





# 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, november 2017, letnik 66, str. 265-292

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 Jukić**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
IZS MSG: **Gorazd Humar**  
**mag. Mojca Ravnikar Turk**  
**dr. Branko Zadnik**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**  
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

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 upokojence 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 všteti DDV.

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

## 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 **266**

**NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE GRADBENIM INŽENIRJEM LETA 2017**

## Članki • Papers

stran **268**

Branko Đurić, dipl. inž. grad.  
Anton Ferlinc, univ. dipl. inž. grad.  
Uroš Belak, univ. dipl. inž. grad.

### **POMEN DOBREGA SODELOVANJA IN IZMENJAVE INFORMACIJ MED UDELEŽENCI GRADITVE**

IMPORTANCE OF GOOD COOPERATION AND MUTUAL EXCHANGE OF INFORMATION BETWEEN PARTICIPANTS IN THE CONSTRUCTION PROCESS

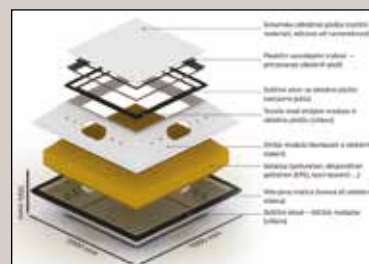


stran **279**

doc. dr. David Koren, univ. dipl. inž. grad.  
mag. Jernej Jaroslav Kropelj, univ. dipl. obl.

### **SISTEM MODULARNE GRADNJE Z NOSILNIMI ELEMENTI IZ KOMPOZITOV S STEKLENIMI VLAKNI**

MODULAR BUILDING CONSTRUCTION SYSTEM WITH FIBREGLASS REINFORCED COMPOSITES



## Poročilo s strokovnega srečanja

stran **292**

dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž., kem. inž.  
**VODNI DNEVI 2017**

## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradnja AC A4 med Podlehnikom in Gruškovjem, foto: DARS

# NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE GRADBENIM INŽENIRJEM LETA 2017



**Nagrado IZS za enkratni inženirski dosežek pri graditvi objektov je prejel Marko Pavlinjek, univ. dipl. inž. grad.,**

ki je kot odgovorni projektant gradbenih konstrukcij s svojim obsežnim znanjem, strokovno predanostjo in z osebno zavzetostjo ključno prispeval k izgradnji zelo zahtevnega objekta S1 – Hotela Intercontinental v Ljubljani. Konstrukcijska zasnova, uporaba najnovejših tehnologij informacijsko podprtega projektiranja in novi pristopi h konstruiranju nosilnih elementov so pomemben prispevek k razvoju slovenske gradbene stroke. Marko Pavlinjek je bil eden ključnih strokovnjakov pri izgradnji tega 81,5 metra visokega objekta z dvaindvajsetimi nadzemnimi in štirimi podzemnimi etažami. Z nenehnim spremljanjem najsodobnejših dognanj doma in v svetu se je pridružil peščici najboljših slovenskih strokovnjakov in dokazal visoko kakovost slovenskega gradbenega konstruiranja.



**Nagrado IZS za večkratni inženirski dosežek pri graditvi objektov je prejel Marjan Pipenbaher, univ. dipl. inž. grad., za projektiranje zahtevnih cestnih in železniških mostov v Izraelu, Turčiji in na Hrvaškem.**

Marjan Pipenbaher je avtor, vodja projekta in projektant največjega železniškega viadukta Bridge No. 10 na hitri železniški progi A1 Tel Aviv–Jeruzalem v Izraelu. Dvojni viadukt v skupni dolžini 1005 metrov in z razponi 125 metrov na višini do 100 metrov premošča zaščiteno in krajinsko občutljivo dolino Arazim Valley Park v neposredni bližini Jeruzalema, kar je vplivalo na zasnovo, razporeditev

stebrov in izbiro tehnologije gradnje. Pristopni deli mostu z razponi do 60 m so grajeni po tehnologiji postopnega narivanja, medtem ko je centralni del z razponi do 125 m grajen po tehnologiji proste konzolne gradnje. Voziščna konstrukcija poteka na višini 100 m nad dolino, kjer hitrosti vetra dosežejo 200 km/h. Za načrtovanje in izvedbo tega obsežnega projekta je bilo potrebno veliko znanja in izkušenj, v svetovnem merilu pa pomeni vrhunski inženirski dosežek na področju projektiranja in gradnje železniških viaduktov in mostov na hitrih progah, na katerih hitrosti vlakov dosegajo in presegajo hitrost 200 km/h.

Marjan Pipenbaher je avtor, vodja projekta in odgovorni projektant železniškega mostu 6–70 v Izraelu. V skupni dolžini 720 m in z razponi do 67,6 m poteka sorazmerno nizko nad terenom in je v celoti potresno izoliran.

Avtor, vodja projekta in odgovorni projektant je pri projektu cestnega mostu Hagiborim v Izraelu. Ta z največjim razponom 92 m in s skupno dolžino 207 m prečka ozko dolino s strmimi brežinami. Zaradi bližine avtocestnega vozlišča se vozišče, katerega vzdolžni naklon je v območju mostu 10-odstoten, na tem območju razširi z dveh vozniških pasov na tri.

Marjan Pipenbaher je soavtor projekta, vodja projekta in odgovorni projektant mostu kopno–Pelješac, ki s petimi centralnimi razponi dolžine 285 m in s šestimi piloni premošča zaliv Mali Ston v skupni dolžini 2404 m. Zasnovan je kot večrazponski most s poševnimi zategami in s hibridno konstrukcijo. Pri načrtovanju je bilo treba upoštevati stroge naravovarstvene zahteve, saj most prečka z Naturo 2000 zaščiteno zaliv Mali Ston, predvsem pa dejstvo, da je most umeščen na potresno zelo aktivno območje, z zelo močnimi in sunkovitimi vetrovi (do 200 km/h pri višini 60 m nad morjem). Gre za izredno velik konstruktorski dosežek, saj bo most po končani gradnji med petimi največjimi in najbolj atraktivnimi mostovi v Evropi.

Marjan Pipenbaher je projektant konzultant in neodvisni revident pri kombiniranem železniško-cestnem mostu Izmir Bay Crossing v Turčiji. Projekt sestavljajo trije mostovi v skupni dolžini 4175 m: dva pristopna betonska mostova in centralni most dolžine 590 m z glavnim razponom 270 m. Hibridno zasnovana konstrukcija s temeljenjem na zabitih jeklenih pilotih na potresno zelo aktivnem območju predstavlja projektantsko zelo zahtevno nalogo.

Kot projektant konzultant in neodvisni revident Marjan Pipenbaher sodeluje pri 660 m dolgem asimetričnem mostu s poševnimi zategami na hitri cesti Elazığ–Malatya v Turčiji. Gre za objekt, ki v svetovnem merilu predstavlja zelo velik konstruktorski dosežek na področju projektiranja in gradnje mostov z velikimi razponi na potresno zelo aktivnem območju.

Enako velja za 610 m dolgi most s poševnimi zategami Nissibi v Turčiji, pri katerem je Marjan Pipenbaher projektant konzultant in neodvisni revident.



**Nagrado IZS za večkratni inženirski dosežek pri graditvi objektov je prejel Mirko Veronek, inž. grad., za izvedbo vodarskih objektov, za organizacijo in izvedbo vodarskih intervencijskih ter sanacijskih del v izjemno težkih razmerah.**

Mirko Veronek se kot vodja operative oziroma vodja sektorja gradnje že več kot 34 let ukvarja z reševanjem vodarske problematike – z intervencijami ob poplavih, s sanacijskimi deli po poplavih in z izvedbo investicijskih projektov s ciljem povečanja stabilnosti vodotokov in poplavne varnosti ob njih. Vodil je sanacijska dela po poplavih na Meži, Mislinji, Suhodolnici, na Dravi od Dravograda do Središča ob Dravi, Pesnici, Dravinji in številnih manjših potokih. Na težko dos-

topnih lokacijah, na zaraščenih strmih in razmočenih brežinah in znotraj strug je kot vodja del poleg odstranjevanja naplavin in zarasti opravljal še različna obrežna zavarovanja in številne prečne objekte različnih izvedb.

V preteklih letih je med drugim vodil dela pri izgradnji visokovodnih nasipov ob reki Dravi v Dupleku in Dogošah. Gre za zahteven in zelo kompleksen objekt, v okviru katerega je bilo treba zgraditi nasipe s tesnilno plastjo, vzporedno urediti vso prometno infrastrukturo in odvodnjo zalednih voda in potokov, ki jih je nasip presekala, ter prestaviti komunalno infrastrukturo. Gradnja do 4,8 m visokega nasipa je trajala dve leti in je potekala v dolžini več kot 5 km na levem bregu na območju Dupleka in v dolžini 2,3 km na desnem bregu Drave v Dogošah. Organizacija del v takem obsegu in trajanju je zahtevala od vodje del veliko izkušenj, predznanja, poznavanja stroke, izvirnosti, sprotnega prilagajanja ter hitrega in pravilnega odločanja, pri čemer se je Mirko Veronek izkazal po zaslugi svojega strokovnega znanja, iznajdljivosti in dolgoletnih izkušenj.



**Nagrado IZS za življenjsko delo pri graditvi objektov je prejel doc. dr. Janez REFLAK, univ. dipl. inž. grad., za znanstveni in strokovni razvoj gradbene stroke**

**v Sloveniji ter za razvoj potresnega inženirstva v mednarodnem okolju.**

Janez Reflak, ki je letos praznoval 80 let, je s svojim znanstvenim in strokovnim inženirskim delom izrazilo znamenoval razvoj in vlogo gradbene inženirske stroke v Sloveniji, s svojim več kot uspešnim in ustvarjalnim delom v IZS pa je pomembno vplival tudi na ugled inženirske stroke. Odličen gradbeni strokovnjak je svoje delo vedno opravljal z vizijo nenehnega razvoja stroke v širšem družbenem okolju. Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG) v Ljubljani, kjer je bil zaposlen večji del svoje delovne kariere, je bil že leta 1971 med glavnimi pobudniki ustanovitve računskega centra na FGG, iz

katerega se je leta 1980 razvil Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR). Inštitut je s krajšo prekinitvijo vodil vse do upokojitve leta 2001. V tem obdobju se je IKPIR razvil v največjo raziskovalno enoto FGG, ki se je z znanstvenim in strokovnim delom uveljavila po vsem svetu in pomembno prispevala k razvoju potresnega inženirstva v mednarodnem okolju. IKPIR je pod njegovim vodstvom dokazal, kako pomembna je povezava gradbeniške znanosti s prakso, ogromno je prispeval tudi k izobraževanju projektantov konstruktorjev in snovanju sodobne protipotresne regulative v Sloveniji.

Janez Reflak je vrsto let deloval v Zvezi društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS) in bil več let njen predsednik. Bil je tudi med pobudniki in prvimi ustanovitelji IZS, kjer izstopa njegov prispevek na področju vodenja strokovnih izpitov za vse inženirske profile, organizirane v IZS. Kot predsednik še danes vodi komisijo za strokovne izpite, pri čemer izstopa njegova vloga pri vsebinski sestavi znanj s posameznih področij, potrebnih za pridobitev strokovnega izpita pri IZS. Tako delo lahko opravlja le človek s širokim strokovnim znanjem in zavedanjem o vlogi in odgovornosti inženirjev v širši družbi.



**Častni član IZS je postal dr. Branko ZADNIK, univ. dipl. inž. grad., ki je kot dolgoletni član in predsednik upravnega odbora Matične sekcije gradbenih inženirjev**

**prispeval k prepoznavnosti delovanja IZS tako v slovenskem kot tudi v mednarodnem prostoru.**

Branko Zadnik je priznan strokovnjak za visoke pregrade in konstrukcije električnih daljnovodov, odgovorni projektant gradbenih konstrukcij številnih objektov, ukvarjal se je tudi s potresno varnostjo visokih pregrad. Dejaven je v Slovenskem komiteju za visoke pregrade SLOCOLD, kjer je s sodelavci izdal Tehnični slovar za pregrade, ki je izšel v več tujih jezikih. Je tudi avtor univerzitetnega učbenika Fenomen žleda in njegov

vpliv na objekte za prenos električne energije. Sodeloval je pri uveljavitvi standardov na tem področju.

Napisal je številne znanstvene in strokovne članke, ki so bili objavljeni v revijah in zbornikih strokovnih prireditev, med drugim v Gradbenem vestniku, kjer deluje tudi kot član izdajateljskega sveta. V glasilu IZS NOVO je bilo objavljenih več njegovih člankov o poklicnih problemih slovenskih inženirjev, aktivno je sodeloval tudi pri predstavitvi stališč IZS s tega področja v dnevni medijih.

Kot funkcionar je dejaven pri Evropskem svetu gradbenih inženirjev (ECCE), več mandatov je bil predsednik UO Matične sekcije gradbenih inženirjev in član skupščine IZS. S svojim delovanjem je prispeval k učinkovitemu delu obeh organov. Kot vodstveni delavec v družbi IBE se je vseskozi zavedal pomena IZS za razvoj inženirske dejavnosti, s svojim zgledom pa je številne sodelavce spodbudil k aktivnemu sodelovanju v matični sekciji in drugih organih IZS.

**Vsem nagrajencem iskreno čestitamo.**

# POMEN DOBREGA SODELOVANJA IN IZMENJAVE INFORMACIJ MED UDELEŽENCI GRADITVE

## IMPORTANCE OF GOOD COOPERATION AND MUTUAL EXCHANGE OF INFORMATION BETWEEN PARTICIPANTS IN THE CONSTRUCTION PROCESS

**Branko Đurić, dipl. inž. grad**  
**Anton Ferlinc, univ. dipl. inž. grad.**  
**Uroš Belak, univ. dipl. inž. grad.**

DRI upravljanje investicij, d. o. o., Kotnikova 40, 1000 Ljubljana

**STROKOVNI ČLANEK**

UDK 69:657.2(497.4)

**Povzetek** | V članku so prikazane določene aktivnosti v procesu graditve, pri katerih je smiselno oziroma treba izvesti določene ukrepe, ki bi znižali investicijsko vrednost in v določenih primerih še dodatno izboljšali kvaliteto zgrajenega objekta. Najlažje željeni cilj dosežemo z dobrim medsebojnim sodelovanjem vseh udeležencev v celotnem procesu graditve. Dobro sodelovanje pomeni, da se prenos informacij med udeleženci izvaja v celotnem procesu graditve v čim večji meri ter v duhu dobrega gospodarja, ki mu je cilj racionalna in kvalitetna graditev. Po prenosu in izmenjavi informacij sledijo takojšnji ukrepi, ki so namenjeni racionalizaciji in izboljšanju kvalitete načrtovane graditve.

Ključne besede: sodelovanje, izmenjava informacij, racionalna in kvalitetna graditev, najnižja cena, kratki izvedbeni rok, primeri nepopolne izvedbe

**Summary** | The article presents specific activities in the construction process, where it is reasonable or required to implement certain measures, which would reduce the investment value and, in certain cases, even further improve the quality of works already constructed. The largest contribution to the desired objective is good mutual cooperation of all participants in the construction throughout the process. Good cooperation means that the transfer of information between participants in the construction is performed throughout the construction process as much as possible and with due diligence, with the aim to provide rational and quality construction. The transfer and exchange of information are followed by immediate measures, which are aimed at the rationalization and improvement of quality of the planned construction.

Key words: cooperation, information exchange, rational and quality construction, lowest price tendering, tight project deadline, examples of bad practice.

## 1 • UVOD

Namen prispevka je prikazati del sedanjega stanja gradbeništva pri nas. Ni težko ugotoviti, da je splošna ekonomska kriza pustila in še naprej pušča negativne posledice na vseh področjih gospodarstva pri nas in v širši regiji. Da bi se v gradbeništvu kljub slabim ekonomskim razmeram zmanjšala prisotnost napak oziroma da bi se jim v celoti izognili v fazi graditve, je treba poznati vzroke za njihov nastanek. Pogosto te napake nastajajo zaradi nepopolne izvedbe posameznih aktivnosti ali ne dovolj usklajenega sodelovanja med udeleženci v celotnem procesu graditve. Za lažje razumevanje obravnavane problematike je treba

predstaviti glavne udeležence graditve in vrstni red opravljanja aktivnosti v celotnem procesu graditve, ki jo naroči naročnik. Glavne aktivnosti graditve so: projektiranje, ki ga opravlja projektant; izvajanje, ki ga opravlja izvajalec; nadzor v času gradnje, ki ga opravlja inženir v imenu naročnika; ter na koncu vzdrževanje zgrajenega objekta, ki ga opravlja vzdrževalec po naročilu naročnika oziroma naročnik sam.

Da je graditev gospodarna in kvalitetna, je treba skrbeti ves čas graditve. Proces graditve se začne z izdelavo projektne dokumentacije. Pomembno je, da se pri izdelavi projektne dokumentacije opravljajo vse

aktivnosti dosledno, popolno, gospodarno in strokovno. Kakovostno izdelana projektna dokumentacija je temelj za gospodarno in kakovostno gradnjo. Sledi gradnja, kjer izvajalec prilagaja svojo tehnologijo gradnje projektne dokumentaciji, s katero je definirana gradnja v celoti. Hkrati z izvajalcem je v proces gradnje vključen tudi inženir, ki opravlja nadzor operativnega izvajanja oziroma skrbi, da je operativno opravljanje vseh potrebnih aktivnosti skladno z izdelano projektno dokumentacijo. V končni fazi izvajalec zgrajen objekt preda naročniku v uporabo. Z objektom je treba skrbno ravnati in ga kakovostno vzdrževati. Da sta racionalizacija in kakovost gradnje odvisni od dobre izvedbe posameznih aktivnosti in dobrega sodelovanja vseh udeležencev graditve, je prikazano v nadaljevanju s posameznimi primeri.

## 2 • GLAVNI VZROKI ZA NASTANEK NAPAK PRI OPRAVLJANJU POSAMEZNIH AKTIVNOSTI V PROCESU GRADITVE

Najpogostejši vzroki za nepopolne izvedbe posameznih aktivnosti vseh udeležencev graditve v celotnem procesu so:

- najnižja cena kot kriterij izbire najugodnejšega ponudnika in kratek rok izvedbe pogodbenih obveznosti pri posameznih udeležencih graditve;
- nepopoln strokovni pristop posameznih udeležencev pri opravljanju posameznih aktivnosti;
- slabo sodelovanje med udeleženci v celotnem procesu graditve.

### 2.1 Najnižja cena kot kriterij izbire najugodnejšega ponudnika in kratek rok izvedbe pogodbenih obveznosti pri posameznih udeležencih graditve

Sam izraz »najnižja cena« pove, da pot do gospodarnega in kvalitetnega končnega gradbenega izdelka takoj na začetku naleti na kup ovir, ki se kažejo pri vseh udeležencih graditve (pri projektantu, izvajalcu in inženirju). Včasih je zelo težko, skoraj nemogoče z nizko pogodbeno ceno (nerealno, ki je podkrepjena s podatki statističnega urada) in kratkim rokom izvedbe, ki dodatno poslabša pogoje izvedbe, priti do želenega cilja gospodarne in kvalitetne gradnje. Takoj v začetni fazi graditve pri izdelavi projektne dokumentacije, ki se izdeluje po načelu najnižje cene, se v naslednjih fazah ugotavlja, da je takšna pot neustrezna. Mnogokrat se izkaže, da projektna

dokumentacija, izdelana po prej opisani poti, ni dovolj detajlno in strokovno obdelana, in v naslednjih fazah graditve povzroča velike dodatne stroške. Enaka težava nastane v naslednji fazi graditve – pri gradnji. Zakonodaja izvajalcu z Uredbo prostega pretoka blaga in prostega pretoka delovne sile omogoča veliko izbiro na teh področjih. Bolj ali manj je jasno, da je z najcenejšimi gradbenimi produkti in najcenejšo delovno silo, ki te produkte vgrajuje v gradbene objekte, težko zagotoviti želeno kakovost, ki je določena s projektno nalogo. Istočasno inženir opravlja nadzor oziroma skrbi, da je gradnja skladna z izdelano projektno dokumentacijo. Nizko postavljena cena storitve inženirja pri nadziranju velike množice gradbenih produktov, ki so na tržišču, ter velik in neprestan pretok delovne sile, ki v večini primerov ni ustrezno kvalificirana za opravljanje določenih del, prav tako otežuje njegovo kvalitetno delo. Pri spredaj opisanih navedbah je v vsakdanji praksi treba ločevati nerealno najnižje cene, ki imajo v procesu gradnje v večini primerov negativne učinke, od nizkih konkurenčnih cen, ki veliko prispevajo k tehnološkemu razvoju obravnavane panoge.

### 2.2 Nepopoln strokovni pristop posameznih udeležencev pri opravljanju posameznih aktivnosti

Najnižja cena veliko prispeva k nepopolnemu strokovnemu pristopu posameznih

udeležencev graditve pri opravljanju posameznih aktivnosti. Treba se je zavedati, da je za popolno izvajanje posameznih aktivnosti v katerikoli panogi treba neprestano skrbeti za izobraževanje in razvoj delovne sile ter nadgradnjo obstoječe in nabavo nove sodobne tehnološke opreme. Da so izpolnjeni prej navedeni pogoji, je treba za to zagotoviti denarne vire. Istočasno se postavlja vprašanje, kje v najnižji ponudbeni ceni so zajeti vsi potrebni stroški. Izkaže se, da z gradnjo po načelu najnižje cene v ponudbenih cenah niso zaozbjeti vsi potrebni stroški. Zato se postopoma znižuje strokovna usposobljenost delovne sile in s tem tudi kakovost gradnje. Postavlja se vprašanje, do katerega nivoja je še dopustno zniževati stopnjo usposobljenosti delovne sile, da je še mogoče zagotavljati minimalni zahtevani nivo kakovosti. V gradbeništvu je očitno, da je stanje alarmantno. Skokovito se povečuje pomanjkanje izučene poklicne delovne sile. Tehnološki razvoj stagnira, v večini primerov nazaduje zaradi dotrajanosti obstoječe tehnološke opreme, s katero razpolagajo izvajalci. Prej omenjene navedbe kažejo, da brez ustrezne delovne sile in ustrezne tehnološke opreme ni mogoče zagotavljati popolnega strokovnega pristopa pri opravljanju posameznih aktivnosti gradnje. Nepopoln strokovni pristop se pojavlja pri vseh udeležencih graditve, od projektanta, izvajalca do inženirja. Nepopolno opravljanje posameznih aktivnosti gradbeništvu ne napoveduje dobre prihodnosti. Zato je o tem treba nujno razmisliti in s skupnimi močmi poiskati potrebne ukrepe za obstoj in kvaliteten razvoj gradbeništvu v prihodnje.

### 2.3 Slabo sodelovanje med udeleženci v celotnem procesu graditve

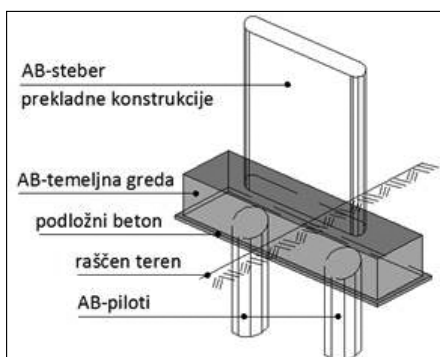
Največji prispevek k racionalni in kakovostni graditvi je dobro medsebojno sodelovanje med vsemi udeleženci v celotnem procesu graditve. Dobro sodelovanje pomeni, da prenos in izmenjava informacij potekata čim hitreje in v čim večji meri. Pri tem je pomembno poudariti, da mora pri prenosu in izmenjavi informacij med udeleženci graditve v celotnem procesu biti skupni cilj gospodarna in kakovostna gradnja, ki se doseže z neprestano izboljšavo detajlov pri posameznih aktivnostih. Vse predlagane izboljšave detajlov pri posameznih udeležencih gradnje morajo biti podkrepjene z realnimi argumenti oziroma pojasnili ter pri njihovi nadaljnji realizaciji spoštljivo upoštevana mnenja drugih udeležencev. V praksi se velikokrat dogaja, da predlogi za izboljšavo posameznih detajlov nalletijo na gluha ušesa ali na velika nasprotovanja drugih udeležencev graditve, ki v obravnavanih primerih niso predlagatelji izboljšav.

Nasprotovanja nastajajo v večini primerov brez realnih argumentov oziroma pojasnil. Takšnemu sodelovanju, kjer nastajajo nasprotovanja posameznih udeležencev gradnje brez realnih argumentov oziroma pojasnil, rečemo slabo sodelovanje. Naš namen je opozoriti vse udeležence graditve, da slabo sodelovanje med njimi nikakor ni dobro za napredovanje gradbene stroke kakor tudi družbe v celoti. V nadaljevanju so prikazani primeri iz prakse, pri katerih se da hitro ugotoviti, da se pri gradnji določene aktivnosti opravljajo nepopolno ter s premalo logike in strokovnega znanja. Posledice nepopolne in ne dovolj strokovne izvedbe vedno negativno vplivajo na gospodarnost graditve, v nekaterih primerih pa je zaradi takšnega ravnanja pri izvedbi vprašljiva tudi želena kakovost posameznih sestavin gradnje. Nemogoče je spregledati, da je zaradi zagotavljanja racionalne in kakovostne gradnje pri navedenih primerih treba določene aktivnosti nemudoma nadgraditi oziroma spremeniti na boljše. Res je, da se nekateri primeri rešujejo

oziroma izboljšujejo sproti, nekatere pa bo treba še doreči in rešiti. Najbolj enostavna in kakovostna rešitev za odpravo ugotovljenih pomanjkljivosti in za uvajanje novih tehničnih rešitev pri opravljanju posameznih aktivnosti graditve bi bila npr. pri mostovih tekoča in sledljiva nadgradnja že dobro zastavljenih tehničnih specifikacij za projektiranje cestnih premostitvenih objektov (TSC 07.101). Včasih je zelo težko določiti, kdo od udeležencev graditve je za ugotovljeno pomanjkljivost odgovoren oziroma pristojen. Večinoma je odgovornih več, prav tako pa tudi »krivih«. Ni korektno, da se v večini primerov odgovornosti in krivde drugih udeležencev gradnje prenašajo na izvajalce del, ki opravljajo aktivnosti neposredno na terenu. Zaradi navedenega bo treba za dobro gradbene stroke v prihodnje vse udeležence graditve, ki aktivnosti opravljajo nepopolno in ne dovolj strokovno, primerno sankcionirati ali jih v skrajnjem primeru pri prihodnjih nalogah izključiti iz procesa graditve.

## 3 • PRIMERI NEPOPOLNIH REŠITEV V PROJEKTI DOKUMENTACIJI

### 3.1 Hidroizolacija temeljnih konstrukcij



Slika 1 • Risba priklučka temeljne AB-grede na AB-pilote.

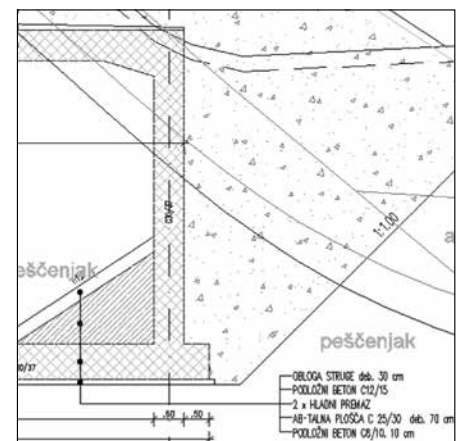
V večini primerov se temeljne AB-grede, ki se v končni fazi zasipavajo z zemljino, dodatno ščitijo s hladnim bitumenskim premazom. Postavlja se vprašanje, ali je takšna izvedba potrebna. Na stiku AB-pilotov in temeljne AB-grede, kjer je najbolj občutljivo mesto za nastanek korozije jekla, se tovrstna zaščita ne izvaja. Zato je na mestu razmislek, ali je v prihodnje treba izvajati hladni bitumenski premaz na AB-gredah, ki imajo zaščitno plast betona nad armaturo 5,0 cm, imajo računsko armaturo, ki omejuje širino razpok na 0,25 mm, in imajo kvaliteto betona z ustreznim raz-



Slika 2 • Aksonometrični prikaz priklučka temeljne AB-grede na AB-pilote.

redom izpostavljenosti, ki ga zahteva lokacija betonskih elementov.

Verjetno je uporaba hladnega bitumenskega premaza ostanek iz preteklosti, ko je bila zaščitna plast betona nad armaturo ca. 2,0 cm in je bila količina armature v betonu nezadostna za omejitev razpok na 0,25 mm. Hladni bitumenski premaz se je tako izvajal kot priprava podlage za izvedbo hidroizolacije po vročem postopku. Z opustitvijo izvedbe hladnih bitumenskih premazov se kvaliteta izdelka ne spremeni, privarčujejo se sredstva; rešitev za okolje je ugodnejša.



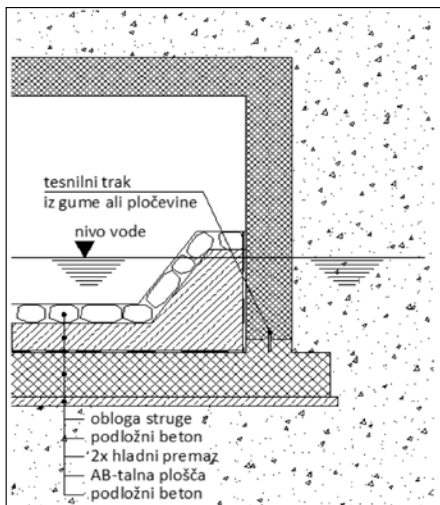
Slika 3 • Hidroizolacija na talni AB-plošči prepusta.

Slika 3 prikazuje bitumenski premaz v AB-prepustu, ki je prav tako nesmiseln.

Na sliki 4 je prikazana uporaba tesnilnih trakov na stiku talne AB-plošče in AB-stene prepusta. Ti trakovi so potrebni, kadar je nivo vode na obeh straneh stene različen, sicer pa ne. V primeru višinske razlike v nivoju vode na notranji in zunanji strani prepusta obstaja možnost pretoka vode skozi delovni stik betona prve in druge faze, s tem pa možnost izpiranja cementnega gela ter ustvarjanja poroznih mest v betonu in razmer za nastanek korozije na vgrajeni armaturi.

Na objektih, kjer je potrebna in predvidena uporaba pločevinastih tesnilnih trakov, je tre-



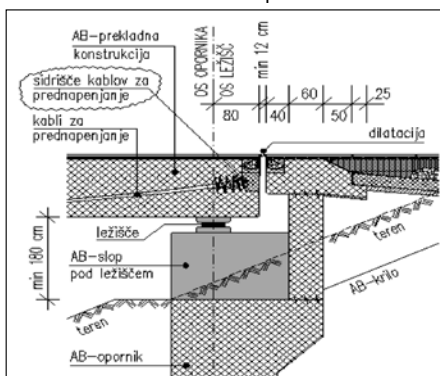


Slika 4 • Tesnilni trak na stiku talne AB-plošče in AB-stene prepusta.

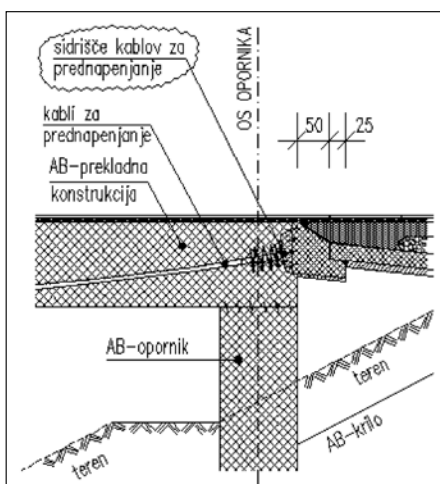
ba v projektni dokumentaciji navesti pravilen postopek izvedbe (varjenje stikov ali pravilen medsebojni tlorski razmik, da se v obeh fazah betoniranja trak pravilno ovije z betonom).

### 3.2 Stiki mostov s cestnim telesom

Prikazana sta dva načina povezave mostu s



Slika 5 • Položaj sidrišč v območju dilatacije.



Slika 6 • Položaj sidrišč v območju brez dilatacije.

cestnim telesom. Slika 5 prikazuje povezavo mostu večje dolžine preko dilatacije in prehodne plošče.

Slika 6 prikazuje navezavo krajšega mostu samo preko prehodne plošče brez dilatacije. Konstruktivna zasnova objektov v obeh primerih zahteva uporabo visokovrednega jekla za uvajanje sile napenjanja. Sila napenjanja v prekladni AB-konstrukciji se uvaja preko jeklenih pramen in sidrišč. S slik 5 in 6 je razvidno, da so sidrišča v območju, v katerem se pozimi pojavlja sol, kar ustvarja idealne razmere za nastanek korozije. Prav tako lokacija in zasnova konstrukcijskega

detajla sidrišč ne omogočata njihove kontrole in zamenjave v času uporabe objekta. Zato je smiselno vsa sidrišča na koncih mostov v območju prehodnih plošč vedno dodatno zaščititi z zaščitnimi pokrovi. To je treba predvideti v začetni fazi graditve v projektni dokumentaciji. Pri sidriščih v območju dilatacijskih elementov je treba paziti, da se sidrišča dodatno zaščitijo pred morebitnimi mehanskimi poškodbami pri zamenjavi dotrajanih dilatacijskih elementov. Želeni učinek se lahko doseže z ustreznim razmikom obravnavanih elementov in dodatno armaturo v območju sidrišč.



Slika 7 • Jekljeni zaščitni pokrovi.



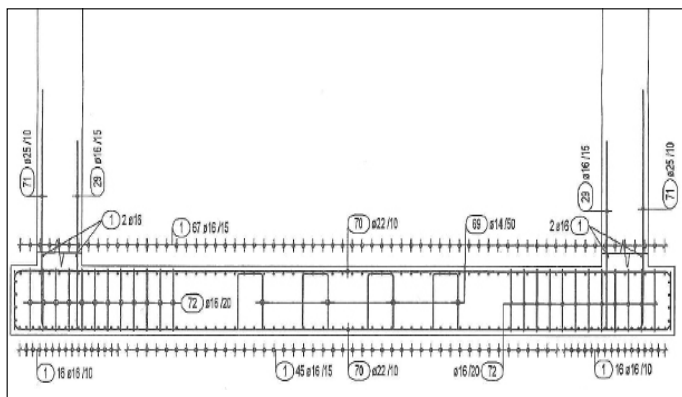
Slika 8 • Zaščitni pokrovi iz umetne mase.

### 3.3 Neustrezni računski modeli konstrukcij in neupoštevanje pravil o konstruiranju armature

Pogosto se brez dovolj premisleka za nekatere konstrukcije izbere računski model, ki ne odgovarja dejanskemu stanju v naravi. V večini primerov so ti modeli neracionalni, ker zaradi velikih obremenitev zahtevajo

tavla dejanskih statičnih količin objekta v naravi. Na neprimernem računskem modelu izračunane obremenitve so nevarne ali negospodarne. Obremenitve, manjše od dejanskih, znižujejo predpisano varnost ter zahtevano kakovost in trajnost objekta. Obremenitve, večje od dejanskih, pa niso gospodarne. Da so pravila konstruiranja armature

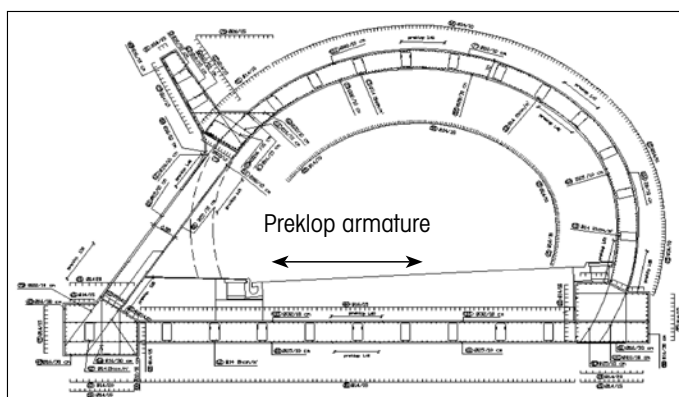
(zgornja) faza betonskega prereza je nearmirani beton debeline ca. 100 cm in enake kvalitete kot armirani beton prve faze. Sliki prikazujeta, da armatura, položena v zgornjo natezno cono betonskega prereza prve faze, v končni fazi skupnega betonskega prereza, ki združuje prvo in drugo fazo, leži v nevtralni osi prereza. Računski model in konstruirana



Slika 9 • Risba strižne armature v talni plošči AB-okvirja.

povečane količine armature in betona v posameznih elementih konstrukcije. S slik 9 in 10 je razvidno, da je del strižne armature v talni plošči tik pod AB-steno nepotreben. Poleg tega je bila strižna armatura izračunana ob predpostavki, da so tla pod objektom stisljiva, dejansko pa niso. Zato bi bilo treba spremeniti računski model, s

premalo upoštevana, je razvidno s slik 11, 12 in 13. V talni plošči razpona ca. 16,5 m se po nepotrebem izvajajo preklopi vseh armaturnih palic na sredini. Pri konstruiranju se premalo upoštevajo dolžine palic na trgu in neuporabni odrezki. Uporabljajo se t. i. plavajoče palice, ki med betoniranjem nimajo opore, ki bi jih držala v predvideni legi.



Slika 11 • Risba armature AB-konstrukcije tunelskega portala.

armatura sta daleč od racionalnega. V danem primeru bi se z boljšo izbiro računskega modela talne plošče obravnavanega objekta lahko zmanjšala količina armature in betona, kar bi posledično zmanjšalo njegovo investicijsko vrednost. Zato je na osnovi podanih geomehanskih raziskav in vseh drugih pridobljenih parametrov za gradnjo objekta treba



Slika 10 • Fotografija strižne armature v talni plošči AB-okvirja.

katerim bi bili izračunani manjše obremenitve ter manjši prerezi betona in armature.

Slika 11 kaže, da izbrana količina armature v zgornji in spodnji coni talne AB-plošče objekta ne odgovarja statičnemu modelu, ki temelji bodisi na stisljivi bodisi nestisljivi podlagi. Predvidena armatura ne sledi spremembam upogibnih momentov.

Neustrezno izbran statični model ne zago-

Taka je nepravilna povezava armature talne plošče z armaturo stebra (sliki 11 in 13).

Sliki 12 in 13 prikazujeta dejansko stanje položene armature v posamezne konstrukcijske elemente.

Sliki 12 in 14 prikazujeta ogromno količino zgornje armature (32 mm/10 cm), ki je položena v prvi (spodnji) fazi izvedbe betonskega prereza debeline 80 cm. Druga



Slika 12 • 100-% preklop armature v območju največjega upogibnega momenta.

statični model čim bolj strokovno preučiti in ga približati dejanski konstrukciji. Iz opisane je razvidno, da je pri projektiranju, dimenzioniranju in konstruiranju posameznih detajlov konstrukcije treba upoštevati vsa pravila in znanje tehnične stroke ter primere dobre prakse. Samo na ta način se lahko zagotavlja dobra ekonomičnost in kvalitetna gradnja.



Slika 13 • Prikaz t. i. plavajočih armaturnih palic.



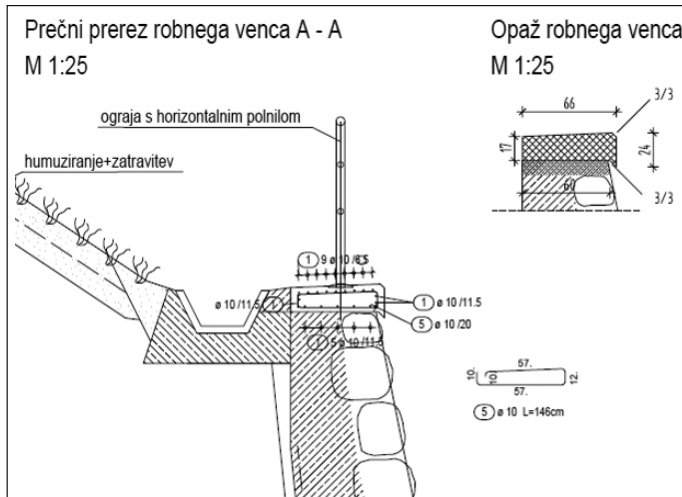
Slika 14 • Prikaz prve in druge faze betonskega preza talne plošče portala predora.

### 3.4 Robni venci na opornih in podpornih konstrukcijah

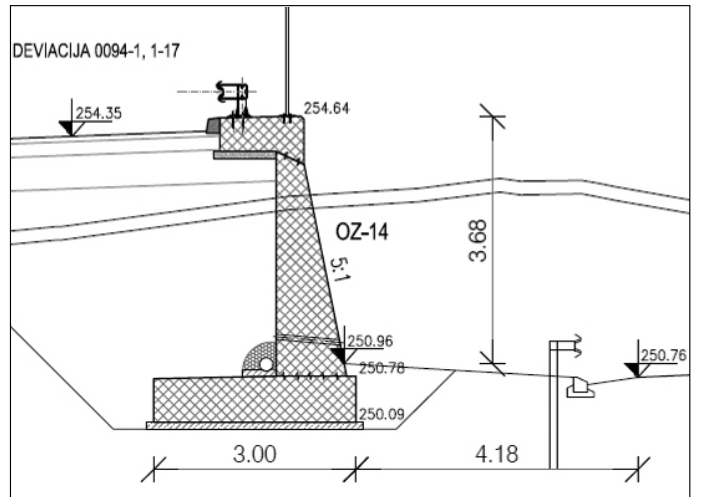
Določeni detajli v opažnih načrtih v projektih za izvedbo (PZI) niso dovolj jasno in ustrezno definirani. Takšna projektna dokumentacija

je obdelana pomanjkljivo in jo je treba nujno dopolniti pred gradnjo. Pogosto se postavlja vprašanje v fazi gradnje, ko so pomanjkljivosti ugotovljene, kako zagotoviti sredstva za dopolnitev projektne dokumentacije. Risbe in

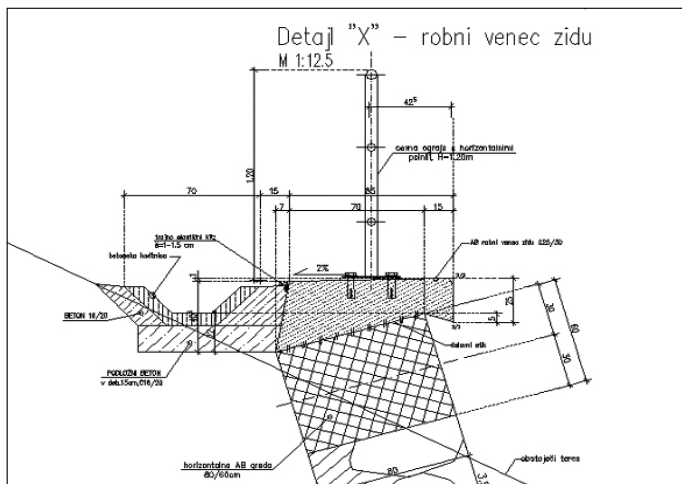
fotografije kažejo, da je zaradi racionalizacije pri zagotavljanju nespremenjene kakovosti obravnavanih konstrukcij robne vence na opornih in podpornih konstrukcijah smiselno izvajati brez previsa ali s previsom ca. 5,0 cm.



Slika 15 • Risba robnega venca na opornih zidovih (varianta 1).



Slika 17 • Risba robnega venca na opornih in podpornih zidovih (varianta 3).



Slika 16 • Risba robnega venca na opornih zidovih (varianta 2).



Slika 18 • Fotografija robnega venca z večjim previsom.

S takšnim detajlom se veliko prihrani pri porabi betona in armature. Slika 17 prikazuje nepravilno zasnovo robnega venca na podpornem AB-zidu ceste. Prikazani detajl je smiselno reševati tako, da se konzolni previs robnega venca zaradi zagotavljanja kvalitete zgoščevanja nasipnega materiala ceste pod robnim vencem prestavi na zunanjo stran podporne konstrukcije. Ostri in neobdelani betonski robovi na konstrukcijskih AB-elementih, ki so razvidni s slik 15 in 16, so nedopustni. Zaradi zagotavljanja kvalitete izvedbe delovnih stikov in zaključkov betonskih površin je smiselno v čim večji možni meri poševne površine zamenjati z vodoravnimi. Nagnjene poševne površine iz svežega betona je pri zgoščevanju z vibratorji zelo težko izvajati (sliki 16 in 17).



Slika 18 • Fotografija robnega venca z večjim previsom.

### 3.5 Jeklene varnostne ograje na manjših mostovih na AC

Sliki 20 in 21 kažeta, da so jeklene varnostne ograje (JVO) na propustih in manjših mostovih različne od ograj na AC pred

objektom in za njim. Predlagamo, da se TSC 07.103 (Ograje na premostitvenih objektih) dopolnijo tako, da se na obravnavanih armiranobetonskih mostovih majhnega razpona JVO izvaja z enakimi karakteristi-

kami kot na AC pred mostom in za njim. S tem se ne zmanjšuje varnost prometa, se pa zmanjšajo stroški izvedbe in vzdrževanja v času uporabe obravnavanega objekta oz. JVO.



Slika 21 • Odbojna ograja na manjšem mostu na AC.



Slika 20 • Odbojna ograja na propustu pod AC.

## 4 • VLOGA DOBRE PROJEKTNE DOKUMENTACIJE ZA RACIONALNO IN KVALITETNO GRADNJO

Za izvajanje racionalne in kvalitetne gradnje je osnova dobra projektna dokumentacija. Pri izdelavi projektne dokumentacije je treba natančno in dosledno skrbeti ter usklajevati opravljanje vseh aktivnosti v vseh fazah nastanka obravnavane dokumentacije, od idejne zasnove (IZ) do projekta za izvedbo (PZI). Glavno vlogo za skrb in usklajenost projektne dokumentacije za celoten projekt ima odgovorni vodja projekta. Dobro sodelovanje in neprestano usklajevanje mora potekati med vodji in vsemi drugimi udeleženci projektiranja. Pomembno je, da se ti zavedajo, da imajo

investicije javnih naročil gradenj v pretežni meri zelo visoke finančne vrednosti. Zato je treba k fazi projektiranja tovrstnih objektov, prav tako tudi k vsem drugim, pristopiti s polno vsestransko odgovornostjo (strokovno, moralno, etično itn.). Vemo, kaj finančno pomeni en odstotek od visoke vrednosti projekta. S pomanjkljivo oziroma neustrezno izdelano projektno dokumentacijo se lahko pri teh investicijah ustvarja velika gospodarska škoda.

Pogosto preberemo ali slišimo iz sredstev javnega obveščanja različne gospodarske in negospodarske panoge, da gre za še eno pre-

drago investicijo, da je investicija nepotrebna ali nepravilno vodena. Zato moramo kot dobri projektanti in graditelji ter vestni državljani takšne odklone sistemsko preučevati ter morebitne napake pravočasno ugotoviti. Včasih slišimo, da nastale napake niso vedno na strani stroke, da so nekatere tudi posledica političnih odločitev. Zato apeliramo na stroko in politiko (na vse udeležence gradnje in drugih aktivnosti gospodarstva in negospodarstva), da nemudoma začnemo delati s skupnimi močmi za dobrobit vseh državljanov. Analize za že narejene napake naj nam bodo samo šola in usmeritev za dobro delo vnaprej, nikakor pa ne izgubljanje časa v iskanju krivca in obtoževanju, kdo je kriv. Pri tem pa se pričakuje od nas, da smo pošteni, pogumni in tolerantni do drugih ter strokovni in državotvorni.

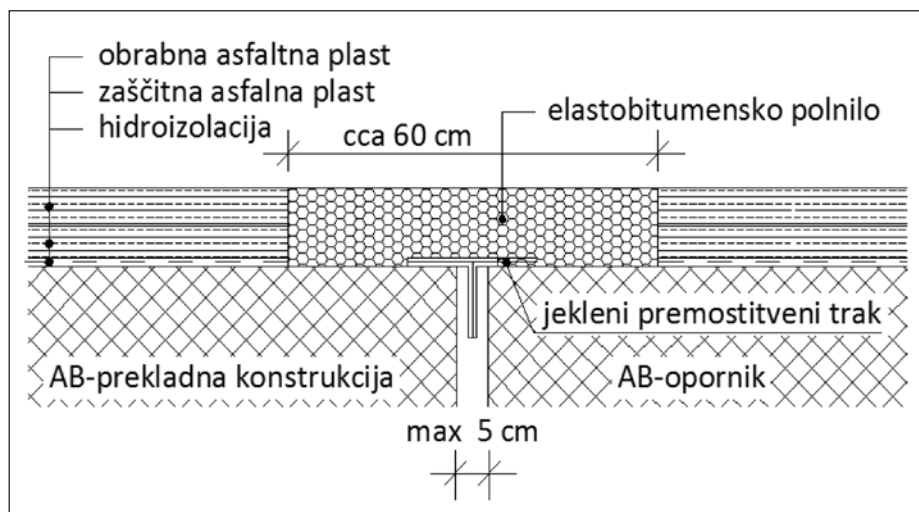
## 5 • PRIMERI NEPOPOLNE IZVEDBE GRADNJE

### 5.1 Asfaltne dilatacije

Na skoraj vseh tovrstnih dilatacijah, ki so izvedene na mostovih, so v kratkem času po vgradnji nastale poškodbe v različnih oblikah. Te poškodbe so zahtevale takojšnje in stroškovno zahtevne ukrepe. Poškodbe so posledica neustreznih detajlov ali neustreznih materialov, ki so premalo elastični, da bi zagotovili predvidene pomike. Nekateri proizvajalci asfaltnih dilatacij zagotavljajo pomike do 4,0 cm, kar dosedanje izkušnje ne potrjujejo. Istočasno nastajajo problemi s togostjo, ki mora na eni strani zagotoviti prevzem prometne obtežbe brez večjih deformacij, na drugi strani pa omogočiti predvidene vzdolžne pomike. Problem je tudi zagotavljanje obstojnosti oz. predvidene dobe uporabe. Slike



Slika 24 • Sredinska vzdolžna poškodba dilatacije.



Slika 22 • Prerez asfaltne dilatacije.



Slika 23 • Poškodba polnila dilatacije.

detajla izvedbe in poškodb opozarjajo na veliko previdnost uporabe tovrstnih dilatacij. Zaradi pogostih poškodb in sorazmerno vi-

sokih stroškov vzdrževanja je na mostovih na avtocestah tovrstne dilatacije smiselno nadomestiti s primernejšimi.

### 5.2 Ograje za pešce

Na slikah 25 do 27 so prikazani neustrezni, na slikah 28 in 29 pa ustrezni detajli pritrjevanja jeklenih ograj za pešce na armiranobetonskih mostovih.



Slika 25 • Neustrezni jekleni podložki in onemogočeno ustrezno podlivanje.



Slika 26 • Neustrezni jekleni podložki in onemogočeno ustrezno podlivanje.



Slika 27 • Neustrezni jekleni podložki in onemogočeno ustrezno podlivanje.



Slika 28 • Ustrezni detajli pritrjevanja pred podlivanjem.



Slika 29 • Ustrezni detajli pritrjevanja po podlivanju.

### 5.3 Odvod meteorne vode z mostov

Nepravilne izvedbe sistema za odvod meteorne vode z mostov kažeta sliki 30 in 31. Slika 30 prikazuje nepotrebne elemente (izlivnike), ki se sicer postavljajo v nasprotni smeri vzdolžnega naklona glavne cevi za odvod meteorne vode ter služijo za možnost dostopa in



Slika 30 • Nepotrebni izlivnik za čiščenje in vzdrževanje cevi za odvod meteorne vode z objekta.



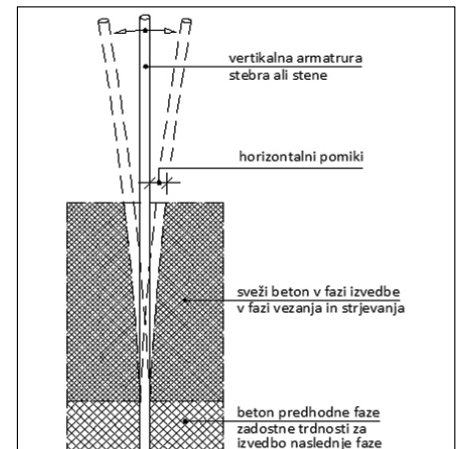
Slika 31 • Neustrezno usmerjeni izlivnik za čiščenje in vzdrževanje cevi za odvod meteorne vode z mostu.

vodenja čistilne naprave v fazi čiščenja oziroma vzdrževanja. Slika 31 prikazuje nepravilno usmerjeni izlivnik, ki je namenjen čiščenju glavne vzdolžne cevi meteorne kanalizacije. Izlivnik za čiščenje bi moral biti usmerjen v nasprotni smeri vzdolžnega naklona kanalizacijske cevi. Prav tako je nepotrebna medsebojna povezava cevk za odvod pronicajoče vode z vozišča, ki so locirane v območju dilatacijskega elementa. Cevke brez medsebojne povezave bi s pravilno usmerjenostjo (proti zunanemu robu opornika) znižale ceno izvedbe ter omogočile lažji dostop za čiščenje in vzdrževanje v času eksploatacije objekta. Skrb vzbujajoče je dejstvo, da se napake pri teh detajlih ne ugotovijo pri nobenem delu procesa graditve (projektiranju, gradnji, nadzoru).

### 5.4 Postopno betoniranje stebrov in sten

Obravnavan je postopek gradnje stebrov in sten, pri katerih se betoniranje izvaja v več zaporednih fazah, glavna vertikalna armatura pa se postavlja v enem kosu po celotni višini. Pri takšnem načinu izvedbe je potrebno dodatno zagotavljanje stabilnosti vertikalne

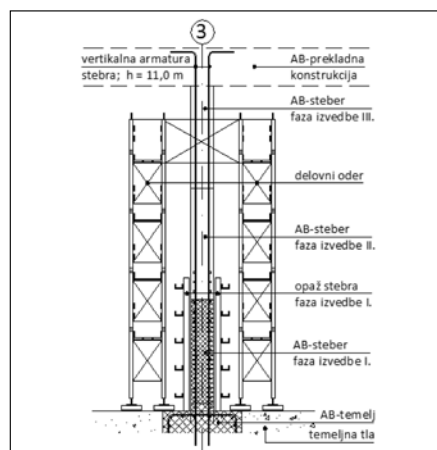
armature oziroma preprečitve njenih horizontalnih pomikov v fazi vezanja in strjevanja betona, saj obstaja možnost nastanka delaminiranih mest, kot je prikazano na sliki 33.



Slika 33 • Detajl delaminiranega betona v primeru nepravilne izvedbe.



Slika 34 • Oder za podpiranje armature.



Slika 32 • Risba opaža stebra faze I z zagotavljanjem stabilnosti armature.



Slika 35 • Faze izvedbe AB-stebra.

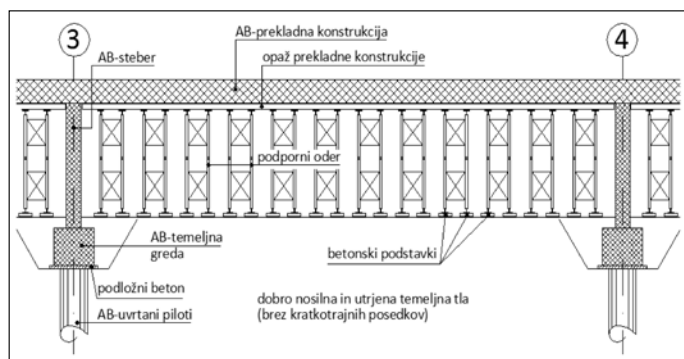
Horizontalne pomike na visokih vertikalnih palicah, ki niso dodatno podprte, povzročajo že šibkejši veter. Sliki 32 in 35 prikazujeta več faz betoniranja stebra, pri katerem je vertikalna armatura iz enega kosa. Slika 34 prikazuje oder za zagotavljanje stabilnosti armature.

### 5.5 Odrji za opaž prekladnih konstrukcij

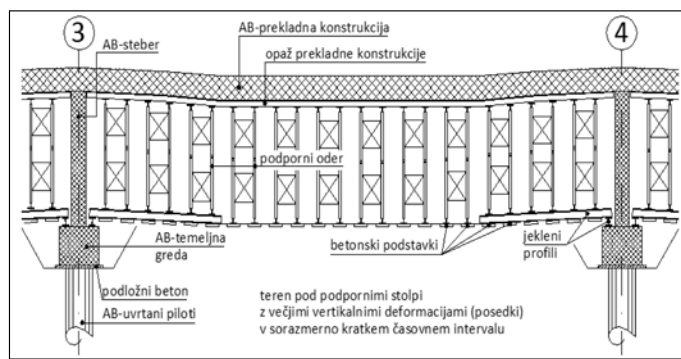
Pri uporabi podpornega odra s podpornimi stolpi, ki slonijo na temeljnih tleh, pri katerih se vertikalna posedanja dogajajo v času strjevanja in vezanja svežega betona prekladne

konstrukcije, je treba izvesti posebne ukrepe, da se zagotovi pravilna geometrija zaključene prekladne konstrukcije. Ker se ta naslanja na že izdelane podporne AB-stebre, obstaja nevarnost nastanka skritih strižnih razpok v prekladni AB-konstrukciji tik ob AB-stebrih. Tako nastale strižne razpoke so težko opazne in so zelo nevarne pri zagotavljanju nosilnosti in stabilnosti objekta. Razpoke se formirajo tik ob podporah in so zaradi nastanka v še ne do konca strjenem betonu vertikalne. Zaradi tega je v končni fazi stremenska ar-

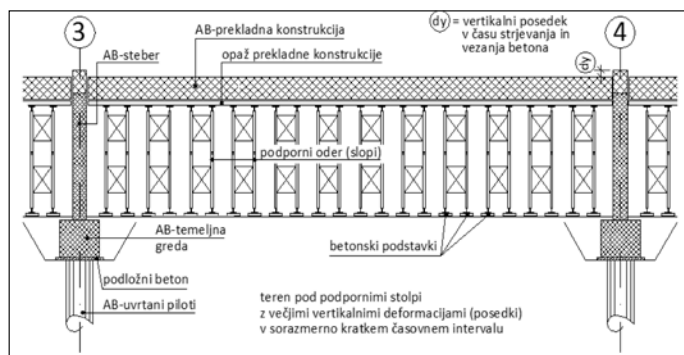
matura prekladne konstrukcije manj ali celo neučinkovita. V nadaljevanju so prikazani vzroki za nastanek navedenih poškodb in način, s katerim se prepreči njihov nastanek. Slika 36 prikazuje podporni oder s stolpi na temeljnih tleh, ki se ne posedajo. V takšnih primerih ni potrebe po dodatnih ukrepih podpiranja. Slika 37 prikazuje podporni oder s stolpi na temeljnih tleh, ki se posedajo v času vezanja in strjevanja svežega betona prekladne konstrukcije. V takšnih primerih je treba preprečiti vertikalne pomike prekladne konstrukcije tik



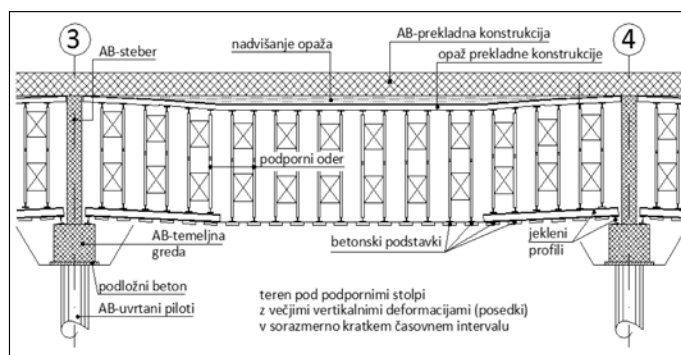
Slika 36 • Podpiranje opaža prekladne konstrukcije s stolpi na temeljnih tleh, ki se ne posedajo (dodatni ukrepi niso potrebni).



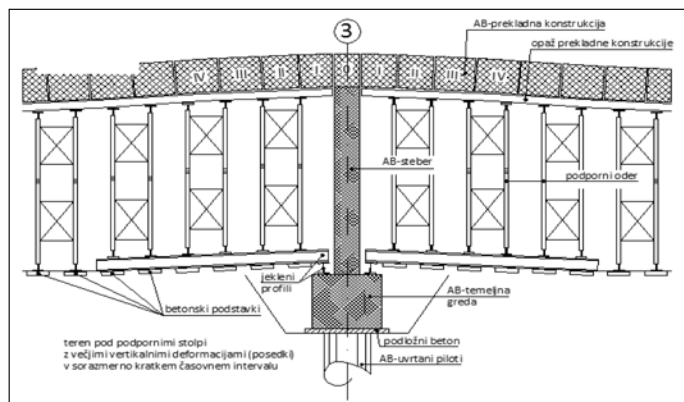
Slika 38 • Podpiranje opaža prekladne konstrukcije s stolpi, kjer so izvedeni dodatni ukrepi podpiranja.



Slika 37 • Podpiranje opaža prekladne konstrukcije s stolpi na temeljnih tleh, ki se posedajo (dodatni ukrepi so potrebni).

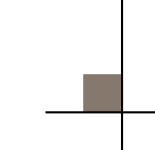


Slika 39 • Podpiranje opaža prekladne konstrukcije s stolpi, kjer so izvedeni dodatni ukrepi podpiranja z nadvišanjem opaža.



Slika 40 • Detajl podpiranja opaža prekladne konstrukcije s stolpi, kjer so izvedeni dodatni ukrepi.

ob AB-podporah (stebrih). Jasno je, da ni vertikalnih pomikov prekladne AB-konstrukcije nad AB-podporo, ki je nepomična. So pa tik ob podporah, kjer se tla v času vezanja in strjevanja betona prekladne konstrukcije postopoma posedajo. Skoki med vertikalnimi posedki sosednjih segmentov prekladne konstrukcije bi povzročili strižne razpoke. Te se preprečijo z ustreznimi dodatnimi podpiranjem, ki je prikazano na slikah 38, 39 in 40. To je izvedeno z dodatnimi horizontalnimi jeklenimi nosilci, ki na eni strani nalegajo na nepomične AB-podpore, v nadaljevanju pa so podprti na enak način kot vertikalni stolpi. S tem se zagotovi zvezno posedanje prekladne AB-konstrukcije



brez skokov, s čimer se prepreči morebitni nastanek strižnih razpok, glej sliko 40. Računski posedki opaža prekladne konstrukcije, ki nastanejo zaradi posedanja podpor, se nadomestijo z nadvišanjem. Z nadvišanjem se rešujejo tudi vse druge izračunane deformacije prekladne AB-konstrukcije.

### 5.6 Sanacije mostov

Glede na trenutno slabo stanje gradbene panoge je treba opozoriti na problem

zahtevnih sanacij mostov, ki so pri velikem številu objektov že sedaj potrebne. Treba je poudariti, da so določene sanacije bolj zahtevne kot novogradnja. Pri sanacijah se srečujemo z novimi materiali, ki morajo biti dovolj nosilni, trajni in kompatibilni z obstoječo konstrukcijo, pravilno vezani oz. vgrajeni na obstoječo konstrukcijo. Pri projektiranju in izvedbi je treba biti zelo pozoren, da se ne poruši ravnovesje v konstrukciji oziroma da se ne poruši objekt. V

projektni dokumentaciji je treba natančno in detajlno obdelati vse faze izvedbe posameznih aktivnosti. Pri izvedbi je treba poskrbeti, da sanacijska dela opravlja izvajalec, ki ima na razpolago vso potrebno opremo in ustrezno kvalificirano delovno silo. Pred začetkom sanacij se moramo vsi skupaj vprašati, kako zagotoviti kakovost, ki jo zahtevajo trenutni predpisi in standardi, z opremo in delovnim kadrom, ki je v danem času na razpologo.

## 6 • VLOGA DOBRE PRIPRAVE, SODOBNE MEHANIZACIJE TER USTREZNO KVALIFICIRANEGA KADRA ZA RACIONALNO IN KAKOVOSTNO GRADITEV

Enako kot pri izdelavi projektne dokumentacije so za racionalno in kvalitetno gradnjo v največji meri odgovorni vodje del s svojimi pomočniki ter vsi drugi udeleženci gradnje. Dobra priprava s kvalitetno izdelanimi tehnološkimi elaborati, dovolj kvalificirana delovna sila ter ustrezna in sodobna mehanizacija so osnova za racionalno in kvalitetno gradnjo. Žal vsakodnevna dogajanja na posameznih gradbiščih in drugih obratih kljub visokemu tehnološkemu razvoju kažejo na stagnacijo, v nekaterih primerih pa na padec razvoja gradbene stroke. Za razvoj te niso dovolj sodobna mehanizacija in druga potrebna

orodja, ki so produkt visokega tehnološkega razvoja, ampak tudi pri vseh sodelujočih poklicih ustrezno usposobljeni kader. Zaradi ohranitve panoge gradbeništva je treba nujno začeti ugotavljati glavne vzroke za nastanek navedenega pomanjkanja ter ga na ustrezen in učinkovit način odpravljati. Verjetno sta med morebitnimi vzroki izpad poklicnih šol iz sistema izobraževanja ter premalo cenjeno in vrednoteno poklicno delo. Prav tako je v vsakodnevni praksi zaznati, da so se standardi in kriteriji v različnih ustanovah izobraževanja v času krize prilagodili oziroma so se znižali. O vseh eventualnih napakah je

treba jasno in glasno brez zadržkov spregovoriti ter jih začeti ustrezno odpravljati. Treba se je zavedati, da smo za vse dobre in slabe rezultate pri vsaki vrsti skupnega sodelovanja udeleženi vsi skupaj, in ne posamezno. Tudi v naši družbi je praksa, da se ob vseh številnih nalogah, ki se hkrati opravljajo, stalno pričakuje doseganje nadpovprečnih rezultatov, za eventualne slabše rešitve oz. napake pa se takoj s prstom pokaže na posameznika ne glede na njegovo dejansko odgovornost. To pa verjetno ni dobra popotnica za zagotavljanje ustrezne oziroma potrebne stalne motivacije pri delu.

## 7 • ZAKLJUČEK

S prispevkom želimo opozoriti na pomanjkljivosti, ki so posledica pomanjkljivega in ne dovolj strokovnega izvajanja aktivnosti različnih udeležencev med celotnim procesom graditve. Ob navedenih pomanjkljivostih navajamo tudi svoj pogled na vzroke za nastanek teh pomanjkljivosti. Nikakor ne želimo kazati s prstom na kogarkoli, ampak samo podati analizo stanja in predlogov, s katerimi upamo, da bi kot celota postali uspešnejši.

Kot dva splošna in najpomembnejša vzroka navajamo kriterij najnižje cene pri izbiri najugodnejšega ponudnika in neutemeljeno

kratke izvedbene roke različnih aktivnosti v procesu graditve. S takšnim pristopom že na začetku samem zmanjšamo pomen strokovnosti in kvalitete.

V procesu graditve se udeleženci prepogosto premalo zavedamo svoje odgovornosti pri delu z javnimi sredstvi. V tem smislu včasih pogrešamo učinkovite mehanizme, ki bi v množici inženirjev, ki nastopajo v procesu graditve, močno otežili delovanje takšnim, ki s svojim delovanjem permanentno škodujejo ugledu stroke in povzročajo gospodarsko škodo. Inženirska stroka mora v tem smislu

večjo pozornost nameniti krepitvi svojega etičnega obnašanja.

Pomemben pogoj za doseganje gospodarnih in kakovostnih graditev je učinkovito sodelovanje med udeleženci pri celotnem procesu graditve, ki zajema predvsem hitro in dobro izmenjavo informacij. V procesu izmenjave informacij se od vseh udeležencev graditve pričakuje velika stopnja strpnosti, tolerantnosti ter dobrega dialoga med njimi. Različna mnenja udeležencev ne smejo biti ovira za dobro sodelovanje. Končni skupni rezultat mora biti logična in z argumenti podkrepljena rešitev.

## 8 • LITERATURA

Avtorji so posamezne primere privzeli iz projektne dokumentacije slovenskih projektivnih birojev in pri pisanju članka

uporabili svoje izkušnje pri nadzoru gradnje in vzdrževanja infrastrukturnih objektov.



# SISTEM MODULARNE GRADNJE Z NOSILNIMI ELEMENTI IZ KOMPOZITOV S STEKLENIMI VLAKNI

## MODULAR BUILDING CONSTRUCTION SYSTEM WITH FIBREGLASS REINFORCED COMPOSITES

**doc. dr. David Koren, univ. dipl. inž. grad.**

david.koren@fa.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo,  
Zoisova cesta 12, 1000 Ljubljana

**mag. Jernej Jaroslav Kropelj, univ. dipl. obl.**

jernejj@jjk-design.si

JJK, industrijsko in grafično oblikovanje,  
Tržaška cesta 82 a, 1000 Ljubljana

**ZNANSTVENI ČLANEK**

UDK 62-112.6:691.618

**Povzetek** | V študiji je predstavljen inovativen sistem suhomontažne modularne gradnje, ki temelji na lahkih steklenovlaknastih moduli osnovnih dimenzij 1 m x 1 m. S sestavljanjem in povezovanjem modulov dobimo stabilen sistem (mrežo), ki se lahko uporablja tako za vertikalne stene kot horizontalne medetažne in strešne konstrukcije bivalnih objektov. Članek poudarja posebnosti projektiranja konstrukcij iz kompozitov s steklenimi vlakni na primeru enodružinskih hiš. S poenostavljenimi računalniškimi modeli so bile analizirane različne konstrukcijske variante predlaganega modularnega sistema tako za primer vertikalne kot horizontalne (potresne) obtežbe. Posebna pozornost je bila namenjena tudi vplivu podajnosti predlaganih vijachenih spojev med posameznimi elementi na globalno obnašanje takih konstrukcij. Rezultati so pokazali, da so pri projektiranju obravnavanih nosilnih sistemov največkrat odločilne deformacije. Gradnja po predlaganem modularnem sistemu uporabniku omogoča visoko stopnjo prilagodljivosti, pri čemer sta omejena število etaž (2 do 3) in največji dopustni statični razpon medetažnih konstrukcij (5 do 6 m). V primeru gradnje na potresnih območjih pa moramo stenam z dodatnimi ukrepi zagotoviti ustrezno horizontalno togost.

Ključne besede: modularna zasnova, steklena vlakna, kompozit, konstrukcije, prefabricirana gradnja, enodružinske hiše

**Summary** | The study presents an innovative system of drywall modular construction that is based on light fiberglass modules with the basic dimensions of 1 m x 1 m. By assembling and connecting these modules a stable structural grid is created, which can be used for vertical walls as well as horizontal mid-storey and roof structural systems of residential buildings. The study highlights special features of the design of structures made of fiberglass reinforced composites on a case of single-family houses. By using simplified computer models, analyses of various structural variants of the proposed modular system were carried out – both for vertical and horizontal (seismic) loads. Besides, the effect of the stiffness of the proposed bolted connections between composite elements on the global behaviour of such structures was analysed. The results indicate that in designing these load-bearing systems a special attention should be paid to structural deformations. Construction applying the proposed modular system allows the user a high degree of flexibility, with a limited number of storeys (2 to 3) and the maximum allowable static span of the mid-storey structures (5 to 6 m). In the case of construction in earthquake-prone areas additional measures are required in order to provide adequate horizontal stiffness of the walls.

Keywords: modular design, fibreglass, composite, structures, prefabricated construction, single-family houses.

## 1 • UVOD

Čeprav je montažna gradnja že dobro uveljavljena in se ljudje vse pogosteje odločajo za nakup montažnih hiš, se zdi, da večji korak v smeri industrializacije stanovanjske enote ni bil nikoli narejen. Henry Ford, Le Corbusier in Walter Gropius so že na začetku in sredini prejšnjega stoletja opozarjali na potencial, ki ga ponuja industrializirana gradnja predvsem po zgledu avtomobilske industrije v smislu socialne, tehnološke in estetske revolucije v do- jemanju bivanjske arhitekture (Bergdoll, 2008). Modularna gradnja temelji na poenotenih in največkrat prefabriciranih gradbenih ele- mentih, ki se v poljubnem številu nizajo in tvorijo individualne sestave. Za prefabricirane izdelke je značilno, da njihova izdelava poteka v zaprtih prostorih tovarne. Avtomatizirana proizvodnja, odsotnost vremenskih vplivov in poenostavljeno opravljanje kontrole zagotav- ljajo kvalitetno in učinkovito gradnjo (Huang, 2006). Med glavnimi prednostmi montažne gradnje pred obstoječimi načini gradnje je treba omeniti še kratek čas izgradnje, natančnost izvedbe, kontrolirano proizvodnjo elementov, cenovno dostopnost in prilagodljiv-

ost (možnost poznejšega spreminjanja tlori- sa). Montažno gradnjo lahko delimo na linijski (skeletni), ploskovni (panelni) in prostorski (celični) sistem, možno pa je tudi kombi- niranje sistemov ((Smith, 2010), (Zalokar Miklič, 2002)). Najpogosteje se za izdelavo posameznih prefabriciranih elementov upo- rabljajo les, jeklo in beton, redkeje kompozitni materiali. Kompozit iz steklenih vlaken se je pri montažni gradnji pojavil v šestdesetih letih 20. stoletja. To obdobje sovpada s pristankom človeka na Luni (1969), kar je imelo posre- den vpliv tudi na arhitekto takratnega časa, npr. vesoljskemu krožniku podobna stekleno- vlaknasta hiša *Futuro house* iz leta 1968 in *Venturo house* iz leta 1971, obe delo finskega arhitekta Mattija Suuronena (Pain, 2007). Pri nas se leta 1966 pojavi steklenovlakneni kiosk K67 Saše Mächtiga, ki je služil za urbano pohištvo in je z dodajanjem novih enot lahko tvoril večcelični sistem (Šenk, 2013). Modularnemu sistemu, predstavljenemu v tem članku, je po konceptu najbližje *Fiber glass house fg 2000* iz leta 1968 nemškega pod- jetja Feierbach iz Altenstadta. Fg 2000 je se-

stavljena iz poljubnega števila 1,25 m širokih stenskih in stropnih modulov, ki so med seboj zatesnjeni in privijačeni (Knippers, 2011). Kompozit iz steklenih vlaken se veliko uporablja v navtični in letalski industriji. V gradbeništvu predstavlja alternativo konstrukcijskim mate- rialom, kot sta jeklo in aluminij, in je prisoten predvsem v obliki profilov in panelov, redkeje lupin ((Bakis, 2002), (Hota, 2011), (Peloux, 2016)). Kompozit je sestavljen iz vlaken in matrice, ki ju je mogoče kombinirati na številne načine in s tem prilagajati mehanske in toplotne lastnosti materiala, zaradi česar je kompozit izrazito anizotropen (Poljanšek, 2006). Glavne prednosti kompozita so nje- gova majhna teža in korozijska odpornost ter poljubno (svobodnejše) oblikovanje form ((RCB, 2017), (Knippers, 2011)). Izhodišče študije je bilo oblikovanje modu- larnega sklopa elementov, ki bi vsebovali inte- grirano napeljavo in bi bili proizvedeni industrijsko iz sodobnih materialov. Osnovni namen raziskave je nov industrijski pristop pri gradnji stanovanj. Ključno vprašanje, na katero odgo- vor smo iskali v tem članku, je bilo, kolikšna je nosilnost in togost predlaganega stekleno- vlaknastega modula, kakšne so omejitve glede razponov ter kako se obnašajo na ta način zgrajene hiše v primeru potresne obtežbe.

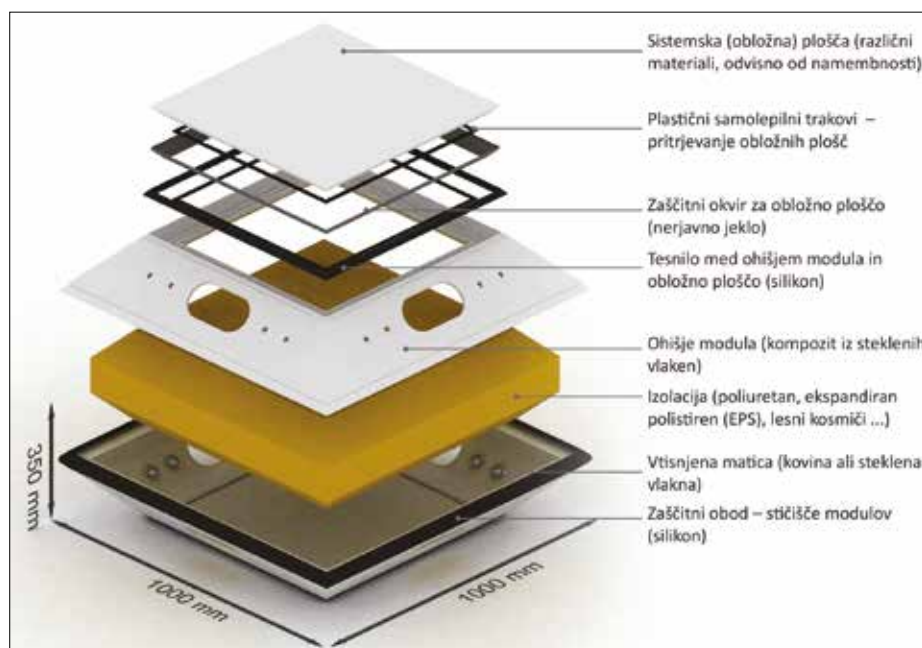
## 2 • PREDSTAVITEV PREDLAGANEGA MODULARNEGA SISTEMA

### 2.1 Opis predlaganega modula

Razvit modularni način gradnje temelji na suhomontažni gradnji, sestavljeni iz lahkih steklenovlaknastih modulov. Moduli se se- stavljajo po ravninski mreži tako v horizontalni kot vertikalni smeri; osnovno enoto predstavlja modul 1 m x 1 m (Kropelj, 2013). V nadaljeva- nju so predstavljene posamezne komponente modula in njihovi materiali (sliki 1 in 2).

#### Ohišje modula

Ohišje modula tvori nosilni skelet modula in po sestavljanju tudi skelet objekta. Zato sta izbor materiala in oblika (prečni prerez) ključnega pomena za mehansko odpornost in stabilnost konstrukcij, grajenih iz takšnih modulov. Za kompozit iz steklenih vlaken smo se odločili, ker ima dobre mehanske lastnosti, majhno težo in s tehnologijo visokotlačnega oblikovanja SMC (*Sheet Molding Compound*) omogoča tudi serijsko proizvodnjo. Ohišje modula je sestavljeno iz dveh enakih delov,



Slika 1 • Sestavni deli modula in materiali.

ki sta skupaj spojena z epoksidnim lepilom. Na robovih modula so integrirana silikonska tesnila, ki preprečujejo vdor vode in zraka med module, ki so med seboj privijačeni s skupaj osmimi kovinskimi vijaki (M16) na vsaki strani posameznega modula.

### Sistemska plošča

Sistemske plošče zapirajo module s čelne strani in opravljajo enake funkcije, kot jih opravljajo pri konvencionalni gradnji stropne, talne, stenske in fasadne obloge. Ploščice omejuje kovinski okvir, ki deloma prevzema obremenitve modularnega sestava, ščiti robove pred krušenjem in zagotavlja vedno enako obliko sistemskih panelov, s čimer je zagotovljen popoln stik z modulom. Plošča je lahko iz lesa, kamna, kovine, stekla, umetnih snovi, mineralnih kompozitov, sončnih celic, ometana z ometom itd., odvisno od pozicije na ovoju oziroma znotraj objekta in namena uporabe. Na ohišje modula se ploščice pritrjujejo s samolepilnimi trakovi (Dual Lock, 2017). Pri notranjih stenah, kjer ni potrebe po toplotni izolaciji, sistemske ploščice lahko nadomestimo z vgradnimi pohištvnimi elementi.

### Izolacija

Tako modul kot povezovalni element vsebujeta integrirano toplotno oziroma zvočno izolacijo. Za izolacijo so primerni različni materiali (ekspandirani ali ekstrudirani polistiren, kamena ali steklena volna, vpihani leseni kosmiči idr.). Ustrezna toplotna in zvočna izolativnost se lahko zagotavljata tudi v kombinaciji s sistemskimi ploščami. Sistemske ploščice namreč nalegajo na gumijasta tesnila, kar predstavlja potencial za absorbiranje udarnega zvoka. Pri notranjih stenah hiše se lahko z

zmanjšanjem deleža zvočne (toplotne) izolacije oziroma ob uporabi ekvivalentno učinkovite izolacije manjše debeline prostor v notranjosti modula izkoristi za pohištvne elemente ter večino napeljav strojnih in elektroinstalacij.

### 2.2 Mreža in sestavljanje modulov

Predlagani modularni sistem temelji na mreži, katere osnovna enota je modul 1 m x 1 m, in se uporablja tako za vertikalne (stenske) kot horizontalne pohodne (medetažne in strešne) konstrukcije. Iz osnovnega modula smo izpeljali trikratnik osnovnega modula (trojček) dimenzij 3 m x 1 m, ki se uporablja predvsem za stene. Prednosti višjega stenskega modula so: manjša poraba materiala, večje in enotne fasadne površine, ki omogočajo večjo prilagodljivost pri vgradnji stavbnega pohištva, in hitrejše sestavljanje. Stene, v katerih želimo hkrati vgraditi večje stavbno pohištvo (okna, vrata, steklene površine), so narejene iz šestkratnika osnovnega modula (šestorček), torej 3 m x 2 m. Poleg osnovnega modula in obeh večjih izpeljank pa k sistemu spadajo še povezovalni (spojni) elementi, ki se oklepajo modulov in prav tako vsebujejo izolacijo in sistemske ploščice. Povezovalni elementi tvorijo vezi med moduli in skupaj v prerezu sestavljajo X-profil. Med seboj se povezujejo z vijaki, do katerih je možen dostop preko sistemske ploščice (slika 2). Z uporabo osnovnih modulov, trojčkov, šestorčkov in povezovalnih elementov lahko tvorimo popolnoma pravokotno oziroma »kubusno« arhitekturo (slika 3).

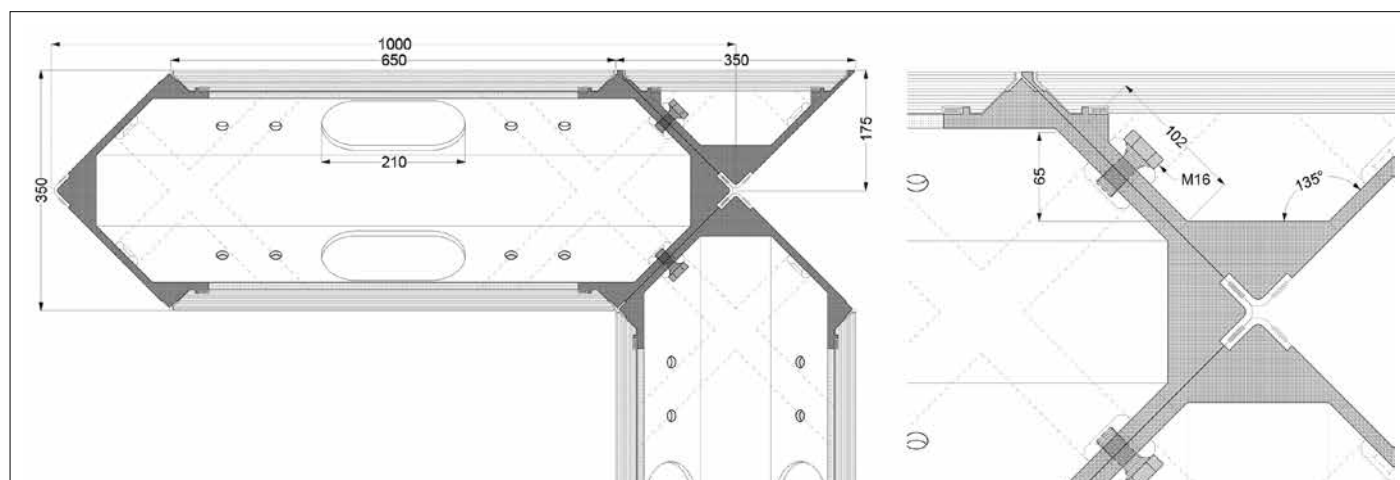
Da bi pridobili fizično izkušnjo z modularnim sistemom, smo v pomanjšanem merilu izdelali prilagojene gradnike iz epoksi smole, ki se med seboj spajajo z okroglimi magneti premera 5 mm. Za izdelavo smo uporabili

silikonske kalupe (slika 4). S 3D-tiskalnikom smo natisnili polovico modula in povezovalne elemente, ki smo jih prej izrisali v 3D-formatu. Ker je osnovni modul votel in sestavljen iz dveh enakih polovic, smo zanj izdelali dvo-delni kalup, v katerega smo ročno vbrizgavali epoksi smolo. Povezovalni elementi so izdelani s pomočjo enega kalupa in zato manj zahtevni za vlivanje. Zaradi relativno šibke moči izbranega magnetnega spoja je bila pri izdelavi ključnega pomena teža osnovnega modula. Ta je zato votel, povezovalni elementi pa so zreducirani v materialu na mestih, ki ne vplivajo na funkcijo.

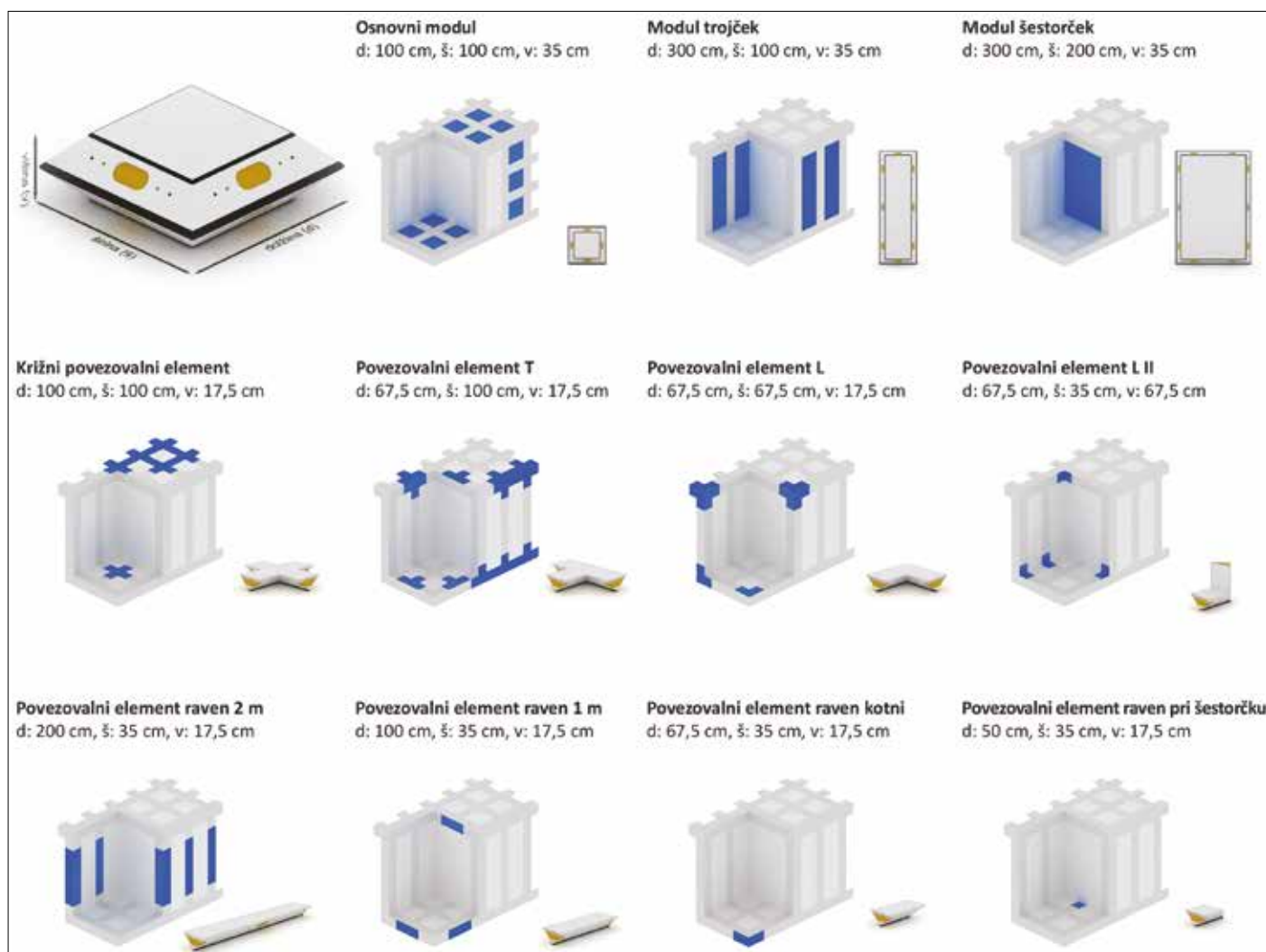
Na sliki 5 sta prikazana prostorska predstavitve dejanske izvedbe sestava modulov za primer križanja horizontalne medetažne konstrukcije z vertikalno steno in njegov model, sestavljen iz gradnikov, ulitih iz epoksi smole.

### 2.3 Nosilni material – kompozit iz steklenih vlaken

Prve hiše iz kompozitov so se pojavile v petdesetih in šestdesetih letih 20. stoletja. Z gradbeno-arhitekturnega vidika vsekakor obstajajo določeni argumenti, ki govorijo v korist kompozitov: manjša lastna teža in s tem možnost večje mobilnosti, odpornost proti vplivom okolja in procesom korozije ter možnost svobodnejšega oblikovanja form ((Zalokar Miklič, 2002), (Knippers, 2011)). Kompoziti omogočajo projektantom snovanje konstrukcij, ki jih odlikuje optimalno obnašanje. Sestava kompozita se namreč lahko prilagodi glede na specifične potrebe posameznega produkta, kot so npr. gorljivost (Nguyen, 2016), električna prevodnost, mehanske lastnosti idr. Zaradi visokega specifičnega modula elastičnosti in specifične trdnosti (razmerja med trdnostjo



Slika 2 • Načrt spoja dveh modulov in povezovalnega elementa (enote: mm).

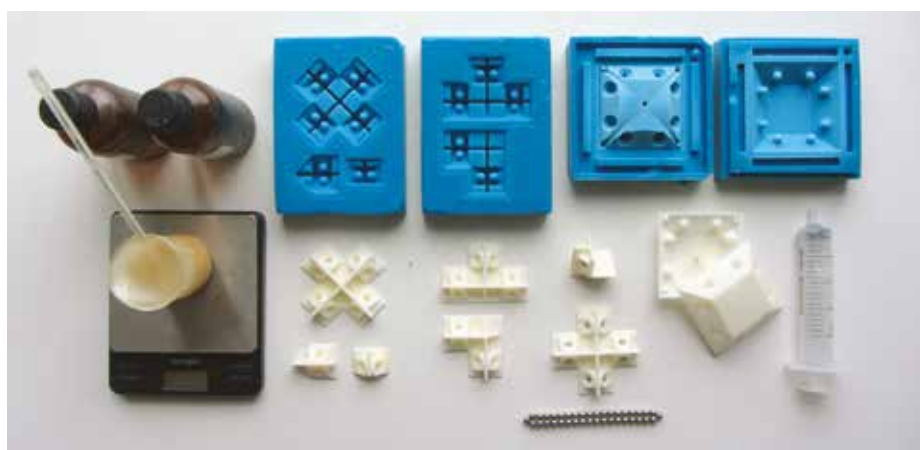


Slika 3 • Moduli in povezovalni elementi ter njihova lokacija.

in gostoto) se lahko izdelajo zelo lahke, a toge in trdne konstrukcije. Zaradi načrtovanja usmeritve nosilnih vlaken v želeno smer (smer glavnih napetosti npr.) so take konstrukcije zelo učinkovite in ekonomične (Žarnič, 2002).

#### Postopki izdelave

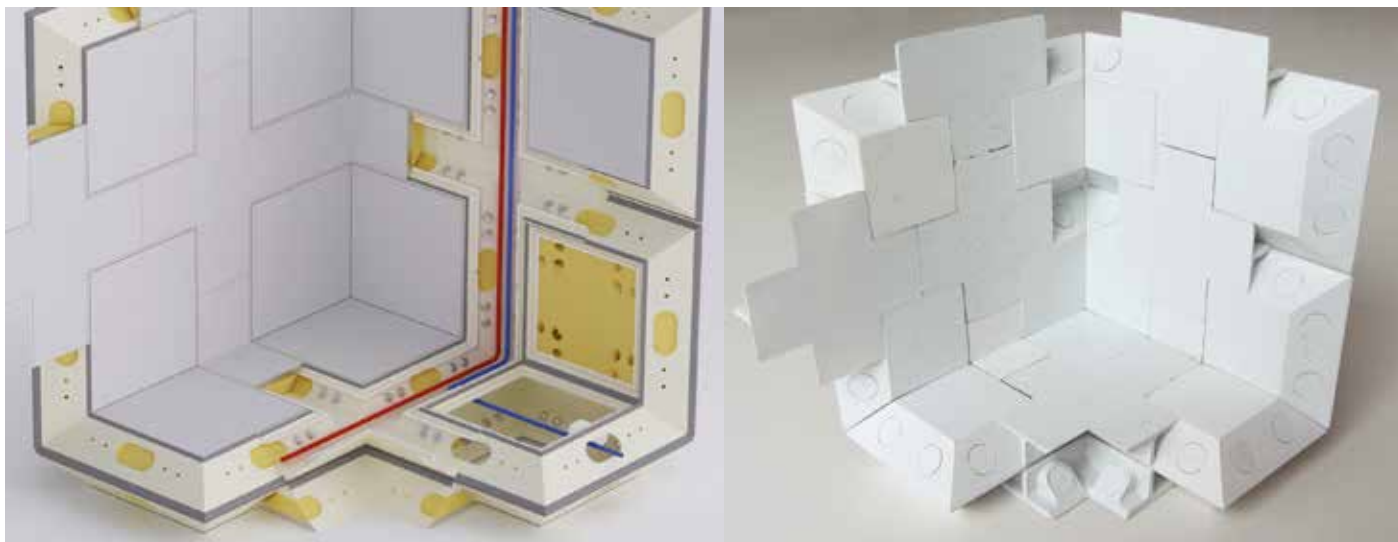
Glede na potrebe se kompozit izdeluje po različnih postopkih, kot so mokro polaganje, vakuumiranje s toplotno obdelavo, vlivanje pod pritiskom, brizganje, pultruzija, navijanje tkanin idr. Prodor kompozitov v gradbeništvu je posledica znižanja cen, vzrok zanj je bilo spoznanje, da ekstremne lastnosti kompozitov niso nujne za široko uporabo in da zadoščajo lastnosti, ki obenem zagotavljajo tudi sprejemljivo ceno (Žarnič, 2002). Z vidika stroškovne učinkovitosti in serijske proizvodnje je za izdelavo modularnih gradbenih elementov najprimernejši postopek



Slika 4 • Pomanjšani modularni elementi iz epoksi smole in silikonski kalupi.

visokotlačnega oblikovanja SMC (*Sheet Molding Compound*) (SMC, 2017). SMC je z vlakni ojačan poliester, ki je že pripravljen

za kalupiranje in se večinoma uporablja pri tlačnem oblikovanju (prešanju). Postopek SMC zagotavlja visoko trdnost kompleksnih



Slika 5 • Primer sestava modulov: vizualizacija dejanske izvedbe (levo) in model iz elementov iz epoksi smole (desno).

delov v različnih velikostih. Material se položi v ustrežni kovinski kalup, ki je nameščen v hidravlično ali mehansko prešo. Segreti polovici kalupa se skleneta pod pritiskom do približno 138 barov (SMC, 2017). Čas cikla je odvisen od velikosti in debeline produkta ter se giblje med 1 in 5 minutami. Postopek visokotlačnega oblikovanja je stroškovno najučinkovitejši v obsegu proizvodnje od tisoč do več milijonov kosov letno. Surovine za SMC so predvsem termoodporne smole, ojačitvena vlakna in anorganska polnila, kot sta kalcijev karbonat in glina. Ta navadno predstavljajo 95 % teže kompozita, preostanek pa tvorijo še snovi, ki preprečujejo sprijemanje kompozita in kalupa, pigmenti ter drugi funkcionalni dodatki (SMC, 2017). V primerjavi z drugimi kompozitnimi materiali je poraba energije tako za izdelavo kot reciklažo izbranega materiala (SMC) med najmanjšimi ((Song, 2009), (Overcash, 2017), (Plastic Europe 04, 2017)), kar pripomore k njegovemu relativno nizkemu ogljičnemu odtisu oziroma upravičuje njegovo uporabo tudi z ekološkotrajnostnega vidika.

#### Fizikalne in mehanske lastnosti

Obraščani kompozit iz steklenih vlaken in poliestrske smole odlikujejo lastnosti, kot so odpornost proti koroziji, nizka toplotna in električna prevodnost, nemagnetnost, nizka teža, visoka trdnost, dimenzijska stabilnost, dobra odpornost proti utrujanju, nizki stroški vzdrževanja, svobodna izbira barv (Extren, 2017). Med glavnimi posebnostmi obravnavanega kompozita je treba posebej omeniti njegovo izrazito anizotropijo, kar pomeni, da je večji

na njegovih fizikalnih in mehanskih lastnosti v različnih smereh različna. Po anizotropiji se obravnavani kompozit bistveno razlikuje od drugih gradbenih materialov. Zato v preglednicah materialnih lastnosti proizvajalci navajajo različne vrednosti za različne smeri, npr. obnašanje v tlaku, nategu, upogibu, strigu v vzdolžni in prečni smeri (Extren, 2017). Kot posledica anizotropije so materialne karakteristike odvisne tudi od oblike uporabljenega prereza. Vrednosti za standardne profile najdemo v preglednicah (Pultex, 2017).

Če primerjamo obnašanje obravnavanega kompozita z običajnim konstrukcijskim materialom, kot je npr. jeklo, ugotovimo naslednje ((Kropelj, 2013), (Extren, 2017)):

- specifična teža obravnavanega kompozita je približno 4-krat manjša,
- trdnosti so približno enake kot pri jeklu, vendar so varnostni faktorji za material precej večji (2,5–4,0 za statično oziroma 5–8 za dinamično obtežbo, npr. potres),
- modul elastičnosti pa je približno 10-krat manjši od modula elastičnosti jekla.

Prav slednja lastnost predstavlja skupaj z relativno nizkim strižnim modulom glavno omejitev pri projektiranju konstrukcij iz obravnavanega kompozita, saj nizka elastični in strižni modul pomenita večjo podajnost konstrukcije in je zato mejno stanje uporabnosti (kontrola pomikov) pri statični presoji običajno edino odločilno. Slednje ugotavlja tudi študija (Poljanšek, 2006). Pri upogibno obremenjenih vitkih nosilcih iz kompozitov s steklenimi vlakni je lahko kritična tudi bočna zvrnitev oziroma uklon tlačene pasnice pri I-profilih (Vieira, 2017).

V primerjavi s konstrukcijami iz običajnih materialov (npr. jeklo, les, beton ipd.) imamo pri projektiranju konstrukcij iz obravnavanega kompozita še druge posebnosti, npr. posebne zahteve za kontrolo in dimenzioniranje spojev ((Clarke, 1997), (Design Manual, 2017), (Antolinc, 2016)), dodatno povečanje pomikov zaradi prispevka strižnih obremenitev, kar znaša ca. 15 % dodatka k pomiku zaradi upogiba, in drugo (Design Manual, 2017).

V predlaganem modularnem sistemu smo se za kompozit iz steklenih vlaken odločili zaradi oblike modula, ki zahteva izdelavo kalupa, hkrati pa je zaradi načina sestavljanja in transporta zaželeno, da je čim lažji. Poleg tega mora biti cenovno konkurenčen, trajen, odporen proti vremenskim vplivom in imeti dolgo dobo uporabnosti. Pomembno je tudi, da se pri večkratnem sestavljanju in razstavljanju modul ne poškoduje. Imeti mora ustrezne mehansko-konstrukcijske lastnosti in biti izdelan s tehnologijo, ki zadosti serijski proizvodnji za doseganje konkurenčnih cen na trgu. Za statično presojo, ki je predstavljena v naslednjem poglavju, smo uporabili material *polyester SMC LP high glass*, ki vsebuje 50 % steklenih vlaken (TDG, 2017). Pri statični analizi obravnavanega sistema smo izhajali iz oblikovalsko (ter s tem tudi dimenzijsko in materialno) že definirane modula, tako da dejansko ni šlo za dimenzioniranje (določanje potrebnih dimenzij), temveč kontrolo že izbranih dimenzij in opredelitev mejnih gabaritov volumnov, ki jih je mogoče izvesti s predlaganimi moduli.

### 3 • ANALIZA NOSILNOSTI IN DEFORMABILNOSTI PREDLAGANEGA SISTEMA

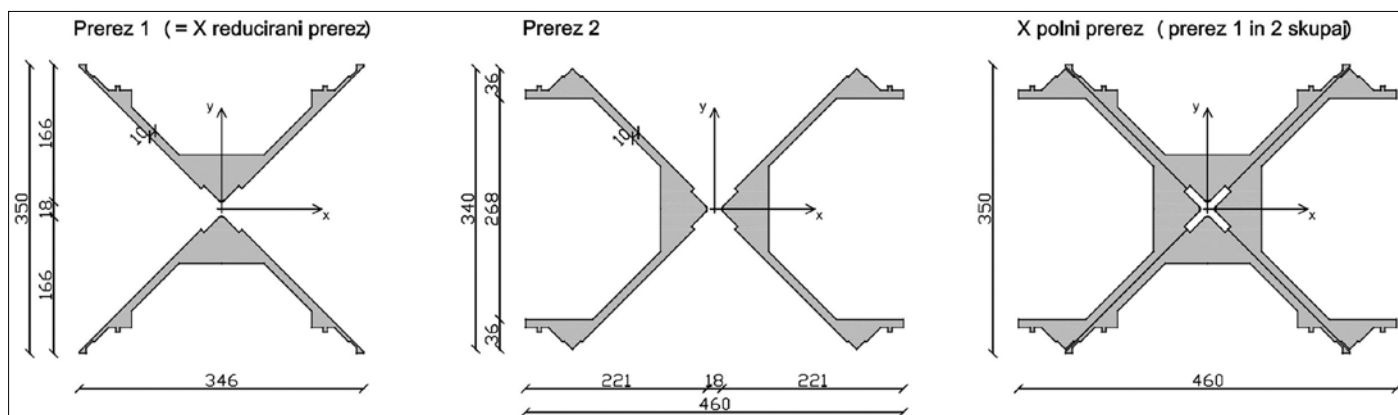
#### 3.1 Analiziran prečni prerez za uporabo v modularnih bivanjskih objektih

Ključno vprašanje z vidika nosilne konstrukcije je, ali so predlagani moduli iz izbranega kompozitnega materiala ustrezni za prevzem obremenitev, značilnih za manjše enodružinske hiše. Zato so bile na podlagi materialnih in geometrijskih karakteristik uporabljenega kompozitnega nosilca, ki sestavlja ohišje modularnega sistema, analizirane različne konstrukcijske variante, značilne za takšne modularne hiše. Glede na to, da sta material in oblika profila nestandardna in da so moduli med seboj po-

vezani s povezovalnimi elementi preko vijačenih spojev, bi bilo za povsem realno oceno, kakšne obremenitve sistem zdrži, nujno izdelati prototip in ga eksperimentalno preskusiti (Poljanšek, 2006). V primeru, da bi se izkazalo, da skelet ne zdrži projektnih obremenitev, se potencialne možnosti za povečanje mehanske odpornosti in stabilnosti nosilnega sistema modularne hiše kažejo v dodatnih ojačitvah osnovnega profila (povečanje debeline, višine itd.) in/ali ojačitvah modula (npr. jekleni okvir pod sistemsko (obložno) ploščo, uporabi toge toplotne izolacije kot polnila ipd.) ali uporabi drugega materiala (npr.

uporaba karbonskih namesto steklenih vlaken, uporaba lesenih kompozitov idr.).

Ker gre v danem primeru za nov oziroma inovativen pristop in je uporabljen nestandardizirani konstrukcijski profil X, moramo za potrebe računskih presoje nosilnosti in deformabilnosti predlaganega sistema najprej poznati geometrijske karakteristike uporabljenega prereza. Za osnovni prerez je bil upoštevan profil X, vzet iz prečnega prereza modularne konstrukcije, ki je sestavljen iz prereza stranice dveh sosednjih modulov in dveh povezovalnih elementov (slika 6).



Slika 6 • Analiziran prečni prerez X in njegovi posamezni deli (enote: mm).

		X polni	X reducirani
Površina	$A$ (cm <sup>2</sup> )	331,95	140,66
Težišče	$x_T$ (cm)	0	0
	$y_T$ (cm)	0	0
Vztrajnostni moment okrog osi x	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	29819,2	10527,9
Vztrajnostni moment okrog osi y	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	37204,0	8094,2
Vztrajnostni radij okrog osi x	$i_x$ (cm)	9,48	8,65
Vztrajnostni radij okrog osi y	$i_y$ (cm)	10,59	7,59
Odpornostni moment okrog osi x	$W_x$ (cm <sup>3</sup> )	1704,0	601,6
Odpornostni moment okrog osi y	$W_y$ (cm <sup>3</sup> )	1617,6	467,9
Strižni prerez	$A_{s,x} = A_{s,y}$ (cm <sup>2</sup> )	165,97	70,33

Preglednica 1 • Uporabljene karakteristike polnega prečnega prereza X in reduciranega prečnega prereza X

V preglednici 1 so navedene geometrijske karakteristike polnega X-prereza, sestavljenega iz prereza 1 in prereza 2 (slika 6) in »reduciranega« prereza 1. Izračunali smo jih po znanih enačbah iz mehanike oziroma s pomočjo programa AutoCAD. Pri tem je bilo predpostavljeno, da sestavljeni prerez deluje kot monoliten, torej da so spoji med posameznimi prerezi idealni. V računalniških modelih za analizo obnašanja konstrukcij, ki so prikazani v nadaljevanju, smo oslabišne (npr. nepopolnost vijačenih spojev, luknje za inštalacije ipd.) upoštevali približno z dodatnim zmanjšanjem obeh vztrajnostnih momentov (okrog x- in y-osi) prereza za 20 % oziroma 40 %. Karakteristike uporabljenega materiala (*polyester SMC LP high glass* (Design Manual, 2017)), ki so bile upoštevane v statičnem izračunu, so razvidne iz preglednice 2. Navedene projektne trdnosti (upogibna, strižna in osna tlačna) so bile izračunane iz karakterističnih vrednosti posameznih trdnosti z upoštevanjem varnostnega fak-

torja za material ( $\gamma_{M,upogib} = 2,5$ ,  $\gamma_{M,striž} = 3,0$ ,  $\gamma_{M,tlak} = 3,0$ ). Glede na to, da gre za nestandardni profil, bi lahko vzeli tudi večje faktorje varnosti ((Clarke, 1997), (TDG, 2017)).

Za lastno težo in stalno obtežbo skupaj smo upoštevali  $g = 1,5 \text{ kN/m}^2$ , za koristno obtežbo pa vrednost  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$ . Upoštevani varnostni faktorji za določitev projektne obtežbe po Evrokodu (Beg, 2009) znašajo  $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$  za mejno stanje nosilnosti (MSN) in  $\gamma_E = 1,0$ ,  $\gamma_Q = 1,0$  za mejno stanje uporabnosti (MSU).

V nadaljevanju so prikazani rezultati simulacij obnašanja konstrukcije dveh različic medetažnih plošč in treh (oz. štirih) sten. Analize so bile narejene s komercialnim računalniškim programom za analizo konstrukcij SAP2000 (CSI, 2011).

### 3.2 Statična analiza medetažne plošče

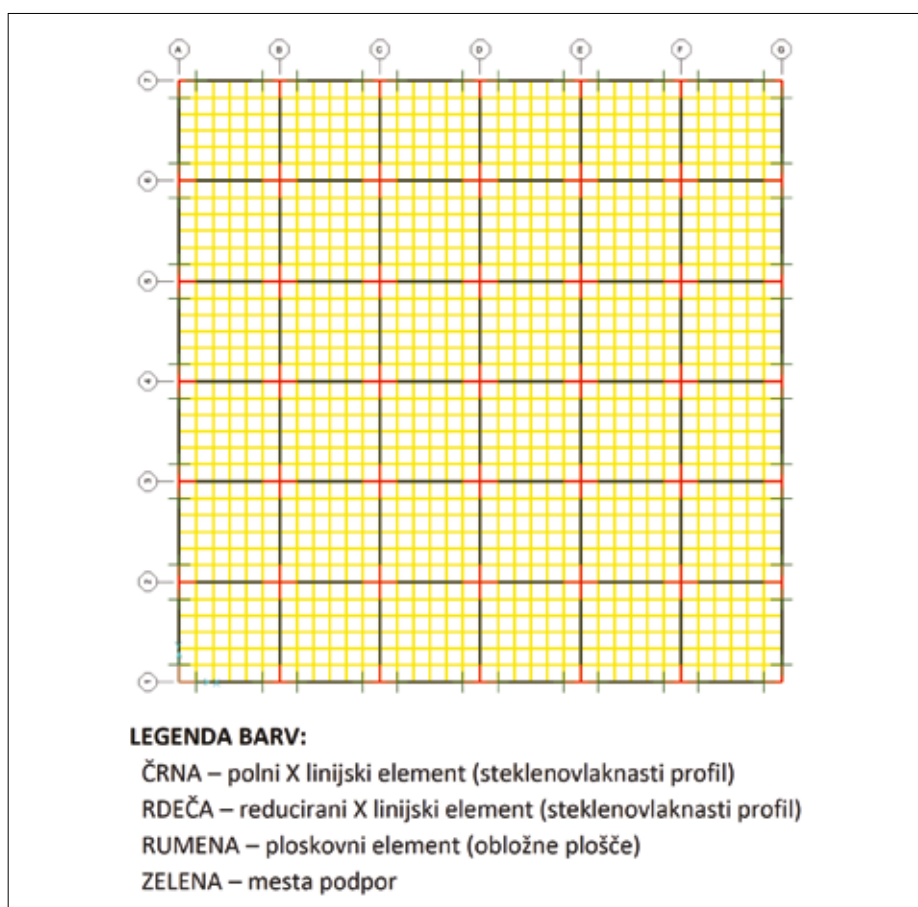
Glavni nosilni sistem medetažne plošče predstavlja mreža steklenovlaknastih nosilcev preseza X, ki jo tvorijo osnovni moduli florisnih dimenzij  $1,0 \times 1,0 \text{ m}$  in povezovalni elementi različnih oblik (večinoma križni, ob robovih pa T- in L-oblike oziroma ravni ob odprtinah v plošči (slika 3)). Posamezni osnovni modul je na vseh svojih štirih straneh povezan s sosednjimi moduli preko povezovalnih elementov in vijakaenih spojev. Na vsaki stranici osnovnega modula sta po dva spoja s po štirimi vijaki M16 (dva vijaka v spodnji in dva v zgornji polovici preseza X (slike 1–3)). S tem načinom spajanja se ustvari mreža nosilcev v dveh ortogonalnih smereh (brana), ki zagotavlja prevzem upogibnih obremenitev. Glede na obliko osnovnega modula in glede na način sestavljanja nosilci v svoji vzdolžni smeri niso enakega prečnega preseza, temveč se izmenično izmenjujejo odseki iz »X reduciranega« in »X polnega« preseza (slike 5–7). Pri analizi so bile posredno (z zmanjšanjem togosti (obeh vztrajnostnih momentov preseza) vseh linijskih elementov) upoštewane tudi oslavitve na mestih lukenj (predvidenih za vodenje instalacij) in podajnost vijakaenih spojev. V prvi fazi študije je bilo v analizah predpostavljeno zmanjšanje togosti za 20%.

#### Plošča z dvosmernim raznosom obtežbe

Najprej smo analizirali obnašanje plošče florisnih dimenzij  $6,0 \times 6,0 \text{ m}$ , sestavljene iz 6-krat po šest osnovnih modulov in križnih povezovalnih elementov. S tem modelom smo analizirali obnašanje plošče z dvosmernim raznosom obtežbe, saj je bila brana iz nosilcev (v rastru  $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ ) podprta

Specifična teža	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20
Modul elastičnosti	$E$ (kN/cm <sup>2</sup> )	1379
Poissonov količnik	$\nu$	0,33
Koeficient temperaturnega raztezka	$\alpha_T$ (1/°C)	$1,5 \times 10^{-5}$
Projektna upogibna trdnost	$f_{d,upogib}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	12,5
Projektna strižna trdnost	$f_{d,striž}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	2,5
Projektna osna tlačna trdnost	$f_{d,tlak}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	7,5

Preglednica 2 • Karakteristike uporabljenega materiala



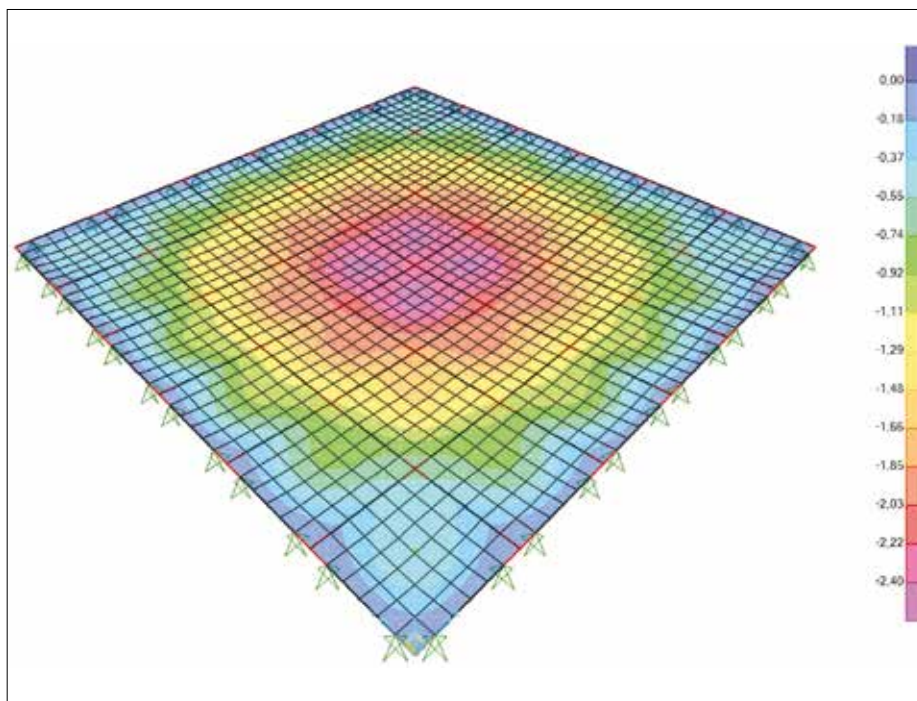
Slika 7 • Računski model medetažne plošče  $6,0 \times 6,0 \text{ m}$  (floris).

na vseh štirih robovih. Vsi nosilci so bili modelirani kot linijski končni elementi s karakteristikami prečnega preseza za »X polni« oziroma »X reducirani« prerez (preglednica 1), s čimer so bile v modelu upoštewane lokalne oslavitve sodelujočega nosilnega preseza pri spojih s križnimi elementi. Polni X-prerez je bil modeliran kot element dolžine  $L = 65,5 \text{ cm}$  (širina systemske plošče), reducirana X-prereza pa kot 2 elementa dolžine  $L = 17,25 \text{ cm}$  vmes med polnimi X-prerezi (slika 7). Med linijskimi elementi so bili mode-

lirani ploskovni končni elementi, ki simulirajo obložne plošče, na katere je bila podana obtežba modelirana kot enakomerna zvezna ploskovna obtežba, delujoča v navpični smeri v vrednosti  $g = 1,5 \text{ kN/m}^2$  in  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$ . Za ploskovne elemente obložnih plošč sta bila privzeta debelina  $2,0 \text{ cm}$  in material z modulom elastičnosti ( $E$ ) v vrednosti 25 % modula elastičnosti uporabljenega kompozita (preglednica 2) in s specifično težo, enako  $0 \text{ kN/m}^3$ , saj je teža plošč v računalniškem modelu vštetá že v obtežbi  $g$ .

Dejansko so plošče na robovih podprte s stenami oziroma nosilci, kar je bilo v modelu upoštevano s tem, da so bili robni nosilci plošče podprti z nepomičnimi členkastimi podporami. Podpore so bile modelirane v težiščih posameznih vijachenih spojev med moduli in povezovalnimi elementi. Čeprav gre pri vijachenih spojih dejansko za delno vpetje (v vertikalne stene), to v modelu ni bilo zajeto. Omenjena predpostavka daje konservativen rezultat za obremenitve in povesi v polju plošče.

Največji povesi brane pod projektno obtežbo (mejno stanje uporabnosti – MSU) se pojavijo na sredini razpona in znašajo približno 2,4 cm (slika 8), kar je ravno enako največji priporočeni vrednosti za mejni pomik ( $L/250$ ). Na sredini razpona so doseženi tudi največji upogibni momenti v nosilcih, ki v mejnem stanju nosilnosti (MSN) znašajo 1793 kNcm. Največja vrednost se pojavi na sečišču dveh ortogonalnih nosilcev, kar pomeni, da zaradi načina spajanja posameznih modulov na izbranem mestu dejansko nosi le del polnega prereza. Zato pripadajoče upogibne napetosti na tem mestu izračunamo kot kvocient projektne momenta in odpornostnega momenta ( $W_y$  – glej preglednico 1) za reducirani X-prerez. Ugotovimo, da največje projektne upogibne napetosti (preglednica 3) znašajo le ca. 30 % projektne upogibne trdnosti materiala (preglednica 2). Podobno so tudi največje dosežene strižne napetosti (preglednica 3),



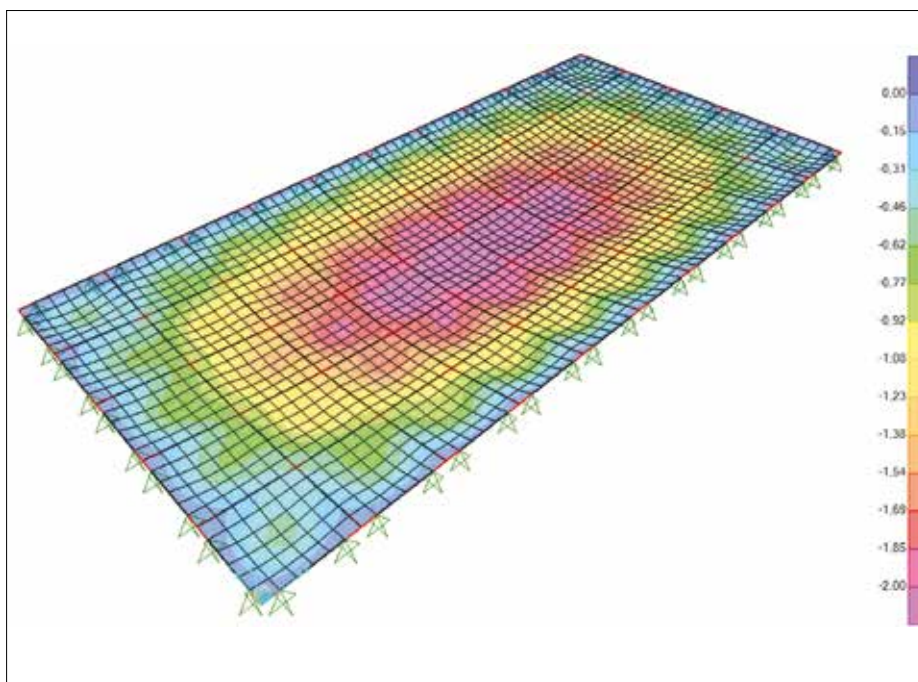
Slika 8 • Povesi plošče 6,0 x 6,0 m v MSU (enote: cm).

dobljene kot kvocient največje prečne sile (dosežena na robovih plošče oziroma krajših nosilcev) in strižnega prereza nosilca ( $A_s$ ), precej manjše od projektne strižne trdnosti materiala (preglednica 2). Zaključimo lahko, da je v analiziranem primeru odločilna kontrola pomikov.

#### Plošča z enosmernim raznosom obtežbe

V nadaljevanju analize smo analizirali nosilni sistem plošče, nominalno nosilen samo v eni smeri, saj je ena tlorisna dimenzija 2-krat večja od druge (plošča dimenzij 5 x 10 m). Največji povesi brane (slika 9) pod projektno obtežbo (MSU) znašajo okrog 2,0 cm, kar je ravno enako največji priporočeni vrednosti za mejni pomik ( $L/250$ ). Na osnovi tega rezultata lahko zaključimo, da je razpon  $L = 5,0$  m največji dopusten v primeru enosmerne nosilnih plošč v običajnih stanovanjskih objektih.

Največji upogibni moment v nosilcih v mejnem stanju nosilnosti (MSN) se pojavi v sredinskem nosilcu preko krajšega (5,0 m) razpona in znaša 2296 kNcm (na sredini srednjega 1,0 m dolgega odseka – prerez X polni) oziroma 2237 kNcm (na robu srednjega 1,0 m dolgega odseka – na sečišču dveh ortogonalnih nosilcev – prerez X reducirani). Kontrola pripadajočih upogibnih napetosti (izračunane kot kvocient projektne momenta in odpornostnega momenta ( $W_y$  – glej preglednico 1)) pokaže, da je izkoriščenost polnega X-prereza ca. 11 %, izkoriščenost reduciranega X-prereza pa ca. 38 % (preglednica 3). Podobno so tudi največje projektne strižne napetosti (dosežene na krajših (5,0 m) nosilcev) majhne in znašajo okrog 10 % projektne strižne trdnosti materiala.



Slika 9 • Povesi plošče 5,0 x 10,0 m v MSU (enote: cm).



### 3.3 Potresna analiza stene preko dveh etaž

Za enoetažne stene pri modularni hiši so predvideni višji moduli – tako imenovani trojčki in šestorčki višine 3 m in širine 1 m oziroma 2 m (slika 3). Glede na relativno visoko tlačno trdnost (preglednica 2) težav v vertikalni nosilnosti sten ni pričakovati, drugače pa je z njihovo horizontalno nosilnostjo in togostjo, ki sta bistvena parametra pri obnašanju objekta v primeru potresa in/ali močnega vetra. Glede na opisano modularno zasnovo se zdi problematična predvsem togost (tj. odpornost proti horizontalnim pomikom). Prav zaradi tega razloga smo v nadaljevanju analizirali tudi obnašanje različnih sten skupne višine 6,0 m (2 etaži po 3,0 m) v različnih konstrukcijskih zasnovah (slika 10):

- **model W1:** stena  $l=3,0$  m, sestavljena iz 3 x 3 osnovnih modulov 1,0 m x 1,0 m;
- **model W2:** stena  $l=3,0$  m, sestavljena iz 3 trojčkov 3,0 m x 1,0 m;
- **model W3:** stena  $l=6,0$  m, sestavljena iz 2 »vertikal« iz osnovnih modulov 1,0 m x 1,0 m na robovih in 4 trojčkov 3,0 m x 1,0 m na sredini.

Modeli za analizo sten so bili generirani iz predhodno opisanih modelov medetažnih plošč. Stene so bile konservativno modelirane samo iz linijskih končnih elementov, tj. brez obložnih (sistemskih) plošč, saj so stene (v nasprotju z medetažnimi ploščami) dejansko velikokrat transparentne oziroma zapolnjene s podajnim panelom. Na mestu vpetja sten v temelj so bile modelirane nepomične členkaste podpore, na kotah medetažnih konstrukcij (na koti +3,0 m oziroma +6,0 m) pa so bila vozlišča v modelu samo bočno

	upogib		strig	
	$M_{Ed}$ (kNcm)	$\sigma$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$V_{Ed}$ (kN)	$\tau$ (kN/cm <sup>2</sup> )
Plošča 6,0 x 6,0 m	1793	3,83	13,0	0,18
Plošča 5,0 x 10,0 m	2296	4,78	17,0	0,24

Preglednica 3 • Največje upogibne in strižne obremenitve v nosilnih brane v MSN

podprta. Za obtežbo na stene sta bili upoštevani horizontalna potresna obtežba (v ravnini stene) in pripadajoča vertikalna obtežba. Pri slednji je bila za stalno obtežbo upoštevana vrednost  $g=1,5$  kN/m<sup>2</sup>, za spremenljivo obtežbo pa  $q=3,0$  kN/m<sup>2</sup> (medetaža) oziroma  $q=1,5$  kN/m<sup>2</sup> (streha objekta). Projektna vrednost vertikalne obtežbe v potresnem projektnem stanju je bila določena v skladu z enačbo (3.17) Evrokoda 8:

$$g'' = \psi_E \cdot q \quad (1)$$

kjer je bila za koeficient pri kombinaciji upoštevana vrednost  $\psi_E=0,30$  za streho oziroma  $\psi_E=0,15$  za medetažo objekta (en. (4.2) v Evrokodu 8:  $\psi_E = \varphi \cdot \psi_2$ ).

Glede na običajne florisne zasnove obravnavanih hiš in njihove omejitve pri razponih medetažnih plošč (glej pogl. 3.2) smo za analizirane modele sten privzeli, da na eno steno W1 oziroma W2 v florisu odpade 36 m<sup>2</sup> površine, kar v potresnem projektnem stanju pomeni skupno osno silo v steni  $N_{Ed}=70,2$  kN/etažo. Celotno silo smo v modelu razdelili na vozlišča posamezne etaže (slika 10).

Potresno analizo smo naredili z metodo z vodoravnimi silami, pri čemer smo upoštevali

potres s projektnim pospeškom temeljnih tal  $a_g=0,25g$  (največji projektni pospešek temeljnih tal v Sloveniji (ARSO, 2017)), kategorijo tal A in konservativno predpostavko, da je nihajni čas konstrukcije v območju največjih pospeškov potresnega spektra po Evrokodu 8. Izračunani dejanski nihajni časi analiziranih sten znašajo  $T=0,366$  s (model W1), 0,619 s (model W2) in 0,497 s (model W3). Celotna prečna sila v danem primeru tako znaša  $F_b=87,75$  kN za analizirana modela W1 in W2 ter  $F_b=175,5$  kN za model W3. Pri tem sta bila upoštevana elastični potresni spekter (brez redukcije potresnih sil) in amplifikacija pospeška temeljnih tal s faktorjem 2,5 (Beg, 2009). Silo razdelimo po etažah v skladu z izrazom (en. (4.11) v Evrokodu 8):

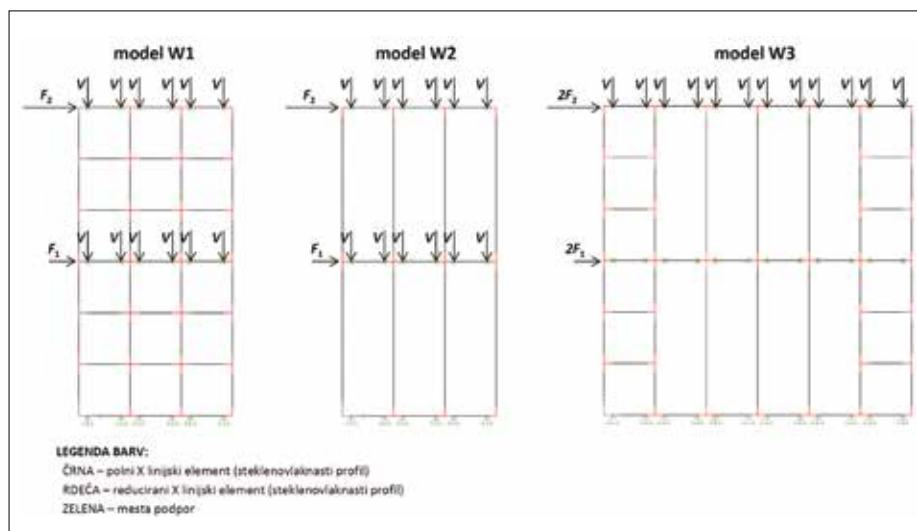
$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (2)$$

kjer sta  $z_i$  in  $z_j$  koti mas  $m_i$  in  $m_j$  nad nivojem delovanja potresnega vpliva (tj. nad temeljem).

Dobimo linearno razporeditev s silama  $F_1$  s prijemališčem na koti +3,0 m in  $F_2$  s prijemališčem na koti +6,0 m (slika 10).

Modele sten W2 in W3 smo modelirali po enakem načelu kot model za steno W1, pri čemer smo v modelu stene W3, ki je 2-krat daljša od sten W1 in W2, vertikalno in posledično tudi horizontalno obtežbo ustrezno povečali (za faktor 2). Stena W3 simulira dejansko steno z robnimi »stebri« oziroma po analogiji z zidanimi opečnimi konstrukcijami takšen sistem lahko interpretiramo kot »zid z vertikalnimi vezmi«, pri čemer zid predstavljajo trojčki (3,0 m x 1,0 m) na sredini, vertikalne vezi pa osnovni moduli (1,0 m x 1,0 m).

Na sliki 11 so prikazani izbrani rezultati za analizirane modele. Vidimo, da se stene pri potresu obnašajo precej različno. Kot najmanj primeren sistem za prenos horizontalne obtežbe se izkaže model W2, ki je precej podajen (pomik na vrhu je približno 2,8-krat večji od pomika stene W1). Če opazujemo nastale upogibne napetosti v elementih stene W2, ugotovimo, da so za približno 2-krat večje



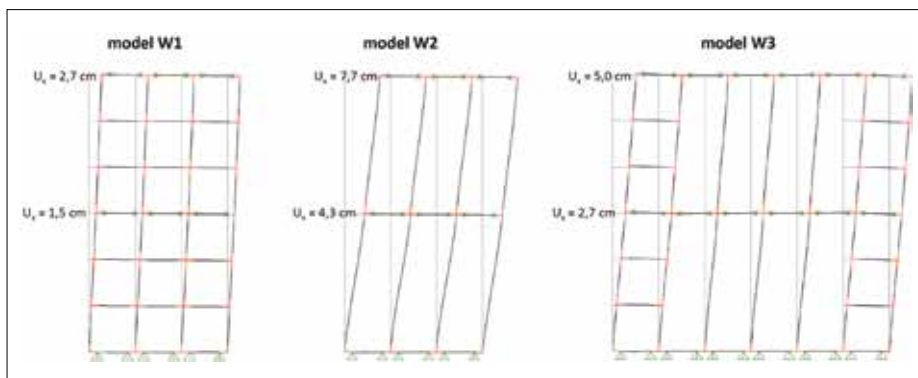
Slika 10 • Računski modeli sten s prikazanim modelom obtežbe v potresnem projektnem stanju ( $V=11,70$  kN,  $F_1=29,25$  kN,  $F_2=58,50$  kN).

kot v primeru stene W1 in do 50 % večje od napetosti v steni W3. Vendar so dosežene napetosti v vseh analiziranih primerih manjše od projektne upogibne trdnosti materiala. Ugotavljamo, da se material pri projektni obremenitvi obnaša linearno elastično in da je tudi za horizontalno obtežbo v ravnini stene odločilna kontrola pomikov. Pomik vrha stavbe v našem primeru znaša 0,45 % (W1), 1,28 % (W2) in 0,83 % (W3) celotne višine stavbe ( $H=6,0$  m). Glede na določila Evrokoda 8 (Beg, 2009) etažni zamiki (tj. pomiki posamezne etaže) v potresnem projektnem stanju pri običajnih konstrukcijah stavb naj ne bi presegli 1,0 %

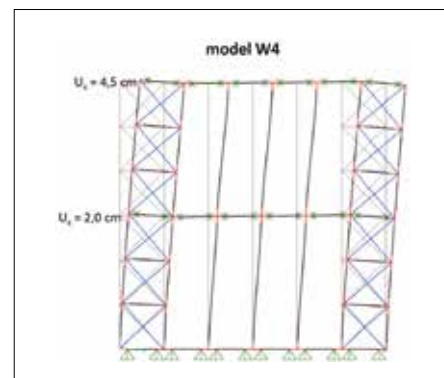
etažne višine. V našem primeru etažni zamiki kritične (pritičnice) etaže znašajo 0,50 % (W1), 1,43 % (W2) in 0,90 % (W3) etažne višine ( $h=3,0$  m), kar ne zadosti kriteriju etažnega zamika samo v primeru stene, sestavljene iz samih trojčkov (model W2). Glede na dobljene rezultate ugotavljamo, da model W3 z dvema robnima vertikalama še vedno izkazuje precejšnjo podajnost (največji etažni zamik skoraj enak mejnemu).

Z namenom izboljšanja seizmičnega odziva predlaganih sten z vertikalnimi vezmi smo zato v nadaljevanju študije v računskem modelu stene W3 vertikalne vezi oziroma

močne robne elemente še ojačali s križnimi zavetrovanji (model W4 – slika 12). Diagonale zavetrovanj so bile modelirane z okroglimi palicami premera 12 mm iz jekla kvalitete S235 ( $E=21000$  kN/cm<sup>2</sup>). Vse druge lastnosti modela W4 so bile enake kot pri modelu W3. Izračunani nihajni čas stene modela W4 je znašal  $T=0,396$  s, kar je približno 20 % manj kot v primeru modela W3. Posledično so horizontalni zamiki modela W4 bistveno manjši in v vsakem primeru zadostijo kriteriju etažnih zamikov, saj znašajo 0,60 % (nadstropje) oziroma 0,47 % (pritičje) etažne višine (slika 12).



Slika 11 • Pomiki sten v potresnem projektnem stanju.



Slika 12 • Horizontalni pomiki stene W3 z dodanimi zavetrovanji.

#### 4 • SINTEZA UGOTOVITEV IN DISKUSIJA

Izhodišče pri snovanju modularnega sistema je bilo, kako bi lahko iz čim manj gradnikov sestavili bivanjsko enoto, ki bi se čim bolj prilegala individualnim potrebam uporabnika. Na osnovi tega smo predlagali relativno majhen osnovni modul 1 m x 1 m (debeline 35 cm), s katerim lahko tvorimo razgibane florise, s tremi moduli po višini pa tudi ne odstopamo od »standardne« višine stropa v bivalnih prostorih (svetla višina 265 cm). Najmanjši uporabni prostor, ki ga dobimo, če s stenami ogradimo osnovni modul, je 65 cm x 65 cm, kar je enako površini systemske plošče tega modula in zadošča, da v tako nišo postavimo npr. pralni stroj. Moduli so zasnovani tako, da se med seboj spajajo pod pravim kotom. S tem je omogočeno, da je enak modul primeren tako za stene kot strop, zaradi česar dobimo v vseh treh ravninah (x, y, z) univerzalno mrežo 1 m x 1 m. Ker pa se moduli ne morejo med seboj spajati v isti ravnini, smo morali razviti še povezovalne elemente. Kjer se modul stika

z drugim modulom ali pa s povezovalnim elementom, se izolacija za debelino stene ohišja prekine. Ti deli potencialno predstavljajo lokalne toplotne mostove. Kolikšne so dejanske toplotne izgube, je odvisno od sestave kompozita. Toplotna prevodnost kompozita, ki smo ga uporabili pri statičnem izračunu (*polyester SMC high glass*), znaša 0,216 W/mK (TDG, 2017).

Pomemben kriterij pri vseh izbranih materialih je obstojnost, ki jo proizvajalci jamčijo z dolgo garancijsko dobo. Kompozit iz steklenih vlaken se je tako izkazal za najbolj primernega pri ohišju modula ne samo z vidika obstojnosti in konstrukcijskih lastnosti, temveč tudi zaradi cenovne dostopnosti v primerjavi s karbonskimi vlakni. S postopkom SMC se lahko moduli in povezovalni elementi optimizirajo tudi v smislu zmanjšanja količine materiala na račun dodatnih ojačitvenih reber in integracije spojnih vložkov. Ojačanje modulov in s tem njihovo boljše obnašanje

(manjše deformacije) lahko dosežemo tudi z brizganjem poliuretanske pene neposredno v modul (toplotna izolacija).

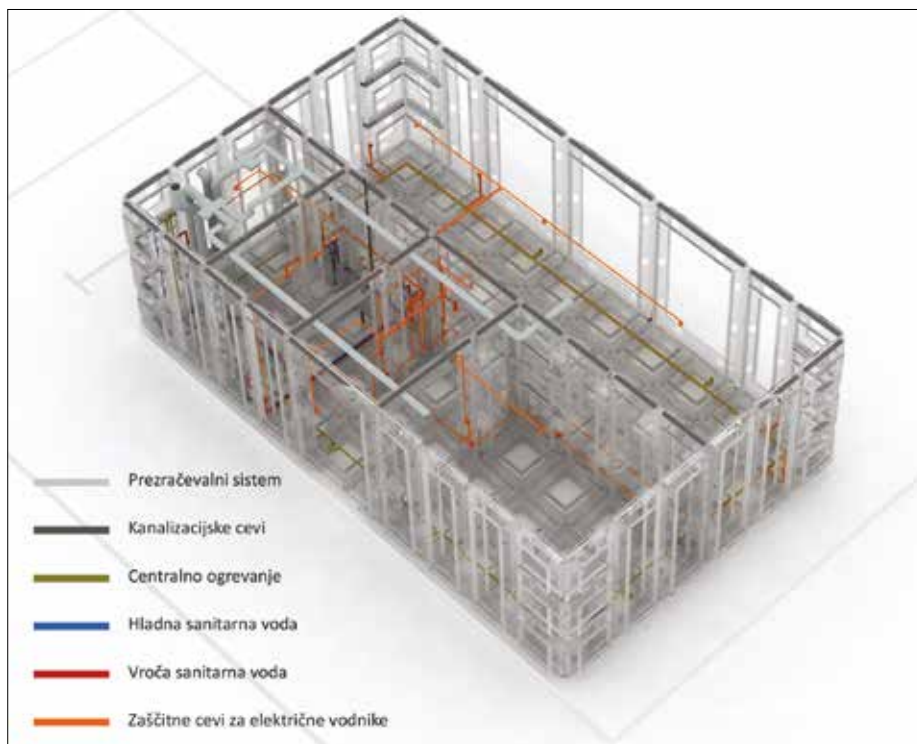
Na primeru izbrane vzorčne hiše smo izrisali tudi vse pomembnejše strojne inštalacije, ki se vodijo skozi odprtine v moduli in povezovalnih elementih (slika 13). Vse dimenzije inštalacij smo vzeli iz obstoječih sistemov, dostopnih na trgu. Odprtine v moduli, namenjene za strojne inštalacije, so se izkazale za dovolj velike. Dostop do vgrajenih strojnih napeljav je omogočen preko systemskih plošč. V primeru večjih premerov kanalizacijskih cevi se lahko napeljava pelje tudi zunaj sten.

Glede na predstavljene konstrukcijske sestave modulov in opravljene statične analize lahko zaključimo, da je izbrani nosilni sistem modularne hiše izvedljiv. Rezultati opravljenih analiz potrjujejo, da glavni problem pri projektiranju nosilne konstrukcije predlaganega modularnega sistema iz uporabljenega kompozitnega materiala predstavlja njegova podajnost. Ker

gre za specifičen sistem tako z vidika uporabe kompozitnega materiala, katerega lastnosti so izrazito odvisne od sestave (matrica in vlakna), procesov proizvodnje idr., kot z vidika uporabljanih nestandardnih prečnih prereзов, bi bilo za njegovo realno verifikacijo nujno izdelati prototip in ga eksperimentalno preskusiti. Poleg izbranega materiala in prereзов pa je za obnašanje nosilnega sistema iz kompozitnih nosilcev bistvenega pomena tudi način izvedbe spojev med posameznimi elementi oziroma njihova togost. Zaradi enostavnosti izvedbe, možnosti demontaže in enostavnejše kontrole so v rešitvi predlagani mehanski vijakaeni spoji, ki zagotavljajo prenos upogibnih, strižnih in osnih obremenitev. Treba pa se je zavedati, da uporaba vijakaeni spojev pri kompozitnih konstrukcijskih elementih lahko predstavlja problem. Na stiku vijaka in priključenega kompozitnega elementa lahko namreč v primeru (pre)obremenjenih spojev nastanejo veliki bočni pritiski in posledično velike koncentracije napetosti, ki lahko vodijo v neželene krhke lokalne porušitve. Zato je treba obravnavi spojev nameniti posebno pozornost. Spoji morajo biti projektirani tako, da se obnašajo duktilno ((Clarke, 1997), (Antolinc, 2016)). Omenjeno dosežemo z izbiro ustreznih dimenzij (debelin) sten kompozitnega prereza in vijakov, s pravilno razporeditvijo in medsebojno oddaljenostjo vijakov, z dodatnimi ojačitvami kompozitnega prereza (npr. uporaba dodatnih zgoščenih steklenih vlaken na mestih spojev, uporaba dodatnih pločevin, vtisnjenih v steno kompozitnega prereza, uporaba vtisnjenih matic večjih premerov itd.) idr.

Ker v času te študije natančnejših podatkov o obnašanju predlaganih spojev ni bilo na razpolago, smo v analizah, predstavljenih v tem članku, podajnost spojev upoštevali posredno preko delnega zmanjšana togosti uporabljenih steklenovlakanastih elementov s faktorjem 0,8. Predpostavljena redukcija je bila izbrana v preliminarni analizi za dokaz učinkovitosti zasnovane rešitve. V praksi je dejansko zmanjšanje togosti na račun podajnosti spojev lahko večje, ob izvedbi zelo togih spojev pa tudi manjše. Za natančne oziroma realne ocene so nujne natančnejše računalniške simulacije in/ali eksperimentalni preizkusi predlaganega sistema.

Z namenom celovitejšega razumevanja vpliva togosti spojev na globalno obnašanje predlaganega sistema smo v drugi fazi študije vse analize ponovili še ob predpostavki podajnejših spojev – analizirali smo modele s togostjo steklenovlakanastih elementov, zmanjšano s faktorjem 0,6. V primerjavi z modeli z upoštevano togostjo, zmanjšano s



Slika 13 • Primer poteka strojnih inštalacij v predlaganem modularnem sistemu.

faktorjem 0,8, so se največji doseženi pomiki modelov obeh obravnavanih medetažnih plošč povečali za dobrih 30 % (največji pomik plošče z dvosmernim raznosom obtežbe je znašal 3,2 cm, plošče z enosmernim raznosom obtežbe pa 2,7 cm). Čeprav doseženi pomiki presegajo mejni pomik ( $L/250$ ), lahko ob upoštevanju konservativnosti modela glede vpetja robov plošče (podpore, modelirane kot členkaste) tudi ta rezultat interpretiramo kot inženirsko sprejemljiv oziroma potrdimo, da je predlagani sistem učinkovit tudi v primeru podajnejših spojev. Rezultati za modele sten so prikazani v preglednici 4. Če jih primerjamo z rezultati, pridobljenimi na modelih z upoštevanjem zmanjšanja togosti s faktorjem 0,8, ugotovimo, da so se za modele W1, W2 in W3 njihajni časi podaljšali za največ 13 %, absolutni pomiki za največ 30 % in za enak delež tudi največji etažni zamiki. Odziv modela W4 pa izkazuje skoraj enake

rezultate kot predhodni model z bolj togimi spoji (doseženi pomiki se minimalno povečajo). V primeru zagotavljanja togih sistemskih plošč je torej vpliv podajnosti vijakaeni spojev na globalno obnašanje takšnih sten bistveno manjši.

Na osnovi dobljenih rezultatov lahko postavimo okvirne meje za največje dopustne razpore medetažnih plošč v običajnih stanovanjskih objektih. Če gre za ploščo z enosmernim raznosom (razmerje florisnih dimenzij plošče 1 : 2 ali več), je lahko največji razpon največ 5,0 m, v primeru plošče z dvosmernim raznosom obtežbe (razmerje florisnih dimenzij plošče 1 : 2 ali manj) pa največ 6,0 m. V primeru dvoetažnih hiš, grajenih po predlaganem modularnem sistemu, morajo biti zato stene v florisu razporejene enakomerno najmanj na vsakih 6,0 m v obeh florisnih smereh. Ob prikazanih rezultatih medetažnih plošč se je treba zavedati, da so bili robni nosilci analiziranih plošč modelirani

Model	$T$ (s)	$U_{x,streha}$ (cm)	$U_{x,1.et}$ (cm)
W1	0,403	3,3	1,8
W2	0,701	9,9	5,6
W3	0,552	6,2	3,4
W4	0,404	3,3	1,4

Preglednica 4 • Rezultati za modele sten s podajnejšimi spoji

kot nepomično členkasto podprti, kar daje konservativen rezultat za obremenitve in deformacije v polju plošče. Dejansko so robni nosilci preko vijachenih spojev delno vpeti v podporno vertikalno konstrukcijo (stene), kar pa v modelu ni bilo upoštevano.

Analiza sten preko dveh etaž pokaže, da sta horizontalna nosilnost in togost sten, ki sta ključni v primeru potresa ali vetra, v določenih primerih lahko kritični. Tako kot v primeru medetažnih konstrukcij so tudi pri stenah problem pomiki. Na osnovi opravljenih analiz tako ugotavljamo, da je pri zasnovi konstrukcije stenam treba zagotoviti močne robne elemente. Ti se zagotovijo na način, da namesto trojčkov uporabimo tri osnovne module s povezovalnimi elementi. Še bolje pa z dodanimi zavetrovanji znotraj modulov oziroma tudi z uporabo ustrezno fogih sistemskih (obložnih) plošč, s čimer se horizontalni pomiki bistveno zmanjšajo (do 50 % pri modelih z bolj togimi spoji oziroma do 60 % pri modelih s podajnejšimi spoji). Njihova vgradnja se zdi nujna v vseh vogalih hiše in na vseh križanjih dveh neortogonalnih sten (podobno kot armiranobetonske vertikalne

vezi v zidanih konstrukcijah). V predstavljeni potresni analizi so bile upoštevane elastične potresne sile (brez redukcije s faktorjem obnašanja  $q$ ), saj je obnašanje obravnavanega materiala zelo neduktilno in so njegove porušitve krhke ((Žarnič, 2002), (Kilar, 2014), (Antolinc, 2016)). Da dosežemo ustrezno potresno odpornost, moramo zato pri projektiranju konstrukcij iz steklenovlaknastih profilov zagotoviti, da je njihovo obnašanje linearno-elastično. Z upoštevanjem elastičnih potresnih sil in računskim dokazom, da so projektne obremenitve manjše od projektnih nosilnosti, je v vseh analiziranih primerih tej zahtevi zadoščeno.

Dopustno število etaž pri takšni modularni gradnji je omejeno. Statične analize so bile opravljene za dvoetažno hišo, kjer se je pokazalo, da je treba z dodatnimi ukrepi pri stenah zagotoviti zadostno horizontalno togost. Verjetno pa bi se ob določenih ojačitvah tako v razporeditvi modulov kot sestavi modula objekt lahko nadgradil za kakšno etažo.

Predlagani modularni sistem je mogoče aplicirati tudi v alternativnih različicah.

Zaradi enostavnega načina sestavljanja (modularnost), nizke teže, mobilnosti in prilagodljivosti pri gradnji je lahko sistem namenjen tudi začasnim postavitvam in bivalnim enotam po naravnih katastrofah (Fiamma, 2010). Modularni sistem ni nujno vezan samo na izdelavo v kompozitu s steklenimi vlakni. Gledano trajnostno naravnano, bi lahko bil kompozit tudi iz recikliranih materialov oziroma biomaterialov (matrica) in ojačan z naravnimi vlakni, kot so lan, konoplja, juta ((Sanjay, 2015), (Saba, 2015), (C&S, 2017)). Lahko bi bil narejen tudi iz masivnega lesa, z drugačno, lesu prilagojeno konstrukcijo modula. Modularni sistem s svojim mrežnim načinom sestavljanja ponuja številne možnosti uporabe tudi zunaj bivanjske arhitekture. Različni materiali in velikost lahko dajo modulu novo uporabnost. Nekoliko manjši moduli, narejeni npr. iz mehkejše pene, bi lahko bili primerni za otroška igrala, majhni moduli bi lahko služili za otroške kocke, ožji moduli predelnim stenam in spuščeni stropom, spet v nekih drugih dimenzijah kot pohišveni elementi itd.

## 5 • SKLEP

V šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so bili številni poskusi gradnje iz kompozitnih materialov, med drugimi tudi hiša *fg 2000* iz leta 1968, ki jo je razvilo nemško podjetje Feierbach iz Altenstadta. *Fg 2000* je redki primer, ki je soroden modularnemu sistemu, predstavljenemu v tem članku. Razvit modularni sistem temelji na mreži, katere osnovna enota je modul 1 m x 1 m, in se uporablja tako za stenske kot medetažne konstrukcije enodružinskih hiš. Ravno konstrukcijske možnosti in trajnost izbranega materiala omogočata poznejše spreminjanje postavitve modulov (glede na morebitne nove potrebe uporabnika), kar smo posebej omenili kot glavno prednost pred konvencionalno klasično/montažno gradnjo. V predlaganem sistemu smo se za kompozit iz steklenih vlaken odločili zaradi oblike modula (zahteva izdelavo kalupa), majhne lastne teže (lažja montaža), trajnosti, odpornosti proti vremenskim vplivom in tehnologije izdelave, ki zadosti serijski proizvodnji za doseganje konkurenčnih cen na trgu.

Članek poudarja posebnosti projektiranja konstrukcij iz kompozitov s steklenimi

vlakni (varnostni faktorji, deformabilnost, vpliv togosti spojev, seizmično obnašanje, praktične omejitve pri gradnji itd.). Ključno vprašanje, ki smo si ga v predstavljeni študiji zastavili, je bilo, ali je predlagani konstrukcijski sistem ustrezen za prevzem obremenitev v enodružinskih hišah. Zato so bile analizirane različne konstrukcijske variante, značilne za takšne modularne hiše. Rezultati računalniških simulacij so pokazali, da glavni problem pri projektiranju predlaganega nosilnega sistema iz obravnavanega kompozitnega materiala predstavlja njegova podajnost. Ta je posledica relativno nizkega elastičnega modula izbranega kompozita in podajnosti predlaganih vijachenih spojev med posameznimi elementi. Analiza medetažnih plošč je pokazala, da predlagani sistem omogoča premoščanje razponov, običajnih za stanovanja (5 do 6 m). Na osnovi opravljenih analiz potresnega odziva pa ugotavljamo (v analiziranem primeru je bil upoštevan projektni pospešek temeljnih tal  $a_g = 0,25 g$ ), da je pri zasnovi konstrukcije na ta način zgrajenih hiš na potresnih območjih stene treba dodatno zavetrovati.

To lahko dosežemo z uporabo ustreznih modulov na robovih sten (namesto trojčkov uporabimo 3 osnovne module s povezovalnimi elementi), še bolje pa z dodanimi zavetrovanji znotraj modulov oziroma tudi z uporabo ustrezno fogih sistemskih (obložnih) plošč. Statične analize so bile opravljene za dvoetažno hišo, verjetno pa bi se ob določenih ojačitvah v razporeditvi modulov kot tudi sestavi modula lahko dodala še kakšna etaža. Glede na zasnovo modulov in način njihovega medsebojnega povezovanja bi ob zagotovljeni nizki ceni (pogojena z velikoserijsko proizvodnjo) tak sistem lahko predstavljal zanimivo alternativo na stanovanjskem trgu.

Predlagani modularni sistem je mogoče aplicirati tudi v alternativnih različicah, npr. začasne konstrukcije, bivalne enote po naravnih katastrofah, izvedba v drugačnem materialu ipd. Glede na način sestavljanja predstavljeni koncept modularnega sistema lahko prilagodimo (izbor materiala, velikost modulov) tudi za drugo uporabo (npr. za otroška igrala, otroške kocke, pohišvene elemente itd.).

## 6 • LITERATURA

- Antolinc, D., Ponjavič, R., Obnašanje preklonih vijčnih spojev iz armirane plastike (FRP) z enim vijakom, Zbornik 38. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Ljubljana, 2016.
- ARSO, Karta potresne nevarnosti Slovenije, projektni pospešek tal, [http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektni\\_pospešek\\_tal.html](http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektni_pospešek_tal.html), pridobljeno 28. 6. 2017.
- Bakis, C. E., Bank, L. C., Brown, V., Cosenza, E., Davalos, J. F., Lesko, J. J., Machida, A., Rizkalla, S. H., Triantafyllou, T. C., Fiber-reinforced polymer composites for construction – State-of-the-art review, *Journal of composites for construction*, 6, 73–87, 2002.
- Beg, D., Pogačnik, A. (ur.), Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Inženirska zbornica Slovenije, Ljubljana, 2009.
- Bergdoll, B., Christensen, P., Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling, The Museum of Modern Art, New York, 2008.
- Clarke, J. L. (ur.), Structural Design of Polymer Composites: Eurocomp Design Code and Handbook. E & FN Spon, London, 1997.
- CSI, SAP2000 Structural and earthquake engineering software, Computers and structures, Inc., Berkeley, California, <http://www.csiamerica.com/sap2000>, 2011.
- C&S, Composites & Sustainability, <http://compositebuild.com/inform/composites-sustainability/>, pridobljeno 10. 7. 2017.
- Design Manual: Fiberglass Grating and Structural Products, <http://www.deltacomposites.com/pdf/brochures/Delta%20Design%20Manual.pdf>, pridobljeno 5. 5. 2017.
- Dual Lock, <http://www.mdmcommerce.si/lepljenje/3m-scotchmate-in-dual-lock-povezovalni-jezek-trakovi/>, pridobljeno 20. 9. 2017.
- Extren: Fiberglass Structural Shapes and Plate, <http://www.strongwell.com/wp-content/uploads/2013/03/EXTREN-Brochure.pdf>, pridobljeno 4. 5. 2017.
- Fiamma, P., Carra, G., »Fractal pre-structured« building for (temporary) housing, Proc. of Int. Conf. on Advances in Civil Engineering, ACEE, 2010.
- Hota, G., Liang, R., Advanced fiber reinforced polymer composites for sustainable civil infrastructures, Proceedings of the International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, Xiamen University, 2011.
- Huang, J. C. H., Krawczyk, R. J., Schipporeit, G., Mass customizing prefabricated modular housing by internet-aided design, Proceedings of the 11th Conference on CAADRIA, Ed.: Atsuko Kaga and Ryusue Naka. CAADRIA, School of Architecture and Civil Engineering, Kumamoto, Japan, 203–208, 2006.
- Kilar, V., Statika I. z osnovami trdnosti in projektiranja, učbenik za študente arhitekture, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2014.
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., Lienhard, J., Construction Manual for Polymers + Membranes: Materials, Semi-finished Products, Form Finding, Design, Birkhauser, Basel, 2011.
- Kropelj, J. J., Modularni sistem industrijsko izdelanih gradbenih elementov, ki omogočajo visoko stopnjo prilagodljivosti bivanjskim potrebam uporabnika, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Akademija za likovno umetnost in oblikovanje, Ljubljana, 2013.
- Nguyen, Q. T., Ngo, T., Tran, P., Mendis, P., Zobec, M., Aye, L., Fire performance of prefabricated modular units using organoclay/glass fibre reinforced polymer composite, *Construction and Building Materials*, 129, 204–215, 2016.
- Overcash, M., Twomey, J., Asmatulu, E., Vozzola, E., Griffing, E., Thermoset composite recycling—Driving forces, development, and evolution of new opportunities, *Journal of Composite Materials*, v tisku, 2017.
- Pain, S., Pour in, pop out, move in, *New Scientist*, 194, 56–57, 2007.
- Peloux, L. D., Tayeb, F., Baverel, O., Caron, J. F., Construction of a large composite gridshell structure: A lightweight structure made with pultruded glass fibre reinforced polymer tubes, *Structural Engineering International*, 26, 160–167, 2016.
- Plastic Europe 04, Environmental benefits of Fibre Reinforced Plastics (FRP), <http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100602173200-CEFICArticle4EnvironmentalbenefitsofGRP-20060803-002-EN-v1.pdf>, pridobljeno 20. 9. 2017.
- Poljanšek, M., Dujič, B., Žarnič, R., Eksperimentalno podprta analiza kompozitnih sendvičastih plošč. *Gradbeni vestnik* 6: 153–159, 2006.
- Pultex, The New and Improved Pultex Pultrusion Design Manual of Standard and Custom Fiber Reinforced Polymer Structural Profiles, <http://www.creativepultrusions.com/default/assets/File/DMV5R5.pdf>, pridobljeno 4. 5. 2017.
- RCB, Residential construction breakthrough: Composites find a home, <http://www.compositesworld.com/articles/residential-construction-breakthrough-composites-find-a-home>, pridobljeno 10. 7. 2017.
- Saba, N., Paridah, M. T., Jawaid, M., Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review, *Construction and Building materials*, 76, 87–96, 2015.
- Sanjay, M. R., Arpiitha, G. R., Yogesha, B., Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review, *Materials today*, Proceedings 2, 2959–2967, 2015.
- SMC, Compression Molding Process/SMC, <http://www.moldedfiberglass.com/processes/compression-molding-process>, pridobljeno 4. 5. 2017.
- Smith, R. E., Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, John Wiley & Sons, Hoboken, 2010.
- Song, Y. S., Young, J. R., Gutowski, T. G., Life cycle energy analysis of fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40, 1257–1265, 2009.
- Šenk, P., The Concept of Capsule Architecture as Experiment; Origins and Manifestations with Selected Examples from Slovenia and Croatia, *Prostor: znanstveni časopis za arhitekturo i urbanizam*, 21/2, 351–361, 2013.
- TDG, Technical Design Guide for FRP Composite Products and Parts: Techniques & Technologies for Cost Effectiveness, [http://www.moldedfiberglass.com/sites/default/files/docs/MFG\\_Technical\\_Design\\_Guide\\_FRP\\_Composite\\_0.pdf](http://www.moldedfiberglass.com/sites/default/files/docs/MFG_Technical_Design_Guide_FRP_Composite_0.pdf), pridobljeno 5. 5. 2017.
- Vieira, J. D., Liu, T., Harries, K. A., Flexural stability of pultruded glass fibre-reinforced polymer I-sections, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 1–12, 2017.
- Zalokar Miklič, R., Montažna enodružinska hiša, magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2002.
- Žarnič, R., Osnovne lastnosti polimernih kompozitov, *Gradbeni vestnik* 51: 155–166, 2002.

# VODNI DNEVI 2017

**Slovensko društvo za zaščito voda, ki je član Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, je 5. in 6. oktobra 2017 v Portorožu organiziralo strokovni posvet Vodni dnevi 2017. Tematika je bila razdeljena v sklope Voda in priložnosti, Voda in okolje, Čiščenje odpadne vode, Učinkovito izvajanje komunalnih storitev ter Vodni viri in pitna voda.**

iz Zavoda RS za varstvo narave je spregovoril o nujnem učinkovitem čiščenju odpadnih voda pri ohranjanju kraškega podzemlja, mikrobiolog in tehnološki inženir Stanko Česen pa je pojasnil, kakšen napredek in poenostavitev pri čiščenju odpadne vode prinaša postopek PVA MBBR. Okroglo mizo je v imenu SDZV povezovala mag. Mojca Vrbančič.

Zadnji sklop je imel naslov Vodni viri in pitna voda. Mag. Joerg Prestor iz Geološkega zavoda Slovenije je v svojem predavanju na temo podzemne vode v aluvialnih vodonosnikih kot viru pitne vode predstavil štiri območja onesnaževanja na funkcionalnem območju mesta Ljubljane, o tem, kako z namenom zagotavljanja varne oskrbe s pitno vodo delujejo v



Predavanja v sklopu Voda in priložnosti so prispevali mag. Stanka Cerkvenik z Inštituta za javne službe, dr. Mihael Brenčič z Oddelka za geologijo Naravoslovno-tehniške fakultete Univerze v Ljubljani in prof. Senko Pličanič s Pravne fakultete Univerze v Ljubljani. Razpravo, ki je potekala na to temo na okrogli mizi, je v imenu SDZV vodil Roman Kramer.

Naslednji sklop je imel naslov Voda in okolje. Glavni vir pitne vode so pri nas podzemne vode, a te so tudi habitati ekosistemov. Predavanje na to temo je prispeval dr. Boris Kolar iz Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano, ki je strokovnjak za ekotoksikologijo. Hkrati je strokovni sodelavec okoljske agencije EMA iz Londona, ki zajema področja tveganj, ki jih povzročajo uporaba veterinarskih zdravil v okolju, ter Evropske agencije za varnost hrane EFSA, kjer se ukvarja s tveganji, ki jih okolju povzročajo dodatki v živalski hrani. O tem, kako pomemben vpliv na vodni krog imajo rastline, je v svojem predavanju poudarila biologinja prof. dr. Alenka Gaberščik z Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Okroglo mizo na temo vode in vodne problematike z biološkega in ekološkega vidika je v imenu SDZV vodil prof. dr. Mihael J. Toman.

Tretji sklop predavanj je imel naslov Čiščenje odpadne vode. O pojavnosti, kroženju in učinkih protirakovinskih zdravil v vodnem okolju je udeležence seznanila dr. Marjeta Česen z Inštituta Jožef Stefan (pri projektu je sodelovala tudi z dr. Ester Heath), inženir gozdarstva Gregor Danev

Četrti sklop predavanj je imel naslov Učinkovito izvajanje komunalnih storitev. Kako v času velikih sprememb rešujejo problematiko čiščenja odpadnih voda v nemški javni in neprofitni organizaciji Ruhrverband v Porurju, severnem delu Porenja - Vestfalije, je udeležencem predaval tehnološki inženir prof. dr. Norbert Jardin. Problematiki načrtovanja sistemov kanalizacije v Sloveniji se je v svojem predavanju posvetil projektant čistilnih naprav Radovan Vodopivec iz družbe Alpeng, Stefano Longo z Univerze Santiago de Compostela pa je predstavil novo standardno metodologijo za evaluacijo energetske učinkovitosti čistilnih naprav. Okroglo mizo je za SDZV povezovala dr. Marjetka Levstek.

Prekmurju, je na temo sanacije vodnih virov Segovci in Podgrad predaval kemijski inženir dr. Goran Pipuš iz podjetja Hidroinženiring, o patogenih virusih v vodi in ukrepih, povezanih z njimi, pa je predavanje prispevala raziskovalka Anja Pecman iz Nacionalnega inštituta za biologijo, oddelka za biotehnologijo in sistemsko biologijo. Okroglo mizo je za SDZV povezovala dr. Brigita Jamnik.

Več informacij o predavanjih najdete na <http://sdzv-drustvo.si/vodni-dnevi/prispevki-in-predstavitve/>

**dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž. predsednica SDZV**



# NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA  
GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

## I. STOPNA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

**Alen Šuštaršič**, Projekt enoetažne industrijske hale, mentor viš. pred. dr. Leon Hladnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97638>

**Blaž Blatnik**, Zagotavljanje kakovosti dimniških tuljav med uporabo s poudarkom na dimniških požarih, mentorica prof. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Matej Kušar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97637>

**Miha Mandelj**, Analiza poteka gradnje prizidka poslovno-skladiščnega objekta Uprom, mentorica prof. dr. Jana Šelih, somentor doc. dr. Aleksander Srdić; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97636>

## II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Peter Pekolj**, Potresna analiza stolpnice v sovprežni izvedbi, mentor doc. dr. Franc Sinur, somentor asist. dr. Mirko Kosič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97416>

**Klemen Bajc**, Projekt hiše z leseno okvirno nosilno konstrukcijo, mentor doc. dr. Drago Saje, somentor pred. dr. Boštjan Ber; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97417>

**Jure Zabret**, Zasnova železniške proge Domžale – Brnik – Kranj, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentorica asist. dr. Darja Šemrov; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97418>

**Sanja Kvržič**, Obstojnost betonov različnih sestav s kontroliranim razvojem lastnosti, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentorica Lojzka Reščič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97414>

**Sebastijan Kravanja**, Raziskava odpornosti visoko zmogljivega vlaknastega betona proti udarni obtežbi projektila, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor doc. dr. Radoslav Sovják; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97482>

**Žiga Maček**, Nelinearna dinamična analiza jeklenih okvirjev na primeru parkirne hiše, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=97412>

## III. STOPNJA - DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Klara Pirmanšek**, Mehčanje materiala in lokalizacija deformacij v geometrijsko točni teoriji prostorskih nosilcev z vgrajeno nezveznostjo, mentor prof. dr. Miran Saje, somentor prof. dr. Dejan Zupan; <https://repozitorij.uni-lj.si/info/index.php/slo/>

**Anita Ogrin**, Dinamična analiza prostorskih jeklenih okvirjev v požaru, mentor prof. dr. Miran Saje, somentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan; <https://repozitorij.uni-lj.si/info/index.php/slo/>

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

# KOLEDAR PRIREDITEV

11.- 13. 12. 2017

**ICAMC 2017 – 3rd International Conference on Architecture, Materials and Construction**

Amsterdam, Nizozemska  
[www.icamc.org/](http://www.icamc.org/)

25.- 26. 1. 2018

**ICCEBM 2018 – 20th International Conference on Civil Engineering and Building Materials**

Pariz, Francija  
[www.waset.org/conference/2018/01/paris/ICCEBM](http://www.waset.org/conference/2018/01/paris/ICCEBM)

26.- 28. 2. 2018

**ACSGE 2018 – 2nd International Conference on Advances in Concrete, Structural and Geotechnical Engineering**

Pilani, Indija  
[www.bits-pilani.ac.in./ACSGE2018/](http://www.bits-pilani.ac.in./ACSGE2018/)

8.- 10. 3. 2018

**ICACE 2018 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2018**

Hong Kong, Kitajska  
<http://icace.coreconferences.com/>

11.- 13. 3. 2018

**ICQUE 2018 – 5th International Conference on Civil and Urban Engineering**

Barcelona, Španija  
<http://www.icque.org/>

15.- 16. 3. 2018

**ICCEABME 2018: 20th International Conference on Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Environment**

Pariz, Francija  
[www.waset.org/conference/2018/03/paris/ICCEABME](http://www.waset.org/conference/2018/03/paris/ICCEABME)

8.- 10. 4. 2018

**ICESDP'18-3rd International Conference on Environmental Sustainability, development, and Protection**

Budimpešta, Madžarska  
<http://icesdp.com/>

8.- 10. 4. 2018

**ICGRE'18-3rd International Conference on Geotechnical Research and Engineering**

Budimpešta, Madžarska  
<http://icgre.org/>

6.- 10. 5. 2018

**IAS/PCA – 2018 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference**

Nashville, Texas, Združene države Amerike  
[www.cementconference.org/](http://www.cementconference.org/)

15.- 17. 5. 2018

**Structural Faults & Repair 2018 and European Bridge Conference 2018**

Edinburgh, Škotska  
[www.structuralfaultsandrepair.com/](http://www.structuralfaultsandrepair.com/)

22.- 24. 5. 2018

**S.ARCH 2018 – The 5th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS**

Benetke, Italija  
<http://s-arch.net/>

6.- 8. 6. 2018

**3rd International Conference on Protection against Overtopping**

Grange-over-Sands, Velika Britanija  
<http://protections2018.org/Protections2018/homepage>

28.- 31. 10. 2018

**IALCCE 2018 – The 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering**

Gent, Belgija  
[www.ialcce2018.org/#/home](http://www.ialcce2018.org/#/home)

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