

Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik  
**Dušan Jukič**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
IZS MSG: **Gorazd Humar**  
**Ana Brunčič**  
**dr. Branko Zadnik**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Romana Hudin**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**500 tiskanih izvodov**  
**3000 naročnikov elektronske verzije**

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

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

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

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

**GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE**  
**UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;**  
**spletna izdaja ISSN 2536-4332.**  
**Ljubljana, februar 2020, letnik 69, str. 29-60**

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

# Vsebina • Contents

## Jubilej

stran 30

izr. prof. dr. Nataša Atanasova

**PROF. DR. MITJA RISMAL – DEVETDESETLETNIK: PROFESOR,  
ZNANSTVENIK IN STROKOVNJAK PRED SVOJIM ČASOM**

## Članki • Papers

stran 32

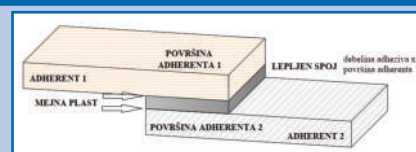
Mateja Držečnik, univ. dipl. inž. grad.

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

red. prof. dr. Andrej Štrukelj, univ. dipl. inž. grad.

**LASTNOSTI IN KLASIFIKACIJA ADHEZIVOV TER NJIHOVA UPORABA PRI  
LESU IN STEKLU**

PROPERTIES AND CLASSIFICATION OF ADHESIVES AND THEIR USE FOR  
WOOD AND GLASS



stran 41

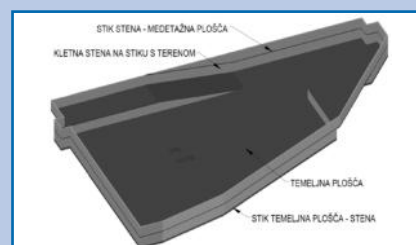
Jure Tomažič, dipl. inž. grad.

Danilo Malnar, univ. dipl. inž. grad.

Ervin Struna, univ. dipl. inž. grad.

**IZVEDBA VODONEPREPUSTNE AB-KONSTRUKCIJE KLETI STANOVANJSKE  
STOLPNICE PECA**

CONSTRUCTION OF WATERPROOF RC STRUCTURE IN THE BASEMENT OF THE RESI-  
DENTAL SKYSCRAPER PECA



stran 48

dr. Bojan Čas, univ. dipl. inž. grad.

dr. Jurij Šporin, univ. dipl. inž. rud. in geotekh.

**GRADNJA PODZEMNIH POVEZAV MED NOVIM PODZEMNIM OBJEKTOM IN KLETNIMI  
PROSTORI STARE GROFIJE V CELJU – ZAŠČITA IZKOPOV IN IZVEDBA GRADNJE**

CONSTRUCTION OF CONNECTION CORRIDORS BETWEEN A NEW UNDERGROUND  
OBJECT AND THE CELLAR OF STARA GROFIJA IN CELJE - DETERMINATION OF  
EXCAVATION PROTECTION MEASURES AND CONSTRUCTION OF CORRIDORS



## Poročilo s strokovnega srečanja

stran 56

doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Primož Može, univ. dipl. inž. grad.

**41. ZBOROVANJE GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE**

## Popravek

stran 58

## Vabilo

stran 59

**SEJEM MEGRA 2020**

## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradbišče trgovine IKEA v Ljubljani, foto arhiv CGP d. d.



# PROF. DR. MITJA RISMAL – DEVETDESETLETNIK: PROFESOR, ZNANSTVENIK IN STROKOVNJAK PRED SVOJIM ČASOM



Prof. dr. Mitja Rismal je strokovnjak z izjemnimi praktičnimi izkušnjami iz hidrotehnične prakse, raziskovalec, ki je vpeljal številne inovacije, še zlasti modeliranje procesov na tem področju, in izjemen profesor, ki je svoje široko znanje prenašal številnim generacijam študentov. A to ni vse. Predvsem je prof. Rismal človek z visoko integriteto, neprekosljivo vztrajnostjo pri reševanju okoljskih problemov s področja zdravstvene hidrotehnikе ter visoko družbeno angažiranostjo.

Letos praznuje svojo 90-letnico. Spoštljiva starost, a to prof. Rismala niti najmanj ne ovira pri nadaljevanju svojega dela. Prof. Rismal je človek, ki živi svoje delo, pravzaprav ga nikoli ni štel za delo, temveč za svoje poslanstvo. To pokaže že bežni pogled na njegovo izobraževalno pot, ki jo je oblikovala želja po nenehnem nadgrajevanju znanja.

Po maturi leta 1948 v Ljubljani se je vpisal na gradbeni oddelek Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Diplomiral je leta 1957 na gradbeni fakulteti v Ljubljani. Sledila so leta prakse pri Vodni skupnosti v Murski Soboti, pri Komuna-projektu v

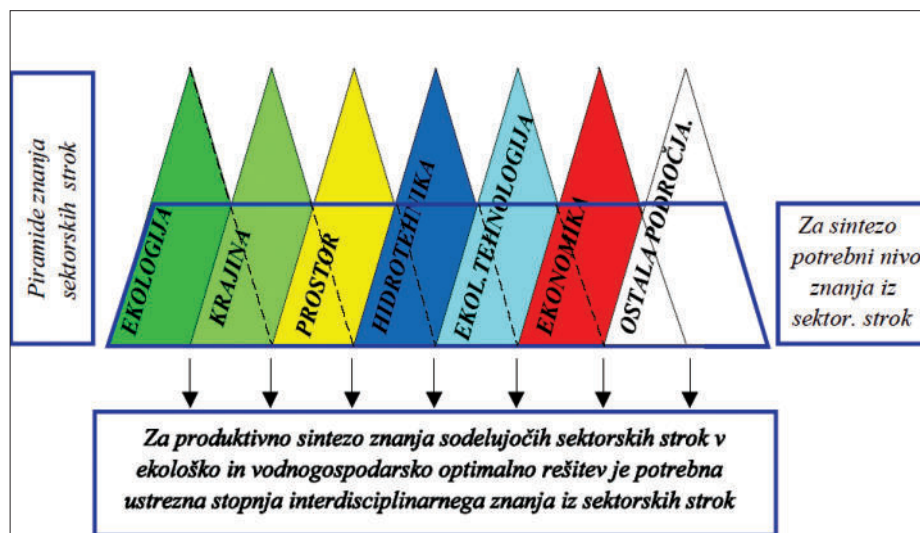
Mariboru kot projektant v hidrotehnik, leta 1967 pa je s skupino sodelavcev ustanovil Biro za hidrotehniko pri Zavodu za urbanizem v Mariboru – ZUM, kjer je bil najprej vodja in pozneje direktor. Hitro je spoznal po eni strani kompleksnost okoljskih problemov, po drugi strani pa to, da je znanje za njihovo reševanje obstajalo v tujini. Tako se je v šolskem letu 1968/69 vpisal in pozneje tudi dokončal podiplomski študij iz sanitarnega inženirstva na Tehniški fakulteti v Delftu na Nizozemskem. Leta 1973 je na gradbeni fakulteti v Zagrebu izdelal magistrsko nalogo in po nostrifikaciji podiplomskega študija v Delftu dosegel naziv magistra, specialista s področja sanitarne hidrotehnikе. Leta 1977 je uspešno zagovarjal doktorsko disertacijo na Gradbeni fakulteti Univerze v Zagrebu. Leta 1978 je bil izvoljen za izrednega profesorja, leta 1983 pa za rednega profesorja na Univerzi v Ljubljani, FAGG, kjer je do svoje upokojitve predaval vsebine zdravstvene hidrotehnikе in okoljskega inženirstva.

Prof. Rismal je nedvomno deloval pred svojim časom. Ideje, kot so interdiscipli-

narnost in medsektorsko povezovanje, z implementacijo katerih se še vedno (30 let pozneje!) trudimo bolj ali manj uspešno, je prof. Rismal že takrat ponotranjil, uporabljal v svojih predavanjih in delu ter jih skušal infiltrirati v družbo. Njegovi študenti imamo še vedno pred očmi njegovo znano shemo sinteznega pristopa reševanja problemov (slika 1). Kot pravi Rismal: »Po principu najšibkejšega člana v verigi so enakovredna vsa znanja, ki so potrebna za rešitev problema. Z interdisciplinarnim pristopom se sektorsko znanje posameznih strok le nadgrajuje v produktivno sintezo vseh relevantnih znanj za rešitev obravnavanega projekta.«

Principi te sheme se danes odražajo v vseh sodobnih pogledih, vezanih na prehod k trajnostnim družbam: trajnostni razvoj, voda v krožnem gospodarstvu, obnova virov, modrozeleno infrastruktura, odpadna voda kot vir, ponovna uporaba vode pa še marsikaj bi se našlo.

Prof. Rismal je imel sposobnost integrirati strokovno in znanstvenoraziskovalno delo. Njegov največji preboj je bil vpeljava matematičnega modeliranja na področje



Slika 1 • Princip interdisciplinarnega pristopa reševanja okoljskih problemov s sintezo relevantnih znanj.

zdravstvene hidrotehnike ali okoljskega inženirstva (na področju čistilnih naprav, aplikativne limnologije, urbane odvodnje, vodooskrbe). Verjetno najbolj znan primer te simbioze je razvoj limnološkega modela za vrednotenje sanacijskih ukrepov v 80. letih prejšnjega stoletja. Zaradi modelnih rezultatov je Blejsko jezero dobilo natego ter se takrat znebilo cvetočih alg (slika 2). Če bi si želeli ogledati strokovno delo prof. Rismala v Sloveniji, se lahko samo ozremo okrog sebe. Realiziral je vsaj deset komunalnih čistilnih naprav (Murska Sobota, Radenci, Črna na Koroškem, Moravci, Rače, Slivnica, Ptuj, Benkovec v Dalmaciji, Dobrna, Beltinci, Ptuj). Za čistilno napravo odpadnih voda v Žalcu in okolici Kasaz je uvedel sodobno tehnološko rešitev z zaključenim cevničnim reaktorjem s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo. Optimiziral je kanalizacijska

omrežja Maribora, Celja, Murske Sobote, sodeloval pri poplavni zaščiti Nove Gorice, implementiral sanacijo Blejskega jezera, izdelal limnološki model zajezene Bistrice na slovensko-avstrijski meji, izvedel aktivno zaščito podtalnice na Vrbanskem platoju v Mariboru. Predlagal je rešitve za praktično vsak večji problem v Sloveniji na področju zdravstvene hidrotehnike. Pri tem pa je zelo pomembno opozoriti, da je prof. Rismal vpet v mednarodni strokovni in znanstveni prostor, kar se je vedno odražalo pri njegovih rešitvah v obliki sodelovanja s tujimi strokovnjaki.

Število izvedenih projektov in študij prof. Rismala je zares ogromno, vendar je še pomembnejša njihova kakovost. Veliko Rismalovih rešitev omogoča čisto okolje in varno pitno vodo še danes. S svojim delom se je prof. Rismal zapisal kot pionir v interdisciplinarnem reševanju kompleksnih okoljskih problemov in s tem

tlakoval pot, po kateri danes stopamo k bolj trajnostnemu razvoju družbe.

Želimo mu še veliko zdravih in ustvarjalnih let!

**izr. prof. dr. Nataša Atanasova**  
**namestnica predstojnika Oddelka za**  
**okoljsko gradbeništvo**  
**UL Fakulteta za gradbeništvo in**  
**geodezijo**



Slika 2 • Natega na Blejskem jezeru. Dva cevovoda (kraka natege) vlečeta anoksično vodo iz hipolimnija ven iz jezera, medtem ko sveža voda iz Radovne priteka v jezero.

# LASTNOSTI IN KLASIFIKACIJA ADHEZIVOV TER NJIHOVA UPORABA PRI LESU IN STEKLU

## PROPERTIES AND CLASSIFICATION OF ADHESIVES AND THEIR USE FOR WOOD AND GLASS

**Mateja Držečnik, univ. dipl. inž. grad.**

mateja.drzecnik@um.si

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

miroslav.premrov@um.si

**red. prof. dr. Andrej Štrukelj, univ. dipl. inž. grad.**

andrej.strukelj@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo  
Smetanova ulica 17, Maribor

**Znanstveni članek**

UDK 624.011.1.04

**Povzetek** | Adhezive lahko definiramo kot nekovinsko substanco, ki je sposobna povezovati materiale s pomočjo površinskih vezi (adhezije), ki jih tvorijo tudi notranje vezi (kohezija). Adhezive, ki jih največkrat pojmujejo kar lepila, uporabljamo tako v vsakdanjem življenju kot tudi v industrijske namene. Zgodovina njihove uporabe sega v kameno dobo. V prvem delu članka so predstavljeni karakteristike lepljenega spoja, načini lepljenja in dejavniki, ki vplivajo na njegovo trdnost. Opisani so postopek priprave površine, pomen vlaženja podlage, način spajanja dveh ali več materialov ter koncept površinskih napetosti. Dodatno so opisane sile v povezavi z adhezijo ter pomen energije porušitve spoja. Sledijo še prednosti in slabosti njihove uporabe. Drugi del članka je namenjen klasifikaciji adhezivov, ki ni enotna. Na koncu se osredotočimo na adhezive, ki se uporabljajo pri lepljenju dveh gradbenih materialov, in sicer lesa in stekla ter njune kombinacije.

Ključne besede: adheziv, lepljeni spoj, les, steklo

**Summary** | Adhesives are defined as nonmetallic substances capable of joining materials by surface bonding (adhesion), the bond itself possessing adequate internal strength (cohesion). The most commonly term used for adhesives is glue. The history of their use goes back to the Stone Age. In the first part of the paper, the characteristics of bonding as a joining process are presented. Factors that influence adhesive strength, process of surface preparation, humidity of the substrate, method of joining two or more materials and the concept of surface tension are described. In addition, adhesive forces inside the adhesive layer and advantages and disadvantages of bonding are interpreted. The second part deals with the classification of adhesives. In the end, we focus on the adhesives used in bonding two building materials, timber and glass, and their combination.

Key words: adhesive, bonded joint, timber, glass



## 1 • ZGODOVINA ADHEZIVOV

Tehnologija uporabe adhezivov je ena izmed najstarejših znanih tehnologij v zgodovini človeštva. Najstarejši dokazi o uporabi adhezivov segajo v kameno dobo, kjer so uporabljali mineralne smole ali smole dreves (Gierenz, 2001). V Knossosu na Kreti so raziskovalci odkrili poslikane stene z apnom, ki je bilo vezivo za kreda, ki je vsebovala železove in bakrene delce. Prebivalci, natančneje lesarji iz grškega mesta Tebe so izumili postopek lepljenja manjših tanjših furnirnih kosov lesa v večje kose, tako da so uporabili lepila iz jajc. Tudi Egipčani so

uprabljali lepila iz jajc in drevesnih smol. Izdelava prvotnega papirusa je potekala tako, da so lesena trsja narezali na tanke kose in jih položili enega zraven drugega ter jih udarjali, da so se sploščili. Potem so jih premazali s pasto iz moke, da so se zlepili in na soncu posušili. Tudi Sveto pismo opisuje uporabo veziva. Za gradnjo babilonskega stolpa naj bi uporabil bitumen (Skeist, 1900). Uporabo adheziva za tesnjenje Noetove barke opisuje Prva Mojzesova knjiga. Ne opiše pa vrsto tesnilnega sredstva. Rimski pisec Pinij je v svojem najboljše delu Naravoslovje 1

opisal postopek nanosa mešanice borove smole in čebeljega voska na ladje rimske pomorske flote. Tudi stari Kitajci so uporabljali smolo, pridobljeno večinoma iz omel (Gierenz, 2001).

Razvoj kemije iz zgodnjih začetkov 20. stoletja je prinesel velik napredek pri razvoju in uporabi adhezivov. Pojavile so se fenolne smole (ca. 1900), melaminske smole in smole iz uree (ca. 1930), polimerne disperzijske in epoksimole (1938) ter cinoakrilati (1957), ki so začeli nadomeščati klasične naravne adhezive. V zadnjih desetletjih zaznavamo množično uporabo adhezivov, narejenih z uporabo modernih tehnologij, ki so razvojno najbolj napredni sistemi (Gierenz, 2001).

## 2 • OSNOVNE KARAKTERISTIKE LEPLJENEGA SPOJA IN NAČINI SPAJANJA

Lepljeni spoji so edini proces povezovanja, ki ga najdemo v naravi. Čebele za izgradnjo svojega satovja izločajo lepljive izločke, ki povežejo lesena vlakna v trdno strukturo. Pajkovo mrežo sestavljajo beljakovine, obogatene z alaninom, serinom, glicinom. Pri prehodu skozi predilne cevi se strdijo in spremenijo v nit. Ptice lastovnice svoja gnezda zgradijo tako, da koščke zemlje in ostalih organskih

in natezno trdnost. Pod pojmom substrat pa razumemo material, ki ga lepimo. Ko je spojen, ga imenujemo adherent. Prostor med adhezivom in adherentom je medfazno območje, ki ima drugačne kemijske in fizikalne lastnosti kot večina adheziva ali adherenta. To območje predstavlja odločilen faktor za določitev lastnosti in kvalitete lepljenega spoja. Mejna plast je mejna kontaktna ravnina med

kemijskih reakcij, ohlajanja ali s pomočjo oddajanja vode oz. topila. Izjema so adhezivi, ki so občutljivi za tlak, in adhezivi, ki ostanejo v tekočem agregatnem stanju. Z vzpostavitvijo kontakta se začnejo tvoriti Van der Waalove sile ter seveda tudi druge medmolekularne kemijske vezi, ki so odvisne predvsem od kemijske sestave adheziva in substrata. Pred procesom strjevanja lahko pride do penetracije adheziva v substrat (mehansko sidranje), kar pripomore k trdnosti adhezivnega spoja. Povezovanje molekul polimerov v adhezivu in substratu pa je rezultat molekularne meddifuzije po površini.

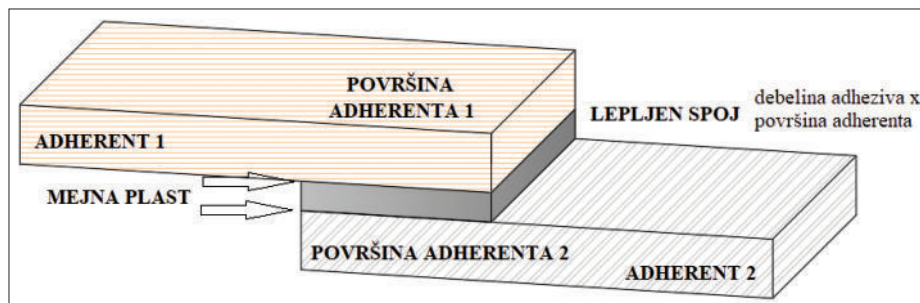
Na trdnost spoja vplivajo naslednji dejavniki:

### 1. Priprava površine

To zajema predhodno pripravo adherentov, na katere nanašamo adhezive. Če hočemo zagotoviti dobro adhezijo, moramo površino očistiti. Navodila pri vseh proizvajalcih so enaka. Površine morajo biti suhe in na njih ne sme biti prahu ali maščob. Prav tako na njej ne sme biti ostankov barv in drugih premazov ter adhezivov. To dosežemo s pomočjo čistil oziroma prednamazov (primerjev). Ker večinoma nimamo možnosti lepljenja izvajati v idealnih laboratorijskih pogojih, je treba lepljeni spoj izvesti neposredno po tem, ko sta bili površini, ki ju nameravamo zlepiti, očiščeni, da ponovno ne pride do njune kontaminacije.

### 2. Vlaženje podlage

Po čiščenju adherenta nanese adheziv. Da zagotovimo vlaženje po celotni površini, je treba adheziv nanesti na substrat v tekoči obliki. S tem navlažimo celotno površino in ne puščamo praznih prostorov, tudi če je površina groba. V odvisnosti od viskoznosti in vlažnosti adherenta tekoči adheziv tvori



Slika 1 • Shematski prikaz lepljenega spoja.

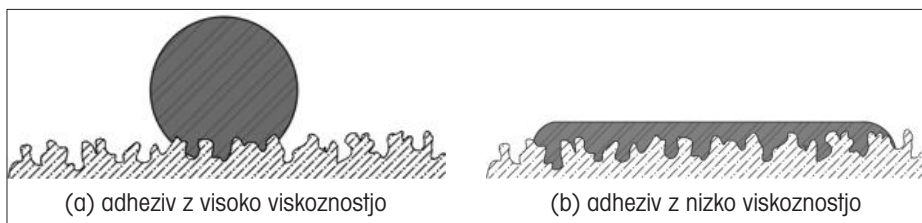
snovi prilepijo na zunanje zidovje stavb. Tudi človek proizvaja adhezivno snov v okviru komponente krvi, znano pod imenom fibrinogen, ki se s kemično reakcijo spremeni v fibrin, ki omogoča celjenje ran.

Gierenz in Karmann (Gierenz, 2001) sta definirala adhezive kot nekovinsko substanco, ki je sposobna povezovati materiale s pomočjo površinskih vezi (adhezije), ki jih tvorijo tudi notranje vezi (kohezija). Najdemo jih tudi pod pojmi, kot so lepila, paste, cementi, gume, povezovalni agenti in druga sredstva za spajanje. Navadno imajo adhezivi visoko strižno

površinami materialov. Lepljeni spoj tako vsebuje najmanj pet členov (slika 1): adherent 1, površina adherenta 1, adheziv, površina adherenta 2 in adherent 2.

### 2.1 Trdnost lepljenega spoja

Adheziv, ki ga nanese na površino, ima dve nalogi: najprej mora primerno navlažiti površino, kar pomeni, da tvori kontaktni kot blizu ničle, nato pa se mora strditi v kohezivno trdno telo. Vlaženje zajema kontakt med molekulami adheziva ter atomi in molekulami površine. Strjevanje lahko nastopi s pomočjo



Slika 2 • Oblika adheziva na površini adherenta v odvisnosti od njegove viskoznosti.

različno obliko kapljice. Adhezivi z visoko viskoznostjo so prikazani na sliki 2a, z nizko viskoznostjo pa na sliki 2b.

### 3. Koncept površinske napetosti

Na vlaženje podlage pa poleg viskoznosti vpliva tudi  $\gamma$ , i. e. *površinska napetost*, ki se izraža kot naklonski kot  $\alpha$  med tekočim adhezivom in adherentom. Na sliki 3 so prikazane oblike naklonskih kotov. Na splošno povedano: manjši ko je kot, boljše je vlaženje. Dobro vlaženje dobimo pri kotih  $\alpha$ , ki so manjši od  $30^\circ$ . Pri sferični obliki, ki nastopi pri kotih okoli  $180^\circ$  (kapljice živega srebra), ni nobenega vlaženja (Habenicht, 2009).

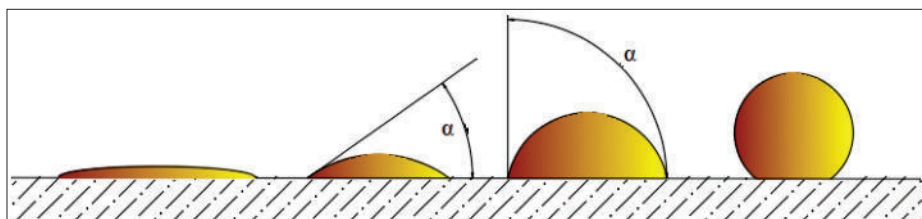
- s pomočjo projekcije iz mikroskopa in meritvijo višine in polmera kapljice,
- z digitalno analizo slike s pomočjo računalnika in primerne programske opreme.

Zvezo med napetostmi na sliki 4 lahko zapišemo v obliki Youngove enačbe, ki se glasi:

$$\gamma_{LV} \cdot \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL}, \quad (1)$$

pri čemer je:

- $\theta$  kontaktni kot
- $\gamma_{LV}$  napetost na vmesni ploskvi med tekočino in zračno vlago
- $\gamma_{SV}$  napetost na vmesni ploskvi med trdno snovjo in zračno vlago



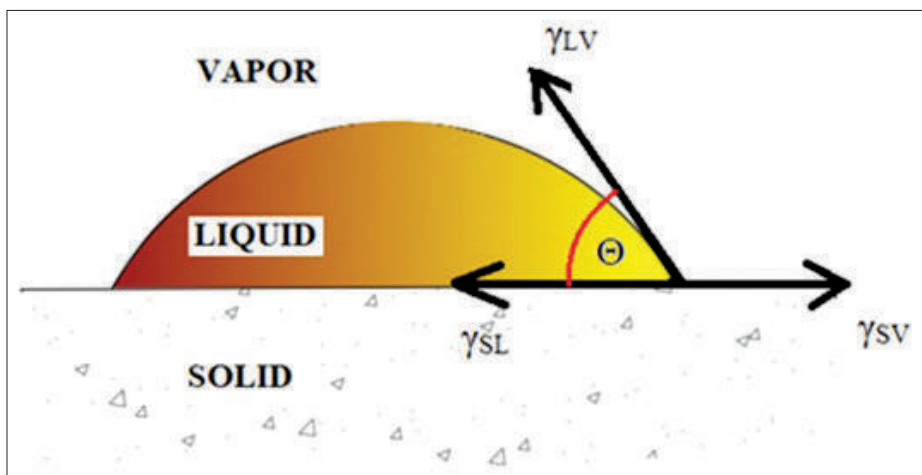
Slika 3 • Shematično prikazane oblike naklonskih kotov in stopnje vlaženja.

Merska metoda kontaktnih kotov poteka tako, da kapljico tekočine kanemo na trdno in ravno površino ter opravljamo meritev kota  $\theta$  med površino trdne snovi in tekočine (slika 4). To lahko počnemo (Cognard, 2006):

- neposredno s pomočjo mikroskopa in gonimetra,

- $\gamma_{SL}$  napetost na vmesni ploskvi med trdno snovjo in tekočino

V notranjosti tekočine delujejo iz vseh smeri enake privlačne sile na molekule vode (slika 5). Na površini pa te sile niso enake. Zato obstaja sila  $F$ , ki ima prijemališče na sredini kaplje in hoče pritegniti molekule vode stran



Slika 4 • Kontaktni kot med tekočim adhezivom in površino adherenta.

od površine proti notranjosti, posledično pa zmanjšuje svojo površino, ki se na koncu odraža v sferični obliki, saj takšna oblika omogoča najmanjše razmerje med volumnom in površino (Habenicht, 2009).

Adhezijske in kohezijske sile lahko izmerimo kot silo, ki je potrebna za adhezijsko oz. kohezijsko porušitev. Ta sila je odvisna od razdalje in od sil med molekulami in jo lahko označimo z  $\gamma$ , ki pomeni površinsko energijo (Petrie, 2000). Površinska energija je z nape-  
tostjo na vmesni ploskvi med trdno snovjo in zračno vlago povezana z enačbo:

$$\gamma_{SV} = \gamma - \pi_e, \quad (2)$$

pri čemer je  $\gamma$  površinska energija,  $\pi_e$  pa je ravnovesni pritisk. Zismanov pristop (Zisman, 1962) določanja površinske energije trdnih snovi predlaga, da lahko kritično površinsko napetost  $\gamma_c$  določimo z vrsto meritev kontaktnih kotov med tekočinami z znanimi površinskimi napetostmi ter površinami snovi, ki nas zanimajo. Kritično površinsko napetost dobimo kot presečišče med ekstrapolirano ravno linijo vrednosti  $\cos \theta$  ter horizontalno linijo  $\cos \theta = 1$ . Ta presek predstavlja točko, kjer je kontaktni kot enak  $0^\circ$ . Vrednosti površinskih napetosti za različne trdne snovi in tekočine so podane v literaturi (Petrie, 2000).

Površinska energija tekočine je kar njena površinska napetost  $\gamma_{LV}$ , saj sta numerično identični. Tudi trde snovi, kot so kovine, stekla in plastike se soočajo s pojavom površinskih napetosti, česar pa zaradi njihovega trdnega agregatnega stanja vidno ne moremo zaznati. Prednost adhezivov je torej tudi v povezovanju materialov z različnimi površinskimi napetostmi. Po zakonih termodinamike je razlika med površinsko napetostjo adheziva in adherenta odločilna za vpojnost sistema (Habenicht, 2009).

Enota za površinsko energijo je:  $\text{mJ/m}^2$

Enota za površinsko napetost je:  $\text{dina/cm}$  ali  $\text{N/m}$  ( $1 \text{ dina/cm} = 1 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ )

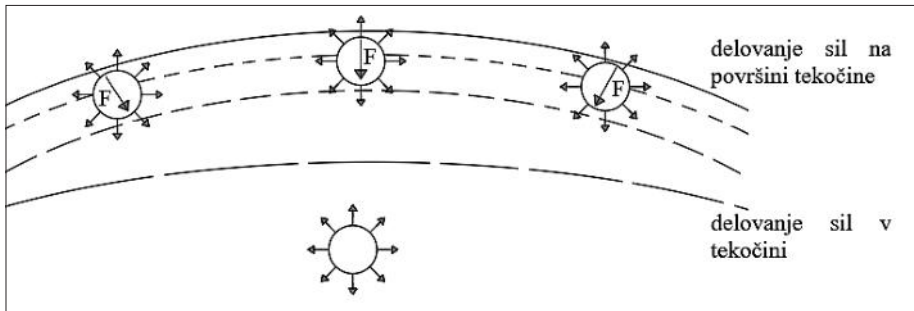
Površinske napetosti nekaterih materialov (Petrie, 2000):

- kovine 1000–3000  $\text{mN/m}$
- steklo 250–350  $\text{mN/m}$
- voda 72,8  $\text{mN/m}$
- plastika 20–60  $\text{mN/m}$
- adhezivi 30–50  $\text{mN/m}$

### 4. Sile v povezavi z adhezijo

Razvoj adhezivov je povezan z možnostjo spajanja enakih ali različnih materialov, katerih površina, gledano pod mikroskopom, praviloma nikoli ni povsem gladka. Adhezivi so sestavljeni iz osnovnih materialov, ki jim

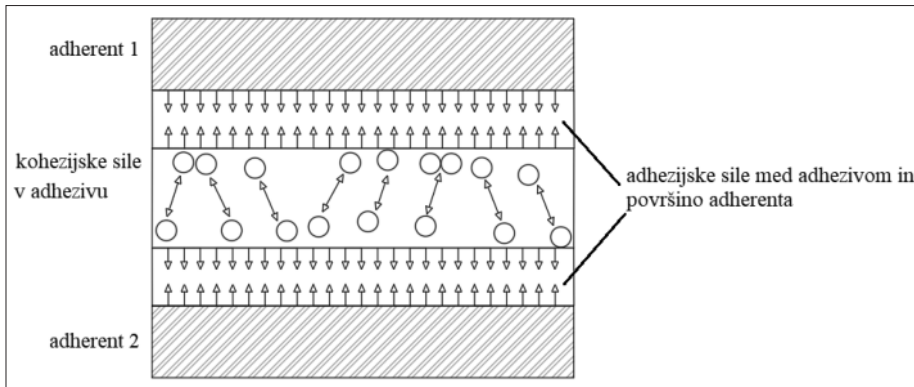




Slika 5 • Površinske napetosti tekočin.

pravimo veziva. To so navadno dolge verige polimerov z optimalnimi trdnostnimi lastnostmi, ki zagotavljajo adhezivnost (adhezijo) in

lz enačbe 3 lahko vidimo, da je praktična adhezija vsota dela adhezije in funkcije, ki opisuje mehanizme disipacije znotraj adhezivne



Slika 6 • Adhezijske in kohezijske sile v lepljenem spoju.

odpornost (kohezijo). Adhezijske sile povezujejo dva materiala, ki sta na skupni površini. Kohezijske sile pa držijo skupaj sosednje molekule istega materiala – adheziva in substrata, kar je shematsko prikazano na sliki 6. Delujejo pri vseh tekočih in trdnih substancah. Močnejše ko so kohezijske sile, večja je stabilnost materiala.

Za dobro razumevanje adhezivov je treba poznati dogajanje med procesom spajanja, ki je posledica kemijskih vezi. Pogoji, da bo vez med adhezivom in adherentom trajna, so adhezijske sile, ki jim pravimo tudi medatomske ali medmolekularne sile in lahko delujejo na razdalji velikostnega razreda  $10^5$  nm (Bikerman, 1961). Adhezijske sile so torej najučinkovitejše, ko je površina adherenta pred nanosom adheziva čista.

5. Energija porušitve spoja

Energijo porušitve spoja delimo na dva dela, in sicer na reverzibilno delo adhezije ter na ireverzibilno delo adhezijske deformacije. Tukaj se osredotočamo predvsem na razmerje dela adhezije ( $W_A$ ) in praktično oz. izmerjeno adhezijo.

$$\text{Praktična adhezija} = W_A + f(W_A) \cdot \zeta \quad (3)$$

vezi. Faktor  $\zeta$  je povezan z viskoelastičnimi lastnostmi adhezivov. Pri nedeformabilnem adhezivu je praktična adhezija enaka teoretični adheziji. Stopnja površinske povezave je odvisna od vlaženja, učinkov v mejnih ploskvah in drugih vplivov na stopnjo adhezije v medploskovnem območju.

Če neki material natezno obremenimo z dovolj veliko silo, se bo material porušil in dobimo nove površine. V primeru krhkosti materiala se energija disipira le v tvorbo dveh novih površin. Ob predpostavki, da sta oba kosa materiala iste sestave, lahko napišemo enačbo za delo kohezije  $W_C$  (Petrie, 2000):

$$W_C = 2 \cdot \gamma \quad (4)$$

Podobno lahko zapišemo enačbo za delo adhezije kot:

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (5)$$

ali

$$W_A = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (6)$$

To je Duprejeva enačba in predstavlja delo adhezije.

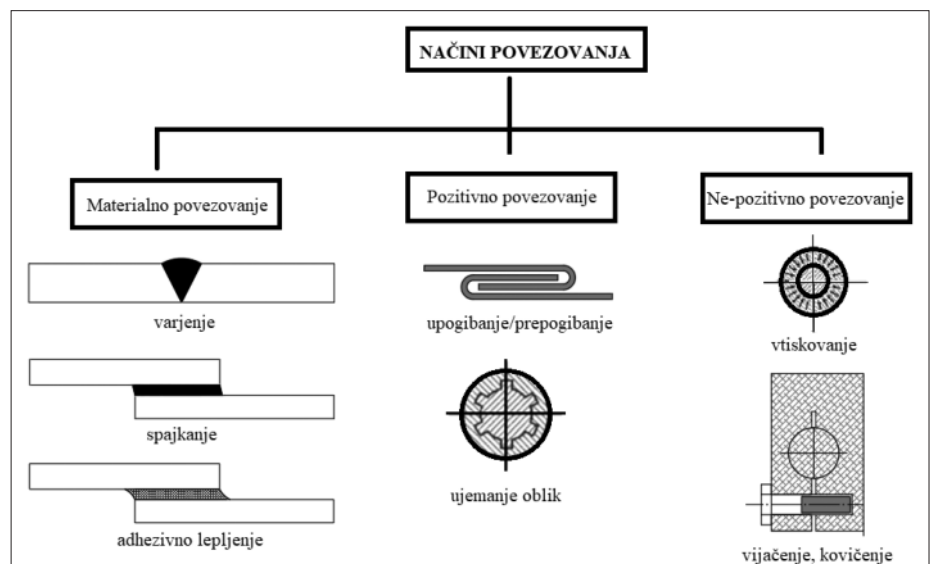
V enačbi za delo adhezije je material 1 adheziv, material 2 pa adherent. Porabljena energija je seštevek površinskih energij  $\gamma_1$  in  $\gamma_2$ ,  $\gamma_{12}$  pa je med ploskovna energija zaradi medmolekularnih sil dveh materialov v kontaktu. Ob združitvi Youngove (1) in Duprejeve (6) enačbe dobimo Young-Duprejevo enačbo, ki se glasi:

$$W_A = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta) \quad (7)$$

Sedaj lahko enostavneje izračunamo  $W_A$  s pomočjo kontaktnega kota in napetosti na vmesni ploskvi med tekočino in zračno vlago. Ob idealnem močenju podlage sledi, da je  $\cos \theta = 1$  in:

$$W_A = 2 \cdot \gamma_{LV} = W_C \quad (8)$$

oziroma delo adhezije enako delu kohezije. Iz tega sledi, da so v tem trenutku močnejše sile med tekočino in substratom kot pa sile med molekulami tekočine. Adhezija gre proti nič z večanjem naklonskega kota  $\theta$  nad  $90^\circ$ .



Slika 7 • Načini povezovanja.

Iz zapisanega Petrie (Petrie, 2000) podaja naslednje zaključke, ki so lahko v veliko pomoč uporabnikom lepil in tesnilnih mas:

(1) Delovanje oprijema je največje, ko je kontaktni kot enak 0 stopinj, torej ko se tekočina popolnoma razširi na površino trdne snovi. Ta pogoj pomeni, da obstajajo močnejše sile med molekulami tekočine in substrata kot med samimi molekulami tekočine.

(2) Adhezija se približuje ničli, ko se kontaktni kot večja nad 90 stopinj.

(3) V pogojih popolnega vlaženja površine s tekočino velja (kjer je  $\gamma_{LV}$  definiran kot površinska medploskovna energija):

$$W_A = 2\gamma_{LV} \quad (9)$$

ker je  $W_A = W_C$ .

### 2.2 Načini povezovanja materialov

Načini povezovanja materialov so različni. Habenicht (Habenicht, 2009) je povezovanje razdelil v tri večje skupine (slika 7):

- Materialno povezovanje; kamor sodijo varjenje, spajkanje in adhezivno lepljenje.

- Pozitivno povezovanje; kamor sodijo upogibanje in prepogibanje ter ujemanje oblik.

- Nepozitivno povezovanje; kamor sodijo vtiskovanje, vijačenje, vpenjanje, kovičenje.

mizaciji trdnosti in korozijske odpornosti, kar se odraža v avtomobilski industriji.

- Adhezivna plast omogoča električno izolativnost kondenzatorjev, nudi pa tudi zaščito – bariero pred vstopom vlage, kar se še posebno odraža pri proizvodnji oken.

### 3.2 Slabosti

Poleg prednosti so opredeljene tudi slabosti:

- Omejena je toplotna odpornost adhezivov. Glede na osnovne materialne karakteristike se toplotna odpornost adhezivov giblje med 120 ° in 300 °C.
- Površina adheziva in njegove vezi se lahko poškodujejo zaradi zunanjih vplivov, kot sta npr. vlaga, UV-sevanje, kar vpliva na trdnost kompozita.
- V večini primerov, razen redkih izjem, je potrebna predhodna nega adherenta oz. priprava površine, na katero nanašamo adheziv. Upoštevati pa je treba še čas vezanja adheziva in priprave temu tudi prilagoditi, kar je velikega pomena predvsem v masovni proizvodnji.
- Treba je upoštevati tudi okoljevarstven vidik in odgovoriti na vprašanje recikliranja, kar pa ni vedno mogoče.

2006), (Habenicht, 2009), (Gierenz, 2001), (Shieldes, 1984)).

## 3 • PREDNOSTI IN SLABOSTI ADHEZIVOV

### 3.1 Prednosti

Raziskovalci, kot so Gierenz in Karmann, Habenicht, Skeist in drugi, so podali prednosti adhezivov, ki jih lahko strnemo v naslednje alineje:

- Adhezivno lepljenje omogoča spajanje materialov, ki imajo zelo različne fizikalne, kemijske in mehanske lastnosti. To pride še posebej do izraza, ko povezujemo materiale, ki imajo izrazito različne koeficiente toplotnega raztezka.
- Adhezivni spoji so neprimerno hitrejši od drugih načinov spajanja dveh materialov in v nemalo primerih tudi cenejši.
- Ena večjih prednosti je, da materialov, ki jih spajamo, ne oslabimo z odprtinami kot v primeru vijačenja ali kovičenja. Tako je prenos obremenitev vezan na celotno površino, in ne točkovno, čemur pravimo homogeni prenos napetosti.
- Ta enakomerna porazdelitev napetosti pomeni tudi prihranek pri materialu, saj lah-

ko posledično uporabimo manjše preseke, kar pomeni lažjo konstrukcijo in močnejši spoj. To se posebej izkaže za pomembno pri masovnih proizvodnjah materialov. Posledično je torej konstrukcija lažja in spoj močnejši (v primerjavi z mehanskimi veznimi sredstvi), manjša pa je tudi možnost porušitve zaradi utrujanja.

- Adherent v veliki večini ni izpostavljen visokim temperaturam, ki nastopijo pri varjenju in spajkanju, saj lepljenje opravimo pri sobni temperaturi in s tem povezujemo materiale, ki so občutljivi za visoke temperature, kot sta npr. les in PVC. Izjema nastane v posebnih primerih, ko uporabimo adhezive, ki se vežejo pri povišani temperaturi.
- Z adhezivi lahko lepimo zelo tanke materiale (<500 μm), kar je pomembno v letalski industriji in v industriji, ki se ukvarja s pakiranjem.
- Kombinacija »pozitivnega« in »negativnega« povezovanja je pomembna pri opti-

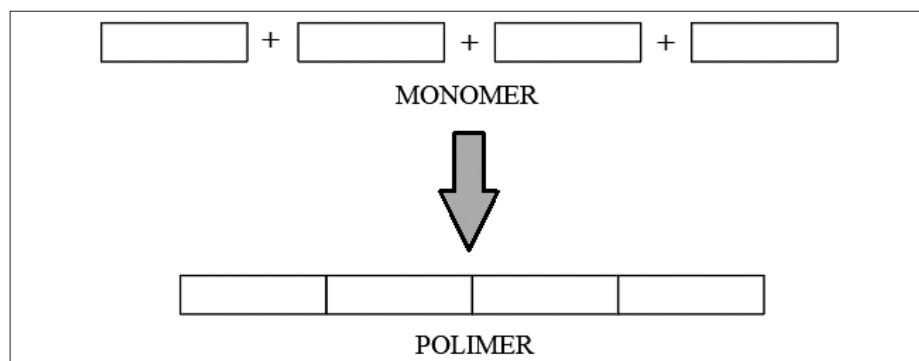
## 4 • STRUKTURA IN KLASIFIKACIJA ADHEZIVOV

### 4.1 Struktura adhezivov

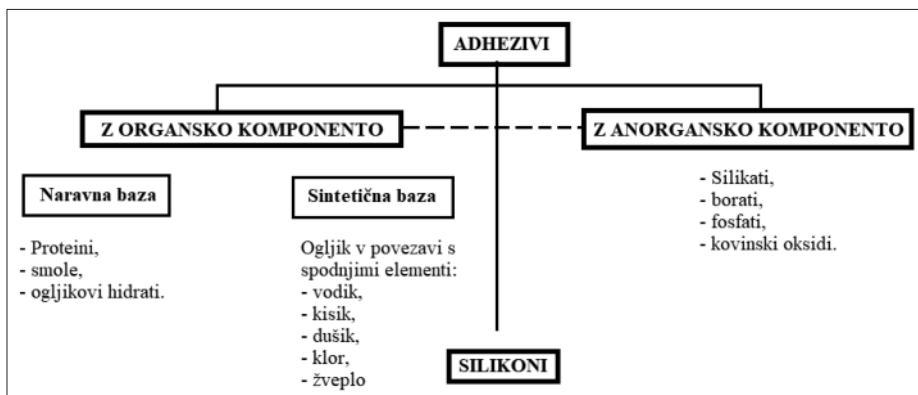
Adhezivi obstajajo v različnih oblikah in variacijah, zato je njihovo razvrščanje glede na posamezno lastnost težka naloga. Strukturno adhezive ločimo glede na povezave molekul, ki so lahko v obliki monomera, torej so molekule enojna povezava, ali v obliki polimera, ki je sestavljen iz več monomerov (slika 8) (Habenicht, 2009).

### 4.2 Klasifikacija adhezivov

V nadaljevanju podajamo klasifikacije, ki jih je mogoče najti v različnih literaturah ((Cognard,



Slika 8 • Shematski prikaz monomera in polimera.



Slika 9 • Klasifikacija adhezivov glede na kemično sestavo (Habenicht, 2009).

#### 4.2.1 Klasifikacija glede na kemično sestavo adhezivov

Glede na kemično sestavo ločimo dve vrsti struktur adhezivov, ki imajo v osnovi organsko ali anorgansko komponento. Pri organski komponenti je osnovni kemični gradnik ogljik, ki se s svojimi vezmi lahko spaja sam s sabo in tudi z drugimi kemičnimi elementi. Te dodatno razdelimo na (slika 9) (Habenicht, 2009):

- *Komponente iz naravne baze* (proteini, smole, ogljikovi hidrati), kamor prištevamo silikate, borate, fosfate in kovinske okside.
- *Komponente iz sintetičnih baz* (ogljik v povezavi z vodikom, kisikom, dušikom, klorom in žveplom).

Posebno pozornost pa je treba nameniti *silikonom*, saj vsebujejo tako organske kot anorganske komponente.

#### 4.2.2 Klasifikacija glede na način strjevanja adheziva

Klasifikacija glede na način strjevanja je narejena tako, da olajša izbiro za določen material, ((Habenicht, 2009), (Gierenz, 2001)). Ločimo:

#### 4.2.2.1 Adhezivi, ki se spajajo s pomočjo kemičnih reakcij – reactive adhesives

V tem primeru se večinoma tekoči adheziv, sestavljen iz monomera, nanese na adherent, kjer se sprosti kemična reakcija in adheziv preide iz tekočega v trdno stanje. Ta čas prehoda imenujemo strjevanje. Ločimo eno- in dvokomponentne adhezive.

Na podlagi termomehanskih lastnosti adhezivne plasti lahko te t. i. reaktivne adhezive delimo dodatno še nadalje:

- *termoseti ali duromeri*, kjer se adheziv segreje pred samim lepljenjem. Sem spadajo predvsem epoksidne smole, fenolne smole, poliuretani in anaerobni adhezivi;
- *termoplasti ali plastomeri*, kjer se adhezivni film tvori s procesom segrevanja. Sem spadajo cianoakrilati in metaakrilati ter nekateri poliuretani;
- *elastomeri* imajo izraženo nizke module elastičnosti in visoke porušne napetosti. Sem sodijo silikoni in nekateri poliuretani.

#### 4.2.2.2 Adhezivi, ki se ne spajajo s pomočjo kemičnih reakcij – physically setting adhesives

Proces prehoda iz monomera v polimer se lahko dogaja tudi pred nanosom adheziva. Zato je potrebna likvifikacija – utekočinjenje, ki lahko poteka na več načinov:

- *solvent-based adhesives*: polimerni adhezivi, ki se topijo s pomočjo organskih topil,
- *dispersion adhesives* – voda predstavlja osrednji medij za distribucijo polimera,
- *hot-melt adhesives* – polimeri se topijo s pomočjo višanja temperature, kjer te vezi razpadejo in po ohlajanju ostanejo ločene,
- *pressure-sensitive adhesives* – kot samo ime pove, so občutljivi za višanje tlaka.

#### 4.2.3 Klasifikacija glede na reakcijo adhezivov (Gierenz, 2001):

- kemijska reakcija,
- reakcija z izgubo topila in vode,
- strjevanje s topljenjem,
- toplilni smolnati adhezivi.

#### 4.2.4 Klasifikacija glede na kemijsko sestavo adhezivov (Gierenz, 2001):

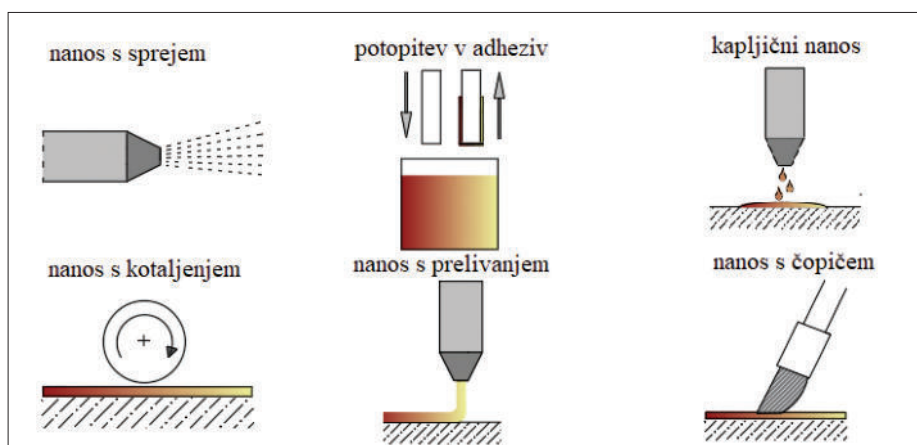
- termoplastični adhezivi,
- termosetni adhezivi,
- elastomerni adhezivi,
- hibridni adhezivi.

#### 4.2.5 Klasifikacija glede na fizično obliko adhezivov (Gierenz, 2001):

- paste in tekočine,
- adhezivi na bazi topil,
- adhezivi na vodni bazi,
- adhezivi v trdni obliki (filmi, trakovi, praški ...).

## 5 • APLIKACIJA ADHEZIVOV

Nanos oz. aplikacija adhezivov je odvisna od več dejavnikov. Predvsem je odvisna od vrste samega adheziva, saj lahko gre za eno- ali dvokomponentno različico. Pomembni pri tem so razmerje mešanice, viskoznost adheziva ter občutljivost za vlago in temperaturo. Upoštevati moramo tudi količino nanosa in posledično čas vezanja. Aplikacija nanosa je lahko točkova, linijska ali površinska. Pri tem pa ne smemo pozabiti tudi na natančnost pri nanašanju adheziva ob upoštevanju povezovalnih površin. Načine nanosa prikazuje slika 10.







Slika 10 • Metode nanašanja adheziva.

## 6 • LEPLJENJE LESA IN STEKLA

### 6.1 Povezava les-les

Les je naraven anizotropni material s prisotnostjo napak na površini. Prav zaradi tega in zaradi poroznosti ter prisotnosti vlage je treba posebno pozornost nameniti nanosu adheziva in postopku strjevanja le-tega. Danes za povezave z lesom uporabljamo predvsem sintetične adhezive. Tradicionalna povezava je temeljila na adhezivih iz naravnega materiala (gluten in produkti iz kazeina), ki pa se danes uporablja samo še za izdelavo glasbil (Skeist, 1990). Moramo pa biti pozorni na nekatere lastnosti uporabljenih adhezivov:

- pri disperzijskih adhezivih pretirana prisotnost vlage podaljša čas vezanja adheziva;
- pri kondenzacijskih adhezivih, ki se strjujejo brez prisotnosti vode, se lahko pojavi krčenje;
- vročlepljeni adhezivi, kjer lahko pri visoki vlagi in temperaturi pride do pojava vodne pare, ki oslabi adhezivne sile.

Praktična uporaba je pokazala, da je optimalna vlaga lesa med 8 in 10%.

Spodaj so našteje skupine določenih adhezivov, ki se priporočajo pri uporabi povezave les-les (Gierenz, 2001):

*Poli(vinil acetatna) emulzija* – imenujemo jo tudi »belo lepilo« in je v množični uporabi pri vsakdanjih spojih z lesom. Če želimo večjo odpornost proti vlagi, obstaja tudi v dvokomponentni različici.

*Pohištena lepila* – uporabljajo se bolj za dekorativne namene. So odporna proti visoki temperaturi in vsebujejo emulzijo etilen-vinil acetata.

*Vročna lepila* se uporabljajo v večini za industrijske namene, za lepljenje furnirnih plošč, parketov, laminatov. Z dodatki izboljšamo njihovo odpornost proti vlagi, temperaturi in celo izboljšamo njihovo nosilnost in trdnost.

*Urea-formaldehidne smole* – uporabljajo se za lepljenje vezanih plošč. Te smole se odlično obnesejo v notranjosti, kjer so pogoji bolj ali manj konstantni, za zunanjo aplikacijo pa jih ni priporočljivo uporabljati.

*Melaminske smole* so zelo pomembne na področju, kjer je zahtevana odpornost proti vodi lepljenega spoja.

*Melamin-formaldehidne smole* – v večini se uporabljajo za lepljenje parketa in laminata ter ostalih vezanih plošč.

*Fenolne smole* in lepila so cenejša varianta za lepljenje vezanih plošč. Njihov rok uporabnosti je samo 6 mesecev. Stik, ki temelji na fenolnih smoli, je visokokvaliteten in vodoodporen. Ta adheziv še posebej priporočajo za lepljenje lesa s kovinami.

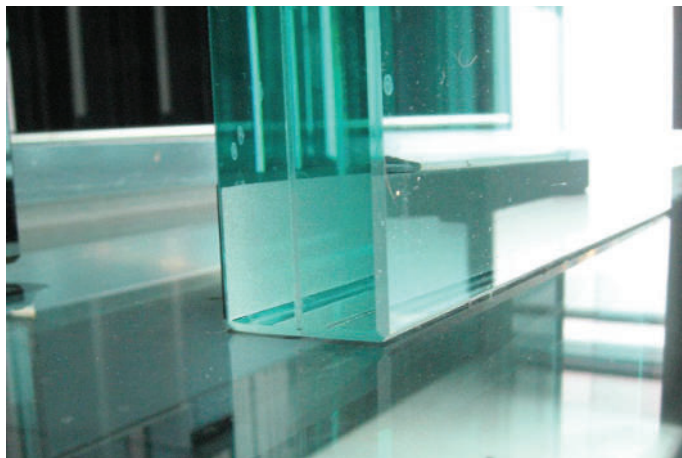
*Rezorcinolne smole in lepila* – to so še posebej močni spoji, ki so vodoodporni in odporni proti maščobi, oljem in topilom.

*Kontaktne adhezive* – to so adhezivi na osnovi polikloridne gume, ki se uporabljajo samo za popravila lesnih proizvodov. Ta adheziv je nadomestek polivinil-acetatnih emulzij. Prednosti teh adhezivov v primerjavi z ostalimi je v hitrem vezanju, brez sofisticiranih naprav, ki izvajajo pritisk na adherent.

*Poliuretan* je nova generacija adhezivov, ki se uporablja pri lesenih oblogah in strižnih stenah. Z dodanim adhezivnim spojem med steklenim panelom in lesenim okvirjem dosežemo sovprežnost in posledično lahko dobimo tudi kompozit, ki je nosilen v lastni ravnini. Poliuretan izkazuje izjemne karakteristike pri nosilnosti spoja in odpornosti proti zunanjim vplivom.

### 6.1 Povezava steklo-steklo

Steklo v povezavi z drugimi materiali postaja vedno bolj prepoznavni konstrukcijski material v sodobnem gradbeništvu, saj omogoča



Slika 11 • Izolacijsko steklo – uporabljen adheziv silikon; lepljeno lamelirano steklo, ki je v uporabi kot konstrukcijsko steklo – adheziv PVB-folija.

bivalno ugodje, ki mu doda tudi višjo estetsko vrednost. V gradbeništvu je bila v preteklosti uporaba stekla omejena na okenske in fasadne elemente, sodobni objekti v svetu pa že uporabljajo steklo kot samostojni nosilni fasadni ali konstrukcijski element. Steklo odlikuje tudi njegova odpornost proti skoraj vsem kemikalijam ter možnost popolne reciklaže. V gradbeništvu je v uporabi predvsem natrij-kalcijevo silikatno steklo. Med konstrukcijskim steklom pa ločimo:

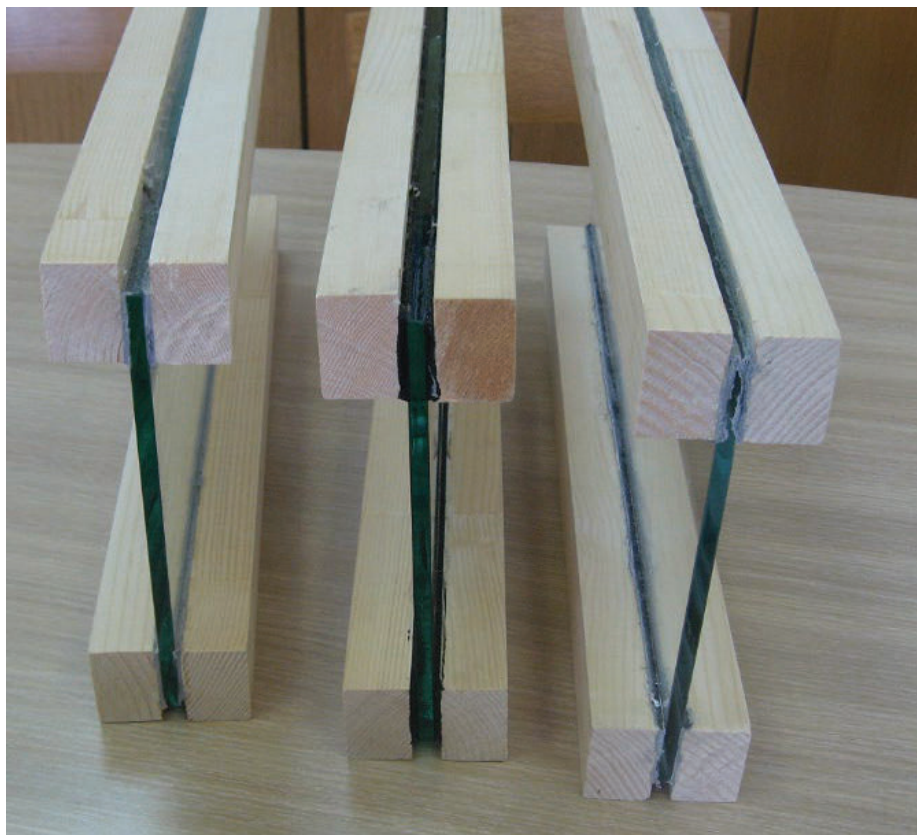
- navadno plosko steklo,
- kaljeno steklo,
- kemijsko ojačano steklo,
- lepljeno lamelirano steklo.

Steklo po mikrostrukturi uvrščamo med amorfne keramike, ki ima vse lastnosti trdne snovi. Karakteristična lastnost stekla je v lahki povezavi. Steklene plošče se lahko zaradi vlage med seboj zlepijo tako, da jih komaj uspemo ločiti. Zasluzne za ta pojav so molekule materialov s svojo kohezijo. Zato je pomembna velika pozornost pri pripravi površine, ki jo skrbno obrišemo in razmastimo z organskimi topili (alkohol, aceton). Priporočeno je, da površino pred nanosom adheziva primerno osušimo.

Povezave mineralnih struktur, kot je steklo, zahtevajo adhezive, ki se ne krčijo ali se zelo malo ter izkazujejo visoko polarnost. Poleg tega sta pomembni še transparentnost adheziva in UV-odpornost. V izoginitev notranjim napetostim uporabljamo adhezive, ki se nanašajo pri sobni temperaturi. Uporabljajo se predvsem polarni polimeri, kot so npr. epoksidi, ter polimetakrilati v dvokomponentni obliki. Za velike površine, za okna, avtomobilska stekla in neprebojna stekla se uporablja lamelirano steklo, ki ima med sloji stekla PVB-folijo, ki poskrbi, da se steklo med razbitjem ne razleti (slika 11b). Za industrijsko uporabo pa se večinoma uporabljajo silikonski adhezivi (slika 11a).

### 6.3 Povezava les-steklo

Kombiniranje tako različnih materialov, kot sta les in steklo, predstavlja svojevrsten izziv



Slika 12 • Povezava les-steklo, adhezivi: epoksi, silikon, akrilat.

(slika 12). Pri spoju je treba doseči ustrezno razmerje med nosilnostjo in duktilnostjo. Poleg pravilne izbire adheziva, načina spajanja sta pomembni tudi priprava in nega površine. Ena izmed glavnih prednosti lepljenega spoja je, da z njim dosežemo enakomerno napetost po celotni dolžini spoja v nasprotju z visokimi lokalnimi napetostmi pri žebeljanih ali vijajčnih zvezah. Cruz in Pequeno ((Cruz, 2008a), (Cruz, 2008b)) sta portugalska raziskovalca, ki sta ena izmed prvih preiskovala adhezive, ki povezujejo leseno-steklene kompozite. Razdelila sta jih v tri skupine, in sicer:

- togi adhezivi – izredno visoka trdnost in togost (npr. akrilat, epoksi),
- srednje togi adhezivi – uravnotežena trdnost in elastičnost (npr. poliuretan),

- elastični adhezivi – izredna elastičnost in nizka trdnost (npr. silikon in nekateri poliuretani).

V preglednici 1 so prikazane materialne karakteristike za steklo in les. Vidimo, da dve materialni karakteristiki kažeta precejšnje odstopanje. Visoka tlačna trdnost in hkrati krhkost ter nizka natezna trdnost sta ključnega pomena pri projektiranju.

Pri združevanju dveh materialov z bistveno različnima vrednostma koeficienta temperaturnega raztezka ( $\alpha_T$ ) lahko z elastičnim adhezivom zagotovimo ublažitev relativnih deformacij med obema materialoma zaradi sprememb temperature. Podobno funkcijo elastični lepljeni spoj opravlja v primeru nenadne spremembe relativne zračne vlage,

	Gostota $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Tlačna trdnost $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> ) t	Natezna upogibna trdnost $f_{mt}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Modul elastičnosti E (N/mm <sup>2</sup> )	Koeficient toplotnega raztezka $\alpha_T$ (10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup> )
Navadno (float) steklo	2500	800	45	70000	0,90
Les C30	460	23	30	12000	0,50
Razmerje steklo/les	5,43	34,78	1,50	5,83	1,80

Preglednica 1 • Mehanske lastnosti za navadno steklo in les C30.

ki ima vpliv na volumnske lastnosti lesa (tj. nabrekanje in krčenje).

Pri fasadnih zasteklitvah so v večini primerov uporabljeni silikoni, čeprav nimajo visokih

trdnosti, imajo pa velik odpornostni UV-indeks, kar je ključnega pomena. Na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, raziskujemo obnašanje

leseno-steklenih I-nosilcev z različnimi vrstami adhezivov ((Držečnik, 2015), (Držečnik, 2016), (Držečnik, 2017), (Zlatinek, 2014), (Zlatinek, 2015)).

## 7 • ZAKLJUČEK

Adhezivi in tesnila nas obkrožajo v naravi in vsakodnevnem življenju. Njihova uporaba je v zadnjih 50 letih strmo narasla. To se kaže na vseh področjih, tako v industriji kot v uporabi za domače mojstre. V prispevku smo želeli predstaviti kompleksnost področja adhezivov, ki je zelo razvejano in je v konstantnem razvoju.

## 8 • LITERATURA

Bikerman, J. J., *The Science of Adhesive Joints*, New York: Academic Press, 1961.

Cognard, P., *Handbook of Adhesives and Sealants – Volume 2, Adhesives and Sealants, General knowledge, Application techniques, New Curing Techniques*, Oxford, Elsevier Ltd, 2006.

Cruz, P., Pequeno, J., *Structural Timber-Glass Adhesive Bonding*, in Boss, F., Louter, C., Veer, F., eds. *Challenging Glass Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*, Technical University of Delft, 2008a.

Cruz, P., Pequeno, J., *Timber-glass composite beams: mechanical behaviour and architectural solutions*, in Bos, F., Louter, C., Veer, F., eds. *Challenging Glass Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*, Technical University of Delft, 2008b.

Držečnik M., Premrov M., Ber, B., *Leseno-stekleni kompozitni elementi*, 37. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Ljubljana, 2015

Držečnik M., Premrov M., Štrukelj A., 2016. *Advantages and disadvantages of timber glass composite beams*, World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria,

Držečnik M., Premrov M., Štrukelj A., 2017 *Uporaba stekla v gradbeništvo*, 39. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, Ljubljana

Gierenz, G., Karmann, W., *Adhesive and Adhesive Tapes*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001.

Habenicht, G., *Applied Adhesive Bonding, A practical Guide for Flawless results*, Weinheim; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

Petrie, E. M., ed., *Handbook of Adhesives and Sealants*, McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America, 2000.

Shields, J., *Adhesive Handbook – III. Edition*, United Kingdom, Butterworth & Co Ltd, 1984.

Skeist, I., *Handbook of Adhesives – III. Edition*, New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1990.

Zisman, W. A., Weiss, P., ed., *Adhesion and Cohesion*, Elsevier, Amsterdam-London-New York, 1962.

Zlatinek, M., Premrov, M., Štrukelj, A., *Experimental analysis of load-bearing timber-glass I-beam*, Engineered Transparency. International Conference at glasstec, Dusseldorf, Germany 21 and 22 October 2014.

Zlatinek, M., Premrov, M., Štrukelj, A., *Experimental analysis of load bearing timber-glass I-beams with silicone adhesive*, Zbornik radova br. 10, Gradjevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2015.



# IZVEDBA VODONEPREPUSTNE AB-KONSTRUKCIJE KLETI STANOVANJSKE STOLPNICE PECA

## CONSTRUCTION OF WATERPROOF RC STRUCTURE IN THE BASEMENT OF THE RESIDENTAL SKYSCRAPER PECA

**Jure Tomažič, dipl. inž. grad.**

jure.tomazic@cgp.si

**Danilo Malnar, univ. dipl. inž. grad.**

danilo.malnar@cgp.si

**Ervin Struna, univ. dipl. inž. grad.**

erwin.struna@cgp.si

CGP, družba za gradbeništvo, inženiring,  
proizvodnjo in vzdrževanje cest, d. d.  
Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto

**Strokovni članek**

UDK 624.012.45:699.82

**Povzetek** | V članku obravnavamo izvedbo zaščite kleti objekta pred talno vodo in vlago brez uporabe hidroizolacijske membrane. Na objektu stolpnica Peca je bil zunanji ovoj kletnega dela objekta zgrajen po načelu bele kadi. Pojem bela kadi ne pomeni samo vgradnje betona s posebno recepturo za doseganje vodoneprepustnosti, ampak skupek ukrepov, ki jih je treba upoštevati že pri zasnovi konstrukcije objekta, pri podrobnem projektiranju, med pripravo na izvedbo del in pri izvedbi del na objektu.

Ključne besede: vodoneprepustna betonska konstrukcija, bela kadi, izvedbeni detajli, tesnilni trakovi, armatura za omejitvev razpok

**Summary** | The article deals with the implementation of waterproof basement shell construction without waterproofing membrane. At the Peca skyscraper, the outer shell of the basement was built using the principle of white tub. The term white tub does not only mean the installation of concrete with a special recipe for waterproofing, but a set of measures to be taken in the design of the structure itself, in detailed design, during the preparation for the execution of works and in the execution of works on the site.

Key words: waterproof concrete construction, white tub, execution details, sealing tapes, crack reducing rebar

### 1 • UVOD

Zaščita objektov pred vodo in vlago je ena od bistvenih zahtev pri gradnji objektov. Skladno s *Pravilnikom o zaščiti stavb pred vlago* je treba zaščititi stavbe pred talno vodo in vlago, atmosferskimi padavinami in vodo iz napeljav stavbe. Ovoj stavbe mora biti projektiran, izveden in vzdrževan tako, da stavbo ščiti pred prodorom vlage v notranjost stavbe

ali navlaževanjem materialov ali gradbenih konstrukcij, ki bi jih vlaga lahko poškodovala, povzročila razvoj plesni in gliv ali poslabšala njihove lastnosti do te mere, da bi bila ogrožena zanesljivost stavbe (SIST, 2005).

V nadaljevanju bomo podrobneje obravnavali zaščito zunanjih sten in tal v stiku s terenom. Po 11. členu pravilnika je treba hidroizolacijo

pred talno vlago zunanjih sten in tal v stiku s terenom izvesti po standardih SIST DIN 18195-1 do 10.

V predpisih sta črna ali bela kadi navedeni kot splošni izvedbi zaščite podzemnih delov objektov proti vlagi. Ustrezni sta za najbolj zahtevne pogoje (vse vrste tal, globine in višine vodnih stolpcev). Glavna razlika je, da moramo pri črni kadi na zunanji strani konstrukcije vgraditi zvezno vodoneprepustno membrano (polimerne, elastomerne, FPO-membrane ...), pri beli kadi pa te membrane ni, zato mora biti skrbno

zasnovana, načrtovana in izvedena betonska konstrukcija podzemnega ovoja objekta.

V standardu SIST DIN 18195 so v podpoglavjih 4 in 6 glede na hidrogeološke lastnosti tal in globino konstrukcije pod nivojem terena

navedene različne zahteve za zaščito objektov pred talno vodo ((SIST, 2012a), (SIST, 2012b)). Črna in bela kad sta navedeni kot splošna načina zaščite za najbolj zahtevne pogoje.

Obstajata tudi pojma oranžna in rjava kad. Pri oranžni kadi gre za beton, armiran z makro jeklenimi vlakni, pri rjavi kadi pa za zaščito z bentonitno membrano na osnovi glinenih mineralov, ojačenih s tekstilnimi vlakni.

## 2 • KRATEK OPIS OBRAVNAVANEGA OBJEKTA

Zaščito pred talno vodo in vlago po načelu bele kadi smo izvedli na kleti večstanovanjskega objekta Stolpnica Peca na Litostrojski cesti v Ljubljani (Lanel, 2020). Objekt je zasnovan kot dva stanovanjska stolpa z lokali v pritličju, ki sta med seboj povezana s komunikacijskim jedrom. Stolpa imata po 14 nadzemnih etaž

floris kleti meri ca. 3160 m<sup>2</sup>. Dno temeljev je na globini 6,6 m pod koto terena na območju zunaj floris stolpnice, pod florisom stolpnice pa je dno temeljne plošče na globini 7,5 m.

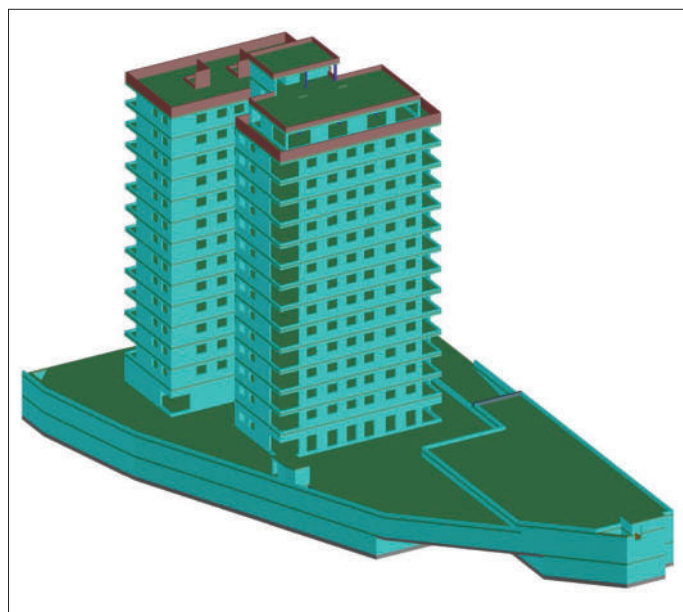
Nosilna konstrukcija objekta je monolitna armiranobetonska. Medetažne konstrukcije so gladke dvosmerno nosilne AB-plošče. Navpično

stolpnico, pod kletjo zunaj območja stolpnice pa pasovni temelji. Ker se je investitor za belo kad odločil naknadno, je bilo tudi pasovne temelje treba preprojektirati v temeljno ploščo.

Izkop gradbene jame je bil opravljen z vertikalnimi varovanimi brežinami. Izvedeno je bilo varovanje gradbene jame z vertikalnimi slopi jet-grouting, sidranimi z začasnimi geotehničnimi sidri pod kotom 20–25° in z jetsidri pod kotom 45°. Stene gradbene jame so bile



Slika 1 • Arhitekturni prikaz objekta.



Slika 2 • 3D-model AB-konstrukcije objekta.

(P+13N), na zahodnem stolpu je še terasa etaža (slika 1). Bruto florisna površina ene etaže znaša 678 m<sup>2</sup>, višina konstrukcije objekta nad koto terena pa je 49,5 m. Pod stolpoma sta 2 kletni etaži, namenjeni garaži in shrambam etažnih lastnikov (slika 2). Bruto

konstrukcijo, ki podpira medetažne plošče in prevzema vodoravne obtežbe, tvorijo AB-stene po obodu in v komunikacijskem jedru objekta ter AB-stebri na sredini stolpov. Kletna konstrukcija je izvedena podobno. Za temeljenje objekta je bila sprva predvidena temeljna plošča le pod

izravnane z armiranim betonskim obrizgom (torkretom).

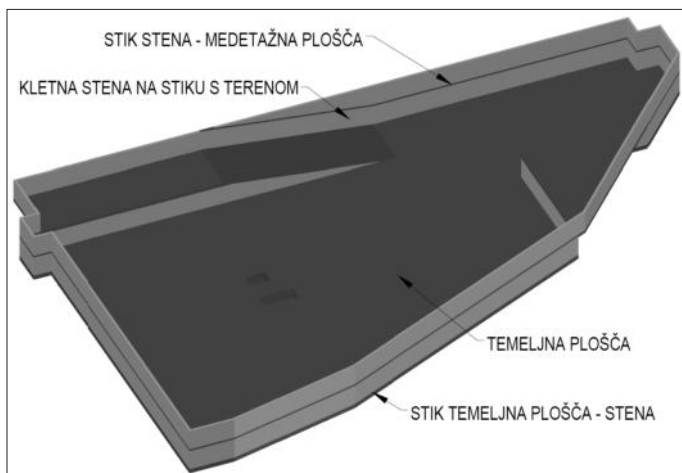
Temeljna tla so dobro prepustna iz nekoherentnih zemljin (rahlo zaglinjeni prod). Talna voda se nahaja na globini ca. 10 m pod dnom temeljne plošče objekta.

## 3 • IZVEDBA VODONEPREPUSNE BETONSKE KONSTRUKCIJE PO NAČELU BELE KADI

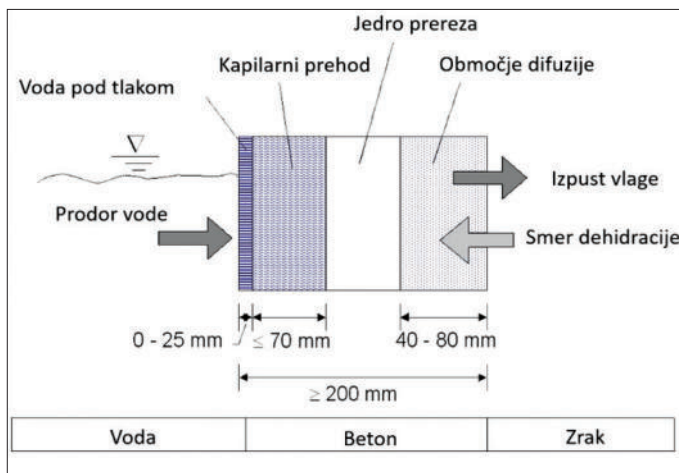
V našem primeru se bomo osredotočili na gradnjo vodoneprepusne betonske konstrukcije na stiku s terenom, ki jo sestavljajo temeljna plošča in z njo spojene obodne kletne stene.

Kadar je betonska konstrukcija del bele kadi, ima hkrati funkcijo zagotavljanja stabilnosti in mehanske odpornosti objekta ter funkcijo zaščite objekta pred vlago. Pri načrtovanju in izvedbi vodoneprepusne konstrukcije po načelu bele kadi je treba zagotoviti zlasti:

- pravilno zasnovano konstrukcijo na stiku s terenom in planiranje delovnih taktov za izvedbo,
- izbiro pravilne recepture betonu,
- omejitev širine razpok v betonu; izračun in vgradnjo ustrezne armature (obtežni primeri vplivov med gradnjo po SIST EN 1991-1-6 in v času uporabe objekta (Beg, 2009)),
- pravilno načrtovanje in izvedbo detajlov (predvsem delovnih stikov, spojev in prebojev),



Slika 3 • Prikaz vodoneprepustnega AB-kletnega ovoja.



Slika 4 • Prikaz delovanja vodoneprepustnega betona (prikazan beton C30/37, PV-II, v/c&lt;math&gt;\le 0,55&lt;/math&gt;) (Lochmeyer, 2009).

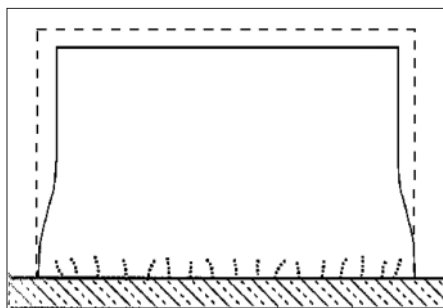
- pravilno vgradnjo in nego svežega betona, kontrolo kakovosti izvedbe.

### 3.1 Pravilna zasnova AB-konstrukcije

AB-konstrukcija mora imeti čim bolj enostavno geometrijo. Debelina talnih plošč mora biti vsaj 25 cm, za stene je priporočljivo, da so

Zagotovljena mora biti čim večja drsnost med ploščo in podlago, da so natezne vsiljene obremenitve čim manjše. Višinski skoki pod ploščo niso ustrezni, prehodi med debelinami morajo biti v naklonu vsaj 1 : 1 (45°). Delovni takti temeljne plošče morajo biti čim bolj enostavnih oblik in ne prevelikih dimenzij. Večji ko

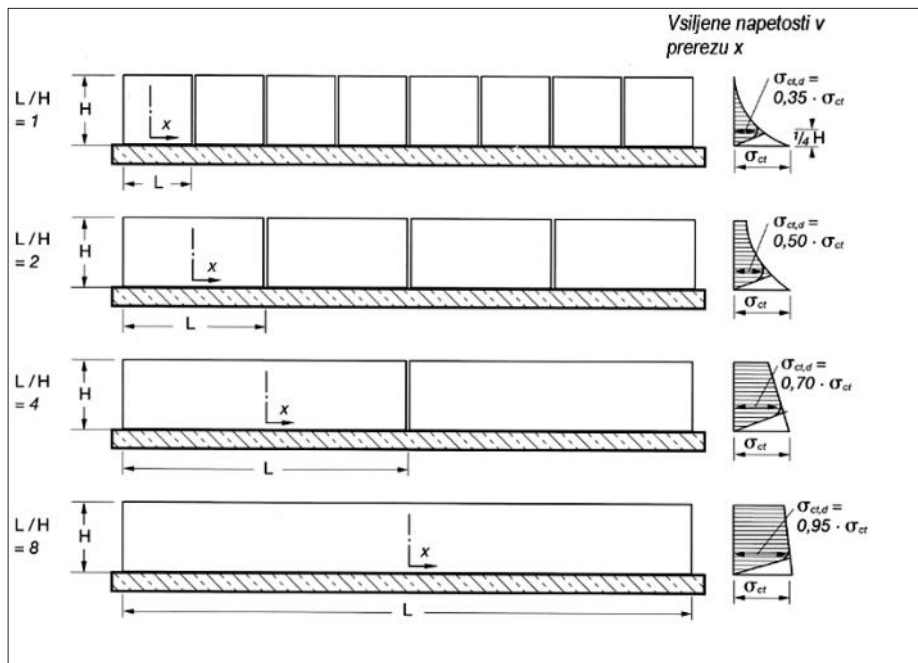
nastanejo večje natezne napetosti v vodoravni smeri, ki povzročajo nastajanje navpičnih razpok (slika 5). Te napetosti se večajo sorazmerno z dolžino vpetja stene. Večje ko je razmerje L/H, večje natezne napetosti nastanejo v steni in bolj enakomerno so skoncentrirane po celotni višini stene (slika 6). Opisano stanje



Slika 5 • Prikaz deformiranja stene med hidratacijo zaradi vpetja v podlago (velja za vsako etažo) (Lochmeyer, 2009).

debele vsaj 30 cm. Beton je vedno nekoliko porozen, zato ne deluje kot vodotesna membrana, temveč nudi določen upor pri prodiranju vode skozi konstrukcijo. Pri betonu z oznako C30/37, PV-II je tako na primer zunanji sloj betona v debelini do 25 mm v stiku s talno vodo/vlago namočen (slika 4). V naslednjih 70 mm debeline betona je območje kapilarnega prehoda vode. Na notranji (zračni strani) betona v debelini 40–80 mm je območje difuzije, kjer poteka izsuševanje oziroma dehidracija. Najboljše je, da so notranje površine dobro zračene. Dovoljeni so le paroprepustni premazi tal in sten.

Za talno konstrukcijo je najbolj primerna gladka temeljna ploščica, ki se lahko čim bolj neovirano krči v fazi najvišje hidratacije.



Slika 6 • Razporeditev nateznih napetosti glede na razmerje L/H (velja za vsako etažo) (Lochmeyer, 2009).

sta dolžina in širina takta, večje bodo v plošči vsiljene obremenitve zaradi trenja s podlago.

V stenah med hidratacijo betona prav tako nastajajo vsiljene obremenitve zaradi ovirane ga krčenja. Stene so spodaj vpete v temeljne ali medetažne ploščice, v katerih je velik del krčenja že potekel. Vpetost v podlago ovira nastanek deformacij pri krčenju sten, zato tu

napetosti se spreminja z napredovanjem del (ovirano krčenje v etažah, ko se priključijo ploščice, spremembe, ko se priključijo prečne stene).

Razmerje L/H lahko zmanjšamo, če ustvarimo navidezne dilatacije z iniciatorji razpok. To so namerne oslabilne stene, kjer steni določimo mesto razpoke. S tem pri dolgih stenah zmanj-



šamo razmerje  $L/H$ . Na mestih vgrajenih iniciatorjev razpok dovolimo, da stena razpoka, mesto razpoke pa je zafesnjeno z iniciatorjem, ki ima hkrati tudi funkcijo tesnilnega traku. Smiselna je vgradnja iniciatorjev razpok v razmiku  $H \leq L \leq 2 \cdot H$ .

### 3.2 Pravilna izbira recepture vgrajenih betonov

Betoni za izvedbo neprepustne konstrukcije morajo biti trdnostnega razreda vsaj C25/30 s stopnjo odpornosti proti prodoru vode vsaj PV-II. Priporoča se uporaba cementov tipa N in S, ki dosegajo običajne oziroma nizke zgodnje trdnosti in pri tem ne sproščajo visoke hidratacijske toplote. Cementi višjega trdnostnega razreda in hitrovezoči se cementi tipa R sproščajo višje hidratacijske toplote, zato za vodoneprepustne betonske konstrukcije niso primerni. Za izvedbo betonov visokih trdnosti ali debelejših konstrukcij je treba uporabiti LH (low hidrattation) cement. Priporočljiv je čim manjši vodocementni faktor  $v/c < 0,60$ .

Na obravnavanem objektu smo v temeljno ploščo in kletne stene vgradili beton z oznako C30/37 (XC4/XD2/XF1/XA1, PV-II, CI 0,20,  $D_{max}$  32, S4). Uporabljena sta bila običajni cement z oznako CEM II/B-M (LL-V) 42,5 N in dodatek za pripravo lažje vgradljive betonske mešanice.

### 3.3 Omejitev širine razpok

Da lahko betonska konstrukcija deluje kot vodoneprepustna, je treba omejiti širino razpok v betonu (preglednica 1). Razpoke v betonu se zaprejo z nabrekanjem betona in samozatesnitvijo, če je širina razpok  $w_k \leq 0,20$  mm. Največja dovoljena širina razpoke betona se sicer določi glede

Pri tem je:  $h_b$ ..... debeline AB-stene ali plošče,  $h_w$ .....višina vodnega stolpca, pritiskajočega na konstrukcijo.

Pri temeljnih ploščah se višina vodnega stolpca  $h_w$  meri od spodnje ploskve plošče, pri stenah pa na višini  $H/4$  od spodnjega roba stene, pri čemer je  $H$  svetla etažna višina stene, zabetonirane v enem taktu.

Za zahtevnostni razred konstrukcije  $A_3$  je pri določenih razmerjih  $i = h_w/h_b$  širina razpoke v betonu dovoljena tudi do  $w_k \leq 0,25$  mm. Konstrukcije v razredu  $A_4$  ne štejemo več za vodoneprepustne, širina razpoke je omejena glede na zahteve MSU (po SIST EN 1992-1-1).

V primeru objekta stolpnica Peca je bilo treba zagotoviti razred zahtevnosti  $A_2$ . Temeljna tla so dobro prepustna iz nekoherentnih zemljin. Pritiskajoča talna voda se nahaja na globini ca. 10 m pod dnom temeljne plošče objekta. Za omejitev širine razpoke torej razmerje  $i = h_w/h_b$  ni merodajno, zato smo se odločili za največjo širino razpoke, ki se še zapre z nabrekanjem betona in samozatesnitvijo ter izbrali  $w_k \leq 0,20$  mm za temeljno ploščo in za obodne stene.

#### 3.3.1 Račun potrebne armature za omejitev širine razpok zaradi vsiljenih obremenitev v času gradnje – temeljna plošča

Največji delovni takt plošče debeline 60 cm na objektu je znašal  $L \times B = 31 \times 25$  m. Podlaga plošče je bila utrjeno tamponsko nasutje, prekrito s slojem PE-folije s peno (kot npr. Gefitas PE 300). Pri računu smo upoštevali koristno obtežbo takoj po strjenem betonu

Širina razpoke $w_k$ (mm)	Razmerje $i = h_w/h_b$ (m/m)	
Zahtevnostni razred	$A_s$	$A_1$ in $A_2$
$\leq 0,20$	$i \leq 2,5$	$i \leq 10$
$\leq 0,15$	$2,5 < i \leq 5$	$10 < i \leq 15$
$\leq 0,10$	$5 < i \leq 25$	$15 < i \leq 25$

Preglednica 2 • Omejitve širine razpoke glede na razmerje  $i$  in zahtevnostni razred uporabe objekta ((Lochmeyer, 2009), (Glatzl, 2009)).

odpora zaradi sidranja armature v že izvedene delovne takte.

V temeljni plošči mora biti torej na vsaki strani vgrajena armatura  $A_{s,dej} = \emptyset 14/12,5$  cm ( $12,32$  cm<sup>2</sup>/m'). Minimalna armatura v prerezu obravnavane plošče po EC2 znaša  $A_{s,min} = 8,28$  cm<sup>2</sup>. Izračunana armatura za omejitev razpok torej presega minimalno armaturo za ca. 50%.

V statičnem preračunu mora biti tudi za končno stanje objekta za navidezno stalne kombinacije vplivov (MSU) dokazano, da vgrajena armatura zadošča omejitvi razpok  $w_k \leq 0,20$  mm.

#### 3.3.2 Račun potrebne armature za omejitev širine razpok zaradi vsiljenih obremenitev v času gradnje – stene

Delovne takte, ki so sicer predvideni v dolžini 16–20 m, skrajšamo z vgradnjo iniciatorjev razpok na razdalji  $L = 4,0$  m. Višina stene, ki se betonira v enem taktu, je hkrati svetla etažna višina in znaša  $H = 2,76$  m. Pri stenah je pomembno, da sta si temperatura plošče, na katero je vpeta stena, in temperatura sveže betonske mešanice čim bolj podobni. V računu smo predpostavili razliko  $\Delta T = 6$  K. V računu povišanja temperature med hidratacijo smo po Lochmeyerju (Lochmeyer, 2009) iz tabel odbrali hidratacijsko toploto  $Q_{H,T}$ , ki jo uporabljamo tip cementa sprošča v času največje hidratacije  $t(T_{max})$ . Postopek za izračun količine armature za omejitev razpok in izračun širine razpok je enak kot pri temeljnih ploščah, izračun vsiljenih obremenitev v steni in razporeditev armature, potrebne za omejitev širine razpok, pa je prikazan na slikah 9 in 10. Za zgoraj določene obremenitve smo izračunali potrebno vodoravno armaturo  $A_s = \pm 10,26$  cm<sup>2</sup>/m. Uporabljene so armature palice  $\emptyset 10/7$  cm ( $A_{s,dej} = \pm 11,22$  cm<sup>2</sup>/m), preračunana širina razpoke za izbrano armaturo pa  $w_k = 0,160$  mm.

Zahtevnostni razred	Kratek opis površin	Primeri uporabe
$A_s$	Popolnoma suho	Skladišča za blago, občutljivo na vlago
$A_1$	Pretežno suho	Bivalni prostori, skladišča, kleti, hišna tehnika
$A_2$	Rahlo vlažno	Garaže, hišna tehnika, kotlovnice, prometni objekti
$A_3$	Vlažno	Garaže z dodatnimi ukrepi (drenaža, koritnice)
$A_4$	Mokro	Zunanja lupina dvolupinske izvedbe

Preglednica 1 • Zahtevnostni razredi uporabe objekta (Glatzl, 2009).

na zahtevnostni razred uporabe objekta (določita skupaj projektant in investitor) in razmerje med višino vodnega stolpca, ki pritiska na konstrukcijo in debelino konstrukcije (Meyer, 2007). Za razrede uporabe  $A_s, A_1$  in  $A_2$  lahko štejemo, da so zahteve izpolnjene, če širino razpoke  $w_k$  omejimo v skladu s preglednico 2:

$q_k = 1,5$  kN/m<sup>2</sup>. Prikaz računa armature za omejitev razpok v daljši smeri delovnega takta je na slikah 7 in 8. Vsi izračuni, pomožni izračuni in vhodni podatki so povzeti po (Lochmeyer, 2009).

Račun natezne sile na sliki 7 velja v primeru ravne spodnje ploskve. Račun ne upošteva

A/ Material			
Beton:	C30/37	Jeklo:	S500
$\gamma_c =$	1,00	$\gamma_s =$	1,00
$k_{HW} =$	0,50	$f_{yk} =$	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{ctm} =$	0,290 kN/cm <sup>2</sup>	$f_{yk} =$	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
$E_{cm} =$	3.300 kN/cm <sup>2</sup>	$E_s =$	20.000 kN/cm <sup>2</sup>
Natezna trdnost betona v času največje hidratacije: $f_{ct,eff} = k_{HW} \cdot f_{ctm}$			
		$f_{ct,eff} =$	0,145 kN/cm <sup>2</sup>
B/ Geometrijske karakteristike - pravokotni prerez			
Betonski prerez:			
b =	100,0 cm	$A_{c,eff} =$	1.425,0 cm <sup>2</sup>
h =	60,0 cm	$h_{c,eff} =$	14,3 cm
$c_{nom} =$	5,0 cm	$a_1 =$	5,7 cm
L =	31,0 m	$k_{Tr} =$	0,67
$\phi_s =$	14 mm	... premer armaturnih palic	
C/ Vsiljene obremenitve zaradi trenja s podlago			
Tip podlage (izberi): nasutje iz mešanega materiala 1 plast ločilne PE folije (ploščica 20 cm < h < 80 cm)			
Obtežba za izračun natezne napetosti zaradi trenja:		Koefficient trenja ploščice s podlago:	
$\gamma_B =$	1,35	$\mu_0 =$	1,10
$\gamma_a =$	25,0 kN/m <sup>3</sup>	$\mu_d =$	1,49
$q_k =$	1,5 kN/m <sup>2</sup>	... koristna obtežba na plošči	
Pritisk pod temeljno ploščo: $\sigma_0 = h \cdot \gamma_B + q_k$			
		$\sigma_0 =$	16,5 kN/m <sup>2</sup>
Natezna sila v temeljni plošči na pas širine b: $N_{ct} = \mu_a \cdot \sigma_0 \cdot \frac{L}{2} \cdot b$			
		$N_{ct} =$	379,8 kN
Natezna sila na en sloj armature v širini b (simetrično armiranje): $N_s = \frac{N_{ct}}{2}$			
		$N_s =$	189,9 kN
Natezna sila, pri kateri razpoka efektivni natezni prereza betona: $N_{ct,eff} = A_{c,eff} \cdot f_{ct,eff}$			
		$N_{ct,eff} =$	206,4 kN

Slika 7 • Račun vsiljenih obremenitev zaradi trenja s podlago – temeljna plošča.

Izračun armature je opravljen za višino  $h = 0,25 \cdot H$  od peticje stene v spodnjo ploščo. Izračunana vodoravna armatura se torej vgradi na vsaki strani stene na območju  $0 < h \leq H/4$  spodaj. Od višine  $h = H/4$  proti vrhu stene se potrebna količina vodoravne armature za omejitev razpok zmanjšuje. Manjše ko je razmerje  $L/H$ , hitreje potrebna količina pada. Smiselna je izvedba prekinitvev (z iniciatorji razpok) na razdalji  $H < L < 2 \cdot H$ . Pri tem je H svetla višina stene v eni etaži. Preračun je treba izvesti za vsako kletno etažo posebej. Glede na razmerje  $i = h_w/h_b$  (glej preglednico 2) je lahko največja dovoljena širina razpoke v stenah v vsaki etaži drugačna.

Po načrtu gradbenih konstrukcij so bile v steni predvidene obojestranske mreže Q524 ( $\phi 10/15$  cm,  $A_{sh} = 5,24$  cm<sup>2</sup>/m). S slike 10 je razvidno, da predvidena armatura v območju stene  $h = 0,0$  do 1,10 m ne zadošča, zato je v tem območju potrebna dodatna vodoravna armatura. Do višine stene  $h = H/4 = 0,69$  m moramo v obravnavani etaži dodati po šest palic premera 10 mm obojestransko.

Na območju stene  $h = 0,69-1,10$  m lahko dodatne horizontalne palice postopoma redčimo.

### 3.4 Izvedbeni detajli

Od izvedbenih detajlov je najbolj pomembno tesnjenje vseh delovnih stikov in prebojev. Za tesnjenje obstaja na trgu cela vrsta proizvodov (tesnilnih trakov, tesnilnih mas ...). Tu se bomo omejili na detajle in produkte, ki smo jih uporabili na objektu Stolpnica Peca.

#### 3.4.1 Delovni stiki v temeljni plošči

Temeljna plošča pod stolpoma je izvedena v debelini 150 cm, na ostalem območju pa je debela 60 cm. Višinski skok zaradi spremenljive debeline smo izvedli pod kotom 45°. Na delovnem stiku med posameznima plastema smo vgradili nabrekajoči se tesnilni trak.

Delovni stik med deli plošče smo tesnili z zunanjim tesnilnim PVC-trakom. Stike delovnih taktov je treba načrtovati zunaj območij največjih strižnih in upogibnih obremenitev (ca. na  $\frac{1}{4}$  razpona med stenami oziroma stebri). Pod ploščo smo položili samo PE-folijo s peno za zmanjšanje trenja s podlago. Podložnega

D/ Račun potrebne armature za omejitev širine razpoke			
Največja dovoljena širina razpoke:			
$w_k =$	0,20	mm	
Računska armatura na eni strani betonskega prereza: $A_s = \sqrt{\frac{\phi_s \cdot A_{c,eff}}{3,6 \cdot w_k \cdot E_s}} \cdot (N_s - 0,4 \cdot N_{ct,eff})$			
		$A_s =$	12,19 cm <sup>2</sup> /m
Izbrana armatura:			
s =	12,5	cm	... osni razmik palic
$\phi_s =$	14	mm	... izbrani premer palic
n =	8,00		... število palic na širino b
Dejanska armatura: $A_{s,dej} = \phi 14$ mm / 12,5 cm $A_{s,dej} = 12,32$ cm <sup>2</sup> /m OK!			
Omejitev nateznih napetosti v armaturi glede na izbrani $\phi_s$ :			
$\sigma_s = \frac{N_s}{A_{s,dej}}$	$\sigma_s =$	15,4	kN/cm <sup>2</sup>
		$\phi_s^* =$	30,6 mm
Največji dovoljen premer arm. palic: $\phi_{s,dov} = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}}$			
		$\phi_{s,dov} =$	14,8 mm
		OK!	
E/ Račun dejanske širine razpoke			
Efektivna stopnja armiranja: $\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$			
		$\rho_{eff} =$	0,00864
Čas največje hidratacije: $t(T_{max}) = 24 \cdot (0,8 \cdot h + 1)$			
		$t(T_{max}) =$	35,5 ur
		$\alpha_{c,t}(t) =$	0,79
Razmerje elastičnih modulov $\alpha_e = \frac{E_s}{\alpha_{c,t} \cdot E_{cm}}$			
		$\alpha_e =$	7,63
Razlika deformacije armature in povprečne deformacije betona med razpokami: $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$			
		$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	0,000414
		$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} \geq$	0,000463
Največja razdalja med razpokami: $S_{r,max} = \frac{\phi_s}{3,6 \cdot \rho_{eff}} \leq \frac{\sigma_s \cdot \phi_s}{3,6 \cdot \rho_{eff}}$			
		$S_{r,max} =$	45,0 cm
		$S_{r,max} \leq$	41,4 cm
Izračunana širina razpoke: $w_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$			
		$w_k =$	0,192 mm

Slika 8 • Račun potrebne armature za omejitev širine razpok in dejanske širine razpok – temeljna plošča.

betona nismo uporabili, betoniranje se je opravilo neposredno na utrjen in izravnani tamponski nasip, prekrit s folijo.

#### 3.4.2 Delovni stiki plošče-stene proti terenu

V delovni stik temeljna plošča-stena proti terenu smo vgradili kovinski tesnilni trak z veznim nanosom (posipom) proti zunanji, mokri strani. Kovinski trak se namesti približno na sredini debeline stene.

Na delovnem stiku, kjer nalegajo na steno medetažne plošče, smo na vrhu sten vgradili nabrekajoči se tesnilni trak, prilepljen na beton, z namensko nabrekajočo tesnilno maso. Nad medetažnimi ploščami smo, tako kot pri temeljni plošči, vgradili kovinski tesnilni trak.

#### 3.4.3 Vertikalni delovni stik stena-stena, iniciatorji razpok

Dolžina delovnih taktov sten znaša ca. 16-20 m. Na delovnih stikih stena-stena smo vgradili enake kovinske tesnilne trakove kot pri stiku plošča-stena, le da so tu vgrajeni vertikalno. Ker so enkratno betonirani delovni takti dolgi ( $L/H = 7 > 2$ ), se na vsake 4 m stene vgradijo vertikalni iniciatorji razpok za

B/ Geometrijske karakteristike - pravokotni prerez			
Betonski prerez:			
b =	100,0	cm	... širina obravnavanega pasu
h =	30,0	cm	... debelina
c <sub>nom</sub> =	4,0	cm	... krovni sloj (ZUNANJI SLOJ)
Ø <sub>s</sub> =	10	mm	... premer armaturnih palic
L =	4,00	m	... dolžina delovnega takta
H =	2,76	m	... višina stene
A <sub>ce,eff</sub> =	1.125,0	cm <sup>2</sup>	
h <sub>ce,eff</sub> =	11,3	cm	
a <sub>s</sub> =	4,5	cm	
L/H =	1,45		
k <sub>ct,d</sub> =	0,42		
k <sub>iv</sub> =	0,50		
C/ Vsiljene obremenitve zaradi hidratacije			
Čas največje hidratacije: $t(T_{max}) = 24 \cdot (0,8 \cdot h + 1)$			
		t(T <sub>max</sub> ) =	29,8 ur
Povišanje temperature med hidratacijo:			
$\Delta T_{b,H} = \alpha_b \cdot \frac{Z \cdot Q_H}{C_{co}}$			
		ΔT <sub>b,H</sub> =	16,4 K
Začetne temperature:			
T <sub>co</sub> =	18,0	°C	... temp. svežega betona
T <sub>p</sub> =	12,0	°C	... temp. plošče pod steno
Cement:	42,5 N		... tip uporabljenega cementa
C <sub>co</sub> =	2.500	kJ/(m <sup>3</sup> K)	
Modul elastičnosti betona pri t(T <sub>max</sub> ):			
E <sub>ct</sub> =	2.383	kN/cm <sup>2</sup>	
E <sub>co,t</sub> =	2.688	kN/cm <sup>2</sup>	
α <sub>b</sub> =	0,73		
Q <sub>H</sub> =	176	kJ/kg	
Srednja temperatura v steni: $T_{b,m} = k_{Tp} \cdot T_{co} + \Delta T_{b,H}$			
		T <sub>b,m</sub> =	25,4 °C
Učinkovita temperaturna razlika: $\Delta T_{b,W-F} = T_{b,m} - T_p$			
		ΔT <sub>b,W-F</sub> =	13,4 K
Izračun nastalih vsiljenih napetosti na dnu stene pri t(T <sub>max</sub> ): $\sigma_{ct} = k \cdot \alpha_T \cdot E_{ct} \cdot \Delta T_{b,W-F}$			
		σ <sub>ct</sub> =	0,319 kN/cm <sup>2</sup>
		α <sub>T</sub> =	0,000010 K <sup>-1</sup>
		σ <sub>ct,d</sub> =	0,133 kN/cm <sup>2</sup>
Natezna sila v steni: $N_{ct} = \sigma_{ct,d} \cdot A_c$			
		N <sub>ct</sub> =	400,0 kN
Natezna sila na en sloj armature v širini b (simetrično armiranje): $N_s = \frac{N_{ct}}{2}$			
		N <sub>s</sub> =	200,0 kN
Natezna sila, pri kateri razpoka efektivni natezni prereza betona: $N_{ct,eff} = A_{ct,eff} \cdot f_{ct,eff}$			
		N <sub>ct,eff</sub> =	162,9 kN

Slika 9 • Račun vsiljene obremenitve zaradi hidratacije – stene.

zmanjšanje računске dolžine taktov (L/H = 1,45). Na delovnih stikih in na mestih iniciatorjev razpok se betonski prerez dodatno oslabi z vgradnjo vertikalnih trikotnih oz. trapeznih letvic v opaž.

### 3.4.4 Preboji inštalacij

Treba je zatesniti vse preboje inštalacij preko AB-kletnega ovoja. Pri naknadno vgrajenih ceveh preko sten ali temeljnih plošč se lahko uporabi npr. gumijasta tesnilna prirobnica.

### 3.4.5 Križanja

Na mestih križanj več delovnih stikov je treba posamezne tesnilne trakove spajati med seboj. Pri križanju delovnega stika dveh taktov temeljne plošče in stika plošča-stena morata biti zunanji tesnilni PVC-trak in notranji jekleni tesnilni trak pravilno spojena med seboj. Zaradi goste armature na območju stika so ta križanja še posebej zahtevna za izvedbo.

### 3.4.6 Tesnjenje lukenj od vezav opaža

Večinoma je bil na objektu za izdelavo obodnih sten uporabljen enostranski opaž, kjer ni lukenj zaradi vezave opaža. Pri dvostran-

skem opažu je treba vgraditi razporne elemente stenskega opaža iz mikroarmiranega betona, ki se po razopaženju obojestransko tesnijo z vlaknocementnimi čepi, lepljenimi z epoksidnim lepilom. Če se uporabljajo razporni PVC-elementi, se morajo pred začetnitvami s čepi izbiti.

### 3.5 Izvedba na terenu, vgrajevanje in nega betona, kontrola kakovosti

Za uspešno gradnjo in funkcioniranje vodoneprepustnih konstrukcij je treba pri pripravi na gradnjo in pri gradnji dosledno upoštevati vsa v prejšnjih poglavjih podana dejstva.

Pred betoniranjem vodoneprepustne konstrukcije je pomembno, da je opaž dobro pripravljen:

- pripravljeni in očiščeni so vsi delovni stiki, ki bodo izvedeni vodotesno,
- pravilno vgrajeni in na mestih križanj spojeni tesnilni trakovi,
- ustrezno mora biti nameščena vsa potrebna armatura.

Za betoniranje je pomembno, da se ne izvaja v mrazu ali preveliki vročini. Podlaga (predvsem pri betoniranju sten) ne sme

biti bistveno hladnejša od vgrajene sveže mešanice betona. Beton ne sme padati na mesto vgradnje z višine višje od 1,50 m. Za vgrajevanje v stene je nujna uporaba kontraktorja. Od izdelave betonske mešanice v betonarni do vgradnje na gradbišču mora preteči čim manj časa.

Po končanem betoniranju je treba beton intenzivno negovati vsaj v času prvih 3–5 dni:

- površina betona mora biti stalno vlažena in zaščitena proti izhlapevanju,
- v hladnejših obdobjih je treba beton zaščititi pred mrazom in vetrom, v toplih dneh pa pred vročino (pokrivanje s PE-folijo in gradbenim filcem).

Pomembno je planiranje kakovosti med pripravo na delo in izvajanje strokovne interne kontrole kakovosti med gradnjo. Ključ do kakovostne in uspešne izdelave vodoneprepustnih betonskih konstrukcij je širjenje izkušenj in strokovno ozaveščanje vseh, ki sodelujejo pri gradnji. Vsi sodelujoči morajo razumeti, da je za funkcionalnost celotne konstrukcije pomembna skrbna izvedba vsakega detajla in faze dela.

F/ Razporeditev potrebne horizontalne armature za omejitve širine razpok vzdolž višine stene H			
Potrebna armatura na višini 0,25·H od tal:			
A <sub>s</sub> =	10,26	cm <sup>2</sup> /m	
L/H =	1,45		
Dimenzije stene:			
L =	4,00	m	
H =	2,76	m	
Potrebna armatura glede na višinoVišina od tal:			
x/H	h [m]	E <sub>ct,d</sub> /E <sub>ct</sub> (L/H)	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> /m]
0,00	0,00	1,00	10,26
0,20	0,55	0,42	10,26
0,25	0,69	0,32	10,26
0,30	0,83	0,23	7,36
0,40	1,10	0,16	5,16
0,60	1,66	0,05	1,74
0,80	2,21	0,00	0,00
1,00	2,76	0,00	0,00
Razpored potrebne horizontalne armature (na eni strani stene):			

Slika 10 • Razporeditev armature po višini stene.



## 4 • ZAKLJUČEK

Gradnja vodoneprepustne konstrukcije po načelu bele kadi kljub razmeroma preprosti konstrukciji zahteva obsežno načrtovanje in skrbno obdelavo. Že v zgodnji fazi projekta mora investitor potrditi izbran način zaščite objekta pred talno vlago in definirati razred zahtevnosti za vodoneprepustnost konstrukcije. Kot večina sistemov ima tudi konstrukcija po načelu bele kadi svoje prednosti in slabosti. Prednosti vodoneprepustne konstrukcije po načelu bele kadi:

- manj napak v konstrukciji zaradi manj faz dela in večjega nadzora pri izvedbi,
- betonska konstrukcija prevzame hkrati nosilno in tesnilno funkcijo, zato je bolj izkoriščena,
- zaradi zahtevane večje kvalitete vgradnje betonskih mešanic in omejitve širine razpok je »stranski učinek« bele kadi tudi kvalitetnejša izvedba vidnih betonov,
- prihranek pri stroških gradnje in krajši čas gradnje,
- enostavna ugotovitev lokacije in izvedba sanacije morebitnih mest zamakanj, saj

se le-ta pojavijo točno na mestu napake. Sanacija morebitnih napak je enostavna (injektiranje razpok, krpanje segregacijskih gnezd),

- ni nevarnosti poškodb hidroizolacije med izvedbo kasnejših del,
- manjši stroški vzdrževanja (vodotesnosti) objekta.

Slabosti vodoneprepustne konstrukcije po načelu bele kadi:

- zahtevnejše projektiranje in zahteva po večji kvaliteti izvedbe betonske konstrukcije,
- zahtevano popolno tesnjenje stikov in prebojev s posebnimi konstrukcijskimi elementi,
- dimenzije gradbenih elementov, opažev in armature morajo biti podrejene zahtevam betonskih del,
- dražje betonske mešanice (PV-II, pogosto zahtevani betoni z zmanjšano hidratacijo – LH-cementi ali posebni dodatki za zmanjšanje krčenja in sproščanja hidratacijske toplote),
- vezava opažev mora biti vodotesna,

- zahtevna izvedba naknadnega dolbenja oz. prebijanja konstrukcije, predvsem z vibracijskimi orodji, poveča se tveganje za vdor vode in vlage,
- upoštevati je treba dejstvo, da v neprepustnem betonu stalno poteka proces kapilarnega transporta vlage in se znotraj prostorov povečuje relativna vlažnost zraka, kar je treba upoštevati pri namembnosti notranjih prostorov,
- pomanjkanje izkušenj in celovitega poznavanja načela bele kadi med gradbeno stroko v Sloveniji.

Gledano z ekonomskega vidika, so vodoneprepustne konstrukcije ugodne. Res je, da moramo vgraditi v konstrukcijo več armature, tesnila na vseh stikih in iniciatorje razpok, vendar nam v primerjavi s črno kadjo odpadejo drage HI-membrane ter zahtevna priprava površin za vgradnjo slednjih. Poleg manjših stroškov na strani vgrajenih materialov se pri izvedbi bele kadi delno zmanjšajo tudi stroški režije gradbišča, saj zaradi odpadle faze izvedbe HI-dela napredujejo hitreje. Lažje je dosegati vse krajše roke za izgradnjo objekta, ki jih zahtevajo investitorji.

## 5 • LITERATURA

- Beg, D., Pogačnik, A., Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih, Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, 2009.
- Glatz, J., Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen, Dunaj, Österreichische Vereinigung für Beton-und Bautechnik, 2009.
- Lanel Invest d.o.o., <http://www.pecaprojekt.si/slv/opis>, 2020b.
- Lohmeyer, G., Ebeling, K., Weiße Wannen – einfach und sicher, Düsseldorf, Verlag Bau+Technik GmbH, 2009.
- Meyer, D., Meyer, R., Rissbreitenbeschränkungen nach DIN 1045, Diagramme zur direkten Bemessung, Düsseldorf, Verlag Bau+Technik GmbH, 2007.
- SIST DIN 18195-4:2012, Tesnjenje objektov – 4. del: Tesnjenje pred talno vlago (kapilarna vlaga) in ponikajočo vodo, ki ne zastaja, na talne plošče in stene, dimenzioniranje in izvedba, 2012a.
- SIST DIN 18195-6:2012, Tesnjenje objektov – 6. del: Tesnjenje pred pritiskajočo zunanjo vodo in pronicajočo vodo, ki zastaja, dimenzioniranje in izvedba, 2012.
- SIST EN 1992-1-1: 2005, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij– 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005.

# GRADNJA PODZEMNIH POVEZAV MED NOVIM PODZEMNIM OBJEKTOM IN KLETNIMI PROSTORI STARE GROFIJE V CELJU – ZAŠČITA IZKOPOV IN IZVEDBA GRADNJE

## CONSTRUCTION OF CONNECTION CORRIDORS BETWEEN A NEW UNDERGROUND OBJECT AND THE CELLAR OF STARA GROFIJA IN CELJE - DETERMINATION OF EXCAVATION PROTECTION MEASURES AND CONSTRUCTION OF CORRIDORS

**dr. Bojan Čas, univ. dipl. inž. grad.**

bojan.cas@fgg.uni-lj.si  
UL, FGG, Jamova 2, Ljubljana

**dr. Jurij Šporin, univ. dipl. inž. rud. in geoteh.**

jurij.sporin@ntf.uni-lj.si  
UL, NTF, Aškerčeva 12, Ljubljana

**Strokovni članek**

UDK 625.712.3(497.4Celje)

**Povzetek** | V letu 2017 je Mestna občina Celje pričela z izvedbo projekta zaščite arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju. Zaščita arheoloških ostalin je bila opravljena z gradnjo podzemnega objekta, ki je zajemal tudi gradnjo dveh podzemnih povezav s kletnimi prostori zgradbe Stara grofija, v kateri je nastanjen Pokrajinski muzej Celje. Podzemne povezave med novim objektom in kletnimi prostori Stare grofije so umeščene pod območjem konstrukcijsko občutljivih zunanjih arkadnih hodnikov. Na podlagi geotehničnega mnenja, analiz obstoječe stavbe ter deloma že zgrajenih konstrukcij novega podzemnega objekta so bili podani konstrukcijski ukrepi za zagotovitev varnosti in stabilnosti severnih in zahodnih zunanjih arkadnih hodnikov zgradbe Stara grofija med izkopnimi deli. V članku so opisani načrtovanje, tehnološki postopki in gradnja obeh podzemnih povezav v zelo omejenem in konstrukcijsko občutljivem prostoru zgradbe Stara grofija po t. i. sistemu »cut & cover«.

Ključne besede: podzemna hodnik, varovalne konstrukcije, »cut & cover«, rekonstrukcija

**Summary** | In 2017, the Municipality of Celje launched a project for the protection of archaeological remains in the Muzejski trg area in Celje. The protection of archaeological remains was carried out by constructing an underground facility that included two connections to the basements of the Stara grofija, where now the Celje regional museum is located. The underground connections between the new building and the basements of the Stara grofija are situated under the old arcade corridors and stairways, the construction of which is structurally very sensitive. Construction protection measurements, to ensure structural stability and safety of northern and western arcaded corridors of existing

museum building, were determined by preliminary static calculations and geotechnical inspection of the location. In the article, the planning, technological approach and excavation works executed in very limited and structurally sensitive space, based on "cut & cover" principle, are presented.

Key words: adhesive, bonded joint, timber, glass

## 1 • UVOD

V letu 2017 je Mestna občina Celje pričela z gradnjo podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju (slika 1) (Navor, 2017). Arheološka izkopavanja ter gradbena dela za izvedbo podzemnega objekta in povezovalnih hodnikov so se iz-

izvedeni pod sistemom konstrukcijsko zelo občutljivih zunanjih arkadnih hodnikov omenjene zgradbe.

Da bi bilo mogoče podzemni povezavi strokovno korektno in varno izvesti, predvsem v smislu zagotavljanja mehanske od-



Slika 1 • Arheološke ostaline na Muzejskem trgu v Celju.

vajala v neposredni bližini obstoječe zgradbe Pokrajinskega muzeja Celje, ki se imenuje tudi Stara grofija. Nad zgrajenim podzemnim objektom za zaščito arheoloških ostalin sta se po končanih delih uredili pohodna in povozna površina Muzejskega trga.

Zgradba Stara grofija je stara več stoletij. V preteklosti je bila večkrat konstrukcijsko preurejena z izvedenimi prezidavami in dozidavami. Zgradba ima v osnovi zgrajeno klet, pritlične prostore, prostore nadstropja ter podstrešne prostore, na Muzejski trg sta orientirana zahodni ter severni arkadni hodnik s stopniščem. Temeljenje arkadnih stebrov je izvedeno na nivoju stropne konstrukcije nad kletnimi prostori.

V sklopu novega podzemnega Objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu je bila predvidena gradnja podzemne povezave z južnim traktom kletnih prostorov zgradbe Stara grofija. Po odločitvi naročnika sta se zasnovali (Korpnik, 2018a) in zgradili dve (južna in vzhodna) podzemni povezavi, s katerima se je novozgrajeni podzemni objekt povezal s kletnimi prostori Stara grofija (slika 2). Podzemni povezavi sta bili zasnovani in

pornosti, stabilnosti ter preprečitve nastanka konstrukcijskih poškodb elementov zunanjih arkadnih hodnikov, je bilo predhodno izdelano geotehnično mnenje o mikrolokaciji območja (Geosolut, 2018), ob tem pa izvedena statična presoja stanja obstoječih arkadnih

hodnikov (Korpnik, 2018b) skladno z veljavno zakonodajo ((SIST EN 1990, 2004), (SIST EN 1991-1-1, 2004), (SIST EN 1992-1-1, 2005), (SIST EN 1997-1, 2005)). Poleg navedenega so bile opravljene tudi računske analize in dimenzioniranje elementov obeh podzemnih povezav (Korpnik, 2018b). Na podlagi geotehničnega mnenja ter rezultatov računskih analiz so bili definirani tehnologija izkopa in konstrukcijski ukrepi za zagotovitev varnosti in stabilnosti severnega in zahodnega arkadnega hodnika zgradbe Stara grofija med predvidenimi gradbenimi posegi.

Ob pričetku izdelave projektne dokumentacije za izvedbo podzemnih povezav so dela na objektu za zaščito arheoloških ostalin prehajala v zaključno fazo gradnje nosilnih konstrukcij. Na podlagi opravljenih računskih analiz (Korpnik, 2018b), ob navezavi na že izdelano dokumentacijo (Navor, 2017), ter ob konstruktivni koordinaciji s projektantom objekta za zaščito arheoloških ostalin je bilo mogoče prilagoditi izvedbo vzhodne armiranobetonske stene osnovnega podzemnega objekta tako, da so se sočasno z izvedbo stene izvedle tudi kasneje potrebna odprtina v omenjeni steni ter varovalne konstrukcije arkadnih hodnikov. Te varovalne konstrukcije so bile potrebne v kasnejših fazah izkopa vzhodne podzemne povezave.



Slika 2 • Pogled na zahodni in severni arkadni hodnik zgradbe Stara grofija, gradbišče objekta za zaščito arheoloških ostalin, ter z rdečima puščicama nakazani smeri vzhodne in južne podzemne povezave.



## 2 • IZVEDBA VAROVALNIH KONSTRUKCIJ OBSTOJEČE ZGRADBE

### 2.1 Geotehnična sestava temeljnih tal

Predvidene geološko-geotehnične preiskave so predvidevale izvedbo vsaj ene geomehan-

zaradi že izvedenih gradbenih konstrukcij v neposredni bližini predvidenih izkopov, heterogenih nasutij ter zaradi obstoja arheoloških



Slika 3 • Temeljna tla na območju temeljenja stebrov arkadnih hodnikov.

ske vrtnice ter več preiskav s penetrometrom za določitve geološke sestave terena in geomehanskih lastnosti zemljin in hribin, ki nastopajo na tem območju (slika 3). Predvsem

objektov (antični in srednjeveški zidovi), ki so bili odkriti na območju posega, predvidene preiskave ne bi imele posebnega smisla, saj bi bili rezultati le-teh nereprezentativni in ne bi

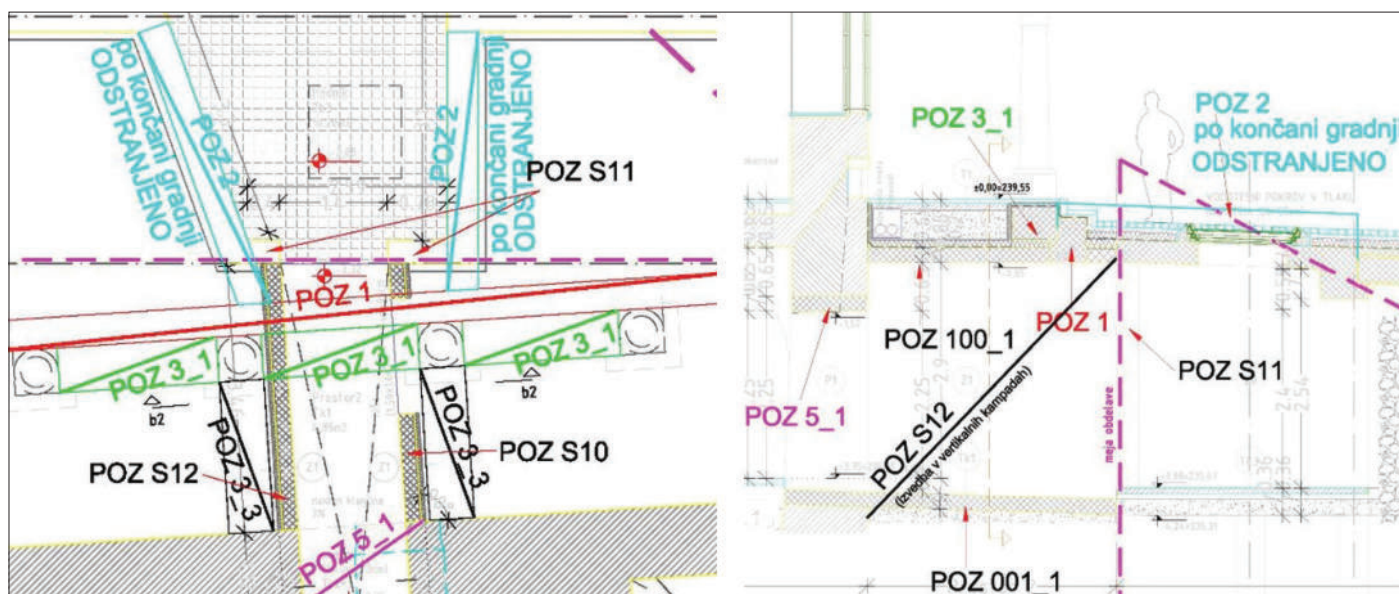
prikazovali dejanskega stanja tal neposredno pod temeljnimi nastavki stebrov arkad. Tako je bilo v smislu geološko-geotehničnih lastnosti prostora, v katerega smo posegali, upravičeno pričakovati, da bomo med izvedbo del naleteli na precej heterogene oziroma spreminjajoče se lastnosti temeljnih tal.

### 2.2 Južna podzemna povezava

Način varovanja temeljev pritrilčnih stebrov severnega arkadnega hodnika je temeljil na gradnji armiranobetonskih varovalnih konstrukcij, ki so se opirale na že zgrajene armiranobetonske konstrukcije podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu. Izkoristili smo že izdelani armiranobetonski podzemni podaljšek (dva armiranobetonska pilota premera 40 cm, vkopane stene debeline 40 cm, stropna plošča debeline 30 cm s stropno odprtino) podzemnega objekta v smeri proti jugu, ki je predstavljal nastavek za izvedbo južne podzemne povezave.

Pred začetkom izvajanja izkopov so zgradili:

- zaščitno armiranobetonsko povezovalno gredo POZ 1 (b/h = 40/60 cm) za bočno stabilizacijo štirih temeljev arkadnega hodnika v območju izkopov,
- dve prečni oporni armiranobetonski gredi POZ 2 (b/h = 40/60 cm), ki sta se preko vgrajenih vertikalnih sider povezali s predhodno izvedenimi armiranobetonskimi stenami podzemnega objekta,
- razpiralne armiranobetonske grede POZ 3\_1 in POZ 3\_3, ki so se izdelale po odkopu temeljev arkadnih stebrov in so se z vgradnjo sider povezale z obstoječimi točkovnimi temeljnimi nastavki stebrov

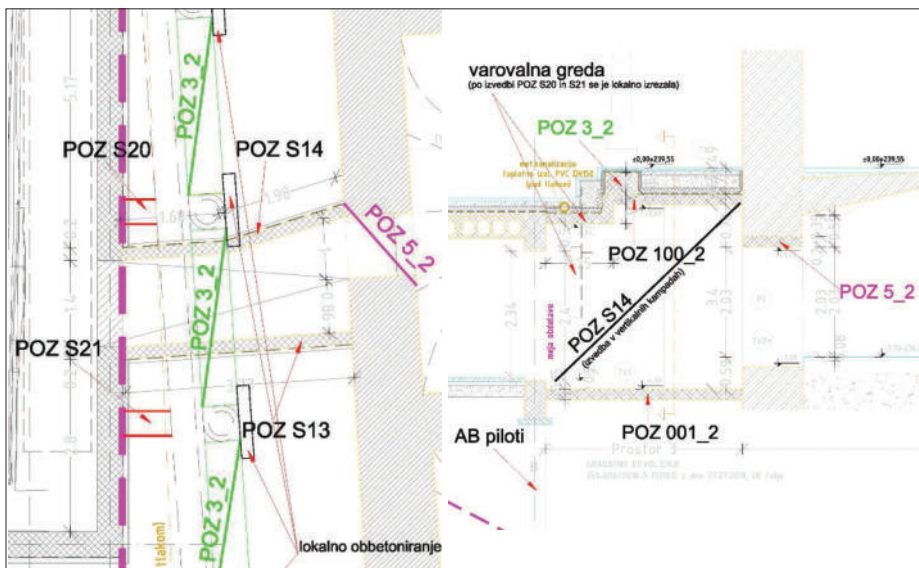


Slika 4 • Pozicije varovalnih konstrukcij (tloris in prerez) obstoječe zgradbe ob gradnji južne podzemne povezave.





Slika 5 • Armiranobetonski varovalni gredi, izvedeni v dveh nivojih, povezani preko pasivnih sider z obstoječim kletnim zidovjem Stare grofije.



Slika 6 • Pozicije varovalnih konstrukcij (tloris in prerez) obstoječe zgradbe ob gradnji vzhodne podzemne povezave.

arkadnega hodnika in obstoječim zidovjem zgradbe Stara grofija (slika 4).

### 2.3 Vzhodna podzemna povezava

Prav tako se je tudi ob gradnji vzhodne podzemne povezave najprej pristopilo k izvedbi varovanja temeljenja pritičnih stebrov zahodnega arkadnega hodnika.

Dodajmo, da sta se ob gradnji podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na vzhodni strani gradbene jame z namenom varovanja obstoječega temeljenja pritičnih stebrov arkadnega hodnika že predhodno v dveh nivojih izvedli varovalni horizontalni gredi prečnih dimenzij okvirno  $b/h = 20/120$  cm, ki sta se s pomočjo 11 pasivnih jeklenih sider  $\phi 32$  mm povezali s kletnim zidovjem vzhodnega dela zgradbe Stara grofija (slika 5).

Varovanje temeljenja pritičnih stebrov zahodnega arkadnega hodnika je temeljilo na:

- prilagoditvi lokacij izvedbe armiranobetonskih pilotov premera 40 cm pod vzhodno armiranobetonsko obodno steno objekta za zaščito arheoloških ostalin, ki so bile predhodno usklajene s projektantom navedenega objekta (Navor, 2017),
- gradnji dveh krajših, prečnih povezovalnih armiranobetonskih sten (POZ S20 in POZ S21), ki sta zagotovili prenos obtežb temeljnih nastavkov arkadnih stebrov na v prejšnji alineji omenjeni sistem armiranobetonskih pilotov pod obodnimi stenami osnovnega podzemnega objekta, in
- izdelavi razpiralnih armiranobetonskih gred POZ 3\_2, ki so se izvedle po odkopu temeljev arkadnega hodnika (slika 6).

## 3 • TEHNOLOGIJA GRADNJE PODZEMNIH POVEZAV

Izbrano tehnologijo gradnje podzemnih povezav so določali:

- ugotovitve geološko-geotehničnega pregleda (Geosolut, 2018) mikrolokacije območja posega,
- opravljena statična presoja stanja obstoječih arkadnih hodnikov,
- opravljene računske analize in dimenzioniranje obeh podzemnih povezav (Korpnik, 2018b) ter
- kulturno varstveni pogoji, ki jih je izdal Javni zavod RS za varstvo kulturne dediščine, Območna enota Celje.

Zaradi izjemnih preteklih arheoloških odkritij v območju posega sta bili izbrani tehnologija izkopa podzemnih povezav in dinamika napredovanja del ves čas gradnje, usklajevana

z Javnim zavodom RS za varstvo kulturne dediščine, Območna enota Celje.

Vsa dela, potrebna za gradnjo podzemnih povezav, so se izvajala z uporabo tehnologij in orodij, ki so vnašala kar najmanjše vibracije v bližnje okolico. Tako so bili uporabljeni ročna pnevmatska kladiva, tehnologija rezanja betonov ter kamnitega in opečnega gradiva z diamantnimi žagami in verigami, izkopi pa so se izvajali ročno. Predhodno je bila naročniku predstavljena ter z njegove strani potrjena izvedba podzemnih povezav po t. i. pristopu »cut & cover« z izkopi po vertikalnih kampadah od pohodnega nivoja v območju pritičja proti dnu predvidenega izkopa s sprotno izvedbo varovalnih in nosilnih vertikalnih konstrukcij. Po opravljenem

izkopu je bila v končni fazi predvidena še izvedba horizontalnih nosilnih konstrukcij, in sicer armiranobetonska temeljna in stropna plošča z navezavo na obstoječe kletne konstrukcije zgradbe Stara grofija in objekta za zaščito arheoloških ostalin.

Ob izdelavi projekta za izvedbo je bila predvidena gradnja podzemnih povezav, ki bi se izvajale v devetih zaporednih fazah:

1. Gradnja varovalnih konstrukcij temeljev arkadnih stebrov (slika 7)
2. Gradnja prve kampade (slika 8):
  - ročni izkop do globine največ 1 m,
  - takojšen obrizg z brizganim betonom bočnih izkopnih površin v debelini 5 cm s predhodno vgradnjo armaturne mreže Q335,
  - fina obdelava vertikalnih betonskih površin pred vgradnjo hidroizolacijskega sloja,



Slika 7 • Odkop temeljnih nastavkov arkadnih stebrov za izvedbo varovalnih konstrukcij.

- izvedba vertikalne hidroizolacije z bitumenskim varilnim trakom s spodvihanimi spodnjimi robovi na mestu preklopa slojev v globljih fazah izkopa,
- izvedba zaščite hidroizolacijskega sloja z vgradnjo sloja toplotne izolacije, npr. XPS, v debelini 3 cm,
- izdelava enostranskega opaža in betoniranje armiranobetonskih sten povezave debeline 20 cm z betonom kvalitete C25/30 z obojestranskim armiranjem v vertikalni in horizontalni smeri s palicami premera  $\phi 10$  mm/15 cm. Pri tem se navpične armaturne palice kampade, ki se gradi, vgradijo 40 cm pod dno izkopa. Ti »podaljški palic« opravljajo funkcijo navpičnih povezav med posameznimi vertikalnimi kampadami. Posamezne

kampade sten se sidrajo v oba obstoječa objekta (v novozgrajeni podzemni objekt za zaščito arheoloških ostalin ter v obstoječe kletno zidovje Stare grofije) s sidri premera  $\phi 14$  mm/25 cm. Sidra se vgradijo v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo epoksidnih malt (sidranje v armiranobetonske konstrukcije) oziroma z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt (sidranje v kamnito zidovje). Ob izvedbi globljih kampad se opravi tudi ročno zametovanje območja stika kampad sten višine okvirno 10 cm z nabrekajočim betonom (agregat 0–8 mm) ter injektiranjem kontaktov z nabrekajočo cementno suspenzijo,

- po vezavi vgrajenih betonov sledita odstranitev enostranskih opažev ter takojšnja



Slika 8 • Pričetek izkopa prve vertikalne kampade južne podzemne povezave.

izvedba prečnega razpiranja vertikalne kampade sten s kovinskimi razporami.

3., 4., 5. Gradnje druge tretje in četrte kampade

- v času, predvidenem za doseganje trdnosti vgrajenih betonov armiranobetonskih sten 1. vertikalne kampade, se ponovijo postopki, opisani v 2. fazi gradnje podzemnih povezav v 2. vertikalni kampadi ter na enak način ob nadaljevanju izkopa do dokončanja izvedbe 4. vertikalne kampade izkopa (slike 9, 10 in 11).

6. Gradnja temeljne plošče podzemne povezave

Ta faza obsega naslednja dela:

- izvedba 40 cm sloja komprimiranega izravnalnega nasutja, možna izvedba tudi



Slika 9 • Območje izkopa globljih vertikalnih kampad podzemnih povezav.



Slika 10 • Izkop globljih vertikalnih kampad, vidni so injekcijski nastavki, preko katerih se je injektiralo med izkopi odkrito kamnito-opečno gradivo.





Slika 11 • Izkop globljih vertikalnih karnadov, vidni so ostanki stropnega oboka srednjeveške kleti ter lokalno izžagano kamnito-opečno gradivo.



Slika 12 • Strojni izrez armiranobetonskih in prehodno injektiranih opečno-kamnitih zidov.

#### 4 • MONITORING IN PROJEKTANSKI NADZOR

Pred pričetkom opravljanja del se je vzpostavil monitoring spremljanja stanja konstrukcijsko občutljivih elementov v območju posegov, ki se je izvajal ves čas gradnje. Sistem kontrolnih plombic, izdelanih iz fine, s polimeri modificirane malte, smo namestili preko karakterističnih razpok v obstoječem zidovju zgradbe Stara grofija (slika 13). Naročnik je med izkopi zagotavljal izvajanje geodetske spremljave nekaterih stebrov arkadnih hodnikov. Med izvedbo se je napredovanje del spremljalo

in sprotno usklajevalo tudi z rednim projektantskim nadzorom. Navedeno navajamo kot primer dobre prakse, saj zaradi dodatnega stroška naročniki monitoring vplivnega območja gradnje prepogosto opustijo. Kot se je izkazalo, je izvedba monitoringa predstavljala upravičen strošek, saj se je zaradi ugotovljene ugodnejše sestave temeljnih tal in na osnovi rezultatov monitoringa racionalizirala gradnja v smislu opuščanja določenih varovalnih in podpornih ukrepov, kar je posledično omo-

s t. i. pustim betonom kvalitete C16/20 v debelini 10 cm,

- izvedba horizontalne hidroizolacije z bitumenskim varilnim trakom,
- betoniranje armiranobetonске temeljne plošče debeline 25 cm, beton kvalitete C25/30, armiran z armaturno mrežo  $\pm Q503$ , vključno s sidranjem v obstoječe kletno zidovje s sidri  $\phi 14$  mm/25 cm, vgrajenimi v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt.

#### 7. Gradnja stropne plošče

V tej fazi se opravijo opaženje, armiranje in betoniranje stropne armiranobetonске plošče debeline 25 cm, beton kvalitete C25/30, armiran z armaturno mrežo  $\pm Q503$ , vključno s sidranjem v kletno zidovje Stare grofije s sidri premera  $\phi 14$  mm/25 cm, vgrajenimi v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt.

#### 8. Gradnja prehoda med podzemno povezo in kletjo Stare grofije

V tej fazi sta bila predvidena izvedba sistematičnega injektiranja območja preboja v kamnitem kletnem zidu Stare grofije ter strojni izrez odprtin z žaganjem z diamantnimi orodji, zidovi debeline okvirno 1,1 m. Sledil je strojni izrez preboja z žaganjem z diamantnimi orodji v armiranobetonски oporni konstrukciji povprečne debeline 35–40 cm, ki začasno podpira konstrukcije Stare grofije (slika 12).

9. V zadnji fazi se opravijo zaključna zidarska dela (ometi na notranjih površinah armiranobetonских konstrukcij izvedenih podzemnih povezav), zaključna obrtniška in zemeljska dela.

gočilo precejšnje zmanjšanje stroškov sicer zahtevnih gradbenih posegov.



Slika 13 • Nameščene kontrolne plombice preko karakterističnih razpok v obodnem zidovju in obokanih stropih arkadnih hodnikov Stare grofije.

## 5 • GRADNJA

Ob gradnji se je izkazalo, da je prostor, v katerega smo z izkopi posegali, bistveno stabilnejši in kompaktnjši, kot je bilo mogoče pričakovati na osnovi preliminarnih geotehničnih ocen. Tako je bilo ob napredovanju izkopov ugotovljeno, da so temeljni nas-

tavki arkadnih stebrov vgrajeni na mešano kamnito opečno gradivo. Ob gradnji južne podzemne povezave so se odkrile tudi ostaline srednjeveške obokane kleti. Na podlagi ugotovljenega je bilo mogoče do določene mere poenostaviti prvotno predviden rela-

tivno zahteven tehnološki postopek izvedbe del. Tako se je, v dogovoru z odgovornim nadzornikom in naročnikom, opustilo varovanje bočnih izkopnih površin z brizganimi betoni, opustili so se tudi hidroizolacijski sloji, ki bi sicer zahtevali precej natančno obdelavo predvsem na vertikalnih preklonih posameznih izkopnih kampad.



Slika 14 • Pogled navzgor na arkade in izvedene varovalne konstrukcije iz izkopnega prostora in pogled na dno izkopa vzhodne podzemne povezave.

## 6 • ZAKLJUČEK

V članku smo predstavili načrtovanje, tehnološke postopke izkopa ter izvedbo dveh podzemnih povezav (slika 15), ki služita komunikaciji med kletnimi prostori zgradbe Stara grofija z novozgrajenim objektom za

zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju (slika 16). Načrtovanje gradbenih posegov je pomenilo precejšen tehnološki izziv, saj obe podzemni povezavi potekata v območju konstrukcijsko občutljivih

zunanjih arkadnih hodnikov zgradbe Stara grofija. Poleg navedenega se je izvedba del prilagajala navodilom stalnega arheološkega nadzora, saj smo imeli opraviti s posegi v območjih najdišča izjemnih arheoloških ostalin. Te so bile dodatno odkrite med izvajanjem izkopov, nekatere med njimi tudi odstranjene za restavriranje in kasnejšo trajno prezentacijo. Izvedba del je večidel



potekala skladno z izdelano projektno dokumentacijo. Glede na ugotovljeno stanje materialov med izvajanjem izkopov, rezultate monitoringa stanja obstoječih konstrukcij ter v soglasju z naročnikom in nadzorom je bilo

mogoče opustiti določene izvedbene ukrepe, predvidene v projektni dokumentaciji za izvedbo. Dobro sodelovanje med naročnikom, projektantom, nadzorom in izvajalcem se je odražalo v sprotne prilagajanju projektnih

rešitev glede na dejansko ugotovljeno stanje izkopov ob upoštevanju obvladovanja stroškov investicije. Navedeno nedvoumno predstavlja primer dobre prakse.



Slika 15 • Konstrukcije vzhodne podzemne povezave.



Slika 16 • Dokončana ureditev Muzejskega trga v Celju (Vir: Andraž Purg).

## 7 • LITERATURA

- Geosolut, Jurij Šporin, s. p., Geotehnično mnenje za zaščito temeljev arkad Stare grofije v Celju, št. dok.: 001/2018 GP/JŠ, januar 2018.
- Korpnik produkcija, d.o.o., Delna rekonstrukcija Stare Grofije, Mapa 1 – načrt arhitekture, faza PZI, št.proj. 240/2018, junij 2018a.
- Korpnik produkcija, d.o.o., Delna rekonstrukcija Stare Grofije, Mapa 3 – načrt gradbenih konstrukcij, faza PZI, št.nač./št.proj.: KM-strok-1\_2018, 240/2018, junij 2018b.
- Navor, d.o.o., Zaščita arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju, Mapa 3.1 – načrt gradbenih konstrukcij, faza PZI, št. proj. 23/17-GK, oktober 2017.
- SIST EN 1990, Evrokod - Osnove projektiranja konstrukcij, september 2004.
- SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb, september 2004.
- SIST EN 1992-1-1, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, maj 2005.
- SIST EN 1997-1, Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1.del: Splošna pravila, maj 2005.



# 41. ZBOROVANJE GRADBENIH KONSTRUKTORJEV SLOVENIJE



41. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije je bilo 7. in 8. novembra 2019 na Bledu. Zaznamovalo je praznovanje štiridesete obletnice delovanja Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev (SDGK) ob izjemno dobri udeležbi. Dvodnevnega srečanja se je udeležilo 197 inženirjev, ki so poslušali predstavitve dveh vabljenih predavaj ter devetnajstih strokovnih in trinajstih znanstvenih poročil.

Tudi letos je bilo zborovanje uvrščeno v program obveznega poklicnega izobraževanja, kar udeležencem omogoča pridobitev kreditnih točk pri IZS. Znanstvene prispevke so recenzirali člani Znanstvenega odbora, ki vsako leto postavljajo višje kriterije in s tem prispevajo h kvalitetnim objavam.

Po uvodnem nagovoru predsednika SDGK doc. dr. Jožeta Lopatiča je prodekan za razvojno področje na UL FGG prof. dr. Žiga Turk v svojem nagovoru predstavil problematiko nizkega vpisa na UL FGG in s tem povezano prihodnostjo gradbeništva v Sloveniji. Na magistrskem študiju Gradbenih konstrukcij je v prvem letniku prvič vpisanih 15 študentov, v drugem letniku pa le 9 študentov. Podobno stanje vpisa je tudi na Fakulteti za gradbe-

ništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo v Mariboru. Trendi za naslednja tri leta pa kažejo le malenkostno boljšo sliko. Udeleženci zborovanja smo se vprašali, kdo in kako lahko promovira poklic gradbenega inženirja in s tem pri dijakih vzbudi željo po vpisu na eno izmed gradbenih fakultet. Na UL FGG že vrsto let potekajo akcije za promocijo vpisa, promovirati pa bi bilo treba tudi poklic. Zato bi bilo nujno, da se v promocijo poklica gradbenega inženirja aktivno vključijo podjetja, npr. z odprtjem vrat gradbišč, birojev ... Promocijo poklica pa bi moral aktivno izvajati tudi IZS kot krovno združenje inženirjev. Na trgu dela se že odraža pomanjkanje kadra, po črnem scenariju pa se bo v naslednjih letih pomanjkanje kadra bistveno povečalo, srednjeročno pa to vodi v nazadovanje znanja in stroke, ki predstavlja gonilno silo gospodarskega razvoja. Aktualna nesoglasja, razdvojenost in pranje umazanega perila na obeh javnosti pa gotovo ne širijo dobrega glasu o zanimivem in dinamičnem poklicu gradbenega inženirja in o gradbeništvu, ki si še vedno ni povrnilo ugleda zaradi afer v preteklosti.

Udeležence sta nagovorila tudi župan občine Bled g. Janez Fajfar in predsednik Matične

sekcije gradbenih inženirjev (MSG) pri Inženirski zbornici Slovenije g. Andrej Pogačnik. Ta je v svojem nagovoru povzel delovanje sekcije MSG v iztekajočem se letu in izpostavil bistvene probleme, ki jih je prinesla nova gradbena zakonodaja.

Prvo vabljeno predavanje je imel dr. Marko Pavlovič s TU Delft, ki je predstavil projektiranje in primere uporabe armirane plastike v gradbenih objektih. Armirana plastika je zanimiv material, ki se množično uporablja v letalski in avtomobilski industriji. S svojimi izpiljenimi pedagoškimi prijemi je dr. Pavlovič animiral občinstvo in požel velik aplavz. Sledila je predstavitev zahtevnega projekta renovacije znamenitega stadiona Roland Garros v Parizu, ki nam jo je podal inženir Gulio Taverniti Caneva iz podjetja Cimolai.

Poročila so bila tematsko razvrščena v naslednje sklope: Aktualno v stroki (1), Konstrukcije (9), Mostovi (5), Informacijska tehnologija v gradbeništvu (2), Gradbeni materiali (3), Eksperimentalna analiza konstrukcij (5), Numerična analiza konstrukcij (6) in Zgodovina konstrukcij (1). Letos so bile v ospredju konstrukcije, pri čemer sta bila predstavljena pro-





jektiranje in gradnja poslovno-stanovanjskih, trgovskih in industrijskih objektov ter posebnih objektov, kot so na primer islamski verski center, letališki potniški terminal in odlagališče nizko- in sredneradioaktivnih odpadov. Veliko se lahko naučimo iz predstavljenega primera slabe prakse pri projektiranju in gradnji mostu Ponte della Costituzione, slavnega arhitekta in gradbenega inženirja Santiaga Calatrave, kjer je bila estetika postavljena nad funkcijo, kar je tudi vir vseh težav. Petkov del zborovanja

je bil v znamenju predstavitev znanstvenih referatov.

Četrtek večer je bil namenjen sproščenemu druženju, kjer so bile osrednje teme pogovora povezane z aktualnim dogajanjem v stroki. Prijetno vzdušje ob dobri hrani in pijači ter glasbi in plesu je trajalo vse do zgodnjih jutranjih ur.

SDGK se zahvaljuje udeležencem zborovanja, ki predstavljajo gonilno silo zborovanj, recenzentom znanstvenih prispevkov za nji-

hovo vestno in dobro opravljeno delo, avtorjem prispevkov za zanimive predstavitve in številnim sponzorjem, ki so podprli izvedbo dogodka in delovanje društva. Upamo, da je zborovanje izpolnilo pričakovanja. Proti koncu leta 2020 se ponovno srečamo, tokrat v Rogaški Slatini.

**doc. dr. Jože Lopatič, univ. dipl. inž. grad.**

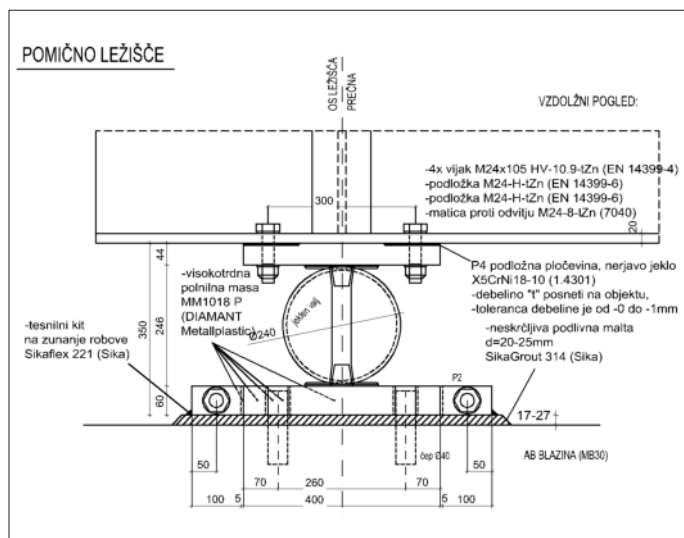
**doc. dr. Primož Može, univ. dipl. inž. grad.**



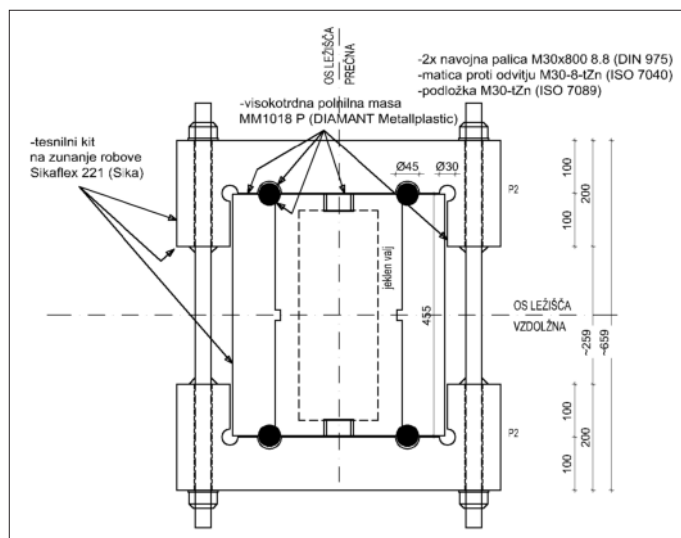
# POPRAVEK

V januarski številki Gradbenega vestnika so v tiskanih izvodih nejasne slike 7 do 10 na straneh 23 in 24. Objavljamo popravljene slike. Avtorjem in bralcem se opravičujemo.

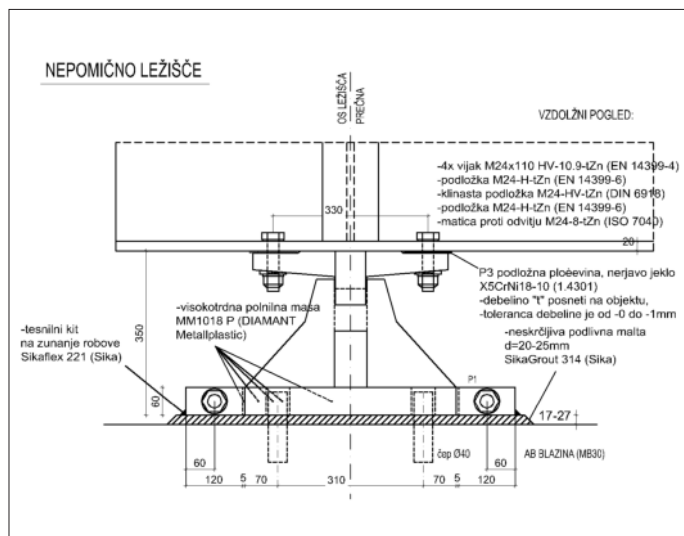
Uredništvo GV



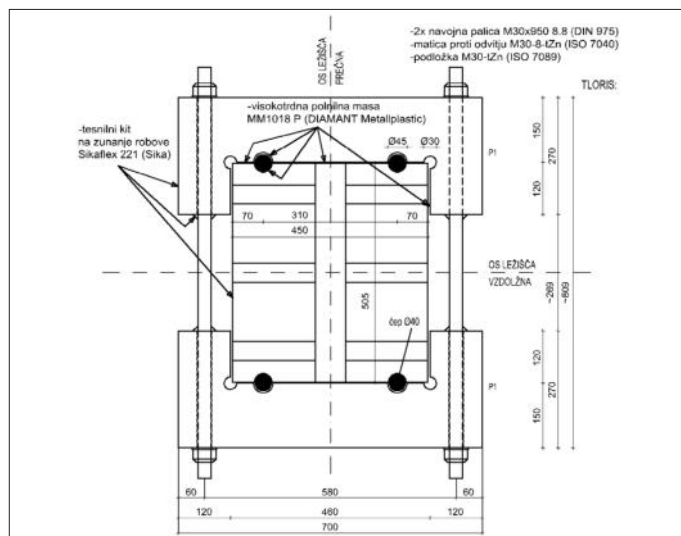
Slika 7 • Načrt sanacije pomičnih ležišč – vzdolžni prerez.



Slika 8 • Načrt sanacije pomičnih ležišč – tloris.



Slika 9 • Načrt sanacije nepomičnih ležišč – vzdolžni prerez.



Slika 10 • Načrt sanacije nepomičnih ležišč – tloris.



# GRADITE Z NARAVO NA SEJMU MEGRA 2020!

**MEGRA, 31. Mednarodni sejem gradbeništva, energetike, komunale in obrti bo predstavljal konjunkturo v gradbeništvu od 25. do 28. marca 2020 v Gornji Radgoni. Spodbujal bo trajnostno gradnjo, varčevanje z energijo in uporabo obnovljivih virov.**

Investitorjem in uporabnikom bodo svoje izdelke in storitve prikazali ponudniki **najnovejše gradbene in komunalne mehanizacije, gradbenih odrov, materialov, orodij, obrtnih in drugih storitev**. Obiskovalce bodo seznanili s sodobnimi trendi in pripomočki za zeleno gradnjo, energijsko in siceršnja obnovo stavb, urejanje okolice ter skrb za okolje. Ponudili jim bodo **montažne hiše, stavbno pohištvo**, čistilne naprave, različne sisteme ogrevanja in klimatizacije ter različne možnosti za **uporabo lesa v gradnji in v bivalnih prostorih**. Privabila jih bodo tudi **brezplačna svetovanja** arhitektov, gradbenih in energetskih strokovnjakov,

svetovanja za ravnanje v primeru naravnih nesreč, urejanje vrtov ter o subvencijah Eko sklada.

Na **Obrtni ulici** bodo člani območnih obrtno podjetniških zbornic ter strokovnih sekcij Obrtno-podjetniške zbornice Slovenije prikazali zaključna obrtna dela v gradbeništvu in deficitarne obrtne poklice. K izobraževanju in poklicnim uspehom na področju gradnje, komunale, energetike in obrti bodo z zanimivimi predstavitvami in tekmovanji ob obrtnikih vabile tudi **izobraževalne ustanove** in **Zavod za zaposlovanje** Murska Sobota.

Pod okriljem **Pomurske gospodarske zbornice** bodo svoje dejavnosti in ponudbo predstavili Pomgrad, Arcont IP, Varis, Kema, Cleangrad, Nafta strojna ter Kamnoseštvo Petek.

**SEJEM MEGRA**

**MEDNARODNI SEJEM  
GRADBENIŠTVA  
ENERGETIKE,  
KOMUNALE IN OBRTI**

**25. - 28. 3. 2020**  
**Gornja Radgona**

**GRADIMO Z NARAVO!**

Sočasno bo mednarodni sejem trajnostnih tehnologij in zelenega življenjskega sloga **GREEN** predstavil zamisli in izdelke, ki so v korist potrošnikom, okolju in družbi: samooskrbo z **energijo iz obnovljivih virov, e-mobilnost, naravne gradbene materiale in gradnjo**, ekološko in permakulturno pridelavo hrane, rokodelstvo, socialno podjetništvo, domače naravne dobrote in druge izdelke za ozaveščeno, zeleno potrošnjo.

Tehtno bo tudi strokovno dogajanje.

Že prvi dan, **v sredo 25. marca** bo od 9.00 ure dalje strokovni posvet Družbe za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, DRC osvetlil **vpliv gradnje železniške infrastrukture na varnost in pretočnost cestnega prometa, gospodarsko rast države ter utrjevanje pomena Luke Koper**.

Ob 13.00 bosta sejma **MEGRA in GREEN svečano odprta**, dogodek pa bo podčrtala podelitev **priznanj Znak kakovosti v graditeljstvu 2020**, Gradbenega inštituta ZRMK.

Strokovno dogajanje se bo nadaljevalo s posvetom **o lesu kot pomembnem zelenem gradivu Slovenije** v organizaciji Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Ves dan bo potekalo tudi **kooperacijsko srečanje MEET4BUSINESS** pod taktirko Mariborske razvojne agencije / Evropske podjetniške mreže (EEN), ki bo ponudilo podjetjem, obrtnikom in zainteresiranim posameznikom priložnost za navezovanje stikov in izmenjavo izkušenj s potencialnimi poslovnimi partnerji iz Evropskih držav.

**Četrtek, 26. marca** bo dan komunale, ekologije, energetike in mednarodni dan vzdrževanja cest. Že ob 9.00 uri se bo pričel strokovni posvet z naslovom: **Komunala prihodnosti** – inovativne tehnologije in novi poslovni modeli za učinkovite komunalne storitve po dostopnih cenah v organizaciji Inštituta za javne službe.

Ob 10.00 uri bo steklo srečanje na **tematiko energetskega prehoda v brezogljivično družbo** in izzivi, ki jih ta predstavlja za gospodarstvo. Dogodek pripravlja GZS, Združenje za svetovalni inženiring.

**Petek, 27. marca** bo posvečen gradbenemu okoljevarstvenemu izobraževanju, obrtnim dejavnostim v gradbeništvu, lesu in ekologiji.

OZS in OOOZ Gornja Radgona pripravljata ob 13.30 **posvetovanje o novostih in pasteh pri opravljanju čezmejnih storitev**.

GZS ZIGM bo predstavil **nove metodologije in koncepte učenja ter poučevanja** v gradbenih podjetjih in izobraževalnih ustanovah.

Sejem bodo obiskali osnovnošolci, ki se želijo **izobraževati za gradbene in obrtne dejavnosti** ter dijaki in študentje, ki se na teh področjih že izobražujejo. Svoje znanje bodo prikazali tudi na tekmovanjih in ustvarjalnih delavnicah.

Vljudno vabljeni k sodelovanju!

Za vse dodatne informacije **o sejmskem sodelovanju in vašem razstavnem prostoru** vam je z veseljem na voljo Robi Fišer, E: [robi.fiser@pomurski-sejem.si](mailto:robi.fiser@pomurski-sejem.si), T: 02 56 42 113.

Vaš strokovni, poslovni ali promocijski dogodek bo v urnik sejmskega dogajanja z veseljem dodal Boris Erjavec, E: [boris.erjavec@pomurski-sejem.si](mailto:boris.erjavec@pomurski-sejem.si), T: 02 56 42 115

<http://www.pomurski-sejem.si/>

## PROGRAM STROKOVNEGA IN SPREMLJEVALNEGA DOGAJANJA

**Sreda, 25. 3.**

**DAN GRADBINECV, DAN CESTOGRADITELJEV**

**9.00 – 12.45**

Vpliv gradnje železniške infrastrukture na varnost in pretočnost cestnega prometa, gospodarsko rast države ter utrjevanje pomena Luke Koper

Organizacija.: Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, DRC.

Več informacij Evstahij Drmota,  
E: [evstahij.drmota@drc.si](mailto:evstahij.drmota@drc.si),  
T: 01 430 15 61.

**13.00**

– svečano odprtje sejma MEGRA in sejma GREEN

– podelitev priznanj Znak kakovosti v graditeljstvu 2020, Gradbeni inštitut ZRMK

Les – »zeleno« gradivo Slovenije

Oddelk za lesarstvo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani.

Informacije: dr. Franc Pohleven,  
E: [franc.pohleven@bf.uni-lj.si](mailto:franc.pohleven@bf.uni-lj.si),  
T: 031 390 393

**9.00 – 16.00**

kooperacijsko srečanje MEET4BUSINESS, Mariborska razvojna agencija / Evropska podjetniška mreža (EEN). Podjetjem, obrtnikom in zainteresiranim posameznikom bo ponudilo priložnost za navezovanje stikov in izmenjavo izkušenj s potencialnimi poslovnimi partnerji iz Evropskih držav. Program omogoča na podlagi vnaprej izbranih srečanj individualne sestanke s potencialnimi partnerji.

Udeležba je brezplačna.

Informacije: Jolanda Damiš,  
E: [jolanda.damis@mra.si](mailto:jolanda.damis@mra.si),  
T: 041/987 371.

**Četrtek, 26. 3.**

**DAN KOMUNALE,**

**DAN EKOLOGIJE, ENERGETIKE, MEDNARODNI DAN VZDRŽEVANJA CEST**

**9.00 - 12.00**

Strokovni posvet: Komunala prihodnosti – inovativne tehnologije in novi poslovni modeli za učinkovite komunalne storitve po dostopnih cenah

Organizacija.: Inštitut za javne službe.

Informacije: mag. Stanka Cerkvnik,  
E: [stanka.cerkvenik@javne-sluzbe.si](mailto:stanka.cerkvenik@javne-sluzbe.si),  
T: 041/821 821.

**10.00 – 12.00**

Energetski prehod v brezogljivično družbo in izzivi za gospodarstvo.

Organizacija: GZS, Združenje za svetovalni inženiring.

Informacije: E: [vekoslav.korosec@gzs.si](mailto:vekoslav.korosec@gzs.si),  
T: 01/5898 255.

**Petek, 27. 3.**

**DAN GRADBENEGA IN OKOLJEVARSTVENEGA IZOBRAŽEVANJA, OBRTNIH DEJAVNOSTI V GRADBENIŠTVU, LESA, EKOLOGIJE**

**13.30 – 15.30**

Posvet »Opravljanje čezmejnih storitev-pasti in novosti v letu 2020«

Organizacija: OZS in OOZ Gornja Radgona.

Informacije: mag. Nataša Lorber,

E: [natasa.lorber@ozs.si](mailto:natasa.lorber@ozs.si),

T: 02 564 80 90.

**10.00 – 14.00**

Obisk Obrtne ulice, ustvarjalne delavnice in tekmovanje osnovnošolcev.

Organizacija OOZS in Zavod za zaposlovanje Murska Sobota.

Informacije: Jelka Jež,

E: [jelka.jez@ess.gov.si](mailto:jelka.jez@ess.gov.si)

T: 031/294 842

**10.00 – 14.00**

Tekmovanje dijakov v zidanju, predstavitve gradbenega in okoljevarstvenega izobraževanja na vseh nivojih.

Organizacija: Pomurski sejem

Informacije: Miran Mate,

E: [miran.mate@pomurski-sejem.si](mailto:miran.mate@pomurski-sejem.si),

T: 041 263 107

**11.00**

Novo metodologije in koncepti učenja ter poučevanja v gradbenih podjetjih in izobraževalnih ustanovah

Organizacija: GZS ZGIGM

Informacije: Valentina Kuzma,

E: [valentina.kuzma@gzs.si](mailto:valentina.kuzma@gzs.si),

T: 041 777 353

## NOVI DIPLOMANTI

### UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

#### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Aleksander Brenko**, Primerjalna analiza vpliva posameznih meril na višino nadomestila za uporabo stavbnega zemljišča v mestnih občinah v Sloveniji, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor dr. Simon Starček; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113779&lang=slv>

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

**Andraž Kete**, Račun vala zaradi morebitne porušitve jezua Melje in dela nasipa na dovodnem kanalu hidroelektrarne Zlatoličje, mentor prof. dr. Matjaž Četina, somentor asist. dr. Gorazd Novak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113731>

**Eva Jazbec**, Prenos zasebnih vodovodnih sistemov v javno upravljanje, mentor doc. dr. Mario Krzyk, somentor asist. dr. Daniel Kozelj; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113730>

**Žiga Ščukovt**, Povezava sušnih kazalnikov z meritvami vodne bilance v tleh, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentorica asist. dr. Mira Kobold; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=113732>

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

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

**Aljaž Abramenko**, Jekleni poslovni objekt, mentor prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Tomaž Žula; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=75535>

#### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Armin Lambizer**, Vpliv kota na dimenzioniranje poševnih ab-plošč, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentorica Ana Brunčič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=75650&lang=slv>

**Tim Maltar**, Uporabnost BIM-a večstanovanjske stavbe za analizo z metodo končnih elementov, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentorja prof. dr. Danijel Rebolj in Dejan Kvar; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=75655&lang=slv>

**Filip Peharda**, Interoperabilnost med programi Archicad, Tower, SCIA Engineer na primeru večstanovanjske stavbe, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentorja Ana Brunčič in Uroš Žvan; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=75651>

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



# KOLEDAR PRIREDITEV

**10.-13.3.2020**

**44. International Conference of Road Infrastructure and Road Safety & Expo**

Rovinj, Hrvaška  
[www.tomsignal.com/en/home/](http://www.tomsignal.com/en/home/)

**10.-14.3.2020**

**7th International Conference "Civil Engineering – Science and Practice"**

Kolašin, Črna gora  
[www.gnp.ucg.ac.me](http://www.gnp.ucg.ac.me)

**25.-28.3.2020**

**MEGRA – Mednarodni sejem gradbeništva, energetike, komunalne in obrti ter**

**GREEN – Mednarodni sejem trajnostnih tehnologij in zelene ga življenjskega sloga**

Gornja Radgona, Slovenija  
[www.pomurski-sejem.si](http://www.pomurski-sejem.si)

**7.-9.4.2020**

**S.ARCH 2020 – 7th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS**

Tokio, Japonska  
[www.s-arch.net/](http://www.s-arch.net/)

**15.-17.4.2020**

**CoMS 2020 - 2. mednarodna konferenca o gradbenih materialih za trajnostno prihodnost**

Bled, Slovenija  
[www.zag.si/si/novice/vabilo-na-coms-2020](http://www.zag.si/si/novice/vabilo-na-coms-2020)

**19.-21.4.2020**

**ICSECT'20 - 5th International conference on Structural Engineering and Concrete Technology**

Lizbona, Portugalska  
<https://icsect.com/>

**28.-29.4.2020**

**AMCONF 2020 - Advanced Materials for Construction**

Manchester, Anglija  
[www.amconf.com/](http://www.amconf.com/)

**11.-14.5.2020**

**14th Congress INTERPRAEVENT 2020**

Bergen, Norveška  
[www.interpraevent.at/?tpl=termine.php&kategorie=1&id=187](http://www.interpraevent.at/?tpl=termine.php&kategorie=1&id=187)

**12.-14.5.2020**

**2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering**

Perth, Avstralija  
[www.slopestability2020.com/](http://www.slopestability2020.com/)

**18.-21.5.2020**

**ICCUE 2020 - 7th International Conference on Civil and Urban Engineering**

Dunaj, Avstrija  
[www.iccue.org/](http://www.iccue.org/)

**9.-11.6.2020**

**BEYOND 2020 – World Sustainable Built Environment Conference**

Göteborg, Švedska  
<https://beyond2020.se/>

**11.-13.6.2020**

**ICCSTE'20 - 5th International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering**

Niagarski slapovi, Kanada  
<https://iccste.com/>

**15.-18.6.2020**

**Deep Mixing Conference 2020**

Gdansk, Poljska  
[www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330](http://www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330)

**16.-18.6.2020**

**"Structural Faults + Repair-2020" & "European Bridge Conference-2020"**

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

**22.-27.6.2020**

**EURO-MED-SEC-3 – 3rd European and Mediterranean Structural Engineering and Construction Conference**

Limassol, Ciper  
[www.isec-society.org/EURO\\_MED\\_SEC\\_03/](http://www.isec-society.org/EURO_MED_SEC_03/)

**28.-30.6.2020**

**ICSCER 2020 - 4th International Conference on Structure and Civil Engineering Research**

Budimpešta, Madžarska  
[www.icscer.org/](http://www.icscer.org/)

**8.-10.7.2020**

**UPADSD 2020 – Urban Planning & Architectural Design for Sustainable Development – 5th Edition**

Firence, Italija  
<http://bit.ly/UPADSD-2020>

**7.-11.9.2020**

**6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation**

Budimpešta, Madžarska  
[www.isc6-budapest.com/](http://www.isc6-budapest.com/)

**2.-6.11.2020**

**5th World Landslide Forum**

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

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