modeliranje drobirskih tokov in oblikovanja hudourniških vršajev, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor viš. pred. dr. Jošt Sodnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=105965&lang=slv>

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

KOLEDAR PRIREDITEV

5.-7.3. 2019

S.ARCH 2019 – 6th International Conference on Architecture and Built Environment with Awards

Havana, Kuba
<http://s-arch.net/>

8.-11.4. 2019

Svetovni gradbeni forum 2019 - Odpornost stavb in infrastrukture

Ljubljana, Slovenija
<https://www.wcf2019.org/wcf-intro-slo/>

9.-10.4. 2019

Polymers in Building Insulation

Düsseldorf, Nemčija
www.ami.international/events/event?Code=C0978

10.-11.4. 2019

Composites in Construction

Amsterdam, Nizozemska
<http://compositesinconstruction.com/>

16.-17.4.2019

IICTG 2019 - 2nd International Intelligent Construction Technologies Group Conference

Peking, Kitajska
www.iictg.org/2019-conference/

9.-14.6. 2019

ICOLD 2019 – 87th Annual Meeting: International Commission on Large Dams

Ottawa, Kanada
www.icold-cigb2019.ca/

17.-20.6. 2019

7 ICEGE 2019 – International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering

Rim, Italija
www.7icege.com/

17.-20.6. 2019

8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis - Rail Norrköping 2019

Norrköping, Švedska
www.railnorrkoping2019.org/

24.-26.6. 2019

COMPDYN 2019 - 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Kreta, Grčija
<https://2019.compdyn.org/>

1.-6.7. 2019

16WCSI-16th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures

Sankt Peterburg, Rusija
www.16wcsi.org/

10.-12.7. 2019

International Conference on Road and Airfield Pavement Technology 2019

Kuala Lumpur, Malezija
<http://conference.upm.edu.my/ICPT?>

10.-12.7. 2019

2019 European Conference on Computing in Construction

Hanija, Kreta, Grčija
<https://ec-3.org/conf2019/>

21.-23.8. 2019

14th International Workshop for Micropiles

Gold Coast, Queensland, Avstralija
www.ismicropiles.org/

10.-13.9. 2019

CGE-2019 – Third International Conference “Challenges in Geotechnical Engineering”

Zielona Gora, Poljska
www.cgeconf.com/en/

16.-20.9. 2019

ICCC 2019 – 15th International Congress on the Chemistry of Cement

Praga, Češka
www.iccc2019.org/

11.-14.5.2020

14th Congress INTERPRAEVENT 2020

Bergen, Norveška
www.interpraevent.at/?tpl=termine.php&kategorie=1&id=187

7.-11.9.2020

6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation

Budimpešta, Madžarska
www.isc6-budapest.com/

2.-6.11.2020

5th World Landslide Forum

Kjoto, Japonska
<http://wlf5.iplhq.org/>

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net