





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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, avgust 2010, letnik 59, str. 189-208

Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Leskoškova 9e, 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 knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
**Jakob Presečnik**  
MSG IZS: **Gorazd Humar**  
**mag. Črtomir Remec**  
**doc. dr. Branko Zadnik**  
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**  
FG Maribor: **Milan Kuhta**  
ZAG: **prof. dr. Miha Tomaževič**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristjan Juteršek**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**3000 izvodov**

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 22,95 EUR; za študente in upokojnence 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vstrel 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, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek 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, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja 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 in opisana z naslednjimi podatki: priimek, začetnica imena prvega avtorja, 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](mailto: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

## Jubilej

stran **190**

prof. dr. Bojan Majes, univ. dipl. inž. grad.

### OB 100-LETNICI ROJSTVA AKADEMIKA PROF. DR. LUJA ŠUKLJETA

## Članki • Papers

stran **191**

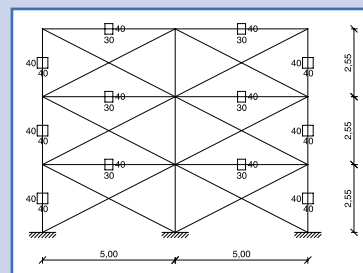
Katja Pintarič, univ. dipl. inž. grad.

red. prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.

asist. Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

### IZRAČUN NIHAJNIH ČASOV RAZLIČNIH SISTEMOV VEČETAŽNIH LESENIH ZGRADB

VIBRATION PERIODS OF VARIOUS TYPES OF MULTI-STOUREY TIMBER  
STRUCTURES



stran **198**

mag. Mojmir Uranjek, univ. dipl. inž. grad.

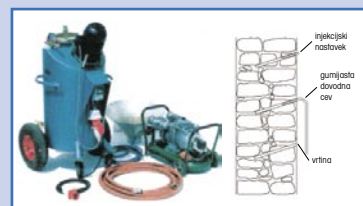
prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Violeta Bokan - Bosiljkov, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Vlatko Bosiljkov, univ. dipl. inž. grad.

### SMERNICE ZA KAKOVOSTNO IZVEDBO UTRJEVANJA ZIDOV STAVBNE DEDIŠČINE S SISTEMATIČNIM INJEKTIRANJEM

GUIDELINES ENSURING QUALITY IN CASE OF STRENGTHENING  
HERITAGE BUILDINGS WALLS BY MEANS OF GROUT INJECTION  
STROKOVNI ČLANE



## Informacijsko modeliranje zgradb

stran **206**

dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

## Novi diplomanti

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

## Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Razgledni stolp na Plačkem vrhu, foto Janez Duhovnik

## JUBILEJ

# OB 100-LETNICI ROJSTVA AKADEMIKA PROF. DR. LUJA ŠUKLJETA



Septembra letos bo minulo sto let od rojstva akademika prof. dr. Luja Šukljeta, zaslužnega profesorja Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

Bil je učitelj mehanike tal in temeljenja številnim generacijam študentov tehnike, gradbeništva in arhitekture, pionir in voditelj geomehanske stroke in znanosti v Sloveniji in v Jugoslaviji, ustanovitelj, predsednik in zaslužni član Jugoslovanskega društva za mehaniko tal in temeljenje, zaslužni član Slovenskega geotehničnega društva, vrhunski geomehanski strokovnjak, ki je vrsto let sodeloval pri reševanju skoraj vseh najtežjih geomehanskih problemov na gradbiščih širom Jugoslavije, ter vrhunski znanstvenik mednarodnega slovesa.

Univerza v Ljubljani, katere eminentni učitelj je bil prof. dr. Šuklje, ga je leta 1979 izvolila za svojega zaslužnega profesorja. Istega leta je postal tudi redni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Akademik prof. dr. Lujo Šuklje je bil človek, ki mu po pomembnosti pri ustvarjanju slovenske gradbeniške stroke in slovenske tehnike nasploh komajda najdemo primerjavo. S svojim

raziskovanjem reoloških lastnosti zemljin in izdajo knjige *Rheological Aspects of Soil Mechanics*, izšla je leta 1969 pri založbi Wiley & Sons, je postavil slovensko geotehniko na svetovni zemljevid, kjer po zaslugi njegovih učencev ostaja prepoznavna in cenjena tudi še danes.

Rodil se je 21. septembra 1910 v Jelsi na Hvaru. Po maturi na klasični gimnaziji v Ljubljani je študiral nekaj časa vzporedno elektrotehniko in gradbeništvo. Študij gradbeništva je zaključil leta 1935. Od leta 1938 do 1946 je učil na Tehniški srednji šoli v Ljubljani. Že leta 1938 je pričel na pobudo prof. dr. Alojzija Krála, predstojnika Zavoda za tehnično mehaniko in preiskavo materiala Tehniške fakultete, ustanovljati laboratorij za mehaniko tal na ljubljanski univerzi. Prvi aparati za raziskovanje zemljin v Sloveniji so bili izdelani po njegovih načrtih. Leta 1946 je postal po zagovoru disertacije z naslovom »*Drsenje temeljnih tal pod učinkom brezkrajnega bremskega pasu*« doktor tehniških ved Univerze v Ljubljani in bil izvoljen za docenta na Tehniški fakulteti te univerze. Leta 1951 je bil izvoljen za izrednega in leta 1956 za rednega profesorja ljubljanske univerze. Na začetku kariere univerzitetnega učitelja je dr. Šuklje poučeval tudi predmete statike, dinamike in kinematike ter trdnosti, kasneje pa le še predmete mehanike tal. Na dodiplomskem študiju gradbeništva je prenehal predavati leta 1975. Za vse predmete, ki jih je poučeval, je napisal tudi učbenike. Zadnji njegov učbenik *Mehanika tal* iz leta 1984 še danes uporabljajo študentje in strokovnjaki v praksi.

Po drugi svetovni vojni je bil angažiran kot strokovnjak za mehaniko tal in temeljenje pri obnovi in izgradnji številnih zahtevnih objektov v Jugoslaviji, bil je pobudnik ustanovitve Jugoslovanskega društva za mehaniko tal in temeljenje ter razpet med strokovnim, znanstveno-raziskovalnim in pedagoškim delom. Z referati o svojih izsledkih se je med letoma 1948 in 1985 udeležil večine mednarodnih

in jugoslovanskih kongresov za mehaniko tal in temeljenje ter tako prispeval k mednarodni afirmaciji slovenske geotehnične stroke. Konec šestdesetih let je bil eden vodilnih svetovnih strokovnjakov na področju mehanike tal. Že omenjena obsežna knjiga *Rheological Aspects of Soil Mechanics* je bila leta 1973 prevedena tudi v ruščino.

Težišče znanstveno-raziskovalnega dela prof. dr. Šukljeta je bilo v proučevanju viskoznih lastnosti zemljin in njihov vpliv na konsolidacijo oziroma na razvoj napetostnih in deformacijskih stanj v tleh. Za svoje raziskovalne dosežke je leta 1964 prejel s sodelavci nagrado Sklada Borisa Kidriča, leta 1972 pa Kidričevo nagrado.

Prof. dr. Lujo Šuklje je opravljal pomembne funkcije tudi na področju izobraževalnega in znanstvenoraziskovalnega dela v Sloveniji. Med letoma 1961 in 1964 je bil član sveta za šolstvo SRS, v obdobju 1967–1972 je bil predsednik skupščine Izobraževalne skupnosti SRS, med letoma 1963 in 1971 pa član upravnega odbora Sklada Borisa Kidriča. Za svoje delo je prof. dr. Šuklje prejel številna strokovna priznanja in tri državna odlikovanja.

Svoje znanje je prof. dr. Šuklje nesebično posredoval študentom, sodelavcem in strokovnjakom v operativi. Med študenti je veljal za strogega, a spoštovanega učitelja. Svoje sodelavce, predvsem mlajše, je kot predstojnik, vzgojitelj in mentor s svojim dobrosrčnim, skoraj očetovskim odnosom, vendar z doslednostjo in strogostjo, vodil in usmerjal pri delu od študentskih dni dalje. Njegovih šest doktorandov je nadaljevalo akademsko kariero na dveh tujih in dveh domačih univerzah.

12. oktobra 2000 so v Ljubljani Šukljeto doktorandi, učitelji geotehnike na ljubljanski in mariborski univerzi ter Univerzi v Trentu organizirali 1. Šukljeto dneve. Letošnji že 11. Šukljeto dan bo potekal v Protokolarnem centru Brdo pri Kranju v petek, 17. septembra 2010, kjer bomo z memorialno razstavo osvežili spomin ne našega velikega učitelja, raziskovalca, strokovnjaka in plemenitega človeka, ki ostaja večno zapisan v spominu svojih študentov, sodelavcev, kolegov in prijateljev. Umrli je 18. junija 1997.

**Bojan Majes**



# IZRAČUN NIHAJNIH ČASOV RAZLIČNIH SISTEMOV VEČETAŽNIH LESENIH ZGRADB

## VIBRATION PERIODS OF VARIOUS TYPES OF MULTI-STOREY TIMBER STRUCTURES

**Katja Pintarič, univ. dipl. inž. grad.**  
**prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.**  
**asist. Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,  
 Smetanova 17, 2000 Maribor

**Znanstveni članek**

UDK: 624.011.1

**Povzetek** | Članek obravnava analizo nihajnih časov različnih sistemov 3-etažne lesene zgradbe, in sicer skeletni sistem, montažni okvirni sistem z obložnimi ploščami in masivni sistem s križno lepljenimi lesenimi paneli. Analizirani so nihajni časi, ki jih lahko določimo s približnimi enačbami v skladu s standardi ali z natančnejšimi metodami, ki temeljijo na metodah iz dinamike konstrukcij. Izvedene so primerjave nihajnih časov tako med posameznimi sistemi kot tudi med različnimi metodami analize.

**Summary** | This paper deals with the analysis of vibration periods of various types of 3-storey timber structure such as a "Post and Beam" system, a timber-framed system and a cross-laminated panel system. Vibration periods, which can be calculated with approximate equations in accordance with standards or with more accurate methods based on structural dynamics, are analysed. The comparisons between different structural systems and different methods are then performed.

### 1 • UVOD

Izmed vseh naravnih katastrof na Zemlji velja potres za eno izmed najbolj uničujočih in nepredvidljivih dejavnikov. Močan potres ne povzroči le velike materialne škode, ampak vodi tudi do izgube življenj ter povzroči tako fizične kot psihične travme. Izkušnje iz potresov v preteklih letih po svetu so pokazale, da se lesene konstrukcije dobro obnašajo na potresnih območjih in da prenesejo močan potres z minimalno škodo na sami zgradbi. Njihova prednost se kaže predvsem v majhni lastni teži in duktilnih spojih. Prav tako so bile lesene konstrukcije v preteklosti, predvsem zaradi

požarnih razlogov, omejene z etažno višino. Z razvojem novejših dognanj in primernejših oprijemov pri projektiranju in izvedbi pa doživlja les svoj preporod v gradbeništvo tudi na področju večetažne gradnje. Za izračun potresnih obremenitev je določitev lastnih nihajnih časov konstrukcije eden izmed bistvenih potrebnih podatkov. Veliko predpisov omogoča določitev nadomestne potresne sile zgolj na podlagi poznavanja nihajnega časa, med drugim tudi SIST EN 1998-1:2005, ki se uporablja v Sloveniji. V praksi zato obstajajo trije izrazi, s katerimi se lahko približno oceni

vrednost nihajnega časa konstrukcije. Ni pa nujno, da ti izrazi dovolj natančno opišejo obnašanje konstrukcije. Eden izmed dovolj natančnih postopkov je analiza konstrukcije po znanih metodah iz dinamike konstrukcij. Največkrat zahteva uporabo programske opreme in je v primerjavi z uporabo približnih enačb dolg in zamuden. Zato se še toliko bolj pokaže potreba po uporabi krajših postopkov, ki bi dovolj natančno opisali obnašanje konstrukcije, hkrati pa bi zmanjšali računski napor, potreben za izračun. Postopki so primerni za potresno pravilno zasnovane objekte v skladu z zahtevami s SIST EN 1998-1:2005. Članek je nastal na podlagi diplomskega dela na Fakulteti za gradbeništvo Univerze v Mariboru (Pintarič, 2010).

## 2 • OBRAVNAVANI SISTEMI GRADNJE

Analizo in primerjavo bomo izvedli za tri najpogostejše sisteme gradnje na področju lesenih konstrukcij:

- skeletni sistem,
- montažni okvirni sistem z obložnimi ploščami,
- masivni sistem s križno lepljenimi lesenimi paneli – sistem XL.

V analizi smo zaradi boljše primerljivosti rezultatov za vse obravnavane sisteme ohranili enake tlorisne dimenzije, etažno višino, število etaž ter razporeditev sten. 3-etažna konstrukcija je tlorisnih dimenzij 10,00 m x 12,50 m ter skupne višine 7,65 m.

### 2.1 Skeletni sistem

Nosilna konstrukcija je sestavljena iz stebrov dimenzij 40/40 cm in nosilcev dimenzij 30/40 cm, kakovost lesa GL28h. Za stikovanje se uporabijo vijaki M20. Dodatno horizontalno stabilnost sistema se zagotovi z jeklenimi diagonalami  $d = 2,5$  cm (slika 2.2).

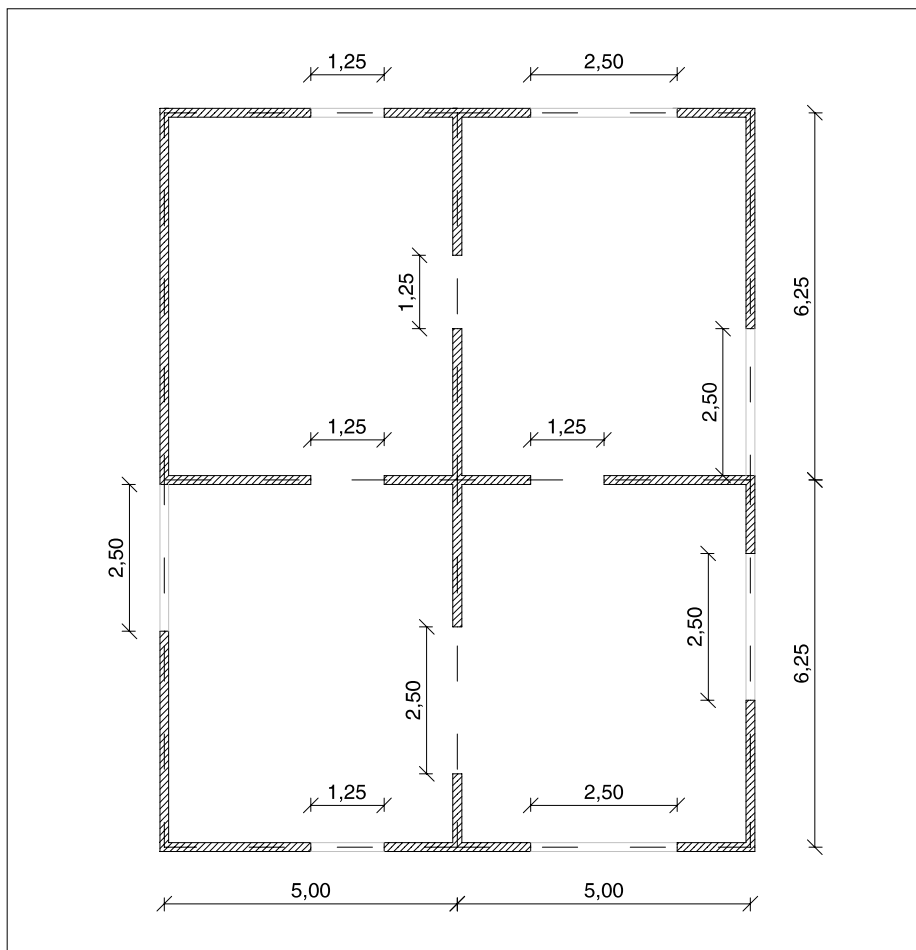
V praksi bi se takega sistema zavetrovanja posluževali pri notranjih okvirjih konstrukcije. V našem primeru smo namerno privzeli enostavno simetrično zavetrovanje skeletnega sistema zaradi primernejših oz. objektivnejših primerjav med enostavnimi simetričnimi večetažnimi sistemi – saj bi s spremembo zavetrovanja v tem primeru ustvarili neprimerno večjo nesimetrijo kot pri drugih primerjalnih konstrukcijskih sistemih.

### 2.2 Montažni okvirni sistem z obložnimi ploščami

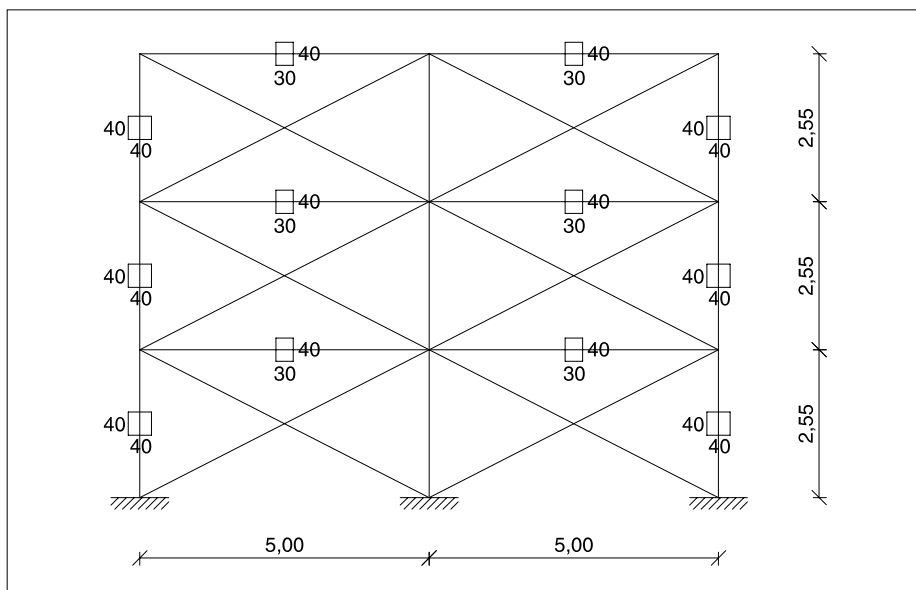
Uporabljeni so tipski paneli širine 125 cm in višine 255 cm (slika 2.3). Obložne plošče so na leseni okvir pritrjene s sponkami KG 750 na konstantni razdalji 7,5 cm. Za lesene pokončnike in prečke je uporabljen les kakovosti C22.

Za obložne plošče smo v obravnavani analizi uporabili naslednje:

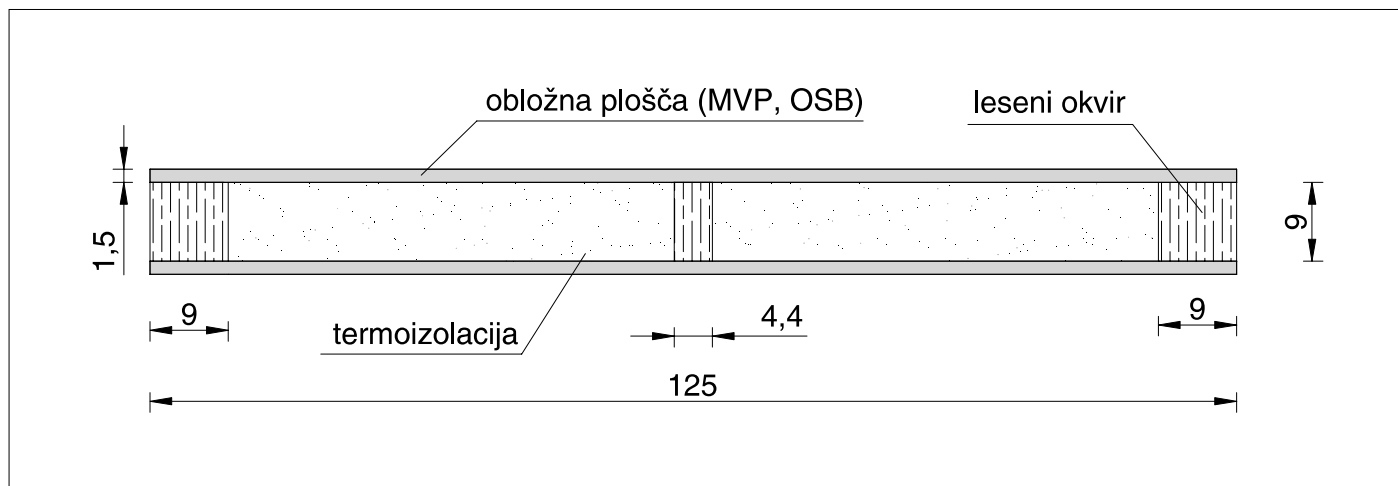
- mavčno-vlaknaste plošče – MVP,
- plošče OSB.



Slika 2.1 • Tloris tipične etaže



Slika 2.2 • Načrt tipičnega okvirja



Slika 2.3 • Prikaz sestave panela

### 2.3 Križno lepljeni lamelni sistem

Križno lepljeni les sestavljajo križno zložene lesene lamele oziroma deske, ki so pod visokim pritiskom ploskovno zlepljene v večji masivni element (slika 2.4). Plošče so izdelane v lihem številu slojev – 3, 5, 7 ali več, do maksimalne debeline 50 cm. Paneli so sposobni prenašati obtežbo v obeh smereh, zato so uporabni tako za stenske kot tudi stropne elemente. Za analizo je uporabljen 3-slojni panel XL debeline 94 mm, kakovost lesa C24 po ETA-06/0138.

Materialne karakteristike posameznega sloja:

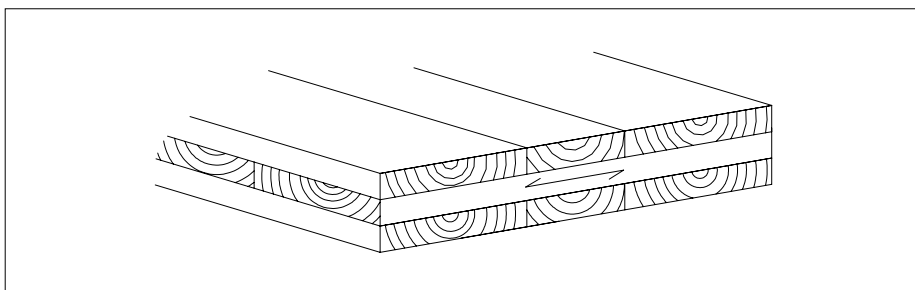
Elastični modul:  $E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$

$E_{90,mean} = 370 \text{ MPa}$

Strižni modul:  $G_{mean} = 690 \text{ MPa}$

	$E_{0,mean}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_{mean}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{t,0,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,0,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Les C22</b>	10000	630	22	13	20	2,4	410
<b>MVP</b>	3000	1200	/	2,5	20	5,0	1050
<b>OSB 3</b>	3500	240	20	20	20	/	600

Preglednica 2.1 • Fizikalne lastnosti uporabljenih materialov



Slika 2.4 • Skica 3-slojnega panela XL debeline 94 mm

## 3 • DOLOČITEV NIHAJNIH ČASOV

### 3.1 Uporabljene metode

Nihajne čase za obravnavane sisteme smo določili po različnih metodah, in sicer:

– s približnimi enačbami po SIST EN 1998-1:2005 in SIST EN 1991-1-4:2005:

$$T_1 = n_1^{-1} = \frac{h}{46} \quad (1)$$

$$T_1 = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}} \quad (2)$$

$$T_1 = 2 \cdot \sqrt{d} \quad (3)$$

kjer je:

$n_1$  ... prva lastna upogibna frekvenca (Hz),

$h, H$  ... višina konstrukcije v m,

$d$  ... vodoravni pomik na vrhu stavbe v m zaradi vodoravnih vztrajnostnih sil.

$C_1$  ... 0,085 za prostorske jeklene momentne okvire, 0,075 za prostorske betonske momentne okvire in za ekscentrično zavetrovane jeklene okvire ter 0,050 za vse druge konstrukcije;

– z ravninskim modelom s pomočjo programa za statično analizo in postopkov iz dinamike konstrukcij;

– s prostorskim modelom s pomočjo programa za statično analizo in modalno analizo.

Uporabljene metode se med seboj razlikujejo predvsem v zahtevnosti in natančnosti pristopa. Preden se odločimo za določeno poenostavitev analize, je treba preveriti zahteve, ki jih podaja SIST EN 1998-1:2005. Posebna pravila so navedena za uporabo ravninskega in prostorskega modela, kar je v pravilniku definirano s pravilnostjo v tlorisu.

## 3.2 Statični sistemi

### 3.2.1. Skeletni sistem

Večina pristopov pri modeliranju pogosto idealizira obnašanje spojev kot popolnoma toga ali kot členkasto vozlišče. V resničnosti pa je v lesenih gradnjah, kjer je konstrukcija povezana z mehanskimi vezmi, zelo težko izdelati spoj, ki bi bil popolnoma tog. Zato se pri tovrstnih konstrukcijah pogosto srečamo z delno togimi spoji, ki morajo biti v analizi obravnavani drugače, in ne kot popolnoma toga ali členkasta vozlišča. Delno togo stikovanje, v primerjavi s členkastim stikovanjem, lahko prevzame momentno obtežbo, vendar manjšo kot elementi, ki jih stikujemo. Pri modeliranju klasičnega okvirnega sistema smo delno toge spoje simulirali z dovolj majhnimi elementi, katerih togost je enaka zasučni togosti spoja, ki smo jo določili na podlagi zveze med zasučno togostjo spoja  $K_{\varphi}$ , modulom pomika veznega sredstva  $K_{ser}$  ter razdalje med središčem zasuka in posameznim veznim sredstvom  $r_i$ , ki je podana kot (Kermani, 1996):

$$K_{\varphi} = \sum K_{ser} \cdot r_i^2 = \sum K_{ser} \cdot (r_x^2 + r_y^2) \quad (4)$$

Primer izračuna stika:  
Modul pomikov se določi kot:

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d}{80} = \frac{(410 \cdot 1,21)^{1.5} \cdot 20}{23} = 9608,51 N / mm \quad (5)$$

Zasučna togost je:

$$K_{\varphi} = \sum K_{ser} \cdot r_i^2 = 9608,51 \cdot (6 \cdot 0,12^2 + 6 \cdot 0,12^2) = 1660,35 kNm \quad (6)$$

Zasučna togost je enaka togosti elementa dolžine 0,1 m:

$$K_{\varphi} = \frac{E \cdot I}{L} \quad (7)$$

Izberemo si:

$$L = 0,1 m \quad (8)$$

$$I = \frac{0,1 \cdot 0,1^3}{12} = 8,333 \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

$$\Rightarrow E = \frac{K_{\varphi} \cdot L}{I} = 1,9925 \cdot 10^7 kN / m^2 \quad (10)$$

Za izračun smo uporabili program Tower 6. Ker program nima vgrajenega primerne modula, s katerim bi lahko pravilno podali stikovanje prečk z notranjimi stebri, smo delno toge stike modelirali le na stikovanju prečk z zunanji stebri. Stik prečk z notranjimi stebri je obravnavan kot členkast spoj. Ker je v tem sistemu smer sile podana, so za izračun podane le natezne diagonale, ki so edine upoštevane kot nosilne. Delno togi spoji so prikazani odebeljeno na sliki 3.1.

### 3.2.2. Montažni okvirni sistem z obložnimi ploščami

Zaradi specifične sestave panela (leseni okvir, na katerega so s sponkami pritrjene obložne plošče) je v montažnem okvirnem sistemu z računalniškim programom običajno težko simulirati podajnost veznih sredstev  $\gamma$  v priključni ravnini. V praksi pri modeliranju to najpogosteje rešujemo z vzmetmi ali z dodajanjem vmesnih slojev, s pomočjo katerih je upoštevana podajnost veznega sredstva. V predstavljeni analizi smo se temu poenostavljeno izognili z upoštevanjem dodatnih diagonal, katerih efektivni prečni prerez aproksimativno upošteva tako horizontalno togost obložnih plošč kot podajnost veznih sredstev v priključnih ravninah obložna plošča-leseni okvir.

Tako smo panele nadomestili z jeklenimi diagonalami (slika 3.2), kjer smo pri izračunu togosti elementa upoštevali tako upogibno kot tudi strižno togost elementa, ki ju določimo s pomočjo spodnjih enačb:

Upogibna togost panelne stene:

$$(EI_y)_{eff} = E_b I_b + E_t I_t = E_b \cdot \frac{2t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left( \frac{2a^3 \cdot c}{12} + \frac{d^3 \cdot c}{12} + 2\gamma_{yi} \cdot A_{t1} \cdot z_p^2 \right) \quad (11)$$

Strižna togost panelne stene:

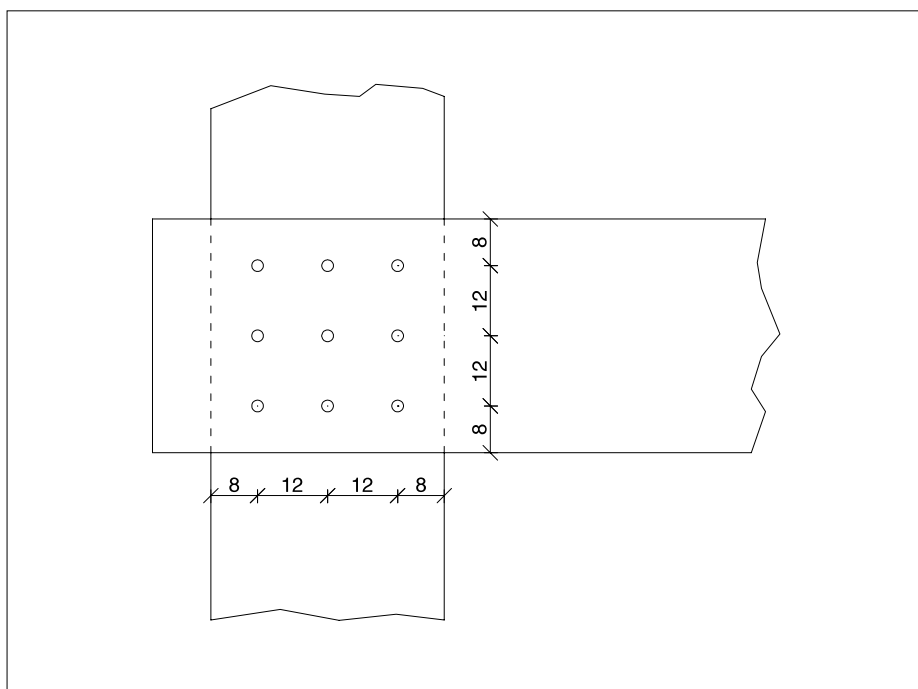
$$(GA)_{eff} = G_b \cdot A_b + G_t \cdot A_t \quad (12)$$

kjer indeks  $b$  označuje obložno ploščo in indeks  $t$  les.

Tako dobimo:

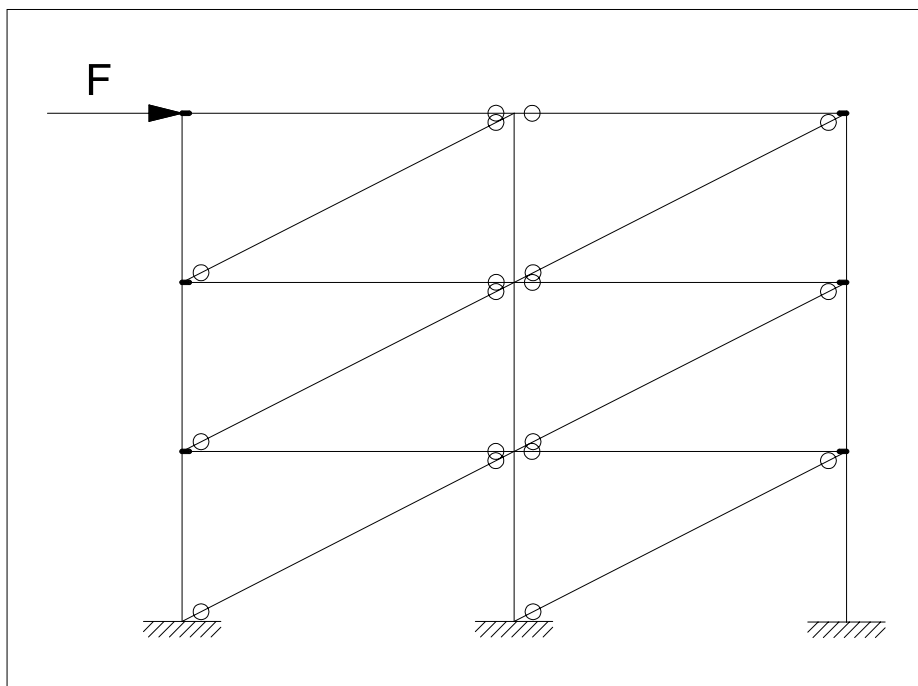
– obložne plošče MVP

$$(EI_y)_{eff} = (1,465 + 1,122) \cdot 10^8 = 2,587 \cdot 10^8 kNcm^2 = 2,587 \cdot 10^4 kNm^2 \quad (13)$$

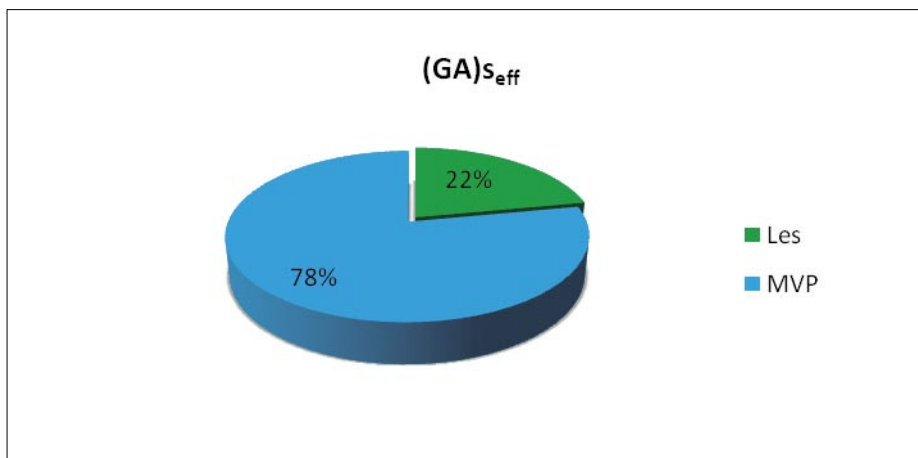


Slika 3.1 • Skica spoja v konstrukciji

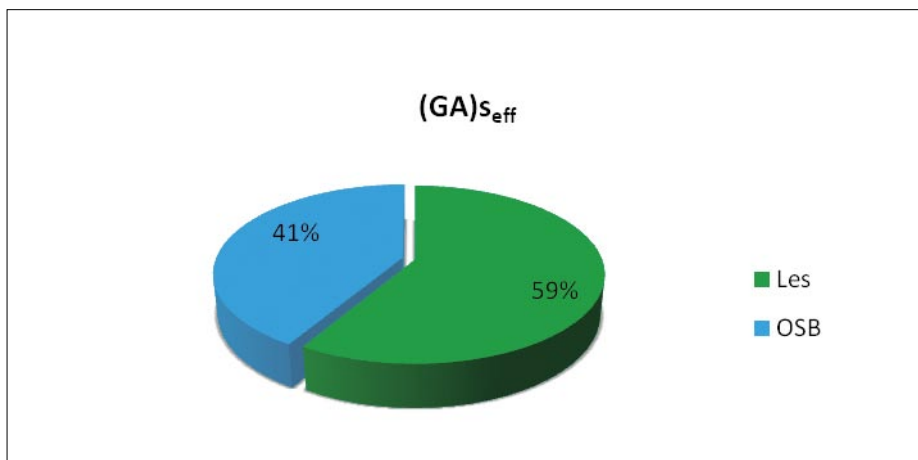




Slika 3.2 • Statični sistem za skeletno konstrukcijo z upoštevanjem delno togih spojev



Slika 3.3 • Prispevek lesenega okvirja in plošče MVP k skupni strižni togosti panela



Slika 3.4 • Prispevek lesenega okvirja in plošče OSB k skupni strižni togosti panela

$$(GA)_{eff} = 45000 + 12700,8 = 57700,80 \text{ kN} \quad (14)$$

– Obložne plošče OSB:

$$(EI_y)_{eff} = (1,709 + 0,797) \cdot 10^8 = 2,506 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2 = 2,506 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2 \quad (15)$$

$$(GA)_{eff} = 9000 + 12700,8 = 21700,8 \text{ kN} \quad (16)$$

Ker imajo obložne plošče OSB približno petkrat manjši strižni modul  $G$  v primerjavi z obložnimi ploščami MVP, je strižna togost panela z obložnimi ploščami OSB manjša (enačbi (14) in (16)). To posledično privede tudi do manjše skupne togosti sistema OSB, v primerjavi s sistemom MVP. Večja togost sistema z obložnimi ploščami MVP je bila dokazana tudi eksperimentalno v (Premrov, sprejet v objavo). Pri tem je privzeto, da v obeh primerih kot vezna sredstva uporabimo sponke.

Pri izračunu bi se lahko pojavil tudi vpliv veznih sredstev, če bi pri pritrjevanju plošč MVP na leseni okvir uporabili drugačen razmik med sponkami, kar je eksperimentalno raziskano v (Premrov, 2009).

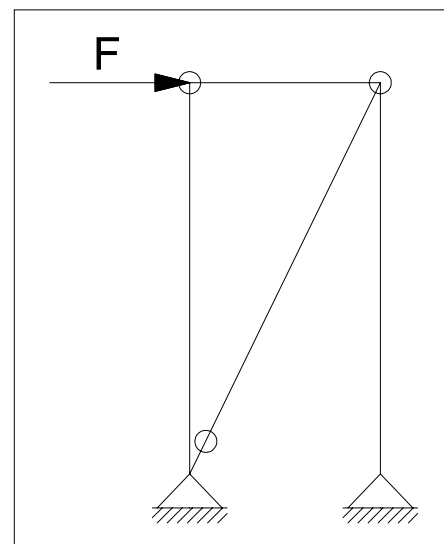
Tako sledi togost panela:

$$k_p = \frac{1}{D_p} = \left( \frac{H^3}{3 \cdot EI_{eff}} + \frac{H}{GA_{s,eff}} \right)^{-1} \quad (17)$$

kjer je:

$$(GA_s)_{eff} = \frac{(GA)_{eff}}{1,2} \quad (18)$$

Pri tem predpostavimo absolutno togo sidranje.



Slika 3.5 • Statični sistem za posamezni panel

### 3.2.3. Križno lepljeni lamelni sistem

Pri modeliranju križno lepljenih panelov je treba upoštevati različne materialne karakteristike v obeh pravokotnih smereh zaradi različne orientiranosti medsebojno zlepljenih slojev. Izračun je opravljen s programom Tower 6, kjer smo panele modelirali kot stenske elemente enojnega sloja, pri čemer smo uporabili proces homogenizacije 3-slojnega prereza.

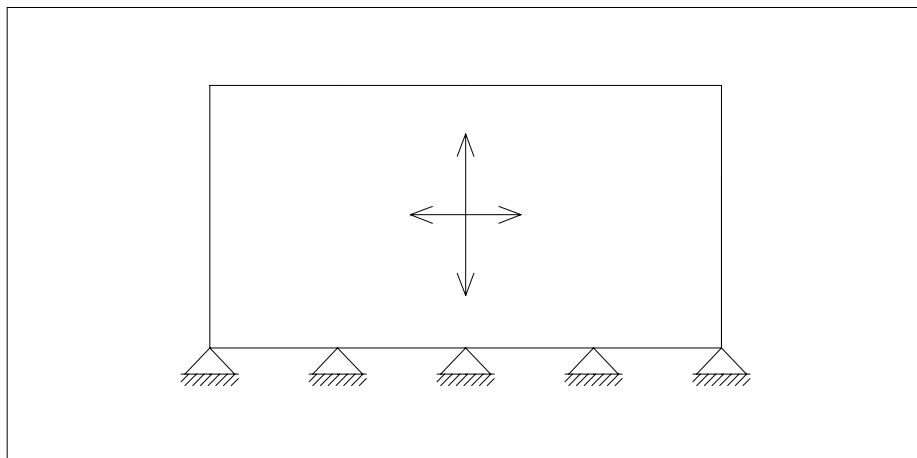
Materialne karakteristike homogeniziranega prereza so:

$$E_{0,mean} = 7793 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 4577 \text{ N/mm}^2$$

Ker vpetje panelov ni popolnoma togo, ampak je panel sidran na podlago samo na določenih mestih, je to pri modeliranju upoštevano s togim vpetjem na razdalji, ki najbolje simulira dejansko medsebojno razdaljo pritrjevanja (slika 3.3).

Pri izračunu togosti smo upoštevali tako upogibno kot strižno togost elementa.



Slika 3.6 • Statični sistem za steno dolžine 5,0 m

### 3.3 Rezultati analize

Vrsta modela		$T_1 = \frac{h}{46}$	$T_1 = C_1 \cdot H^3$	$T_1 = 2 \cdot \sqrt{d}$	2D-model	3D-model
Skeletni sistem	smer x	0,166 s	0,230 s	0,363 s	0,273 s	0,279 s
	smer y			0,384 s	0,290 s	
Montažni okvirni sistem - plošče MVP	smer x	0,166 s	0,230 s	0,333 s	0,306 s	0,291 s
	smer y			0,292 s	0,268 s	
Montažni okvirni sistem - plošče OSB	smer x	0,166 s	0,230 s	0,381 s	0,349 s	0,325 s
	smer y			0,334 s	0,306 s	
Sistem XL, 94 mm	smer x	0,166 s	0,230 s	0,182 s	0,164 s	0,142 s
	smer y			0,141 s	0,136 s	

Pri 2D-modelu so za posamezno smer obravnavani vsi trije okvirji, kjer je skupna togost vzeta kot seštevek togosti posameznih okvirjev.

## 4 • SKLEP

Določitev nihajnega časa s približnimi enačbami je relativno hitro in enostavno. Kot je pokazala analiza, katere rezultati so prikazani v poglavju 3.3, s temi enačbami dobimo dokaj nenatančne rezultate. Posebej problematični sta prvi dve približni enačbi, kajti vrednost nihajnega časa je odvisna le od višine konstrukcije  $H$ , zato posledično dobimo enake vrednosti nihajnih časov za vse sisteme, čeprav imajo ti zelo različne togosti, ki seveda neposredno vplivajo na lastni nihajni čas konstrukcije. Naslednja približna enačba, ki jo navaja pravil-

nik, se izkaže za natančnejšo, čeprav dobimo nekoliko večje vrednosti nihajnih časov kot s pomočjo ravninskega in prostorskega modela. Sta pa v enačbi v vodoravnem pomiku  $d$  posredno že upoštevani tako togost kot masa konstrukcije, kar je za analizo ugodneje kot le višina konstrukcije. Izmed obravnavanih sistemov ima sistem XL največjo togost, zato je ta sistem tudi najprimernejši za večetažno gradnjo. Analiza nihajnih časov montažnega okvirnega sistema je pokazala, da v primeru uporabe obložnih plošč MVP dosežemo večjo

togost sistema, kot če uporabimo obložne plošče OSB. Enaki rezultati so bili doseženi tudi eksperimentalno na vzorcu stene (Premrov, sprejet v objavo).

Za ugodno poenostavitev se je izkazala uporaba ravninskega modela. Rezultati so, ob izvedeni primerjavi s prostorskim modelom, pokazali zelo majhna odstopanja nihajnih časov, kar zagotavlja zadostno primerljivost rezultatov. Tako že uporaba ravninskega modela v praksi daje dovolj natančne rezultate, seveda ob predhodni izpolnitvi meril za tlorisno pravilnost, določeni s pravilnikom SIST EN 1998-1:2005. Nadalje pa bo smiselno preiskati tudi konstrukcije, ki teh pogojev ne izpolnjujejo povsem.

## 5 • LITERATURA

- Pintarič, K., Dinamična analiza različnih sistemov večetažnih lesenih zgradb, diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2010.
- Premrov, M., Kuhta, M., Experimental Analysis on Behaviour of Timber-Framed Walls with Different Types of Sheathing Boards, Nova Science Publishers – sprejet v objavo.
- Premrov, M., Kuhta, M., Influence of fasteners disposition on behaviour of timber-framed walls with single fibre-plaster sheathing boards, Constr. build. mater. (Print ed.), vol. 23, iss. 7, str. 2688–2693, julij 2009.
- Kermani, A., A study of semi-rigid and non-linear behaviour of nailed joints in timber portal frames, Journal of forest engineering, januar 1996, vol. 7, št. 2, str. 17–33. Dostopno na: <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/backissues/pdf/vol7-2/kermani.pdf> (10. 5. 2010).
- SIST EN 1991-1-4, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije, 1–3. del, Splošni vplivi – Vplivi vetra, 2005.
- SIST EN 1998-1, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij, 1. del, Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, 2005.

# SMERNICE ZA KAKOVOSTNO IZVEDBO UTRJEVANJA ZIDOV STAVBNE DEDIŠČINE S SISTEMATIČNIM INJEKTIRANJEM

## GUIDELINES ENSURING QUALITY IN CASE OF STRENGTHENING HERITAGE BUILDINGS WALLS BY MEANS OF GROUT INJECTION

**mag. Mojmir Uranjek, univ. dipl. inž. grad.**

Gradbeni Inštitut ZRMK, Center za materiale in konstrukcije,  
Dimičeva 12, Ljubljana

**prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.**

**izr. prof. dr. Violeta Bokan - Bosiljkov, univ. dipl. inž. grad.**

**doc. dr. Vlatko Bosiljkov, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij,  
Jamova cesta 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK: 69.059.3:693.1/.2

**Povzetek** | Velik del zidov stavbne dediščine v Sloveniji je grajen iz kamna ali mešanice kamna in opeke. Masivnejši zidovi so največkrat grajeni trislojno, z zunanjima slojema iz delno oblikovanih ali klesanih kamnov in vmesnim delom, ki ga tvorijo ostanki in manjši kamni, tanjši zidovi pa so običajno grajeni dvoslojno. Učinkovita tehnika za izboljšanje mehanskih lastnosti takšnih zidov je utrjevanje s postopkom sistematičnega injektiranja. Nepoznavanje morfologije in stanja zidov, nekompatibilnost obstoječih materialov in materialov, ki jih nameravamo vgraditi, ter napake pri izvedbi so lahko vzrok za nekakovostno izvedbo injektiranja ali celo poškodbe zidu. Namen raziskovalnega dela, predstavljenega v članku, je prispevati k vzpostavitvi metodologije dela in kriterijev za doseganje kakovostne izvedbe sistematičnega injektiranja zidov stavbne dediščine. Na osnovi rezultatov obsežnih laboratorijskih preiskav, pregleda dostopne novejšje literature ter sodelovanja s konservatorji in proizvajalci injekcijskih mešanic so definirani kemijski in mehansko-fizikalni kriteriji za izbiro optimalne mešanice za injektiranje. Opisani so vzroki za napake pri sistematičnem injektiranju in podana navodila za zagotavljanje kakovostne izvedbe injektiranja.

**Summary** | A large part of heritage buildings walls in Slovenia is built with stones or a mixture of stones and bricks. Thicker walls are usually constructed in three layers, with the outer layers made of roughly shaped stones and the inner core of leftovers and smaller stones, while thinner walls mainly have only two layers. An efficient technique for the improvement of mechanical properties of such walls is strengthening by means of grout injection. A lack of knowledge of morphology, the incompatibility of existing and applied materials and errors during the application of grout injection can lead to inadequate quality of grout injection and can even cause damages in the walls. The main objective of the paper is to contribute to the development of work methodology and to criteria for achieving the required quality.

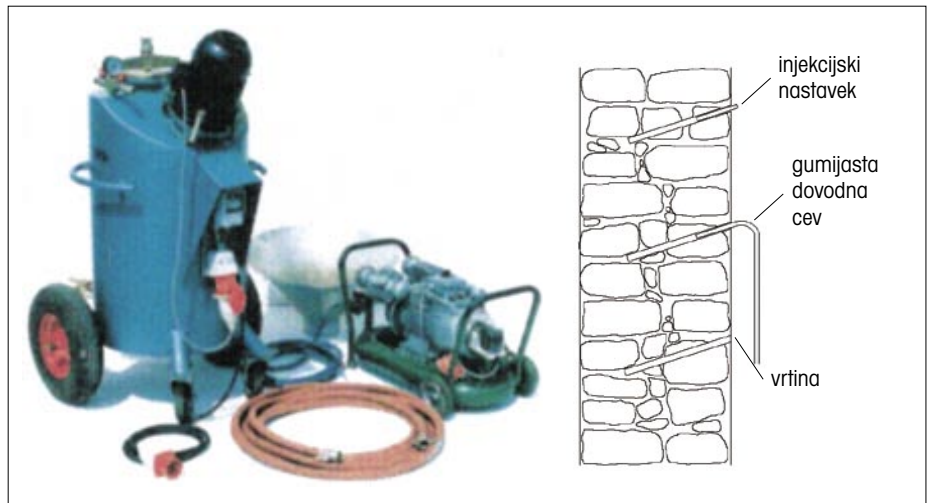
Based on the results of extensive laboratory tests, literature survey and collaboration with conservators and producers of grouts, chemical and mechanical-physical criteria for selecting optimal grouts are given. A list of causes leading to errors and inadequate quality of grout injection are described and also the guidelines for ensuring the quality of grout injection are given.

## 1 • UVOD

Velik del zidov stavbne dediščine v Sloveniji je grajen iz kamna ali mešanice kamna in opeke. Zaradi neustrezne povezanosti posameznih kamnov, votlin in nekakovostne malte nosilnost takšnih zidov, predvsem v primeru horizontalnih obremenitev, običajno ni zadostna. Mehanske lastnosti kamnitih ali mešanih kamnito-opečnih zidov z določeno votlikavostjo je mogoče izboljšati z utrditvijo s postopkom sistematičnega injektiranja. Bistvo metode je vtiskovanje injekcijske mešanice (zmes vode, veziva in dodatkov) v delno votel zid, s čimer po strditvi materiala dosežemo ustrezno povezanost med posameznimi kamni in sloji zidu. Če je to potrebno oziroma dovoljeno s strani restavratorskih in konservatorskih služb, se v prvi fazi z zidov odstranijo poškodovane in odstopajoče omete. V tem primeru se površina zidu obdela s cementnim obrizgom, da preprečimo iztekanje injekcijske mešanice. V primeru, da so ometi obdelani s freskami, ki jih je treba ohraniti, je mogoča izvedba podpornega opaža ali snemanje freske in njihova ponovna namestitvev. Sledi vrtnanje poševnih vrtnin v približnem rastru 50 cm z zamikom med vrstami do globine 2/3 debeline zidu, v katere se vgradijo kovinski injekcijski nastavki. Do maksimalne debeline zidov 1 m izvajamo

injektiranje enostransko, pri debelejših zidovih pa obojestransko. Injekcijska mešanica se v zidove uvaja preko gumijastih dovodnih cevi, ki jih preko navoja pritrdimo na kovinske cevke, in sicer pod pritiskom  $p = 2-3$  bara. Injektiranje poteka od spodaj navzgor, pri čemer se, ko na sosednjem nastavku pride do iztekanja mešanice, nastavek zamaši.

Čeprav si projektanti, izvajalci in nadzorniki lahko do določene mere pomagajo z internimi navodili (Janežič in sod., 1998) in izkušnjami, so pogoste napake in nekakovostno izvedena dela znak, da je tehnična regulativa tudi na tem področju neizogibno potrebna. Namen raziskovalnega dela, predstavljenega v članku, je prispevati k vzpostavitvi metodologije dela in kriterijev za doseganje kakovostne izvedbe sistematičnega injektiranja zidov stavbne dediščine.



Slika 1 • Z leve: naprava za sistematično injektiranje, izvedba vrtnin in namestitvev injekcijskih nastavkov v zidu

## 2 • VRSTE KAMNITIH IN KAMNITO-OPEČNIH ZIDOV

Zidovi enostavnih stavb na podeželju so običajno sezidani dvoslojno iz kamnov, ki jih je bilo mogoče dobiti v neposredni okolici naselij. Velikokrat so bili za gradnjo uporabljeni kamni iz bližnjih rečnih strug. Največkrat so zidarji kamne vgradili v zid brez posebne obdelave, delno obdelani so zgolj posamezni kamni. Pri trislojnih zidovih sta zunanja zidna sloja grajena iz večjih kamnov, vmesni sloj pa največkrat tvorijo ostanki, nastali pri obdelavi kamnov za zunanja sloja, malta in drobir, včasih pa je v

jedru takšnih zidov mogoče najti tudi zemljo, slamo in lesene dele. Povezovalni kamni med posameznimi sloji zidu so redki. V Posočju ter na Kozjanskem in Gorenjskem sta bila pri gradnji večinoma uporabljena apnenec in peščenjak, pojavlja pa se tudi skrilavec. Zidovi pomembnejših stavb v mestnih ali vaških jedrih so običajno grajeni kakovostneje. Pravilno ali delno klesan kamen je sicer uporabljen redkeje, če že, je to v primeru sakralnih ali drugih pomembnejših objektov.

Ponekod so iz klesanega kamna grajeni zgolj vogali, drugi deli zidu so pozidani iz neobdelanega ali grobo obdelanega kamnja. V starem mestnem jedru Ljubljane sta bila za gradnjo kamnitih zidov običajno uporabljena sljudnat kremenov peščenjak in apnenec, za gradnjo kamnito-opečnih zidov pa poleg kamna še opeka. Klasifikacije posameznih vrst zidov na območju Slovenije v dostopni literaturi nismo zasledili, zato povzemamo klasifikacijo dvo- in trislojnih zidov na področju sosednje Italije, ki so jo izdelali na Politehniku v Milanu (Binda in sod., 2001). Večino prereзов zidov, prikazanih na sliki 2, smo zasledili tudi na področju Slovenije.

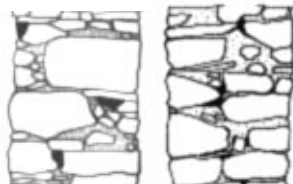


## DVOSLOJNI ZID

Dva sloja brez povezave



Povezava slojev s prekrivanjem posameznih kamnov



Povezava slojev z dolgimi kamni po celotnem prerezu zidu



## TRISLOJNI ZID

Zunanja sloja iz klesanega kamna in vmesni sloj različnih širin iz drobirja in manjših kamnov



Zunanja sloja iz neobdelanega kamna in vmesni sloj iz drobirja in manjših kamnov



Slika 2 • Razvrstitev prerezov dvo- in trislojnih zidov (Binda in sod., 2001)

## 3 • VZROKI ZA NAPAKE PRI SISTEMATIČNEM INJEKTIRANJU

Nepoznavanje morfologije zidu, nekompatibilnost obstoječih materialov in materialov, ki jih vgrajujemo pri utrjevanju, nepoznavanje vlažnosti zidu in napake pri izvedbi lahko vodijo do neakovostne izvedbe sistematičnega injektiranja ali celo do poškodb zidu, ki ga utrjujemo. V nadaljevanju so opisani najpogostejši vzroki za napake in neakovostno izvedbo sistematičnega injektiranja.

### 3.1 Nepoznavanje morfologije zidov

Posledica nepoznavanja morfologije zidu je lahko izbira neustrezne oziroma neučinkovite metode utrditve, v praksi pa se je zaradi tega večkrat dogajalo, da so večje količine injekcijske mešanice iztekale v območje temeljev, namesto da bi prišlo do enakomerne zapolnitve votlin v zidu. Sistematično injektiranje ni ustrezen poseg pri zidovih s prispevkom votlin, manjšim od 4 % (Penazzi in sod., 2001), oziroma pri zidovih, kjer je celotno jedro zapolnjeno z drobirjem, zemljo in vezivom. Pri takšnih neinjektabilnih zidovih je treba pristopiti k primernejšim metodam utrditve.

### 3.2 Nekompatibilnost novovgrajenih materialov z obstoječimi

Med obstoječimi materiali in materiali, ki jih vgrajujemo pri utrjevanju zidu s sistematičnim injektiranjem, lahko v splošnem pride do kemijske in/ali mehansko-fizikalne nekompatibilnosti. Injekcijska mešanica bi morala imeti ustrezne lastnosti in biti kompatibilna (kemijsko in fizikalno) z materiali zidu (Valuzzi in sod., 2002). Nekompatibilnost novovgrajenih materialov z obstoječimi lahko vodi do propadanja obstoječih materialov ali celo poškodb konstrukcije zidu. Razlaga vzrokov za takšno propadanje sicer presega okvir tega članka, jo je pa mogoče najti v dostopni znanstveni literaturi (Collepari, 1990).

### 3.3 Nepoznavanje vlažnosti zidov

Čezmerno vlažnost zidu je treba odpraviti, še preden pristopimo k utrditvi zidu s sistematičnim injektiranjem, saj lahko pomeni aplikacija sistematičnega injektiranja brez odpravljanja vzrokov in posledic vlage pospešeno napredovanje poškodb in destruktiven vpliv na zaključne sloje zidu (Uranjek, 2008).

### 3.4 Napake med izvedbo

Pri nadziranju utrditvenih posegov v sklopu popotresne obnove leta 2004 v Posočju smo ugotovili, da se nekatere napake pogosto pojavljajo. V nadaljevanju navajamo napake, ki lahko vodijo do neakovostne izvedbe sistematičnega injektiranja:

- Neustrezna priprava injekcijske mešanice – izvajalci z namenom čim boljše zapolnitve votlin in razpok v zidu pogosto povišujejo delež vode, ki ga predpisuje proizvajalec. S tem se sicer izboljša pretočnost mešanice, vendar lahko po drugi strani pride do segregacije in povečanega izločanja vode, zmanjša pa se tudi sposobnost adhezije takšne mešanice s kamni in malto.
- Prekinitev delovnega procesa – če je delovni proces prekinjen in se mešanje ustavi, lahko pride do strjevanja injekcijske mešanice in posledično zmanjšanja obdelavnosti in pretočnosti.
- Neustrezna priprava zidu pred injektiranjem – parametri, ki jih je treba upoštevati pred začetkom injektiranja in vplivajo na kakovost izvedenih del, so pravilna razporeditev, naklon in globina vrtn ter količina vode, ki jo porabimo za omočenje zidu.

- Neustrezen delovni pritisk – višji pritisk pomeni kakovostnejšo penetracijo injekcijske mešanice v votline in razpoke v zidu, vendar lahko povzroči poškodbe ometa ali celo zunanjih slojev zidu.
- Nepravilen potek injektiranja – z injektiranjem zmeraj začnemo na nastavkih, vgra-

jenih v spodnjem delu zidu, in s postopnim prestavljanjem injektirne cevi na višje vgrajene nastavke. Injektiranja nikdar ne izvajamo od zgoraj navzdol, saj bi v tem primeru strjujoča se mešanica zapirala votline v zidu in tako preprečila prodiranje v nižje območje zidu.

- Delno injektiranje – poškodbe zidov objektov, ki so bili s sistematičnim injektiranjem utrjeni le delno in nato ponovno izpostavljeni potresni obtežbi, kažejo, da injektiranje zgolj posameznih delov zidu, kot na primer križanj in vogalov zidov ter območij vgradnje protipotresnih jeklenih vezi, ni ustrezna rešitev.

## 4 • LABORATORIJSKE PREISKAVE

V okviru laboratorijskih preiskav smo analizirali devet injekcijskih mešanic, ki so dobavljive na slovenskem tržišču. Čeprav nam proizvajalci niso razkrili točne komponentne sestave mešanic, je bila iz priloženih tehničnih listov razvidna vrsta uporabljenega veziva. Mešanice, izdelane na osnovi hidravličnega apna in pucolanov, smo označili z AP1, AP2, AP3 in AP4, apneno-cementne mešanice z dodanimi pucolani ali brez njih pa z AC1, AC2 in AC3 in cementni mešanici z oznakama C1 in C2.

Laboratorijske preiskave so bile razdeljene v štiri sklope. V prvem sklopu je bila analizirana vsebnost potencialno škodljivih snovi. V drugem in tretjem sklopu so bile analizirane lastnosti mešanic v svežem in strjenem stanju. V zadnjem, četrtem sklopu so bile izvedene preiskave cilindričnih preskušancev, ki so ponazarjali z injektiranjem utrjeno kamnito jedro zidu. Za analiziranje lastnosti mešanic so bili uporabljeni standardi za beton, malto in verzija standardov za kable za prednapenjanje iz leta 1996 (EN 445 do EN 447) s prilagoditvami, kjer je bilo to potrebno. Mešanice so bile na podlagi kemijskih, fizikalnih in mehanskih kriterijev, definiranih na osnovi pregleda dostopne literature ter sodelovanja s konservatorji in proizvajalci, razvrščene v tri kakovostne razrede. Razred A pomeni mešanico visoke kakovosti, razred B mešanico srednje kakovosti in razred C mešanico nizke kakovosti.

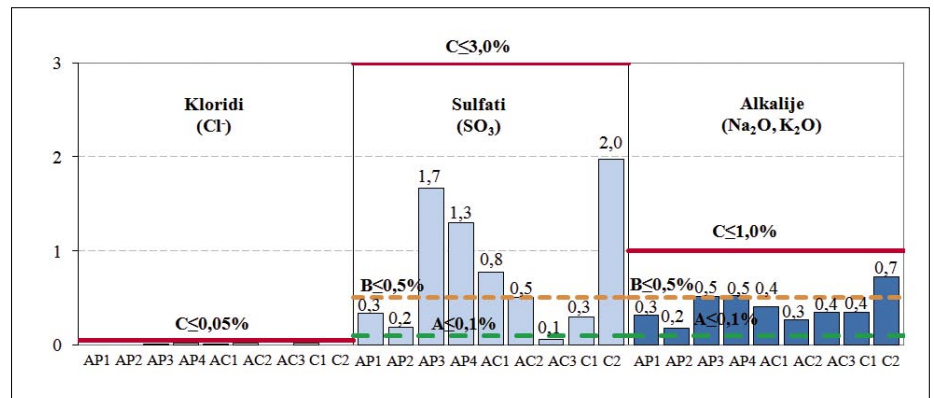
### 4.1 Suha injekcijska mešanica

V prvem sklopu laboratorijskih preiskav je bila analizirana vsebnost potencialno škodljivih snovi v suhi mešanici, ki bi v povezavi z drugimi parametri lahko povzročile poškodbe zaključnih slojev zidu in poslikav. V skladu s standardom SIST EN 196-2 (2005) je bila analizirana vsebnost kloridov, sulfatov in alkalij. Povečana vsebnost kloridov v injekcijski mešanici bi lahko bila problematična predvsem takrat, ko so v kamnitih zidovih, ki jih

injektiramo, že vgrajeni jekleni elementi, na primer protipotresne vezi ali natezne vezi obokov. Standard EN 447 (1996), ki obravnava injekcijske mešanice za prednapete kable, omejuje vsebnost kloridov na 0,1 % mase. Sulfati imajo lahko v določenih okoliščinah (Collepari, 1990) škodljiv vpliv na obstoječe materiale v zidu, saj lahko ob prisotnosti vlage pride do tvorbe škodljivih produktov, kot sta etringit in taumazit. Visoka vsebnost alkalij je problematična zaradi pojava eflorescence in možnosti alkalno-silikatne ali alkalno-karbonatne reakcije. Van Rickstal (2000) priporoča, da se za pripravo injekcijskih mešanic uporabljajo cementi z manj kot

0,1 % mase alkalij. Pri uporabi potencialno reaktivnih agregatov za pripravo betona velja priporočilo, naj alkalije v cementu (kot  $\text{Na}_2\text{O}$  ekvivalent), ne presežejo 0,6 % mase (Zatler - Zupančič, 1994). V naši raziskavi je bila vsebnost kloridov za posamezne kakovostne razrede omejena na  $A \leq 0,01\%$ ,  $B \leq 0,02\%$ ,  $C \leq 0,05\%$ , vsebnost sulfatov na  $A \leq 0,1\%$ ,  $B \leq 0,5\%$ ,  $C \leq 3,0\%$  in vsebnost alkalij na  $A \leq 0,1\%$ ,  $B \leq 0,5\%$ ,  $C \leq 1,0\%$ .

Vsebnost potencialno škodljivih snovi v mešanicah in omejitve za posamezne kakovostne razrede so prikazane na sliki 3. Vse mešanice so zadostile kriterijem kakovostnega razreda C, mešanice AP1, AP2, AC2, AC3 in C1 so zadostile kriterijem kakovostnega razreda B, nobena izmed analiziranih mešanic pa ni izpolnila kriterijev kakovostnega razreda A.



Slika 3 • Vsebnost kloridov (Cl), sulfatov (SO<sub>3</sub>) in alkalij (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) v masnih %

	AP1	AP2	AP3	AP4	AC1	AC2	AC3	C1	C2
v/v razmerje	0,45	0,45	0,55	0,38	0,50	0,62	0,50	0,40	0,43
prostorninska masa (kg/m <sup>3</sup> )	1599	1778	1563	1821	1673	1659	1712	1895	1856
pretočnost (s)	19,85/ 20,05	14,40/ 14,40	35,90/ 36,60	28,30/ 28,50	13,51/ 13,43	13,60/ 16,30	17,40/ 45,00	13,80/ 15,50	27,20/ 44,50
izločanje vode (%)	0,00	2,15	0,00	2,13	0,20	0,53	0,00	0,52	1,03
vodozadržnost (%)	95,2	89,5	96,7	92,3	94,1	88,7	89,0	86,2	86,1

Preglednica 1 • Lastnosti sveže injekcijske mešanice

## 4.2 Sveža injekcijska mešanica

Vse mešanice so bile pripravljene skladno z navodili proizvajalcev. Analizirane so bile lastnosti mešanic, ki vplivajo na obdelavnost, injektibilnost in posledično kakovost injektiranja. Prostorninska masa sveže mešanice je bila določena po standardu SIST EN 1015-6 (1999), pretočnost in izločanje vode po standardu EN 445 (1996), vodozadržnost pa v skladu s standardom PSIST prEN 1015-8 (2001).

Odločujoče lastnosti, na podlagi katerih so bile mešanice razvrščene v posamezne razrede, so bile v/v (vodovezivno) razmerje, pretočnost in izločanje vode. Valuzzi-jeva (Valuzzi et al., 2003) je v svojih raziskavah v/v razmerje omejila na  $v/v = 0,60$  v izogib neugodnemu učinku na mehanske lastnosti strjene mešanice. Standard EN 447 (1996) kot maksimalno vrednost v/v razmerja navaja  $v/v = 0,44$ . V naših raziskavah smo kot maksimalno dopustno vrednost v/v razmerja upoštevali  $v/v = 0,60$  z dovoljenim odstopanjem 10 % za vse kakovostne razrede. Valuzzi-jeva (Valuzzi et al., 2003) je kot maksimalen dopusten čas pretočnosti navedla vrednost 25–30 s. Standard EN 447 (1996) vrednost pretočnosti takoj po zamešanju in po preteku 30 min. omejuje na 25 s. Sami smo pri meritvah pretočnosti upoštevali dva kriterija. Za mešanice kakovostnega razreda A je bil zahtevan čas pretočnosti  $t \leq 25$  s takoj po zamešanju in po preteku 30 min., hkrati pa med obema meritvama ni smelo priti do razlike, večje od 10 %. Za mešanice kakovostnega razreda B in C je bil zahtevan čas pretočnosti  $t \leq 30$  s, razlika med obema meritvama pa ni smela presežati 15 %. Standard EN 447 (1996) omejuje izločanje vode na 2,0 % začetne prostornine mešanice po preteku 3 ur. Enak kriterij je uporabil Paillere (Paillere et al, 1992) v svojih raziskavah. V našem primeru je bila vrednost izločanja omejena na 2,0 % z dopustnim odstopanjem 10 % za vse kakovostne razrede.

Na osnovi kriterijev za svežo injekcijsko mešanico so bile mešanice AP1, AP2 in AC1 uvrščene v kakovostni razred A, mešanici AP4 in C1 v kakovostni razred B in mešanica AC2 v kakovostni razred C. Mešanice AP3, AC3 in C2 niso izpolnile postavljenih kriterijev.

## 4.3 Strjena injekcijska mešanica

Kamnite in kamnito opečne zidove utrjujemo s sistematičnim injektiranjem, da bi dosegli ustrezno povezanost posameznih kamnov in slojev po strditvi injekcijske mešanice in tako izboljšali mehanske lastnosti injektiranega

	AP1	AP2	AP3	AP4	AC1	AC2	AC3	C1	C2
sprememba prostornine (%)	12,8	3,7	1,2	5,2	0,9	0,6	0,0	1,2	0,0
c.o.v. (%)	6 %	1 %	8 %	3 %	16 %	18 %	133 %	26 %	130 %
prostorninska masa (kg/m <sup>3</sup> )	1373	1400	1356	1620	1467	1361	1518	1815	1683
c.o.v. (%)	3 %	0,1 %	1,2 %	0,7 %	0,6 %	0,4 %	0,5 %	0,4 %	1 %
upogibna trdnost (MPa)	1,3	2,0	0,4	0,6	6,3	2,8	3,1	4,4	4,4
c.o.v. (%)	21 %	3 %	24 %	32 %	10 %	8 %	7 %	14 %	–
tlačna trdnost (MPa)	11,2	2,0	12,4	12,5	23,7	21,7	26,9	52,3	47,0
c.o.v. (%)	5 %	2 %	2 %	5 %	6 %	5 %	3 %	6 %	2 %
cepilna natezna trdnost (MPa)	–	0,3	0,7	0,9	0,9	1,4	1,3	1,4	1,6
c.o.v. (%)	–	4 %	26 %	25 %	5 %	18 %	6 %	12 %	20 %
kapilarni srk* (kg/m <sup>2</sup> )	25,9	37,5	15,7	19,2	27,1	26,1	23,1	13,0	8,8

\*vrednosti so izmerjene pri starosti 28 dni

Preglednica 1 • Lastnosti strjene injekcijske mešanice pri starosti 90 dni

zidu. Pri tem so pomembne lastnosti strjene injekcijske mešanice, kot so sprememba prostornine, prostorninska masa, koeficient kapilarnega vpivanja vode ter upogibna, tlačna in cepilna natezna trdnost. Sprememba prostornine je bila izmerjena skladno z metodo, opisano v standardu EN 445 (1996), prostorninska masa v skladu s SIST EN 1015-10 (2001), koeficient kapilarnega vpivanja vode v skladu s SIST EN 1015-18 (2004), upogibna in tlačna trdnost z upoštevanjem določil SIST EN 1015-11 (2001) in cepilna natezna trdnost po postopku, opisanem v SIST EN 12390-6 (2001).

Standard EN 447 (1996) dovoljuje spremembo prostornine v intervalu od  $-1,0$  % do  $5,0$  %. V našem primeru smo spremembo prostornine omejili od  $-0,3$  % do  $0,3$  % za kakovostni razred A, od  $-0,6$  % do  $0,6$  % za kakovostni razred B in od  $-1,0$  % do  $1,0$  % za kakovostni razred C. Maksimalne vrednosti kapilarnega srka za posamezne kakovostne razrede smo postavili na  $A \leq 10$  kg/m<sup>2</sup>,  $B \leq 20$  kg/m<sup>2</sup> and  $C \leq 30$  kg/m<sup>2</sup>. Pri upogibni in tlačni trdnosti smo kriterije povzeli po Miltiadoujevi (Miltiadou et al, 2007). Za vse kakovostne razrede A, B in C je morala biti upogibna trdnost večja od  $f_{ig} \geq 2,00$  MPa, tlačna trdnost pa večja od  $f_{og} \geq 6,00$  MPa. Pri cepilni natezni trdnosti smo upoštevali kriterij  $f_{ig} \geq 0,80$  MPa za vse kakovostne razrede.

Na osnovi postavljenih kriterijev za strjeno injekcijsko mešanico je bila mešanica C2 uvrščena v kakovostni razred A, mešanici AC1

in AC2 v kakovostni razred C, druge mešanice pa niso zadostile kriterijem.

## 4.4 Ocena analiziranih injekcijskih mešanic

Upoštevajoč, da je bila vsaki izmed izvedenih preiskav suhe, sveže in strjene mešanice pripisana enaka utež, so samo tri mešanice zadostile postavljenim zahtevam. To so mešanice AC1, AC2 in C1, ki so se uvrstile v kakovostni razred C. Pri mešanici AC1 smo dobre rezultate dosegli pri preiskavah suhe in sveže mešanice. Mešanica AC1 je bila tudi zelo dobro obdelavna in je posledično dosegla najboljši rezultat pri preiskavi pretočnosti. Mešanica AC2 je sicer zadostila kriterijem, postavljenim za kakovostni razred B pri preiskavah suhe mešanice, in kriterijem kakovostnega razreda C pri preiskavah strjene mešanice, vendar je zgolj pogojno zadostila kriterijem za pretočnost v okviru preiskav sveže mešanice, saj se je čas pretočnosti med obema meritvama povečal za več kot 15 %. Mešanica C1 je dosegla dobre rezultate pri večini opravljenih preiskav. Pri preiskavah v suhem in svežem stanju se je sicer uvrstila v kakovostni razred B, vendar so končno uvrstitev v kakovostni razred C pogojevali rezultati preiskav strjene mešanice. Mešanica C2 je pogojno izpolnila zahteve kakovostnega razreda C, če upoštevamo, da je pretočnost parameter, ki ga je mogoče kontrolirati s postrežno kontrolo proizvodnje in dodatkov – v tem primeru najverjetneje kakovosti dodane sadre, ki se cementu dodaja kot regulator vezanja.





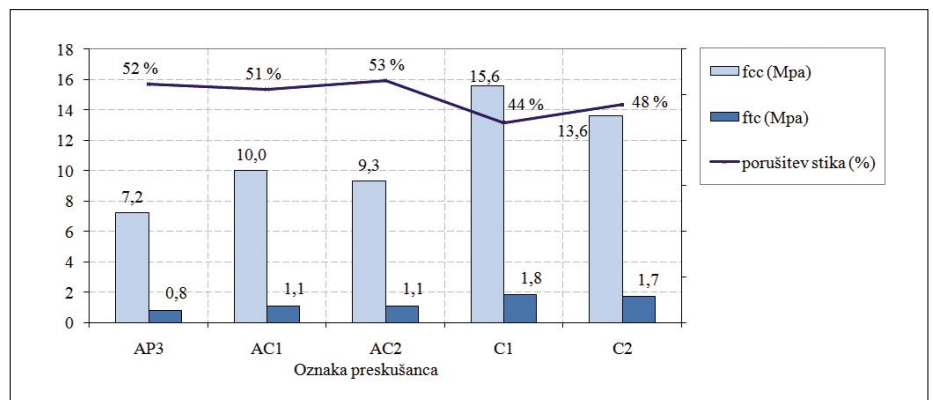
Slika 4 • Z leve: preskušanci, pripravljeni za injektiranje, injektiranje preskušanca, tlačna preiskava, cepilna natezna preiskava

#### 4.5 Preiskave kamna

Pri preiskavah smo uporabili dve vrsti kamna, ki sta bili najpogosteje zastopani pri gradnji stavb na ruralnih območjih Slovenije – apnenec in peščenjak. Na kockah z robom 7 cm smo opravili preiskave tlačne trdnosti in kapilarnega srka. V primeru apnenca je povprečna tlačna trdnost, izrednotena skladno s SIST EN 772-11 (2000), znašala  $f_{cl} = 120$  MPa, v primeru peščenjaka pa  $f_{cs} = 209$  MPa. Koeficient kapilarnega srka za obe vrsti kamna je bil določen z upoštevanjem določil standarda SIST EN 772-11. Po prvih 3 urah testa je kapilarni srk apnenca znašal  $193,5 \text{ g/m}^2$ , v primeru peščenjaka pa je bila izmerjena nekoliko nižja vrednost, in sicer  $157,1 \text{ g/m}^2$ . Po približno 11,5 ure preiskave se je situacija obrnila: kapilarni srk apnenca se je stabiliziral, medtem ko je kapilarni srk peščenjaka še zmeraj strmo naraščal. Končne vrednosti kapilarnega srka po 28 dneh so se v primeru apnenca ustalile na  $328,7 \text{ g/m}^2$ , v primeru peščenjaka pa na  $834,9 \text{ g/m}^2$ . Rezultati so pokazali, da je bila začetna stopnja kapilarnega srka višja v primeru apnenca, medtem ko je bila končna vrednost kapilarnega srka po pričakovanju višja v primeru peščenjaka.

#### 4.6 Preiskave cilindričnih preskušancev

Pri gradnji večslojnih kamnitih zidov so zidarji navadno zapolnili prostor med zunanjima slojema z ostanki, preostalimi pri oblikovanju kamnov za gradnjo zunanjih slojev zidu. Da bi ponazorili kamnito jedro takšnega zidu, so bili pripravljene cilindrični preskušanci premera 15 cm in višine 30 cm. Cilindri so bili postopno polnjeni z apnencem in peščenjakom. Posamezni vzorec je bil v povprečju sestavljen iz 37 % mase frakcije 45/63 mm in frakcije 32/45 mm, 25 % mase frakcije 16/32 mm in 1 % mase frakcije 8/16 mm. Da so bili



Slika 5 • Povprečna tlačna in cepilna natezna trdnost cilindričnih preskušancev ter % porušitve po stiku med injekcijsko mešanico in kamni pri cepilni natezni preiskavi

preskušanci medsebojno dobro primerljivi, so pokazali rezultati izmerjene votlikavosti, ki je v povprečju znašala od 31,4 % do 32,5 %. Cilindri so bili injektirani z mešanici AC1, AC2, C1 in C2, ki so izpolnile kriterije, postavljene v prvih treh sklopih preiskav. Da bi ovrednotili obnašanje cilindra, injektiranega z mešanico iz hidravličnega apna in pucolanov, smo eno serijo cilindrov zainjektirali tudi z mešanico AP3. Za vsako izmed mešanic je bilo pripravljenih 6 preskušancev: 3 za preiskavo tlačne in 3 za preiskavo cepilne natezne trdnosti. Pri starosti 90 dni so bili preskušanci podvrženi tlačni preiskavi po SIST EN 12930-3 (2002) in cepilni natezni preiskavi v skladu s SIST EN 12930-6. Na sliki 5 so prikazani rezultati tlačne in cepilne natezne trdnosti cilindrov, injektiranih z mešanici AP3, AC1, AC2, C1 in C2. Tlačne in cepilne natezne trdnosti cilindrov, injektiranih s cementnima mešanici C1 in C2, so bile po pričakovanju najvišje, in sicer od 36 do 68 % višje od tistih, injektiranih z apneno-cementnima mešanici AC1 in AC2, ter od 89 do 125 % višje od cilindrov, injektiranih z mešanico AP3. Vrednosti tlačnih

in cepilnih natezih trdnosti cilindrov, injektiranih z mešanici AC1 in AC2, so bile višje od cilindrov, injektiranih z mešanico AP3 od 29 do 39 %. Po zaključeni preiskavi cepilne natezne trdnosti so bili porušeni preskušanci pregledani, pri čemer je bilo ugotovljeno, da površina kamnov predstavlja približno 68 % in površina injekcijske mešanice približno 32 % celotnega prereza. Ugotovljeno je bilo, da je prevladujoči način porušitve porušitev stika med kamni in injekcijsko mešanico ne glede na vrsto uporabljene mešanice. V primeru cilindrov, injektiranih s cementnima mešanici AP3, AC1 in AC2, je porušitev po stiku zajemala 51 do 53 % celotnega prereza, v primeru cilindrov, injektiranih s cementnima mešanici C1 in C2, je bila v primeru injektiranja s cementnima mešanici dosežena nekoliko boljša adhezija med kamni in mešanico, kar kažejo tudi rezultati cepilne natezne trdnosti. Analiza prerezov kaže, da ima dosežena stopnja adhezije med kamni in mešanico prevladujoč vpliv na cepilno natezno trdnost preskušanca ne glede na vrsto uporabljene mešanice.

## 5 • NAVODILA ZA KAKOVOSTNO IZVEDBO SISTEMATIČNEGA INJEKTIRANJA

Da bi zagotovili kakovostno izvedbo sistematičnega injektiranja, so ključnega pomena predhodne preiskave, tako za ugotavljanje morfologije in mehanskih lastnosti zidu kot tudi poznavanje sestave in mehansko-fizikalnih lastnosti injekcijske mešanice. V nadaljevanju navajamo nekaj osnovnih navodil za učinkovito izvedbo sistematičnega injektiranja.

### 5.1 Ocena morfologije, injektabilnosti in mehanskih lastnosti zidu

Za oceno morfologije, injektabilnosti in mehanskih lastnosti zidu je mogoče uporabiti različne metode preiskav. V splošnem ločimo nedestruktivne preiskave (NDT), delno destruktivne preiskave (DDT) in destruktivne preiskave (DT), pri čemer lahko zanesljive rezultate, ki so potrebni za uspešno obnovo oziroma rekonstrukcijo objekta, dobimo le s kombinacijo dveh ali več metod ((Bosiljkov, 2006), (Binda in sod., 2006)). NDT-preiskave – kot so na primer georadarske (GPR) meritve, metoda s kladivom (sonic test), metoda z jeklenimi blazinami (flat jack) – lahko izvajamo na širšem območju, medtem ko se DDT-preiskave, kot so površinsko in globinsko sondiranje ter vrtnanje jeder, običajno izvaja lokalno. Da bi zagotovili kompatibilnost med obstoječimi materiali in materiali, s katerimi nameravamo zid utrditi, so kemijsko-mineraloške in fizikalno-mehanske preiskave osnovnih gradnikov zidu, kot so kamni, opeke, malta in omet, ključnega pomena.

### 5.2 Ocena lastnosti injekcijskih mešanic

Namen utrjevanja kamnitih in kamito-opečnih zidov z določeno votlikavostjo je izboljšati mehanske lastnosti zidov z uporabo injekcijskih mešanic, ki bodo kompatibilne z obstoječimi materiali. Da bi to dosegli, je treba definirati ustrezne kriterije za suho, svežo in strjeno

mešanico ter hkrati upoštevati lastnosti obstoječih materialov in morfologijo zidu, ki ga nameravamo utrditi.

### 5.3 Omejitev vlažnosti zidov

Omejitev vlažnosti oziroma preprečevanje dostopa vodi ter kapilarnega dviga v zidu so bistvenega pomena ter je predvsem pri utrjevanju stavbne dediščine, kjer običajno varujemo zaključne sloje zidu, obvezen poseg. Voda deluje kot transportni medij in omogoča prenos škodljivih snovi po zidu, hkrati pa aktivno sodeluje pri kemijskih reakcijah, ki povzročajo degradacijo. Neposreden dostop vode je mogoče omejiti z izvedbo drenaž in odvodnjavanja ter izvedbo hidrofobnih ometov. Kapilarni dvig je mogoče učinkovito preprečiti z izvedbo hidroizolacijske bariere in sistematičnega injektiranja z mešanicami s hidrofobnimi dodatki.

### 5.4 Izvajalski ukrepi

Da bi zagotovili kakovostno izvedbo sistematičnega injektiranja, je potrebno izvesti izvajalske ukrepe, ki jih podajamo v nadaljevanju:

- Testna polja, ki se izvedejo na določenih delih zidov v objektu, nam skupaj z informacijami, pridobljenimi z NDT- in DDT-preiskavami, omogočajo določitev ustreznih pritiskov injektiranja, določitev ustrezne globine in rastra vrtni, določitev količine vode, potrebne za omočenje zidu, ter nam dajo informacijo o porabi injekcijske mešanice.
- V primeru prisotnosti nečistoč, prahu in močno porozne površine gradnikov zidu je potrebno omočenje zidu. Omočenja po drugi strani ne izvajamo pri zidovih, kjer se zaradi lastnosti obstoječih materialov in substanc pričakuje, da bi prisotnost vode lahko vodila do kemijskih reakcij, ki bi povzročile degra-

dacijo obstoječih materialov in poškodbe zaključnih slojev.

- Kontrola lastnosti sveže mešanice (v/v razmerje, pretočnost, izločanje vode) kot tudi strjene mešanice (sprememba prostornine, prostorninska masa, upogibna, tlačna in cepilna natezna trdnost).
- Učinkovitost sistematičnega injektiranja mora biti spremljana z ustreznimi metodami (kontrola porabe, georadarske meritve, metoda s kladivom).
- Pravilno zaporedje del je zelo pomembno za zagotavljanje celovite in enakomerne zapoljenosti votlin v zidu. Z injektiranjem se vedno prične od spodaj navzgor, s sprotnim zapiranjem nastavkov, iz katerih začne injekcijska mešanica iztekati.
- Pri injektiranju nekakovostno grajenih zidov z velikim deležem medsebojno povezanih votlin so še posebej takrat, ko imamo opravka z visokimi zidovi brez vmesnih medetažnih konstrukcij (dvorane ali stolpi), potrebni dodatni ukrepi. V takem primeru je treba injektiranje izvajati postopno v segmentih, da se preprečijo poškodbe zaradi sočasnega delovanja hidrostatičnega pritiska sveže mešanice in pritiska pri injektiranju.

### 5.5 Varovanje zaključnih slojev

Pri utrjevanju zidov kulturne dediščine se pogosto pojavi problem varovanja zaključnih slojev, še posebej, če so prisotne freske in druge poslikave. V smislu izvajalskih ukrepov za preprečevanje poškodb so mogoči naslednji pristopi:

- Izvedba podpornega opaža (običajno lesenega), katerega funkcija je podpiranje ometa in s tem preprečitev odpadanja zaradi pritiskov pri injektiranju. Med opažem in ometom se namesti penasta guma (ali drug primeren material), ki zagotovi enakomerno podprtje ometa in ga obvaruje pred poškodbami in odrgninami.
- Snemanje freske in njena ponovna namestitve po zaključenem injektiranju.

novejše literature ter sodelovanja s konservatorji in proizvajalci injekcijskih mešanic so bili definirani kemijski in mehansko-fizikalni kriteriji za izbiro optimalne mešanice za injektiranje. Na podlagi podanih kriterijev je analizirane mešanice mogoče razvrstiti v tri kakovostne razrede. Razred A pomeni mešanico visoke kakovosti, razred B mešanico srednje kakovosti in razred C mešanico nizke kakovosti. Pri apliciranju kri-

## 6 • SKLEP

Ugotovitve in cilje, dosežene v okviru predstavljenega raziskovalnega dela, lahko povzamemo kot:

- Nabor vzrokov za napake in nekakovostno izvedbo sistematičnega injektiranja, kot so nepoznavanje morfologije zidov, nekompati-

bilnost vgrajenih materialov z obstoječimi, nepoznavanje vlažnosti zidov in napake pri izvedbi injektiranja.

- Določitev kriterijev za suho, svežo in strjeno injekcijsko mešanico. Na osnovi rezultatov laboratorijskih preiskav, pregleda dostopne



terijev je treba upoštevati rezultate preiskav in-situ, ki nam razkrivajo stanje, morfologijo in lastnosti materialov, uporabljenih pri gradnji posameznega zidu.

- Preiskave cilindričnih preskušancev, ki ponazarjajo z injektiranjem utrjeno jedro večslojnega kamnitega zidu, so pokazale, da je bila pri injektiranju s cementnima

mešanicama C1 in C2 dosežena nekoliko boljša adhezija med kamni in mešanico kot pri injektiranju z mešanicami AP3, AC1 in AC2. Analiza rezultatov je pokazala tudi, da ima dosežena stopnja adhezije med kamni in mešanico prevladujoč vpliv na cepilno natezno trdnost preskušanca ne glede na vrsto uporabljene mešanice.

- Podana navodila za zagotavljanje kakovostne izvedbe sistematičnega injektiranja, in sicer za učinkovito oceno morfologije, injektabilnosti in mehanskih lastnosti zidu, oceno lastnosti injekcijskih mešanic, omejitev vlažnosti zidov, navedbo ukrepov pri izvedbi injektiranja ter navodila za varovanje zaključnih slojev.

## 7 • ZAHVALA

Raziskovalno delo, prikazano v prispevku, je sofinanciralo Ministrstvo za visoko šolstvo,

znanost in tehnologijo RS ter Evropska unija – Evropski socialni sklad preko Tehnološke

agencije Slovenije TIA. Vsem se najlepše zahvaljujemo.

## 8 • LITERATURA

- Binda, L., Bosiljkov, V., Saisi, A., Zanzi, L., Guidelines for the diagnostic investigation of historic buildings, Proceedings of the Seventh International Masonry Conference, Lonon 2006, Proceedings of the British Masonry Society, No. 10, Stoke on Trent: British Masonry Society, 2006.
- Binda, L., Saisi, A., State of the Art of Research on Historic Structures in Italy, 2001, dostopno na: [http://www.arcchip.cz/w11/w11\\_binda.pdf](http://www.arcchip.cz/w11/w11_binda.pdf) (15. 8. 2008).
- Bosiljkov, V., Metode preskušanja zgodovinskih objektov, Gradbenik 7-8, str. 8–10, 2006.
- Collepari, M., Degradation and restoration of masonry walls of historical buildings. Materials and Structures, No. 23, p. 81–102, 1990.
- EN 445, Grout for prestressing tendons – Test methods, str. 12, 1996.
- EN 446, Grout for prestressing tendons – Grouting procedures, str. 8, 1996.
- EN 447, Grout for prestressing tendons – Specification for common grout, str. 5, 1996.
- Janežič, I., Baumgartner, M., Kos, J., Bergant, M., Tehnične informacije o pomembnejših konstrukcijskih posegih za sanacijo pri potresu poškodovanih zidanih stavb, str. 18, 1998, dostopno na: <http://www.gi-zrmk.si/images/TC/3%20članek.pdf> (14. 7. 2010).
- Miltiadou, A., Kalagri, A., Delinikolas, N., Design of hydraulic grout and application methodology for stone masonry structures bearing mosaics and mural paintings: the case of the katholikon of Dafni Monastery, International Symposium: Studies on Historical Heritage, Antalya, Turkey, September 17–21, 2007. Istanbul, Yildiz Technical University, RCPHH: Istanbul, p. 649–656, 2007.
- Penazzi, D., Valluzzi, M. R., Saisi, A., Binda, L., Modena, C., Repair and strengthening of historic masonry buildings in seismic areas, Int. Congr. »More than Two Thousand Years in the History of Architecture Safeguarding the Structure of our Architectural Heritage«, Betlehem, Palestine, 2, Sec. 5, Betlehem, p. 1–6, 2001.
- PSIST prEN 1015-8:2001, Metode preskušanja zidarske malte – 8. del: Določanje zadrževanja vode sveže malte, str. 8, 2001.
- SIST EN 196-2:2005, Metode preskušanja cementa – 2. del: Kemijska analiza cementa, str. 50, 2005.
- SIST EN 772-11:2000, Metode preskušanja zidakov – 11. del: Ugotavljanje kapilarnega vpivanja vode betonskih zidakov ter zidakov iz umetnega in naravnega kamna in začetna stopnja vpivanja vode opečnih zidakov, str. 8, 2000.
- SIST EN 1015-6, Metode preskušanja zidarskih malt – 6. del: Ugotavljanje protorninske mase sveže malte, str. 9, 1999.
- SIST EN 1015-10, Metode preskušanja zidarskih malt – 10. del: Določevanje suhe prostorninske mase strjene malte, str. 7, 2001.
- SIST EN 1015-11, Metode preskušanja zidarskih malt – 11. del: Določevanje upogibne in tlačne trdnosti strjene malte, str. 12, 2001.
- SIST EN 1015-18, Metode preskušanja zidarskih malt – 18. del: Določevanje koeficienta kapilarnega vpivanja strjene malte, str. 8, 2004.
- SIST EN 12390-3, Preskušanje strjenega betona – 3. del: Tlačna trdnost preskušancev, str. 15, 2002.
- SIST EN 12390-6, Preskušanje strjenega betona – 6. del: Cepilna natezna trdnost strjenega betona, str. 10, 2001.
- Uranjek, M.: Problematika injektiranja zidov objektov kulturne dediščine, magistrsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 164, 2008.
- Valluzzi, M. R., Binda, L., Modena, C., Experimental and analytical studies for the choice of repair techniques applied to historic buildings, Materials and Structures, Vol. 35, p. 285–292, June 2002.
- Van Rickstal, F., Grout injection of Masonry, scientific approach and modelling, Doctoral Dissertation, Leuven, Katholieke Univ. Leuven, 195 p, 2000.
- Vintzileou, E., Grouting of Three-Leaf Stone Masonry: Types of Grouts Mechanical Properties of Masonry before and after grouting, Structural analysis of Historical Constructions, p. 41–58, 2006.
- Zatler - Zupančič, B., Mladenovič, A., Alkalna reakcija v betonu, Informacije ZRMK Ljubljana 312, XXXV, 3–4–5, Ljubljana, str. 5, 1994.

# INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB (BIM)

dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

## Uvod

Standardi imajo izredno pomembno vlogo pri razvoju, implementaciji in uporabi novih tehnologij. To velja tudi za informacijsko modeliranje zgradb (BIM). Za boljše sodelovanje med udeleženci gradbenih projektov je potrebno zagotoviti standarde na nivoju izmenjave podatkov med inženirskimi programi, na nivoju sodelovanja med inženirskimi podjetji ter med podjetji in državnimi institucijami. Za lažjo komunikacijo je nujno poznavanje terminologije in vzpostavitve tehničnih, organizacijskih in pravnih standardov, potrebnih za uvajanje modelov BIM. V tokratni rubriki so predstavljeni izbrani osnovni koncepti BIM ter standardi za izmenjavo podatkov (inter-operabilnost) in dolgoročno (trajno) hranjenje projektne dokumentacije, ki lahko vključuje tudi inženirske modele.

## Koncepti BIM

**Eden izmed osnovnih konceptov pri delu s programi BIM so pogledi, ki jih lahko delimo na dve kategoriji: (1) projekcijski pogledi (floris, naris, stranski ris, prerezi, vzporedne in perspektivne 3D-projekcije modela) in (2) modelni pogledi (določajo prikaz elementov v projekciji in kaj od teh elementov je vidno v projekciji).** Standardni projekcijski pogledi, ki so že pripravljene v praktično vseh modeliranih BIM, vključujejo floris po etažah ter standarden izometrični in perspektivni pogled. Poleg tega lahko v modeliranih BIM interaktivno določimo projekcijske poglede fasad in prereze, slednje lahko definiramo s poljubno prerezno ravnino. Modelne poglede pa uporabljamo zato, da v projekcijskih pogledih prikazujemo samo tiste elemente, ki so pomembni za trenutno delo z modelom BIM. Modelne poglede uporabljamo tudi za prikaz nivoja podrobnosti v različnih merilih projekcijskih pogledov, določimo pa lahko vidnost konstruktivnih in nekonstruktivnih elementov in sistemov stavb, kar lahko uporabimo tudi za izvoz samo delov modela.

**Konstruiranje in modeliranje.** Osnovno podlago za konstruiranje stavb predstavlja hierarhična fizična struktura stavbe, ki je v večini modeliranih BIM zasnovana na naslednji način: »gradbišče« je določeno z lokacijo, na kateri je

lahko stavba ali kompleks stavb, pri čemer je stavba lahko razdeljena na krila, vsaka stavba pa ima lahko več etaž, v katerih se nahajajo elementi oziroma deli stavb, ki se stikajo ali določajo prostor. Delo v modeliranih BIM je prilagojeno konstruiranju v načinu 2D tako, kot smo tega že navajeni v programih CAD. To nam omogoča, da se dela z modelirni BIM hitro priučimo, ob tem so nam v pomoč številni risalni pripomočki (oprijem elementov, več ortogonalnih in polarnih mrež itd.) ter prilagodljivi parametri elementov/delov stavb, ki bistveno poenostavijo delo.

**Modelirniki BIM.** Modelirnike BIM za inženirje delimo na splošne modelirnike in modelirnike za detajliranje. Kot je razvidno že iz razdelitve, nam modelirniki BIM nudijo različne stopnje podrobnosti modeliranja, ki so odvisne od naslednjih glavnih karakteristik modelirnikov BIM:

- **Standardni elementi/deli stavb.** 3D-digitalni ekvivalenti »pravih« elementov stavb običajno vključujejo elemente za modeliranje točkovnih, pasovnih temeljev ter tudi globokega temeljenja, stene, stebre, okna, vrata, plošče, stopnice in strehe. Vsak izmed elementov/delov stavb ima parametre, s katerimi nastavimo nekatere lastnosti, ki jih bo imel zgrajeni element v gradbenem objektu. Inženirski modelirniki BIM za detajliranje omogočajo bolj podrobno modeliranje zunanjosti in notranjosti nosilnih elementov (nosilni sloji in armatura) in nenosilnih elementov, vključno s stiki in detajli.
- **Knjižnice predmetov.** Predmeti (*angl. objects*) so lahko povezani med seboj ali s standardnimi elementi/deli stavb. Najbolj razširjen jezik za opis predmetov je GDL (*angl. Graphic Description Language*). Primerki predmetov so lahko tipični prefabricirani stebri, nosilci, notranja oprema stavb ali gradbeni proizvodi in polproizvodi.
- **Parametri elementov/delov/predmetov.** Parametri določajo geometrijske in negeometrijske lastnosti elementov v hierarhični strukturi stavbe ter njihov prikaz v 2D in 3D. V modeliranih BIM lahko parametriziramo že izdelane dele stavb, ki sicer niso parametrizirani, in jih ponovno uporabimo pri

nadaljnem delu in skrajšamo čas modeliranja. Pri inženirskih modelirnikih imamo na voljo tudi parametre za račun konstrukcij po metode MKE ali za simulacije.

Ker imajo modelirniki BIM različne gradnike in digitalne zapise teh gradnikov, je bilo potrebno uvesti standard, ki bo omogočal izmenjavo geometrijskih in negeometrijskih podatkov med različnimi programi za vizualizacije, analize in simulacije. Ena izmed bistvenih preprek pri uporabi BIM je, da so modelirniki razmeroma dragi, zahtevajo znatno naložbo v nova znanja in orodja. Zato so v nadaljevanju predstavljeni standardi in orodja, ki omogočajo boljšo in praktično brezplačno izmenjavo digitalne projektne dokumentacije z modeli BIM.

## Standardi za digitalno projektno dokumentacijo z BIM

Standardi imajo zelo pomembno vlogo, saj zagotavljajo konkurenčnost, poenotenje in združljivost. Standarde delimo na *de-facto* in formalne standarde. Primer *de-facto* standarda je format DWG. Standardi obstajajo tudi za digitalne formate, ki jih na splošno delimo na binarne in na ASCII (*angl. American Standard Code for Information Interchange*). Vsak program, modelirnik BIM ali inženirski program za račun konstrukcij ima svoj format datoteke, ki ga običajno ne moremo odpreti z drugimi programi. Če brezplačne različice programa, s katerim so podatki pripravljene, niso na voljo, se zato uporabijo pregledovalniki (na primer: [www.DWGsee.com](http://www.DWGsee.com) omogoča ogled in komentiranje DWG datotek brez AutoCAD-a), druga možnost pa je, da se uporablja odprti format, ki ga podpira več programov (na primer za programe CAD je to format DXF).

V nadaljevanju so predstavljeni osnovni podatki o standardu, ki omogoča izmenjavo modelov BIM in napredne možnosti uporabe formata PDF za izmenjavo projektne dokumentacije, ki lahko vključuje tudi modele BIM.

## IFC za izmenjavo modelov BIM

**IFC – ISO PAS 16739.** IFC (*angl. Industrial Foundation Classes*) oziroma ISO/PAS 16739:2005 postaja formalni standard, ki omogoča iz-

menjavo modelov BIM med programi, ki jih uporabljajo različni strokovnjaki v gradbenem projektu ([www.buildingsmart.com](http://www.buildingsmart.com)). Osnovni cilj pri razvoju standarda je bil zagotoviti modularno strukturo za izmenjavo informacij med strokami v AEC/FM (*angl. Architecture, Engineering, Construction and Facility Management*) v industriji; olajšati vzdrževanje in nadaljnji razvoj modelov BIM; omogočiti ponovno uporabo komponent modela pri modeliranju; avtorjem programske opreme omogočiti uporabo že izdelanih komponent in skrbeti za združljivost med različicami modelov za vnaprej. Podpora IFC v inženirskih programih raste.

**Uporaba za inženirje:** IFC na primer omogoča, da arhitektov model odpremo v programu za račun konstrukcij ali za energetska analizo. S formatom IFC se poleg geometrije gradnikov modela stavbe prenesejo tudi fizična struktura, elementi, materiali, parametri in povezave. Format IFC lahko inženirji uporabljajo tako, da model shranijo v datoteko IFC (s končnico .ifc ali .ifcxml, .ifczip) in nato to datoteko IFC uvozijo v drug program, kar lahko bistveno zmanjša čas za podajanje geometrije in drugih lastnosti. Za modele v formatu IFC pa so na voljo brezplačni pregledovalniki ([http://www.ifcwiki.org/index.php/Free\\_Software](http://www.ifcwiki.org/index.php/Free_Software)).

#### Format PDF

**PDF.** PDF je eden najbolj razširjenih formatov za izmenjavo digitalnih dokumentov. Razvili so ga v podjetju Adobe, ki je specializirano za računalniško grafiko. Adobe je povezan z inženirstvom, saj ime (*angl. adobe*) v prevodu pomeni »na soncu sušena opeka«. Morda je manj znano, da je format PDF standardiziran v okviru organizacije ISO in da se le-ta ne uporablja zgolj za izmenjavo dokumentov, ki jih napišemo z urejevalnikom besedil, ter za slike in risbe, se pravi samo v 2D, ampak omogoča tudi izmenjavo dokumentov, ki vsebujejo modele 3D in tudi informacijske modele zgradb. Format PDF tako omogoča izmenjavo tekstovnega in grafičnega dela projektne dokumentacije, dokumente pa si lahko ogledamo z brezplačnim pregledovalnikom Adobe Reader ([www.adobe.com](http://www.adobe.com)).

#### PDF kot digitalni »papir«

**PDF – ISO 32000.** PDF (*angl. Portable Document Format*) je odprti standard, katerega oblika je natančno dokumentirana v standardu ISO 32000. Osnovni namen pri razvoju formata PDF je bil izdelati format, ki bo ohranjal obliko in vizualni izgled digitalnih dokumentov, kot se ohranjata na papirju. Če digitalni dokument ni v PDF, se videz običajno ne ohranja, kar je pri inženirski komunikaciji zelo moteče. Na primer: že preproste tekstovne datoteke MS

Word se spremenijo, če na sistemu nimamo instaliranih pisav ali če gledamo dokument z drugo različico programa MS Word, ki nima instaliranih enakih dodatkov (na primer za deljenje besed), pri formatu PDF pa se izgled ohranja. Datoteko v formatu PDF lahko izdelamo s posebnim programom Adobe Acrobat, in sicer iz že obstoječih digitalnih formatov ali z digitalizacijo papirnih dokumentov, iz mikrofilmov in drugih analognih formatov.

**Uporaba za inženirje:** z uporabo formata PDF je mogoče bistveno zmanjšati porabo papirja in povečati hitrost izmenjave ter digitalizirati papirno projektno dokumentacijo. Format PDF je že dostopen v številnih inženirskih programih, kjer lahko rezultate dela enostavno shranimo v formatu PDF. V kolikor programi dodatka za PDF nimajo, lahko instaliramo brezplačni gonilnik za tiskalnik (npr. [www.pdf995.com](http://www.pdf995.com)), ki namesto na tiskalnik tiska v datoteko PDF. Na ta način lahko dobimo zelo kakovostne vektorske zapise, ki jih drugače ne bi mogli dobiti.

#### PDF za arhiviranje

**PDF/A – ISO/DIS 19005.** Oznaka A (*angl. archival*) označuje, da je standard namenjen arhiviranju digitalnih vsebin, oznaka DIS (*angl. Draft International Standard*) pa označuje, da je standard trenutno v fazi osnutka. Eden izmed bistvenih ciljev pri razvoju standarda PDF/A je bil zadostiti naraščajočim potrebam po trajnem hranjenju digitalnih dokumentov. Samo prvi del standarda, ISO 19005-1, ki opredeljuje uporabo formata PDF, je že potrjen in je na voljo kot sprejet mednarodni standard ([www.iso.org](http://www.iso.org)). Za izdelavo PDF/A potrebujemo program Adobe Acrobat.

**Uporaba za inženirje:** PDF/A predstavlja pomemben napredek na področju upravljanja z digitalnimi dokumenti, saj lahko znotraj enega samega dokumenta PDF na standardiziran način arhiviramo rezultate analiz, skupaj z vsemi vhodnimi in izhodnimi podatki ter poročili in grafičnimi prikazi. Standard PDF/A ponuja tudi rešitev za dolgoročno hranjenje projektne dokumentacije, kar področna zakonodaja (ZGO-1) tudi eksplicitno zahteva. Za gradbene objekte je ta zahteva izredno ostra, saj se mora projektna dokumentacija hraniti trajno.

#### PDF za izmenjavo

**PDF/X – ISO 15930.** Oznaka X (*angl. exchange*) označuje, da je standard namenjen izmenjavi dokumentov. Osnovni cilj standarda PDF/X je, da standardizira vse, kar je povezano s tiskanjem in izmenjavo delov velikih elektronskih dokumentov, kjer so posamezni prikazi lahko tudi parametrizirani, kot so na primer struktura in oblika dokumentov ter interakcija

(povezljivost) grafičnih delov na način, da se lahko prilagajajo uporabnikovi napravi. Standard je sestavljen iz osmih delov, pri čemer je prvi del standarda, ISO 15930-1:2001, organizacija ISO izdala že leta 2001, sedmi del standarda, ISO 15930-7:2010, pa je izšel letos, kot je razvidno iz oznak, je več delov že mednarodni standard.

**Uporaba za inženirje:** PDF/X je pomemben predvsem za izdelavo papirne projektne dokumentacije. Standard inženirjem omogoča, da na standarden način izmenjujejo grafične dele projektne dokumentacije, vključno z načrti in drugimi grafičnimi prikazi. Standard omogoča, da se za tiskanje načrtov pripravi nastavitve, s katerimi se tisk iste datoteke prilagodi napravi, na primer za laserski tiskalnik A4 in za ploter A0.

#### PDF za inženirstvo

**PDF/E – ISO 24517.** Oznaka E (*angl. Engineering*) označuje, da je namenjena izključno inženirjem. Osnovni namen je bil, da se zagotovi mehanizem, ki bo zagotavljal inženirjem ohranjanje videza in vsebine zapisa inženirskih podatkov, ki imajo pogosto zelo komplicirane podatkovne strukture, in da inženirji za ogled ne bodo potrebovali posebnih orodij ali pregledovalnikov. PDF/E je format, ki je bil izdelan v podjetju Adobe na željo inženirjev, in sicer je bilo osnovno vodilo pri razvoju standarda zmanjšati stroške pri projektiranju in zagotoviti zanesljivo predstavitve tehničnih risb ter kasneje tudi modelov. Vsebinska projektne dokumentacije je zelo povezana in format PDF/E omogoča povezovanje grafičnih in negrafičnih delov. Pri razvoju standarda sodelujejo predstavniki industrije, proizvajalci programske in strojne opreme za inženirje. Vzporedno s formatom PDF/E se razvija tudi format U3D (Universal 3D), ki omogoča interaktivne modele 3D v projektne dokumentaciji.

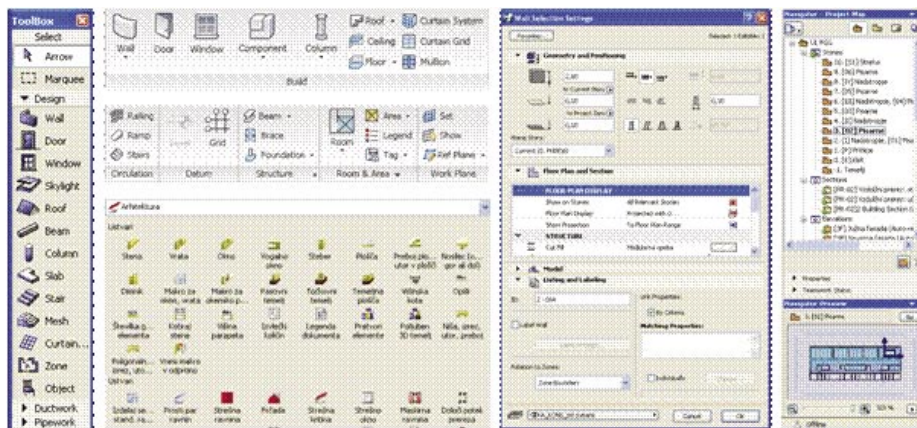
**Uporaba za inženirje:** PDF/E je pomemben predvsem pri iterativnem inter-disciplinarnem projektne delu. Standard podpirajo številni napredni programski paketi za inženirje. Omogoča varno distribucijo z varovanjem intelektualne lastnine izdelanih vsebin in modelov ter analiz, ki jih inženirji izdelajo, in sicer v eni sami datoteki. Dokumentu lahko predpišemo avtentifikacijo z digitalnimi certifikati, kar omogoča enako stopnjo varnosti, kot je dostop do spletne banke. V datoteko PDF lahko vključimo tudi risbe CAD, modele BIM v formatih CIS/2, IFC in STEP ter druge vhodne in izhodne datoteke inženirskih programov, kot so vhodni/izhodni podatki programov za račun konstrukcij po MKE. Za izdelavo formata PDF/E je potrebno imeti program Adobe Acrobat Pro Extended, zadnja različica je 9 ([www.adobe.com](http://www.adobe.com)).



### Prednosti uporabe BIM

Kot motivacijo za uporabo standardov za izmenjavo digitalne projektne dokumentacije z modeli BIM, lahko izpostavimo naslednje prednosti uporabe BIM za inženirje:

- **Pred gradnjo.** Podrobna predstavitev stavbe v 3D z vsemi njenimi bistvenimi sestavnimi deli, ki omogoča boljše, hitrejše in transparentnejšo izvedbo projekta z boljšo komunikacijo in manj napakami, kar zahteva manj sprememb projekta. Uporaba modelirnikov BIM omogoča gradbenim inženirjem povsem nove načine projektiranja.
- **Med gradnjo.** Spremljanje poteka gradnje, lažje reševanje težav pri sami izvedbi, enostavno določanje količin. V prihodnosti lahko pričakujemo, da se bodo modeli BIM uporabljali tudi za PID (Projekt Izvedenih Del).
- **Po gradnji.** Informacijski modeli stavb se lahko uporabijo za strateške in operativne odločitve med obratovanje stavbe, za vzdrževanje, pregleda, adaptacije ali sledenje spremembam.



Slika 1 • Standardni elementi/deli stavb v modelirnikih BIM: ArchiCAD (1. stolpec skrajno levo), Revit (2. stolpec zgoraj), Allplan (2. stolpec spodaj). Pri modeliranju lahko elementom, na primer steni pripišemo parametre (3. stolpec). Nabor standardnih elementov različnih modelirnikov je podoben (temelji, stene, stebri, grede, plošče, stopnice, okna, vrata, streha), inženirski modelirniki omogočajo tudi modeliranje detajlov, stikov, armature ter povezavo s programi za račun konstrukcij. Elemente stavbe običajno konstruiramo v 2D po etažah, ki so določene s hierarhično fizično strukturo (desno).

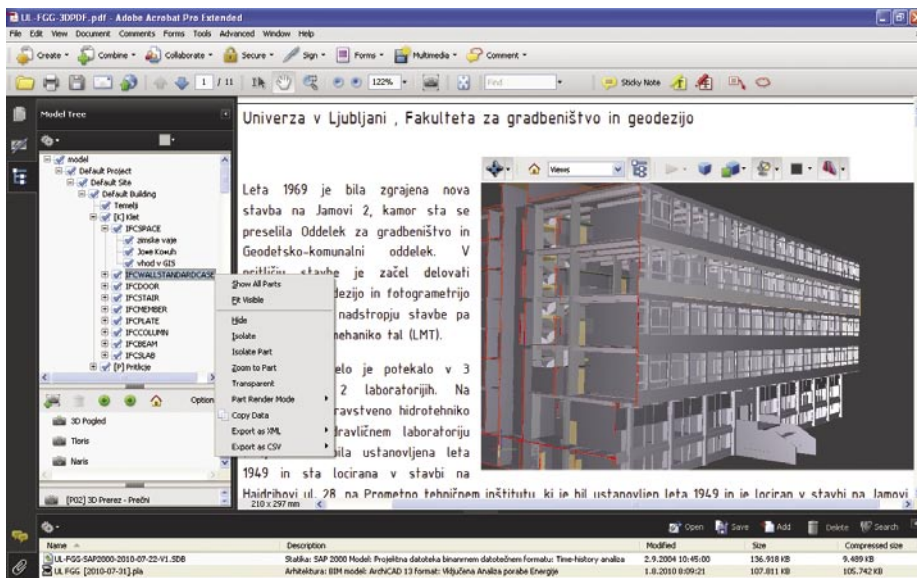
### Dogodki

**Ljubljana, 12. 5. 2010.** CGS-konferenca. Na tem največjem dogodku v Sloveniji s področja informacijskih tehnologij CAD/BIM/GIS za inženirje in arhitekte je bil program razdeljen v naslednje sklope: nova različica programa AutoCAD, načrtovanje cestnih in železniških omrežij, informacijski modeli v arhitekturi, GIS v upravljanju prostora, odgovorno ravnanje z vodnimi viri ter tiskanje grafike in fotografij velikih formatov. Predavali so strokovnjaki podjetja CGS, ki je bilo organizator, strokovnjaki iz nekaterih slovenskih agencij in podjetij ter z Univerze v Ljubljani.

**Ljubljana, 16. 6. 2010.** ArchiCAD-akademija. Akademija je bila namenjena vsem, ki jih zanima računalniško podprto projektiranje s poudarkom na temah, ki so bolj posvečene arhitektom in enemu vodilnih modelirnikov BIM, programu ArchiCAD. Predstavljene so bile nove različice programa AC14, program za projektantske popise del, programi za vizualizacije Daylight Visualizer in Artlantis 3, program za spletno vodenje projektov ter smernice trajnostne gradnje. Predavatelji so bili iz podjetja PilonAEC, partnerskih podjetij iz Slovenije in Hrvaške.

### Obvestilo

Več informacij o BIM je na voljo tudi na spletni strani Slovenskega društva za gradbeno informatiko ([www.SDGI.si](http://www.SDGI.si)). Predloge za rubriko BIM lahko pošljete na e-pošto [tomo.cerovsek@fgg.uni-lj.si](mailto:tomo.cerovsek@fgg.uni-lj.si).



Slika 2 • Prikaz 3D PDF/E z modelom UL FGG. Navzven je čisto običajna datoteka PDF, ki se lahko uporablja z brezplačnim pregledovalnikom Acrobat Reader. Vsebinske datoteke PDF tudi izgleda kot običajen dokument PDF s sliko, vendar ob kliku na sliko aktiviramo model, ob tem se pojavi meni nad sliko s katerim si lahko nastavimo pogled na model z različnimi prikazi v 3D (žični, ploskovni, trdni), izdelamo lahko poljubne prereze, pregledamo tlorise, filtriramo elemente ali vklopimo stranski meni ('Model Tree' na sliki levo), kjer se prikaže hierarhična fizična struktura gradbenega objekta z lokacijo, stavbo, etažami, znotraj etaja so izpisani prostori, stene, vrata, stopnice, plošče, stebri, grede (vsebinske etaže je izpisana angleško s predpono IFC), pod drevesno strukturo so izpisani pripravljeni pogledi. V dokument PDF lahko vključimo poljubne datoteke, ki so vidne na seznamu (ime, opis, datum, velikost) v spodnjem delu okna ob ikoni s sponko. Datoteko PDF lahko izdelate v MS Word tako, da vključite model BIM v formatu ifc s pomočjo dodatka Adobe 3D PDF, ki se instalira skupaj s programom Adobe Acrobat Pro Extended, ki je namenjen inženirjem in arhitektom ter podpira standarda PDF/A in PDF/E.

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Špela Kemperle**, Dimenzioniranje nosilne konstrukcije enostanovanjskega objekta, mentor doc. dr. Jože Lopatič

**Helena Stojanovski**, Primerjava prečnih profilov predora v Sloveniji in drugih evropskih državah, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. mag. Robert Rijavec

**Darko Kovačič**, Nosilnost jeklenih nosilcev z odprtini v stojini in jeklenih satastih nosilcev, mentor izr. prof. dr. Jože Korelc, somentor Teja Melink

**Dejan Kastelec**, Dimenzioniranje čašastih temeljev, mentor doc. dr. Jože Lopatič

**Boštjan Ogulin**, Analiza opremljenosti in ocena potrebnih vlaganj v komunalno infrastrukturo na območju občine Semič do leta 2017, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

**Bojan Jakopič**, Vpliv odtoka meteoritnih voda iz urbanih območij na spreminjanje poplavne varnosti, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor asist. mag. Sašo Šantl

### DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Maja Kreslin**, Vpliv višjih nihajnih oblik pri nelinearni potresni analizi konstrukcij stavb, mentor prof. dr. Peter Fajfar

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Matej Klobučar**, Zagotavljanje in kontrola kakovosti v skupini Beograd d.d., mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

**Aleš Ošep**, Statična in trdnostna analiza armiranobetonskega nosilca z nekonstantnim prerezom, mentor izr. prof. dr. Peter Dobrila, somentor Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

**Vitko Remšak**, Tehnologije izvedbe gradbenih jam, mentor doc. dr. Borut Macuh, somentor izr. prof. dr. Bojan Žlender

**Jaka Strojanišek**, Požarna varnost lesenih konstrukcij, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

**Dijana Subašič**, Energetska sanacija stanovanjske hiše, mentor pred. Vesna Žegarac Leskovar, univ. dipl. inž. arh.

**Rihard Šlebinger**, Priprava, transport in negovanje betonske mešanice, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

**Nuša Vengust**, Proučitev tehnologije grajenja na objektu "Trgovski center Velenje", mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor doc. dr. Nataša Šuman

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Amel Jašić**, Izvedba prehoda za vodne organizme v verigi HE na spodnji Savi, mentor izr. prof. dr. Renata Jecl

**Katja Kramberger**, Nizkoenergijska lesena hiša s povečanim deležem steklenih površin in zeleno streho, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentorja Vesna Žegarac Leskovar, univ. dipl. inž. arh. in Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

**Simona Šiftar**, Modeliranje konstrukcij, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentor viš. pred. Milan Kuhta in pred. Viktor Markelj

**Mičo Tešić**, Statična in dinamična analiza Studenske brvi s programom Tower, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentorja viš. pred. Milan Kuhta in pred. Viktor Markelj

**Stevan Vukobrat**, Štirietazni jekleni poslovni objekt 10 x 15 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Tomaž Žula

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

**Darja Furek**, Ocena učinkov energetske sanacije stanovanjskih stavb na kakovost bivanja, mentorja izr. prof. dr. Metka Sitar – FG in doc. dr. Andreja Lutar Skerbinjek – EPF, somentor izr. prof. dr. Dean Korošak

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

**Vsem diplomantom čestitamo!**

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejema **Gradbeni vestnik (12 števil)** eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: **GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).**

**ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika**



# KOLEDAR PRIREDITEV

**16.-17.9.2010**

**First international workshop Design of concrete structures using EN 1992-1-1**

Praga, Češka  
<http://concrete.fsv.cvut.cz/dcs2010/>

**17.9.2010**

**11. Šukljjetovi dnevi**

Protokolarni center Brdo, Kranj, Slovenija  
[www.sloged.si](http://www.sloged.si)

**22.-24.9.2010**

**34th IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

Benetke, Italija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

**30.9.-1.10.2010**

**6th "CCC" Central European Congress on Concrete Engineering**

Marianske Lazne, Češka  
[www.cbsbeton.eu/en/ccc2010](http://www.cbsbeton.eu/en/ccc2010)

**7.-8.10.2010**

**SDGK 2010**

**32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije**  
Bled, Slovenija  
[www.sdgk.si](http://www.sdgk.si)

**10.-11.10.2010**

**7th International Workshop on Design and Performance of Sustainable and Durable Concrete Pavements**

Sevilla, Španija  
[www.vbk.tudelft.nl](http://www.vbk.tudelft.nl)

**11.-12.10.2010**

**ASBI 22nd Annual Convention**

Vancouver, Canada  
[www.asbi-assoc.org/news/convention](http://www.asbi-assoc.org/news/convention)

**13.-15.10.2010**

**11th International Symposium on Concrete Roads**

Sevilla, Španija  
[www.2010pavimentosdehormigon.org/content.php](http://www.2010pavimentosdehormigon.org/content.php)

**15.11.-16.11.2010**

**State-of-the-art Bridge Deck Erection: Safe and Efficient Use of Special Equipment**

Bangkok, Tajska  
[www.iabse.org/pdf/Bangkok-invitation.pdf](http://www.iabse.org/pdf/Bangkok-invitation.pdf)

**18.-20.4.2011**

**International Conference on Concrete Pavement Design, Construction, and Rehabilitation**

Xi'an, Shaanxi Province, Kitajska  
[www.concretepavements.org/China\\_2011\\_cfp.pdf](http://www.concretepavements.org/China_2011_cfp.pdf)

**8.-10.6.2011**

**fib Symposium: "Concrete engineering for excellence and efficiency"**

Praga, Češka  
[www.fib2011prague.com](http://www.fib2011prague.com)

**15.-17.6.2011**

**ICMS 2011**

**12th International Conference on Metal Structures**  
Wroclaw, Polska  
[www.icms2011.pwr.wroc.pl/index\\_pliki/Page300.htm](http://www.icms2011.pwr.wroc.pl/index_pliki/Page300.htm)

**10.-15.7.2011**

**13th International Conference on Wind Engineering**

Amsterdam, Nizozemska  
[www.icwe13.org](http://www.icwe13.org)

**1.-4.8.2011**

**ICASP 11 - The International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP)**

Zürich, Švica  
[www.icasp11.ethz.ch](http://www.icasp11.ethz.ch)

**7.-11.8.2011**

**9th Symposium on High Performance Concrete Design, Verification and Utilization**

Christchurch, Nova Zelandija  
[www.hpc-2011.com](http://www.hpc-2011.com)

**20.-23.9.2011**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

London, Anglija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

**25.-30.9.2011**

**24th World Road Congress**

Mexico City, Mehika  
[www.piarc.org/en/](http://www.piarc.org/en/)

**22.-25.10.2011**

**The Third International Congress and Exhibition PCI Annual Convention/Exhibition & National Bridge Conference**

Salt Lake City, Utah, ZDA  
<https://netforum.pci.org/eweb/startpage.aspx?site=2010conv&design=no>

**8.-12.7.2012**

**10th International Conference on Concrete Pavements**

Québec City, Québec, Kanada  
[www.concretepavements.org](http://www.concretepavements.org)

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: **msg@izs.si**