





Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Jernej Mazij**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnikar Turk
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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

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

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

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

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, junij 2020, letnik 69, str. 149-176

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 150

izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.

ZASLUŽNI PROF. DR. BOJAN MAJES, UNIV. DIPL. INŽ.

GRAD. – 70 LET

Članki • Papers

stran 152

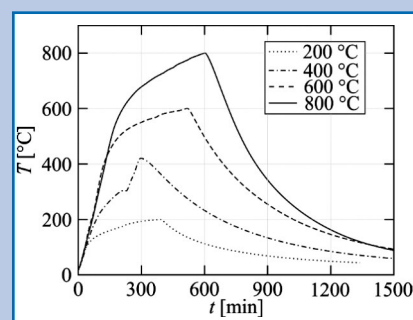
Urška Dolinar, mag. inž. grad.

izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

**OCENA MEHANSKIH LASTNOSTI BETONA PO
IZPOSTAVLJENOSTI POVIŠANIM TEMPERATURAM Z
UPORABO RAZLIČNIH REGRESIJSKIH MODELOV**

ESTIMATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF
CONCRETE AFTER EXPOSURE TO HIGH
TEMPERATURES USING DIFFERENT REGRESSION MODELS



stran 163

prof. dr. Borut Juvanec, univ. dipl. inž. arh.

SUHOZID, KAMNITA ARHITEKTURA, KI NI SAMO ZID
DRYSTONE, ARCHITECTURE IN STONE, WHICH IS NOT
ONLY WALL



Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradbišče nadgradnje železniške proge Celje-Zidani most pri Obrežju pri Zidanem mostu, foto Miško Kranjec

ZASLUŽNI PROF. DR. BOJAN MAJES, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – 70 LET

Bojan Majes je med slovenskimi gradbeniki poznan kot vrhunski geotehnični strokovnjak, kot učitelj mehanike tal in geotehničnega inženirstva številnih generacij študentov gradbeništva na ljubljanski univerzi in kot dolgoletni dekan Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Dr. Majes je v začetku junija 2020 praznoval svojo sedemdesetletnico. Življenjsko pot je začel v Zasavju, se nato šolal na Srednji tehniški gradbeni šoli v Celju in leta 1975 diplomiral na konstrukcijski smeri gradbenega oddelka UL FAGG. Za diplomu, ki jo je izdelal pod mentorstvom prof. Luja Šukljeja, je prejel univerzitetno Prešernovo nagrado. Na UL FAGG je leta 1990 zaključil tudi doktorski študij, a že od diplome dalje sodeloval pri pedagoškem in raziskovalnem delu Katedre za mehaniko tal z laboratorijem, kjer je bil zaposlen vse do upokojitve konec leta 2013. Med letoma 1985 in 1993 je bil dopolnilno zaposlen kot raziskovalni svetnik na Geološkem zavodu Ljubljana, po upokojitvi leta 2013 pa je ostal aktiven kot direktor Inštituta UL FGG in se tako preizkusil še na področju inženiringa, pri vodenju načrtovanja in izgradnje novih objektov posameznih članic Univerze v Ljubljani.

Dr. Majes je pedagoško kariero začel kot asistent, nadaljeval kot višji predavatelj, leta 1991 je bil izvoljen v naziv docent, v naziv izrednega profesorja leta 1996 in leta 2007 v naziv rednega profesorja za področje geotehnike.

Bojan Majes ni le cenjen strokovnjak in pedagog. Zelo zgodaj je prevzel tudi organizacijske in vodstvene odgovornosti na fakulteti. Leta 1987 je postal predstojnik študija ob delu na Oddelku za gradbeništvo, kasneje pa še predstojnik Oddelka za gradbeništvo in geodezijo, prodekan za študijske zadeve in dekan UL FGG ter član senata Univerze v Ljubljani in nekaterih njenih komisij. Od leta 1997 do upokojitve je ob naštetih funkcijah ves čas vodil Katedro za mehaniko tal z laboratorijem. Ko je UL FGG leta 2007 ustanovila klub diplomantov, je prof. dr. Majes postal njegov prvi predsednik.

Pedagoško delo asistenta in pozneje profesorja Majesa so študentje zelo spoštovali. Za svoje predmete je pripravil sistematična in obsežna gradiva, njegovo neposredno delo s študenti je bilo razumljivo in zaradi stika s prakso, ki ga je negoval, vselej zanimivo in podkrepjeno s praktičnimi primeri. Kljub velikemu številu študentov je vztrajal pri iz-

vedbi laboratorijskih vaj v manjših skupinah. Bila so obdobja, ko je v predavalnicah in laboratoriju s študenti preživel tudi po 25 ur tedensko. Po upokojitvi svojega predhodnika leta 1997 je ostal edini habilitirani učitelj za področje geotehnike in dve leti nosil celotno pedagoško breme predmetov s tega področja. Kot predstojnik je številčno skromno Katedro za mehaniko tal z laboratorijem kadrovske in materialno okrepil in jo predal kot kadrovske trdno in dobro opremljeno za raziskovalno ter pedagoško delo. V zadnjih letih pred upokojitvijo je predaval predmete, ki so mu bili najbolj pri srcu (Mehanika tal, Fundiranje ter Geotehnika prometnih objektov), deloma tudi zato, ker je v njih videl nadaljevanje dediščine svojega učitelja in vzornika, akademika prof. dr. Luja Šukljeja. Ob mentorstvu prof. Majesa je študij zaključilo 75 diplomantov, sedem magistrov in štirje doktorji znanosti.

Sodelavci ga poznajo kot temeljitega in neumornega pri delu. Nema lokrat je na fakulteti zadnja ugasnila luč v njegovem kabinetu. Ko je bilo potrebno, je – ne s prisilo, temveč s karizmo nesporne avtoritete – k bolj zavzetemu delu pritegnil tudi druge.

Svoje raziskovalno in razvojno delo je Bojan Majes začel v dobi, ki jo je zaznamoval hiter razvoj elektronskih računalnikov. Zato ne preseneča, da je pod mentorstvom prof. Luja Šukljeja za diplomsko nalogo razvil prvi domači računalniški program za geotehnične analize po metodi končnih elementov. Podobnih programov, z upoštevanjem različnih reoloških modelov za zasičene zemljine, je v njegovi skupini pozneje nastalo še več. Sočasno je razvijal tudi aplikativna računalniška orodja, primerna za reševanje vsakodnevnih inženirskih problemov. Velika večina slovenskih geotehničnih projektov v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja je temeljila na izračunih s programskimi orodji dr. Majesa.

Kasneje je nove izzive našel v sodelovanju z gradbeno industrijo pri gradnji slovenskih avtocest in sanaciji velikih zemeljskih plazov. V prakso je sam ali s sodelavci pripeljal nove metode preiskav tal, nova znanja o geoloških materialih in izboljšanju tal, v mednarodni strokovni javnosti je požel priznanje za ino-



vativno metodo sanacije plazov z vodnjaki, ki imajo dvojno funkcijo: podpiranja in dreniranja nestabilnih tal.

Na matični katedri je poskrbel za visoko raven sodobne raziskovalne opreme: terenske, laboratorijske in računalniške. Svoje znanstvene in strokovne dosežke je sam, pretežno pa skupaj s sodelavci objavil v več kot 160 prispevkih, med katerimi je več kot 40 izvirnih in preglednih člankov v revijah z mednarodno odmevnostjo. Njegova bibliografija obsega tudi 10 vabljenih predavanj in več kot 170 prispevkov na znanstvenih in strokovnih konferencah.

Prof. Majes je eden tistih, ki se zavedajo in pokažejo, da njihovo delo in rezultati temeljijo na dosežkih svojih predhodnikov. Ob stoti obletnici rojstva akademika prof. Šukljeta je pripravil izdajo faksimila Šukljetove doktorske disertacije.

Prof. Bojan Majes je tudi sicer aktiven v stroki in družbi. Je član domačih in mednarodnih strokovnih društev. Bil je ustanovni član Slovenskega geotehniškega društva in njegov velik podpornik, večkratni organizator njegovih posvetovanj in urednik zbornikov teh srečanj in leta 2012 nagrajen z nazivom zaslužni član Slovenskega geotehniškega društva. Je član uredniškega odbora mednarodne revije *Acta Geotechnica Slovenica*. Bil je predsednik organizacijskega odbora 13. podonavske konference za geotehniko leta 2006 v Ljubljani.

Verjetno pa je profesor Majes v slovenskem gradbeništvu poleg dejstva, da je bil učitelj mnogih aktivnih gradbenih inženirjev, najbolj poznan kot nesporna avtoriteta na področju geotehnike. Zaradi svojega pozitivnega in komunikativnega pristopa ob doslednem spoštovanju aktualnega stanja znanj na svojem področju je vselej gradil mostove med teorijo in prakso, svoje strokovne poglede je vedno znal argumentirati na vsakomur jasen način. Zato je bil zaželen predavatelj na seminarjih in strokovnih srečanjih. Vsako še tako zahtevno nalogo je z njemu lastno marljivostjo in nepopustljivostjo pripeljal do uspešnega konca. Da je bilo njegovo sodelovanje v stroki pomembno in zaželeno, pričajo članstva v različnih strokovnih telesih: član tehničnega komiteja za konstrukcije TC KON in predsednik delovne skupine za geotehniko pri SIST, kjer je skrbel za prenos geotehničnega dela Evrokodov v slovenski prostor, predsednik geološke geomehanskega konzilija pri DARS, kjer so se sprejemale najtežje strokovne odločitve, predsednik tehničnega odbora TO 05 – zemeljska dela pri ministrstvu za promet, koordinator



Zaslužni prof. dr. Bojan Majes (desno) in prof. dr. Matjaž Mikoš.

ekspertne skupine za geotehniko za odpravo posledic plazu Stože pri republiški upravi za zaščito in reševanje, predsednik strokovnega odbora za odpravo posledic plazu Stože in kasneje za odpravo posledic vseh velikih plazov v Republiki Sloveniji pri MOP, član geotehničnega in hidrotehničnega sveta Agencije za radioaktivne odpadke, odgovoren za področje geotehnike.

Od leta 1998 je član Inženirske zbornice Slovenije in pri njej aktiven član komisije za strokovne izpite ter odgovorni revident za področje geotehnike. Samostojno in skupaj s sodelavci je opravil več sto strokovnih študij, geotehničnih projektov in recenzij geotehnične dokumentacije. Zaradi tega je njegova katedra danes sodobno opremljena in fakultetna knjižnica založena z bistveno strokovno literaturo.

Strokovno delo prof. Majesa je tudi v širši slovenski javnosti prepoznano kot pomembno, zavzeto in uspešno. Zanj je bil nagrajen s priznanjem krajevnne skupnosti Log pod Mangartom (2001), priznanjem Družbe za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije za življenjsko delo (2006), z nazivom zaslužni član Zveze društev gradbenih inženirjev in

tehnikov Slovenije (2008), z nagrado Inženirske zbornice Slovenije za življenjsko delo na področju graditve objektov, za delo na področju geotehnike, gradnje avtocestnega omrežja in sanacije velikih plazov (2010), z bronastim znakom civilne zaščite (2012). Matična fakulteta ga je za predano pedagoško in organizacijsko delo nagradila s priznanjem fakultete ob svoji 70-letnici in zlato plaketo ob 90-letnici. Decembra 2012 je prejel zlato plaketo Univerze v Ljubljani za izjemne zasluge pri razvijanju znanstvenega in pedagoškega ustvarjanja, po upokojitvi ga je Senat Univerze v Ljubljani decembra 2014 zaradi njegovega predanega in vsestranskega dela na univerzi izvolil v naziv zaslužni profesor Univerze v Ljubljani ter decembra 2015 podelil še plaketo »Pro universitate labacensi« kot članu Skupine Brdo, ki je vodila gradnjo novih dveh fakultet Univerze v Ljubljani na Brdu.

Spoštovanemu kolegu in mentorju želimo še veliko uspešno dokončanih projektov – poslovnih in zasebnih.

izr. prof. dr. Janko Logar
prof. dr. Matjaž Mikoš

OCENA MEHANSKIH LASTNOSTI BETONA PO IZPOSTAVLJENOSTI POVIŠANIM TEMPERATURAM Z UPORABO RAZLIČNIH REGRESIJSKIH MODELOV

ESTIMATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE AFTER EXPOSURE TO HIGH TEMPERATURES USING DIFFERENT REGRESSION MODELS

Urška Dolinar, mag. inž. grad.

urska.dolinar@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad.

tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

IGMAT, d. d., Inštitut za gradbene materiale

Polje 351 c, 1260 Ljubljana Polje

Znanstveni članek

UDK 691.32:539.411

Povzetek | V članku predstavimo možnost ocene mehanskih lastnosti betona po izpostavljenosti povišanim temperaturam z uporabo različnih regresijskih modelov in rezultatov neporušnih preiskav. Iz nabora različnih neporušnih preiskav smo uporabili ultrazvočno (UZ) metodo in metodo določanja sklerometričnega indeksa, ki se lahko uporabi neposredno na armiranobetonski (AB) konstrukciji po požaru. S poznavanjem mehanskih lastnosti betona po požaru, določenih z omenjenima metodama, lahko kasneje ocenimo nosilnost preiskane konstrukcije. Rezultati temeljijo na lastni, obsežni eksperimentalni raziskavi, ki je zajemala izdelavo preizkušancev različnih betonskih mešanic. Te so se med seboj razlikovale po vodocementnem (v/c) razmerju, vrsti uporabljenega cementa ter količini dodanega superplastifikatorja. Preizkušanci so bili izpostavljeni različnim povišanim temperaturam, in sicer 200 °C, 400 °C, 600 °C in 800 °C. Po ohlaiditvi na sobno temperaturo smo na preizkušancih opravili različne neporušne in porušne preiskave. Eksplicitne zveze med rezultati neporušnih in porušnih preiskav, opravljenih na betonskih preizkušancih po izpostavljenosti povišanim temperaturam, smo izboljšali z uporabo umetnih nevronske mreže. Izkaže se, da na ta način lahko podamo dobro oceno mehanskih lastnosti betona po izpostavljenosti povišanim temperaturam. Hkrati je ta ocena dovolj dobra že v primeru uporabe rezultatov UZ-metode. Oceno pa lahko izboljšamo z dodajanjem informacij o mešanici betona ali najvišji doseženi temperaturi.

Ključne besede: beton, povišane temperature, ultrazvočna metoda, metoda sklerometričnega indeksa, nevronske mreže, tlačna trdnost

Summary | The paper presents the estimation of predicting mechanical properties of concrete after exposure to elevated temperatures using different regression models and the results from non-destructive test techniques. From a set of different non-destructive techniques, the ultrasonic (US) and rebound number techniques were selected, as

they can be used directly on a reinforced concrete (RC) structure after exposure to fire. Based on known mechanical properties of concrete after exposure to fire the residual load-bearing capacity of the structure can be estimated. The results are based on extensive experimental study that was carried out on concrete specimens of different concrete mixtures that differed in water to cement (w/c) ratio, the type of used cement, and the amount of added superplasticizer. Next, the specimens were exposed to various high temperatures, i.e. 200 °C, 400 °C, 600 °C, and 800 °C. After the specimens had cooled down to the ambient temperature, non-destructive test techniques were performed, followed by destructive ones. The explicit relationships between the results of non-destructive and destructive test techniques, performed on concrete specimens after exposure to high temperatures, were improved by using artificial neural network (ANN) approach. It was established that by using the ANN approach, good estimation of the mechanical properties of concrete after exposure to high temperatures can be made. At the same time, this estimation is good enough only if the results of the US method are used. However, the estimation can be improved by adding information about the concrete mixture or the maximum temperature reached.

Key words: concrete, high temperatures, ultrasonic method, determination of rebound number, neural networks, compressive strength

1 • UVOD

Armiranobetonske (AB) konstrukcije predstavljajo pomemben del grajenega okolja predvsem zaradi njihove trajnosti in cenovno dostopne gradnje. V njihovi življenjski dobi pomembno nevarnost pojava večjih poškodb oziroma porušitve, poleg potresa, predstavlja izpostavljenost teh konstrukcij požaru. Med požarom se v betonu odvijejo različne mehanske, kemične in termične spremembe, ki povzročijo nastanek dodatnih napetosti in posledično mikrorazpok znotraj betonske matrice (Arioz, 2007). Vse te spremembe neugodno vplivajo na nosilnost AB-konstrukcij po požaru in možnost njihove obnove, zaradi česar je ključno poznavanje mehanskih lastnosti betona po izpostavljenosti povišanim temperaturam. Te lastnosti imenujemo preostale mehanske lastnosti, saj se razlikujejo od mehanskih lastnosti materiala med izpostavljenostjo povišanim temperaturam (Hertz, 2005). Različne eksperimentalne raziskave so pokazale, da so glavni parametri, ki vplivajo na preostalo tlačno trdnost betona vrsta uporabljenega cementa, vrsta in velikost agregata, vodo-cementno (v/c) razmerje in nivo obtežbe (dos Santos, 2016). Posledično se različne vrste

betona po izpostavljenosti povišanim temperaturam obnašajo različno (Ma, 2015).

Narejenih je veliko eksperimentalnih raziskav na betonskih vzorcih po izpostavljenosti povišanim temperaturam, pri čemer v ospredje prihaja uporaba različnih neporušnih preiskav. Med njimi so najpogostejše uporabljene metoda resonančne frekvence (Park, 2016), metoda širjenja udarnih vibracij (Kerzemien, 2015), metoda sklerometričnega indeksa (Savva, 2005), nelinearna resonančno vibracijska metoda (Park, 2017) in metoda vzratnega širjenja ultrazvočnih (UZ) valov (Chaix, 2003). Na podlagi rezultatov neporušnih preiskav, opravljenih na betonskih preizkušancih po izpostavljenosti povišanim temperaturam in vzporednim porušnim preizkušanjem, so določeni različni regresijski modeli za napoved preostalih mehanskih lastnosti betona. Park s sodelavci (Park, 2016) je podal zvezo med preostalim dinamičnim elastičnim modulom, določenim z metodo resonančne frekvence, in preostalo tlačno trdnostjo betona. Eksperimentalno delo Dolinarjeve in sodelavcev (Dolinar, 2019) kaže, da preostalo tlačno trdnost betona iz apnenčevega agregata najbolj napove-

mo na podlagi strižnega modula, določenega z metodo resonančne frekvence.

Tako kot na mnogih drugih področjih, se tudi na področju raziskovanja betona za izboljšanje napovedovanja mehanskih lastnosti na podlagi rezultatov neporušnih preiskav, uspešno uporabljajo umetne nevronske mreže. Trtnik s sodelavci (Trtnik, 2009) je z uporabo umetnih nevronskih mrež podal zvezo med hitrostjo preleta vzdolžnih UZ-valov in tlačno trdnostjo mladega betona. Na podlagi lastnega eksperimentalnega dela je Chan s sodelavci (Chan, 1998) z umetnimi nevronskimi mrežami napovedal preostalo tlačno trdnost betona. Abbas s sodelavci (Abbas, 2019) je podal zvezo med preostalo tlačno trdnostjo betona visoke trdnosti in znanim razmerjem med agregatom in cementom, v/c-razmerjem in temperaturo.

V članku analiziramo možnost uporabe različnih regresijskih modelov za napoved nekaterih osnovnih preostalih mehanskih lastnosti betona, predhodno izpostavljenega povišanim temperaturam, na podlagi rezultatov neporušnih preiskav, ki se lahko izvedejo neposredno na konstrukciji. V ta namen smo uporabili regresijska modela z eksplicitnimi zvezami in umetnimi nevronskimi mrežami. Rezultati temeljijo na obsežnem lastnem eksperimentalnem delu, opravljenem na inštitutu za gradbene materiale IGMAT, d. d.

2 • EKSPERIMENTALNI DEL

2.1 Material in priprava preizkušancev

V okviru preiskave smo pripravili pet različnih betonskih mešanic, pripravljenih s port-

landskim cementom visoke (CEM I 52,5 R) in normalne (CEM I 42,5 N) trdnosti, pitno vodo in apnenčevim agregatom z zaobljenimi agre-

gatnimi zrni največjega nazivnega premera 16 mm. Mešanici M1 in M2 sta bili izdelani s cementom visoke trdnosti in superplastifikatorjem, razlikovali pa sta se v v/c-razmerju. Le-to je za mešanico M1 znašalo 0,47, za mešanico M2 pa 0,34. Mešanica M3 je bila izdelana s cementom visoke trdnosti, mešanica M4

pa s cementom normalne trdnosti. V obeh mešanicah je v/c-razmerje znašalo 0,49. Mešanica M5 je bila izdelana s cementom visoke trdnosti in v/c-razmerjem 0,45. Podrobno sestavo uporabljenih betonskih mešanic prikazujemo v preglednici 1.

znotraj peči, 5 mm pod površino preizkušanca ter v središču preizkušanca, smo spremljali s temperaturno odpornimi termočleni. Tipični razvoj temperature T s časom t v središču betonskih preizkušancev prikazujemo na sliki 1. Število posameznih preizkušancev, izpostavljenih izbrani povišani temperaturi, prikazu-

jemo v preglednici 2.

2.3 Postopek preizkušanja

Pred segrevanjem smo na vseh preizkušancih opravili meritve z metodo prehoda vzdolžnih UZ-valov skladno s standardom (SIST EN 12504-4, 2004). Hitrost preleta vzdolžnih UZ-valov skozi preizkušane V_p smo določili s komercialnim instrumentom Pundt Lab proizvajalca Proceq z oddajno in sprejemno sondo premera 25 mm in frekvenco valovanja 150 kHz. Po ohlaiditvi preizkušancev na sobno temperaturo smo UZ-meritve ponovili, dodatno pa z instrumentom Digi-Schmidt 2000 proizvajalca Proceq na betonskih kockah določili sklerometrični indeks (SIST EN 12504-2, 2002). Površinsko trdnost betona $f_{c,surf}$ smo ocenili na podlagi izmerjenega sklerometričnega indeksa in krivulje, ki jo podaja proizvajalec za beton, starejši od 14 dni (Digi-Schmidt 2000, 2017). Sledila je meritev elastičnega modula betona E na prizmatičnih preizkušancih skladno s standardom (ISO 1920-10, 2010). Po opravljenem neporušnem preizkušanju smo izvedli standardni tlačni in upogibni preizkus. Tlačno trdnost f_c smo določili na betonskih kockah skladno s standardom (SIST EN 12390-3, 2009), upogibno natezno trdnost f_{ct} pa na prizmatičnih preizkušancih po standardu (SIST EN 12390-5, 2009). Obe porušni preiskavi smo izvedli z univerzalno preizkuševalno napravo Zwick Z400 pri nadzorovanem povečevanju obremenitve.

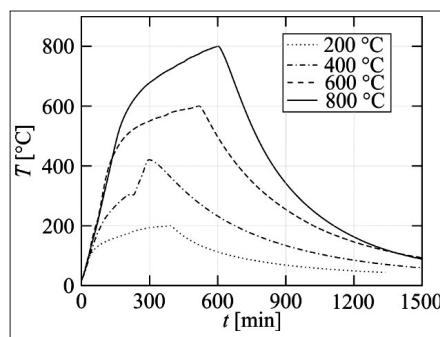
Material	Vrsta	M1	M2	M3	M4	M5
Cement	CEM I 52,5 R	360	360	360	-	360
	CEM I 42,5 R	-	-	-	360	-
Voda	Iz pipe	169	122	175	177	161
Superplastifikator	PCE	2,16	2,16	-	-	-
Apnenčev agregat	0 – 4 mm	931				
	4 – 8 mm	280				
	8 – 16 mm	652				

Preglednica 1 • Sestava preizkušanih betonskih mešanic v (kg).

Skupno smo izdelali 126 betonskih preizkušancev v obliki kock s stranico 10 cm in 107 preizkušancev v obliki prizem dimenzij 4/4/16 cm. Pred izpostavitvijo povišanim temperaturam so bili preizkušanci 28 dni negovani v vodi, naslednjih 28 dni pa izpostavljeni standardnim laboratorijskim pogojem pri temperaturi $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ in relativni vlažnosti nad 65%. Preizkušance posamezne betonske mešanice smo razdelili v pet skupin. Preizkušanci prve skupine pred izvedbo preiskav niso bili izpostavljeni povišanim temperaturam, na njih pa smo določili referenčne vrednosti neporušnih preiskav in mehanskih lastnosti betona.

2.2 Protokol segrevanja

Preostale skupine preizkušancev smo izpostavili različnim povišanim temperaturam, za kar je bila uporabljena posebna električna peč z možnostjo nastavitve najvišje temperature 1000°C . Segrevanje je trajalo do vzpostavitve izotermnega stanja znotraj betonskih vzorcev pri temperaturah 200°C , 400°C , 600°C ali 800°C . Časovni razvoj temperature



Slika 1 • Tipičen razvoj temperature v središču betonskih preizkušancev.

	M1		M2		M3		M4		M5	
T (°C)	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P
20	5	3	3	3	9	7	4	5	5	4
200	3	3	3	3	9	7	5	6	5	4
400	3	3	3	3	9	7	8	5	5	4
600	3	3	3	3	8	7	8	5	5	4
800	3	3	3	3	3	3	5	5	6	4

Preglednica 2 • Število betonskih kock (K) in prizmatičnih preizkušancev (P) posamezne mešanice, izpostavljenih izbrani povišani temperaturi.

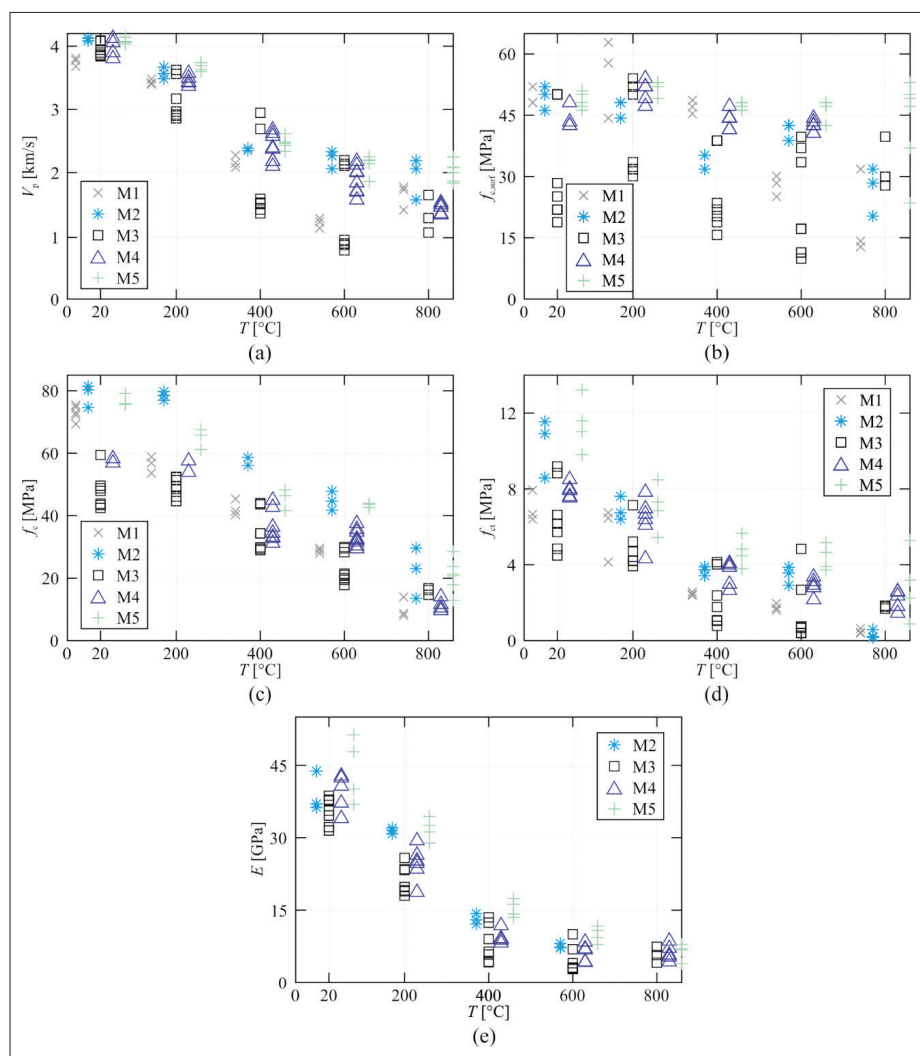
3 • REZULTATI NEPORUŠNEGA IN PORUŠNEGA PREIZKUŠANJA BETONA PO SEGREVANJU

3.1 Statistična analiza eksperimentalnih rezultatov

Eksperimentalni rezultati, pridobljeni s porušnim in neporušnim preizkušanjem betona po izpostavljenosti povišanim tempe-

raturam, so razdeljeni v skupine v odvisnosti od temperature T , dosežene med segrevanjem, in jih prikazujemo na sliki 2. Za vsako posamezno betonsko mešanico je bila opravljena osnovna statistična analiza eksper-

imentalnih rezultatov, ki zajema določitev povprečne vrednosti, standardne deviacije σ ter minimalne in maksimalne vrednosti. Rezultate osnovne statistične analize prikazujemo v dodatku A, preglednice A.1 do A.5. Za mešanici M1 in M2 pa je obsežnejša statistična analiza predstavljena v (Dolinar, 2019).



Slika 2 • Razsevni diagram posamezne betonske mešanice v odvisnosti od temperature T za naslednje eksperimentalne rezultate: (a) V_p (b) $f_{c,surf}$ (c) f_c (d) f_{ct} in (e) E .

3.2 Analiza variance

Analiza variance oz. ANOVA se uporablja za preverjanje domnev, kjer je postavljena izbrana domneva o populacijskem parametru, vzorčna statistika pa se uporabi za določitev vrednosti, ali je ničelna domneva napačna. Domneva temelji na razpoložljivih informacijah in populacijskih parametrih. Metoda je razvil Fisher (Fisher, 1921), podroben opis pa je na voljo v številnih statističnih učbenikih, npr. ((Scheffé, 1999), (Gamst, 2008)). V obravnavanem primeru eksperimentalni rezultati niso normalno porazdeljeni, poleg tega se pojavlja heteroskedastičnost, zaradi česar je primerna uporaba neparametričnih testov. Eden izmed njih je Kruskal-Wallisov test ((Kruskal, 1952), (Corder, 2009)), s katerim ugotovimo, ali se pri intervalu zaupanja 5% srednja vrednost vsaj enega izmed razredov razlikuje od ostalih. S tem testom smo preverili dve ničelni

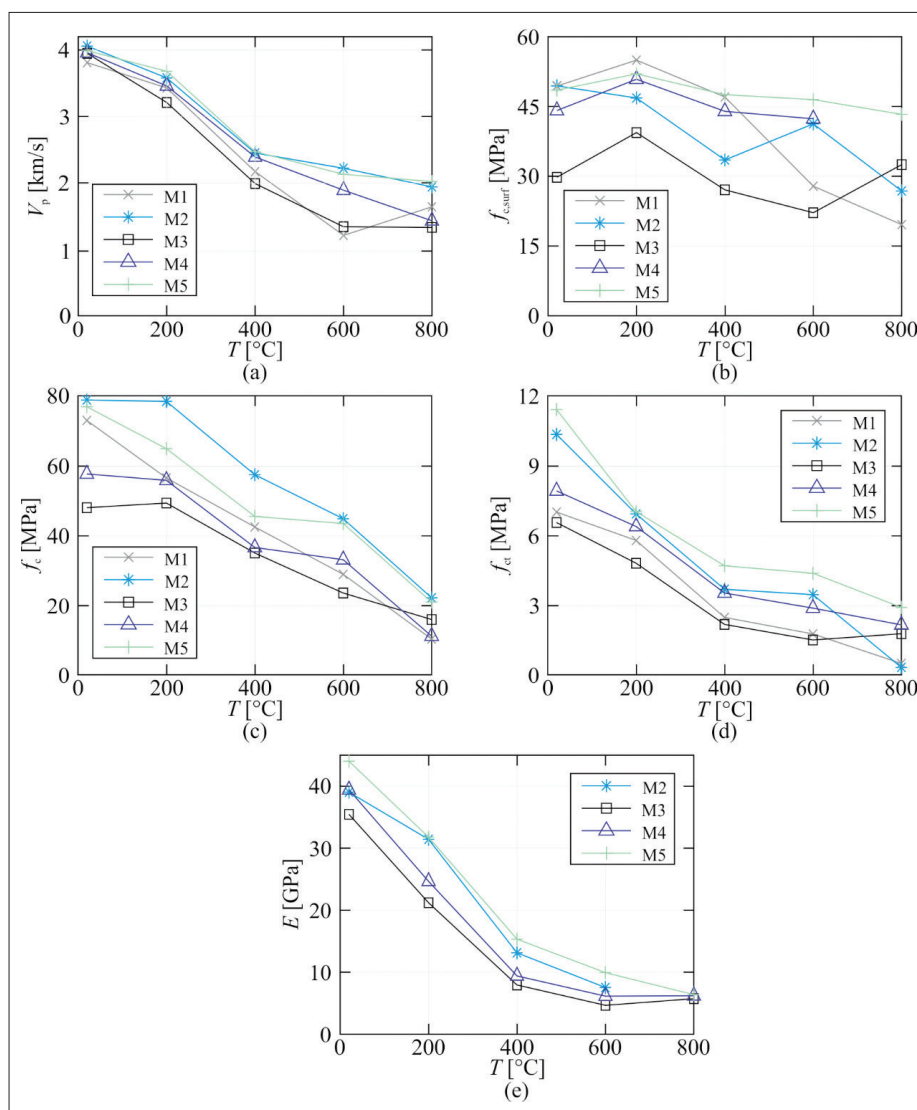
domnevi, in sicer: (i) temperatura T ne vpliva na vrednosti V_p , $f_{c,surf}$, f_c , f_{ct} in E in (ii) mešanica betona ne vpliva na vrednosti V_p , $f_{c,surf}$, f_c , f_{ct} in E . Izkáže se, da Kruskal-Wallisov test zazna statistično značilen vpliv temperature T pri vseh merjenih vrednostim, medtem ko je vpliv betonske mešanice statistično značilen le pri vrednostih $f_{c,surf}$ in f_c . Z Dunn-Sidakovim testom (Cramer, 2004) pa smo nato preverili še, katere skupine se statistično značilno razlikujejo med seboj. Pri preverjanju prve ničelne domneve smo s posteriori testom pri vrednostih V_p , f_{ct} in E opazili, da se skupini pri temperaturi 20 °C in 200 °C med seboj statistično značilno ne razlikujeta. Enako velja tudi za skupine pri temperaturi 400 °C, 600 °C in 800 °C. Pri vrednosti f_c se med seboj statistično značilno ne razlikujeta skupini pri temperaturi 20 °C in 200 °C, 400 °C in 600 °C ter 600 °C in 800 °C. Pri vrednosti $f_{c,surf}$ do statistično značilnih razlik pride med skupinama pri

temperaturi 200 °C in 600 °C ter med skupinama pri 200 °C in 800 °C. Pri preverjanju druge ničelne domneve pri vrednosti $f_{c,surf}$ opazimo statistično značilne razlike med mešanicami M1 in M3, M3 in M4 ter med M3 in M5. Pri vrednosti f_c se med seboj statistično značilno razlikujeta le mešanici M2 in M4.

3.3 Preostale mehanske lastnosti betona

Na sliki 3 prikazujemo povprečne izmerjene vrednosti količin V_p , $f_{c,surf}$, f_c , f_{ct} in E v odvisnosti od najvišje dosežene temperature T med segrevanjem. V vseh primerih, razen pri preostali površinski trdnosti betona $f_{c,surf}$, opazimo intenziven padec obravnavanih količin v odvisnosti od najvišje dosežene temperature T . V večini primerov je do najvišjega relativnega znižanja merjenih veličin prišlo v območju med temperaturama 200 °C in 400 °C, kar dobro sovпада s pojavom prvih lasastih mrežastih razpok na betonskih vzorcih (Dolinar, 2018).

Opazimo, da višje v/c-razmerje (M3) v kombinaciji s cementom visokih trdnosti daje nižje rezultate meritev na preizkušancih po izpostavljenosti povišanim temperaturam kot v primeru uporabe cementa normalnih trdnosti in enakega v/c-razmerja. Nasprotno pri nižjem v/c-razmerju (M2) v kombinaciji s cementom visoke trdnosti in dodanim superplastifikatorjem dosežemo višje tlačne trdnosti po izpostavitvi povišani temperaturi v primerjavi z ostalimi mešanicami. Najmanjši vpliv temperature na vrednosti količin $f_{c,surf}$, f_{ct} in E opazimo pri meritvah, opravljenih na betonskih preizkušancih mešanice M5, kjer je bil uporabljen cement visokih trdnosti z v/c-razmerjem 0,45. Najvišje vrednosti V_p po izpostavitvi povišanim temperaturam so izmerjene na preizkušancih mešanice M2 in M5.



Slika 3 • Povprečne vrednosti eksperimentalnih meritev: (a) hitrost preleta vzdolžnih UZ-valov V_p , (b) preostala površinska trdnost $f_{c,surf}$, (c) preostala tlačna trdnost f_c , (d) preostala upogibna natezna trdnost f_{ct} in (e) preostali elastični modul betona E .

4 • REGRESIJSKI MODEL Z EKSPLICITNIMI ZVEZAMI

4.1 Splošno

Regresijska analiza je statistični proces, znotraj katerega preverjamo vpliv ene ali več neodvisnih spremenljivk glede na odvisno spremenljivko. Uspešnost regresijskega modela običajno merimo s koeficientom determinacije R^2 , prilagojenim koeficientom determinacije $\bar{R}^2$, in korenomo povprečne kvadratne napake (RMSE) ((Bronštejn, 1997), (Moore, 2006), (Anderson, 2013)), ki ga poleg podane zveze med neodvisnimi in odvisno spremenljivko prikazujemo v preglednicah od 8 do 10. V našem primeru analiziramo zvezo med

rezultati neporušnih preiskav ter preostalo tlačno trdnostjo f_c (predstavljeno v poglavju 4.2), preostalo upogibno natezno trdnostjo f_{ct} (predstavljeno v poglavju 4.3) in preostalim elastičnim modlom betona E (predstavljeno v poglavju 4.4).

Pri obravnavanih regresijskih modelih z eksplicitnimi zvezami smo spreminjali obseg uporabljenih vhodnih podatkov za napoved izbrane preostale mehanske lastnosti betona. Tako smo v prvem primeru (a) izbrano preostalo mehansko lastnost betona napovedali zgolj s poznavanjem vrednosti V_p v nasled-

njem primeru (b) s poznavanjem vrednosti $f_{c,surf}$ in v tretjem primeru (c) s poznavanjem obeh predhodno predstavljenih vhodnih podatkov.

Regresijski modeli z eksplicitnimi zvezami so bili izdelani na vseh razpoložljivih eksperimentalnih rezultatih, pri čemer je bilo preverjeno, da so koeficienti izbranih regresijskih modelov statistično značilno različni od nič (Turk, 2012). Poleg tega je bilo tudi preverjeno izpolnjevanje pogoja o normalni porazdelitvi ostankov (Moore, 2006). V primeru, da pogoj ni bil izpolnjen, so bile uporabljene robustne metode določanja koeficientov regresijskih modelov (Maronna, 2006), kot sta metoda najmanjših absolutnih vrednosti in B-kvadratna funkcija, pri čemer je bilo opaženo minimalno

razlikovanje. Poglobljena analiza z eksplicitnimi zvezami za določitev preostalih mehanskih lastnosti betona, vendar na manjšem obsegu eksperimentalnih rezultatov, je prikazana v delu (Dolinar, 2019).

4.2 Preostala tlačna trdnost betona

Za vsak obravnavani primer (a, b in c) v preglednici 3 podajamo regresijski model

	Regresijski model z eksplicitnimi zvezami	$\bar{R}^2$	R^2	RMSE
(a)	$f_c = 15,07 e^{0,3835 V_p}$	0,7034	0,7065	10,12
(b)	$f_c = 0,7593 f_{c,surf} + 11,36$	0,2964	0,3037	15,58
(c)	$f_c = 1,161 f_{c,surf} + 0,4214 V_p f_{c,surf} - 0,02741 f_{c,surf}^2$	0,7966	0,8008	8,38

Preglednica 3 • Regresijski modeli z eksplicitnimi zvezami za oceno preostale tlačne trdnosti betona.

z eksplicitnimi zvezami za oceno preostale tlačne trdnosti betona f_c z najvišjim doseženim prilagojenim koeficientom determinacije in pripadajočim koeficientom determinacije. Izkaže se, da vrednost f_c najbolje ocenimo v primeru (c), ko v nabor neodvisnih spremenljivk vključimo oba razpoložljiva vhodna podatka. V tem primeru znaša prilagojeni koeficient determinacije 0,7966, pripadajoči koeficient determinacije 0,8008 in koren povprečne kvadratične napake 8,38. Z upoštevanjem zgolj hitrosti V_p (primer a) je ocena preostale tlačne trdnosti betona nekoliko slabša, medtem ko zgolj poznavanje površinske trdnosti betona $f_{c,surf}$ (primer b) ne zadošča za natančno oceno iskane količine.

4.3 Preostala upogibna natezna trdnost betona

V preglednici 4 za vsak obravnavani primer (a, b in c) podajamo regresijski model z

eksplicitnimi zvezami za oceno upogibne natezne trdnosti betona f_{ct} z najvišjim prilagojenim koeficientom determinacije. Podobno kot v prejšnjem tudi v tem primeru preostalo mehansko lastnost najbolje ocenimo na podlagi poznavanja tako vrednosti V_p kot vrednosti $f_{c,surf}$ (primer c). Prilagojeni koeficient determinacije znaša 0,9688, koeficient determinacije 0,9692, koren povprečne kvadratične napake

malenkost slabša, medtem ko poznavanje zgolj površinske trdnosti betona $f_{c,surf}$ (primer b) ne zadošča za natančno oceno iskane količine.

4.4 Preostali elastični modul betona

V preglednici 5 za dva obravnavana primera podajamo regresijski model z eksplicitnimi zvezami za oceno preostalega elastičnega modula betona E z najvišjim prilagojenim koeficientom determinacije. Opazimo, da lahko preostalo mehansko lastnost zelo dobro ocenimo zgolj na podlagi poznavanja vrednosti V_p (primer a). V primeru hkratnega poznavanja V_p in $f_{c,surf}$ (primer c) $f_{c,surf}$ ne prispeva k izboljšanju omenjenega regresijskega modela. Podobno kot v prejšnjih dveh primerih tudi v tem primeru zgolj s poznavanjem površinske trdnosti

	Regresijski model z eksplicitnimi zvezami	$\bar{R}^2$	R^2	RMSE
(a)	$f_{ct} = 0,584 V_p^2$	0,8596	0,8596	1,06
(b)	$f_{ct} = 0,1154 f_{c,surf}$	0,3659	0,3659	2,26
(c)	$f_{ct} = 0,3341 V_p^2 + 0,01784 V_p f_{c,surf}$	0,9688	0,9692	0,50

Preglednica 4 • Regresijski modeli z eksplicitnimi zvezami za oceno preostale upogibne natezne trdnosti betona.

	Regresijski model z eksplicitnimi zvezami	$\bar{R}^2$	R^2	RMSE
(a)	$E = 4,01 V_p^2 - 8,44 V_p + 8,32$	0,9407	0,9421	3,36
(b)	$E = 4,25 e^{0,03681 f_{c,surf}}$	0,2214	0,2307	12,16

Preglednica 5 • Regresijski modeli z eksplicitnimi zvezami za oceno preostalega elastičnega modula betona.

pa 0,50. Tudi pri oceni vrednosti f_{ct} opazimo, da je zgolj s poznavanjem hitrosti V_p (primer a) ocena preostale tlačne trdnosti betona le

$f_{c,surf}$ (primer b) ne moremo zanesljivo oceniti vrednosti preostalega elastičnega modula betona.

5 • REGRESIJSKI MODELI Z UMETNIMI NEVRONSKIMI MREŽAMI

5.1 Splošno

Ena izmed nelinearnih regresijskih modelov so tudi umetne nevronske mreže, ki so napredno numerično orodje za obdelavo podatkov. Obdelava poteka na način, da nevronska mreža na podlagi učenja iz znanih primerov pridobi informacije, ki jih nato uporabi pri svojem nadaljnjem delovanju, s čimer posnema delovanje biološkega živčnega sistema. Sestavlja jo veliko število nevronov, ki jih je treba pri vsaki novi aplikaciji posebej prilagoditi preko procesa učenja (Haykin, 2009). Ti nevroni so

razporejeni v vhodno, eno ali več skritih, in izhodno plast. Poglobljeno teoretično ozadje umetnih nevronske mreže je detajlno opisano v številni literaturi (na primer (Chan, 1998), (Shah, 2012), (Abbas, 2019)).

Pri analizah smo poleg števila skritih plasti in števila nevronov v posamezni plasti, spreminjali tudi število nevronov v prvi, vhodni plasti posamezne nevronske mreže. Tako smo v prvem primeru (a) izbrano preostalo mehansko lastnost betona določili zgolj na podlagi vrednosti V_p , v naslednjem primeru

(b) pa na podlagi vrednosti V_p in $f_{c,surf}$. V nasprotju s predhodno opisanimi regresijskimi modeli z eksplicitnimi zvezami smo v primeru regresijskih modelov z umetnimi nevronske mreže v nabor vplivnih parametrov vključili še podatek o v/c-razmerju mešanice (primer c), v četrtem primeru (d) smo podatek o v/c-razmerju nadomestili s podatkom o najvišji doseženi temperaturi T med segrevanjem, v zadnjem primeru (e) pa smo izbrano preostalo mehansko lastnost betona ocenili na podlagi vseh predhodno navedenih parametrov. Eksperimentalne rezultate smo naključno razdelili v učno (80 % podatkov) in testno (20 %) skupino. Učni proces smo izvedli z Levenberg-Marquardtovim algoritmom z računal-

niškim programom Matlab (Matlab, 1999). Na tem mestu bi bralca želeli opozoriti, da v primeru majhnega števila podatkov tvegamo preveliko prilagojenost nevronske mreže (angl. overfitting), kar pomeni, da se nevronska mreža izjemno izkaže pri izbrani skupini podatkov, pri vnosu drugačnih vhodnih podatkov pa je ocena slaba (Hudobivnik, 2017), zaradi česar je treba pri učenju nevronske mreže ustrezno postopati. Skladno s postopki, podanimi v ((Vakharia, 2019), (Hagan, 2014)), smo pri učenju umetne nevronske mreže upoštevali in nadzirali število iteracij, ki mora biti relativno majhno, in opravili petkratno navzkrižno validacijo (angl. cross-validation method), pri čemer smo eksperimentalne rezultate razdelili v pet skupin ((Vakharia, 2019), (Hagan, 2014)). V nadaljevanju prikazujemo rezultate ene izmed teh skupin.

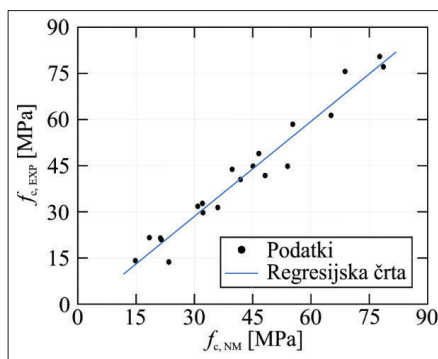
Za oceno posamezne preostale mehanske lastnosti betona smo skupno opravili več tisoč analiz z različnimi geometrijami nevronske mreže ter različnim obsegom vhodnih podatkov, pri čemer v nadaljevanju prikazujemo le nevronske mreže z najvišjim doseženim koeficientom determinacije v posameznem primeru (a–e). Rezultate posameznih analiz smo prikazali v preglednicah od 6 do 8, pri čemer v stolpcih prikazujemo različne primere glede na število podatkov v vhodni plasti, v vrsticah pa različne geometrije uporabljenih umetnih nevronske mreže (geometrija NM). Posamezna številka predstavlja število nevronov v posamezni plasti, odebeljena števila v preglednicah 6 do 8 pa predstavljajo najvišji doseženi koeficient determinacije pri različnih vhodnih podatkih.

5.2 Preostala tlačna trdnost betona

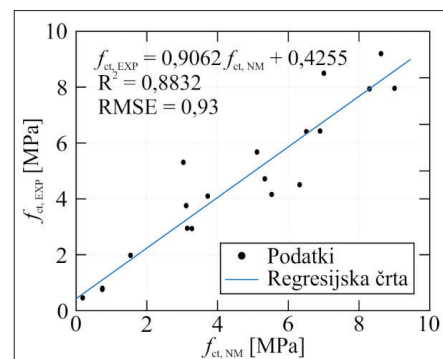
V nadaljevanju prikazujemo rezultate ocene preostale tlačne trdnosti betona z umetnimi nevronske mreže različnih geometrij in z upoštevanjem različnih vhodnih podatkov. Uspešnost učenja prikazujemo v preglednici 6, kjer so prikazani posamezni koeficienti determinacije. Opazimo, da z upoštevanjem vseh vhodnih podatkov (to je $V_p, f_{c,surf}, v/c$ -razmerja in T) najboljše ocenimo preostalo tlačno trdnost betona. Koeficient determinacije v tem primeru znaša 0,9561, koren povprečne kvadratične napake pa 4,38. Zgolj nekoliko nižji koeficient determinacije (0,9225) je bil dosežen v primeru, ko nismo upoštevali temperature (primer c). Na sliki 4, na testni skupini podatkov, prikazujemo primerjavo med dejanskimi $f_{c,EXP}$ in izračunanimi $f_{c,NM}$ vrednostmi z umetno nevronske mreže, ki je dosegla najvišji koeficient determinacije.

	$R^2 (V_p)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf})$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + T)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c + T)$
Geometrija NM	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
3-2	0,7952	0,8463	0,9015	0,8644	0,9430
3-4	0,7832	0,8130	0,8955	0,8893	0,9456
4-3	0,7799	0,8192	0,8870	0,8508	0,9561
4-4	0,7723	0,8188	0,9225	0,8443	0,9370

Preglednica 6 • Koeficient determinacije, določen na testni skupini podatkov pri različnih geometrijah nevronske mreže in vhodnih podatkih za oceno preostale tlačne trdnosti betona.



Slika 4 • Primerjava med dejanskimi $f_{c,EXP}$ in izračunanimi $f_{c,NM}$ vrednostmi preostale tlačne trdnosti betona z uporabo umetne nevronske mreže na testni skupini podatkov.



Slika 5 • Primerjava med dejanskimi $f_{c,EXP}$ in izračunanimi $f_{c,NM}$ vrednostmi preostale upogibne natezne trdnosti betona z uporabo umetne nevronske mreže na testni skupini podatkov.

5.3 Preostala upogibna natezna trdnost betona

V preglednici 7 prikazujemo rezultate ocene preostale upogibne natezne trdnosti betona z umetnimi nevronske mreže različnih geometrij in z upoštevanjem različnih vhodnih podatkov. Opazimo, da z upoštevanjem vrednosti $V_p, f_{c,surf}$ in T najboljše ocenimo iskano preostalo mehansko lastnost betona. Koeficient determinacije v tem primeru znaša 0,8832, koren povprečne kvadratične napake pa 0,93. Zgolj nekoliko nižji koeficient (0,8621) je dosežen v primeru, ko nismo upoštevali temperature. Na sliki 5, na test-

ni skupini podatkov, prikazujemo primerjavo med dejanskimi $f_{c,EXP}$ in izračunanimi $f_{c,NM}$ vrednostmi z umetno nevronske mreže, ki je dosegla najvišji koeficient determinacije.

5.4 Preostali elastični modul betona

V preglednici 8 prikazujemo uspešnost učenja umetnih nevronske mreže različnih geometrij in z upoštevanjem različnih vhodnih podatkov za oceno preostalega elastičnega modula betona. Opazimo, da z upoštevanjem vseh vhodnih podatkov dosežemo najvišji koeficient determinacije (0,9906), brez upoštevanja temperature pa je ta koeficient zgolj nekoliko nižji (0,9840).

	$R^2 (V_p)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf})$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + T)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c + T)$
Geometrija NM	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	0,7663	0,8347	0,8311	0,7960	0,7255
5	0,7861	0,8337	0,8188	0,8570	0,8550
4-1	0,7701	0,8621	0,8176	0,8257	0,8172
4-4	0,7734	0,8534	0,8281	0,8832	0,8192

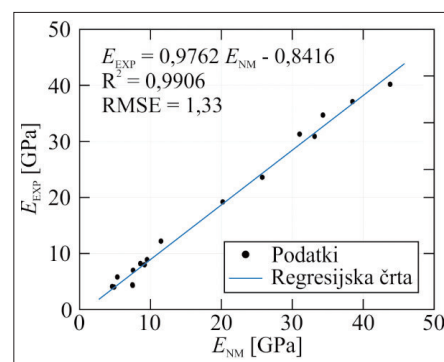
Preglednica 7 • Koeficient determinacije, določen na testni skupini podatkov pri različnih geometrijah nevronske mreže in vhodnih podatkih za oceno preostale upogibne natezne trdnosti betona.

	$R^2 (V_p)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf})$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + T)$	$R^2 (V_p + f_{c,surf} + v/c + T)$
Geometrija NM	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1-3	0,9798	0,9806	0,9766	0,9802	0,9879
2-2	0,9801	0,9773	0,9840	0,9756	0,9796
3-2	0,9803	0,9773	0,9717	0,9790	0,9857
3-4	0,9800	0,9758	0,9712	0,9775	0,9906
4-4	0,9786	0,9781	0,9768	0,9862	0,9861

Preglednica 8 • Koeficient determinacije, določen na testni skupini podatkov pri različnih geometrijah nevronske mreže in vhodnih podatkih za oceno preostalega elastičnega modula betona.

Pri oceni vrednosti E opazimo, da že zgolj s poznavanjem vrednosti V_p dosežemo primerljivo visok koeficient determinacije (0,9803). Na sliki 6, na testni skupini po-

datkov, prikazujemo primerjavo med dejanskimi E_{EXP} in izračunanimi E_{NM} vrednostmi z umetno nevronske mreže, ki je dosegla najvišji koeficient determinacije.



Slika 6 • Primerjava med dejanskimi E_{EXP} in izračunanimi E_{NM} vrednostmi preostalega elastičnega modula z uporabo umetne nevronske mreže na testni skupini podatkov.

6 • ZAKLJUČKI

V članku smo predstavili možnost uporabe regresijskih modelov z eksplicitnimi zvezami in z umetnimi nevronske mreže za oceno preostale tlačne in upogibne natezne trdnosti ter preostalega elastičnega modula betona na osnovi rezultatov neporušnih preizkusov. V ta namen smo opravili obsežno eksperimentalno raziskavo, ki je vključevala izdelavo petih različnih betonskih mešanic z apnenčevim agregatom.

Rezultati kažejo, da v kolikor v vhodni sloj regresijskih modelov z umetnimi nevronske mreže vključimo nabor vseh razpoložljivih vplivnih parametrov (neodvisnih spremenljivk), lahko zelo natančno ocenimo analizirane preostale mehanske lastnosti betona. V tem primeru se je izkazalo, da sta dosežena najviš-

ja koeficienta determinacije pri oceni preostale tlačne trdnosti (0,9561) in elastičnega modula (0,9906). Brez upoštevanja temperature v vhodnem sloju je natančnost primerljiva, brez upoštevanja v/c-razmerja pa nekoliko nižja. Opazimo, da je najvišji koeficient determinacije, pri oceni preostale upogibne natezne trdnosti, dosežen v primeru regresijskega modela z eksplicitno zvezo, ki vključuje meritve hitrosti preleta UZ-valov in površinske trdnosti (0,9692). V primeru ocene preostalega elastičnega modula betona ponovno dosežemo najvišji koeficient determinacije v primeru regresijskega modela z umetnimi nevronske mreže in poznavanjem rezultatov obeh neporušnih meritev, v/c-razmerja in temperature.

Pri pregledu konstrukcije po požaru lahko na terenu opravimo UZ-meritve ter določimo površinsko trdnost betona, podatek o v/c-razmerju pa lahko pridobimo iz ustrezne projektne dokumentacije. Določitev najvišje temperature med požarom je nekoliko zahtevnejša naloga, ki zahteva uporabo ustreznih numeričnih orodij, pri katerih pa moramo predhodno izmeriti pomike konstrukcije na najbolj izpostavljenih delih. Kot vidimo iz prikazanih analiz, lahko tudi v primeru nepoznavanja najvišje temperature z umetnimi nevronske mreže dovolj natančno ocenimo preostalo tlačno trdnost betona na osnovi poznavanja V_p , $f_{c,surf}$ in v/c-razmerja, medtem ko so za določitev preostale upogibne natezne trdnosti in elastičnega modula zadovoljivi že rezultati neporušnih meritev na terenu, to sta V_p in $f_{c,surf}$.

7 • ZAHVALA

Najlepše se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ki je finančno podprla delo U. Dolinar s sklepom št. 802-7/2016-215 in delo T. Hozjana ter G. Trtnika preko temeljnega raziskovalnega projekta št. P2-0260.

8 • LITERATURA

- Abbas, H., Al-Salloum, Y. A., Elsanadedy, H. M., Almusallam, T. H., ANN models for prediction of residual strength of HSC after exposure to elevated temperatures, Fire safety journal 106: 13-28, 2019.
- Anderson, A., Business statistics for dummies, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.
- Arioz, O., Effects of elevated temperatures on properties of concrete, Fire safety journal 42: 516-522, 2007.

- Bronštejn, I. N., Semendjajev, K. A., Musiol, G., Muhlig, H., Matematični priročnik, Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1997.
- Chaix, J. F., Garnier, V., Corneloup, G., Concrete damage evolution analysis by backscattered ultrasonic waves, *NDT & E international* 36: 461-469, 2003.
- Chan, Y. N., Jin, P., Anson, M., Wang, J. S., Fire resistance of concrete: prediction using artificial neural networks, *Magazine of concrete research* 50 (4): 353-358, 1998.
- Corder, G. W., Foreman, D. I., Nonparametric statistics for non-statisticians: A step-by-step approach, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- Cramer, D., Howitt, D., The Sage dictionary of statistics: A practical resource for students in the social science, Sage Publications, London, Thousand Oaks, 2004.
- Digi-Schmidt 2000. Operating instructions for concrete test hammer DIGI-SCHMIDT 2000, Modell ND/LD. https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/DigiSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf, 2017.
- Dolinar, U., Trtnik, G., Hozjan, T., Determination of mechanical properties of normal strength limestone concrete after exposure to elevated temperatures, v: Material behaviour in fire, *Journal of physics* 1107: 1-6, ilustr., Bristol: IOP, 2018.
- Dolinar, U., Trtnik, G., Turk, G., Hozjan, T., The feasibility of estimation of mechanical properties of limestone concrete after fire using non-destructive methods, *Concrete and building materials* 228, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116786>, 2019.
- dos Santos, C. C., Rodrigues, J. P. C., Calcareous and granite aggregate concretes after fire, *Journal of building engineering* 8: 231-242, 2016.
- Fisher, R. A., On the "probable error" of a coefficient of correlation deduced from a small sample, *Metron* 1: 3-32, 1921.
- Gamst, G., Meyers, L. S., Guarino, A. J., Analysis of variance designs, Cambridge University Press, 2008.
- Hagan, M. T., Dumuth, H. B., Beale, M. H., De Jesus, O., Neural network design (2nd Edition), self published, 2014.
- Haykin, S., Neural networks and learning machines, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 906 str., 2009.
- Hertz, K. D., Concrete strength for fire safety design, *Magazine of concrete research* 57 (8): 445-453, 2005.
- Hudobivnik, R., Analiza tveganja za samomor z uporabo globokih nevronske mreže, Diplomsko delo, Fakulteta za računalništvo in informatiko, samozaložba, 2017.
- ISO 1920-10: 2010. Testing of concrete – Part 10: Determination of static modulus of elasticity in compression.
- Kerzemien, K., Hager, I., Post-fire assesment of mechanical properties of concrete with use of the impact-echo method, *Construction and building materials* 96: 155-163, 2015.
- Kruskal, W. H., Wallis, W. A., Use of ranks in one-criterion variance analysis, *Journal of the American statistical association* 47 (260): 583-621, 1952.
- Ma, Q. M., Guo, R. X., Zhao, Z. M., Lin, Z. W., He, K. C., Mechanical properties of concrete at high temperature – a review, *Construction and building material* 93: 371-383, 2015.
- Maronna, R. A., Martin, R. D., Yohai, V. J., Salibián-Barrera, M., Robust statistics: Theory and methods, Wiley, 2006.
- Matlab, The language of technical computing, The Mathworks Inc., 1999.
- Moore, D. S., McCabe, G. P., Introduction to the practice of statistics, Fifth edition, W. H. Freeman and Company, New York, 2006.
- Park, S. J., Yim, H. J., Evaluation of residual mechanical properties of concrete after exposure to high temperatures using impact resonance method, *Construction and building materials* 129: 89-97, 2016.
- Park, G. K., Yim, H. J., Evaluation of fire-damaged concrete: An experimental analysis based on destructive and non-destructive methods, *International journal of concrete structures and materials* 11 (3): 447-457, 2017.
- Savva, A., Manita, P., Sideris, K. K., Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates, *Cement & concrete composites* 27 (2): 239-248, 2005.
- Scheffé, H., The analysis of variance, John Wiley and Sons, United States of America, 1999.
- Shah, A. A., Alsayed, S. H., Abbas, H., Al-Salloum, Y. A., Predicting residual strength of non-linear ultrasonically evaluated damaged concrete using artificial neural network, *Construction and building material* 29: 42-50, 2012.
- SIST EN 12390-3: 2009. Preskušanje strjenega betona – 3. del: Tlačna trdnost preizkušancev.
- SIST EN 12504-2: 2002. Preskušanje betona v konstrukcijah – 2. del: Neporušitveno preskušanje – Določevanje sklerometričnega indeksa.
- SIST EN 12504-4: 2004. Preskušanje betona – 4. del: Določanje hitrosti prehoda ultrazvoka.
- SIST EN 12390-5: 2009. Preskušanje strjenega betona – 5. del: Upogibna trdnost preskušancev.
- Trtnik, G., Kavčič, F., Turk, G., Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks, *Ultrasonics*, 49 (1): 53-60, 2009.
- Turk, G., Verjetnostni račun in statistika, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2012.
- Vakharia, V., Gujar, R., Prediction of compressive strength and portland cement composition using cross-validation and feature ranking techniques, *Construction and building materials*, 225: 292-301, 2019.

Dodatek A

Rezultat	$T (^{\circ}\text{C})$	Povprečje	σ	Min	Max
V_p (km/s)	20	3,81	0,1738	3,45	4,17
	200	3,43	0,1294	3,23	3,57
	400	2,17	0,0926	2,04	2,30
	600	1,21	0,0717	1,10	1,28
	800	1,64	0,2867	1,07	1,83
$f_{c,\text{surf}}$ (MPa)	20	49,40	2,2517	48,10	52,00
	200	54,97	9,5807	44,30	62,83
	400	47,04	1,6453	45,38	48,67
	600	27,87	2,5423	25,10	30,10
	800	19,60	10,5887	12,80	31,80
f_c (MPa)	20	72,95	2,3874	69,37	75,45
	200	56,45	2,6344	53,63	58,85
	400	42,40	2,6521	40,34	45,39
	600	28,82	0,8416	27,95	29,63
	800	10,25	3,2372	8,05	13,97
f_{ct} (MPa)	20	7,00	0,8208	6,41	7,94
	200	5,78	1,4272	4,14	6,74
	400	2,47	0,0961	2,38	2,57
	600	1,76	0,1803	1,61	1,96
	800	0,49	0,1323	0,39	0,64

Preglednica A.1 • Osnovna statistična analiza eksperimentalnih rezultatov mešanice M1.

Rezultat	$T (^{\circ}\text{C})$	Povprečje	σ	Min	Max
V_p (km/s)	20	3,95	0,1791	3,64	4,42
	200	3,21	0,3488	2,82	3,72
	400	1,99	0,7010	1,20	3,07
	600	1,34	0,6484	0,75	2,33
	800	1,33	0,3930	0,92	2,00
$f_{c,\text{surf}}$ (MPa)	20	29,78	12,8533	18,80	50,10
	200	39,39	10,5627	30,10	54,00
	400	27,08	9,9696	15,70	38,80
	600	22,16	12,4645	9,90	39,70
	800	32,50	6,3700	27,80	39,75
f_c (MPa)	20	47,93	5,8059	42,49	59,44
	200	49,26	3,0356	44,66	52,43
	400	34,93	6,4709	28,94	44,01

Rezultat	$T (^{\circ}\text{C})$	Povprečje	σ	Min	Max
V_p (km/s)	20	4,06	0,1702	3,57	4,35
	200	3,58	0,1285	3,33	3,70
	400	2,45	0,1883	2,33	2,78
	600	2,22	0,1609	2,04	2,44
	800	1,94	0,3514	1,27	2,27
$f_{c,\text{surf}}$ (MPa)	20	49,43	2,9569	46,20	52,00
	200	46,83	2,1939	44,30	48,10
	400	33,50	2,4042	31,80	35,20
	600	41,27	2,1362	38,80	42,50
	800	26,83	5,9079	20,30	31,80
f_c (MPa)	20	78,79	3,6324	74,65	81,43
	200	78,41	1,3935	76,96	79,74
	400	57,38	1,7466	56,14	58,61
	600	44,76	3,0363	41,78	47,85
	800	22,07	8,0859	13,53	29,61
f_{ct} (MPa)	20	10,34	1,5592	8,58	11,54
	200	6,92	0,6199	6,41	7,61
	400	3,68	0,2401	3,42	3,89
	600	3,45	0,4845	2,92	3,87
	800	0,32	0,2272	0,16	0,58
E (GPa)	20	39,03	4,1429	36,30	43,80
	200	31,43	0,6028	30,80	32,00
	400	13,13	1,1060	12,10	14,30
	600	7,53	0,4933	7,20	8,10

Preglednica A.2 • Osnovna statistična analiza eksperimentalnih rezultatov mešanice M2.

Rezultat	$T (^{\circ}\text{C})$	Povprečje	σ	Min	Max
V_p (km/s)	20	3,96	0,1695	3,48	4,52
	200	3,46	0,1371	3,31	3,79
	400	2,39	0,2217	2,05	2,70
	600	1,89	0,2298	1,54	2,29
	800	1,43	0,1121	1,29	1,63
$f_{c,\text{surf}}$ (MPa)	20	44,13	2,6837	42,50	48,10
	200	50,86	2,6904	47,20	54,00
	400	43,96	1,8197	41,50	47,20
	600	42,36	1,2603	40,60	44,30

	600	23,46	4,9691	17,82	29,99
	800	15,86	1,0789	14,66	16,75
f_{ct} (MPa)	20	6,55	1,8290	4,49	9,18
	200	4,80	1,1144	3,93	7,14
	400	2,17	1,4072	0,78	4,14
	600	1,50	1,6739	0,39	4,84
	800	1,77	0,0755	1,69	1,84
E (GPa)	20	35,46	2,8442	31,50	38,70
	200	21,20	2,9654	18,00	25,80
	400	7,94	3,7885	4,20	13,50
	600	4,66	2,7706	2,80	10,00
	800	5,73	1,6503	4,10	7,40

Preglednica A.3 • Osnovna statistična analiza eksperimentalnih rezultatov mešanice M3.

Rezultat	T (°C)	Povprečje	σ	Min	Max
V_p (km/s)	20	3,99	0,2002	3,47	4,29
	200	3,68	0,1438	3,52	3,92
	400	2,47	0,1143	2,22	2,67
	600	2,13	0,2221	1,52	2,28
	800	2,02	0,2053	1,73	2,43
$f_{c,surf}$ (MPa)	20	48,52	1,9967	46,20	51,00
	200	52,02	1,6888	49,10	53,00
	400	47,54	0,8444	46,20	48,10
	600	46,48	2,6837	42,50	48,10
	800	43,32	11,1437	23,50	53,00
f_c (MPa)	20	76,88	1,9630	75,60	79,14
	200	64,85	3,3089	61,17	67,58
	400	45,43	3,4214	41,62	48,24
	600	43,39	0,6937	42,61	43,93
	800	20,85	5,2705	12,94	28,53
f_{ct} (MPa)	20	11,41	1,4157	9,81	13,22
	200	7,02	1,2579	5,44	8,48
	400	4,69	0,7786	3,79	5,66
	600	4,37	0,6682	3,73	5,17
	800	2,90	1,8540	0,88	5,29
E (GPa)	20	44,03	6,6670	36,90	51,30
	200	31,78	2,3215	28,90	34,40
	400	15,33	1,7951	13,50	17,40

f_c (MPa)	20	57,60	0,9829	56,90	58,29
	200	55,76	2,5739	53,94	57,58
	400	36,52	5,2850	31,23	45,00
	600	33,01	2,7567	29,43	37,53
	800	11,09	1,8584	9,63	14,08
f_{ct} (MPa)	20	7,91	0,3863	7,53	8,50
	200	6,38	1,1710	4,32	7,83
	400	3,52	0,6548	2,65	4,08
	600	2,87	0,4514	2,16	3,36
	800	2,15	0,5028	1,45	2,59
E (GPa)	20	39,42	3,7499	34,00	42,80
	200	24,65	3,5399	18,70	29,40
	400	9,40	1,3910	8,20	11,80
	600	6,14	1,8325	4,20	8,40
	800	6,20	1,6763	4,30	8,60

Preglednica A.4 • Osnovna statistična analiza eksperimentalnih rezultatov mešanice M4.

	600	9,93	1,6741	7,90	11,70
	800	6,38	1,7270	3,90	7,90

Preglednica A.5 • Osnovna statistična analiza eksperimentalnih rezultatov mešanice M5.

SUHOZID, KAMNITA ARHITEKTURA, KI NI SAMO ZID

DRYSTONE, ARCHITECTURE IN STONE, WHICH IS NOT ONLY WALL

prof. dr. Borut Juvanec, univ. dipl. inž. arh.

borut.juvanec@stoneshelter.org

Institut vernakularne arhitekture, Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 693.15:72(100)

Povzetek | Suhozid je bil vpisan kot Obrt gradnje suhega zidu, znanje in tehnike (štev. 01293) v Unescov seznam neotipljive kulturne dediščine leta 2018. Kamen je imeniten gradbeni material, ki ga je moč sestavljati v konstrukcije. Najpreprostejše načelo je sestavljanje kamna do kamna, potem prekrivanje, končno previsevanje (korbeling). Razprti prostori med spodnjimi plastmi predstavljajo že uporaben prostor – lino. Majhno lino je mogoče uporabiti za spravilo hrane in pijače, večjo kot okno ali vrata, končno lahko predstavlja zaščito za človeka, samostojen objekt pa je že zatočišče. Konstrukcijsko je najpomembnejši element dela prekrivanje kamna preko kamna, kar v treh dimenzijah predstavlja korbeling, ki tvori nepravo kupolo. Ta je pomemben zato, ker ga je moč sestavljati brez veziva in brez gradbenih odrov. Suhozid je znan od prazgodovine do danes kot vernakularna arhitektura. To so gradili mojstri, ki niso bili šolani in so dobivali znanje z dediščino pa tudi z izkušnjami. Zanimivo, da je danes suhozid v svetu plod visoko izobraženih ljudi raznih strok, ki cenijo svojo dediščino. Namen suhozidnih konstrukcij je širok in vključuje označevanje, spomenike, kot so grobnice, in sakralne objekte, zid v vseh svojih pojavnih oblikah z nizom elementov (stopnice, line, prehodi, vrzeli, zaključki, označbe, usmeritve, varovanje), tlak, pastirsko zatočišče, stanovanje, hlev, vodni zbiralniki, ledenice, shranjevalni objekti, gradnje za transport, izsuševanje in namakanje, za sušenje, ogrevanje in pečenje, za meritve, kot koledar, za zdravje in celo za srečo. Današnji problem je stanje suhozidnih konstrukcij: suhozid je živ organizem in potrebuje redno vzdrževanje. To pomeni nadzor, popravila, rekonstrukcije in obnovo. To je delo za strokovnjake, izkušene ljudi. Zato je potrebno predvsem izobraževanje, ob običajnih nalogah pri varovanju kulturne dediščine pa: inventarizacija, dokumentacija, teoretsko raziskovanje in strokovni projekti – ne nazadnje je izjemnega pomena vloga gradbenih konstruktorjev.

Ključne besede: kamen, suhozidna gradnja, gradbena konstrukcija, objekt, kamnito zatočišče

Summary | In 2018 drystone was inscribed on the UNESCO Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity as Art of dry stone walling, knowledge and techniques (No. 01393). Stone is a perfect building material that can be treated and composed into constructions. The first phase of construction is layering of stones with overlapping. The space between the elements of the first course opens the possibility of composing windows and, finally, a shelter. The most important element of this construction is overlapping. Overlapping in three dimensions, or corbelling, composes a false cupola, which may be built without any connecting material or scaffolding. The use of drystone constructions can be found in the first known architecture, from prehistory up to today. Vernacular architecture is the art of building, performed by unschooled people. Nowadays, drystone walling system is built by smart people, mostly highly educated. The purposes of these constructions are very wide, including marking, monumental use, as a tomb, a wall, pavement, herdsman's shelter, residence, animal shelter, water collector, icehouse, storage place, for drying, measuring, defence, irrigation, transport, as a religious object and much more. The issue today is the condition of this built heritage: drystone

constructions are vital organisms and need ongoing maintenance, without which they could collapse in about ten years. Maintenance means monitoring, repairing, reconstruction and renewal. This can only be done by professionals, educated people, so education and qualifications are needed in addition to the classical needs for expert work, such as inventarization, documentation, theoretical research as well as technical projects – these buildings need important help from structural engineers.

Key words: stone, drystone walling system, building construction, object, stone shelter

1 • UVOD

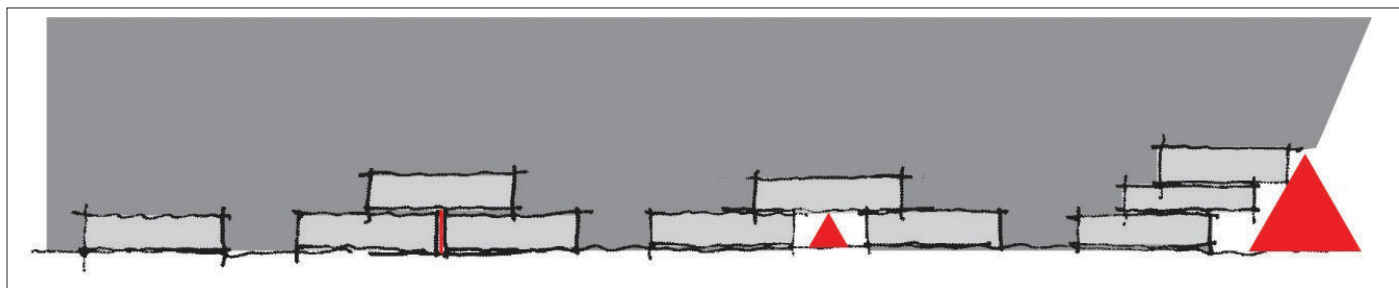
Narava nudi bogat izbor gradiv med materiali žive in nežive narave. Najlaže obvladljiv material je zagotovo les, ki pa ima razmeroma kratko življenjsko dobo in je občutljiv za vlago. Glina predstavlja gradbeni material kot sklop z vodo in z agregatom (peskom). Obstaja kar nekaj načinov gradnje: gnetenje (zgradbi pravijo blatnjača), butanje (zgradba je butanca), adobe (čerpič) – na zraku sušeni zidaki, ki imajo presenetljivo dolgo

znanje in tehnike gradnje suhozida (13. seja Medvladnega komiteja za varovanje neotipljive kulturne dediščine, Mauritius, 26. novembra do 1. decembra 2018) (UNESCO, 2018).

Izvirni opis suhozida je po tem dokumentu: »Gradnja suhozida obsega znanje sestavljanja kamna in njegovo prekrivanje brez veziva. Stabilnost konstrukcij je zagotovljena s skrbnim izborom materiala. Suhozid

Pri uporabi kamna je treba poudariti, da nimamo nesodobnega materiala (Zbašnik Senegačnik, 2010). To je najpomembnejše pri kamnu: gre za njegovo izbiro, obdelavo, dodelavo in uporabo.

Suhozid torej ni le zid, kot si ga predstavljajo nestrokovnjaki: je niz zgradb, od najbolj preprostih (slika 1) do stavb (slika 2) za bivalne in religiozne namene, za varovanje živali, za spravilo hrane, krme in orodja, gradbenih objektov za ustavljanje in za razdeljevanje vode, za transport, ter gradbenih objektov, kot so tlak, ceste, viadukti,



Slika 1 • Sestav več kamnov je mogoče utrditi s prekrivanjem. Razmik v spodnji plasti omogoča »odprtino«, ki je uporabna. Tako dobimo lino, prehod ali vrata. Ko pa plasti kamna preko kamna zamikamo, dobimo previs. Previsni del kamna je imenovan korbel, konstrukcija, ki omogoča prostor, pa korbelling ((Juvanec, 2016) str. 31).

življenjsko dobo (Juvanec, 2010). Z žganjem pa se lastnosti gline bistveno izboljšajo: postane trša, trdnjša, a tudi krhkejša. Najtrdnjši, najtrši in najboljstojnejši naravni material pa je kamen.

Suhozid je od leta 2018 vpisan v Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity pri UNESCO kot

določa značilne krajine s postavitvami bivališč, gospodarskih objektov in oblikuje krajino s svojimi značilnimi strukturami. Te dokazujejo metode in prakse, ki so jih uporabljali ljudje od prazgodovine do danes za organizacijo življenjskega in delovnega prostora z optimizacijo lokalnih, naravnih virov.« (Prevod: B. Juvanec)

mostovi, pa še vrste posebnih objektov za dodelavo gnojiva, za ogrevanje, pečenje, sušenje, celo za zdravje. Ne nazadnje so v prazgodovini sušili žito v kamnitih objektih z ognjem (Devon, Anglija (Juvanec, 2007)). Končno so kamnite konstrukcije brez veziva namenjene tudi okrasju, zdravju in celo sreči ((Juvanec, 2013) str. 32).

2 • MATERIAL

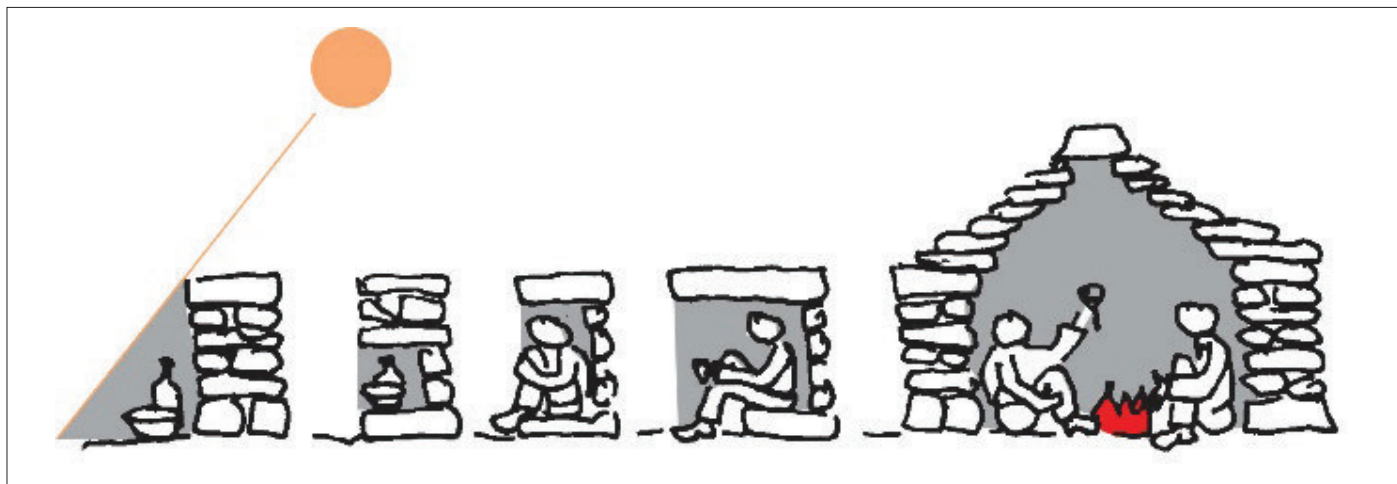
Narava je na zemlji izjemo bogata in nudi velik izbor materialov. Za gradnjo mora biti material trden, obstojen, pa še pridobivati ga je treba s čim manj napora. Tak je predvsem kamen, posebno pomembne pa so kamnite konstrukcije, ki ne uporabljajo veziv in malte.

Dipasqualejeva piše, da je pri tem najpomembnejše, da so to konstrukcije, »ki so skladne z naravo, narejene z najmanj energije, obdelave in transporta« ((Dipasquale, 2011) str. 1).

Najboljši kamen je navadno pod površjem, od koder ga težje dobimo. Površinski kamen je

praviloma mehkejši, a je bolj dosegljiv. Nekatere vrste se celo lomijo, kar je za uporabo velika prednost, zlasti če se plasti enakomerno debele in zato kamne lažje sestavljamo v sklope.

Najtežje sestavljiv je neobdelan, v naravi najdeni kamen. S takim so sestavljene slovenske kamnite konstrukcije: zidovi, škarpe, zatočišča, kali, vodnjaki, ledenice, tudi poti



Slika 2 • Zid sam omogoča senco, ki pa je časovno omejena: opoldne je najkrajša. Lina zadošča za shranjevanje steklenice in malice, večja lahko zaščiti človeka. Po tem načelu je zgrajeno kamnito zatočišče za ljudi in tudi za živali ((Juvanec, 2019) str. 64).

in ceste ter spomeniki. Tako polje kot pašnik, tudi oljčni gaj je treba čistiti, da si živali ne polomijo nog, stroji pa ne svojih sestavnih delov. Neenaki kamni nimajo stalne oblike, ne površine in ne barve, zato je njihova sestava izjemno težko strokovno delo. Po drugi strani pa so dobre konstrukcije v tem kamnu obstojnejše, celo pri potresu, saj zaradi robatih površin v stikih trdno ležijo in se ne premikajo.

Pri nas so konstrukcije večinoma take, v Istri pa je kamen flišast, plastovit, lažje ga pridobi

vajo, kamni so enakih debelin in jih je bistveno lažje sestavljati v kompozicije. Te niso nič boljše od kompozicij iz kamnov nepravilnih oblik, le pravilnejše so in lepše, sestavljajo pa jih z manj truda in hitreje. Zato je lahko kažun pravilnejših oblik tako na zunaj kot na znotraj (Juvanec, 2016).

Zidane kamnite konstrukcije praviloma ne prepuščajo vode, zato je pri podpornih zidovih, škarpah izjemnega pomena, da lahko voda pronica skozi zid in se ne zadržuje za njim. Zid, ki dobi »trebuh«, je praviloma slabo

sestavljen, saj je ta deformacija plod vode, ki nanj pritiska iz zaledja.

Zbašnikova in Koprivčeva se ukvarjata s »pametnimi materiali in z njihovimi aplikacijami v arhitekturi« (Zbašnik Senegačnik, 2010), ki v dobršni meri uporabljajo značilnosti kamnitih struktur. Tako kamen ne more biti nesodoben material, kar uporaba v današnji arhitekturi potrjuje.

3 • KAMNITE KONSTRUKCIJE

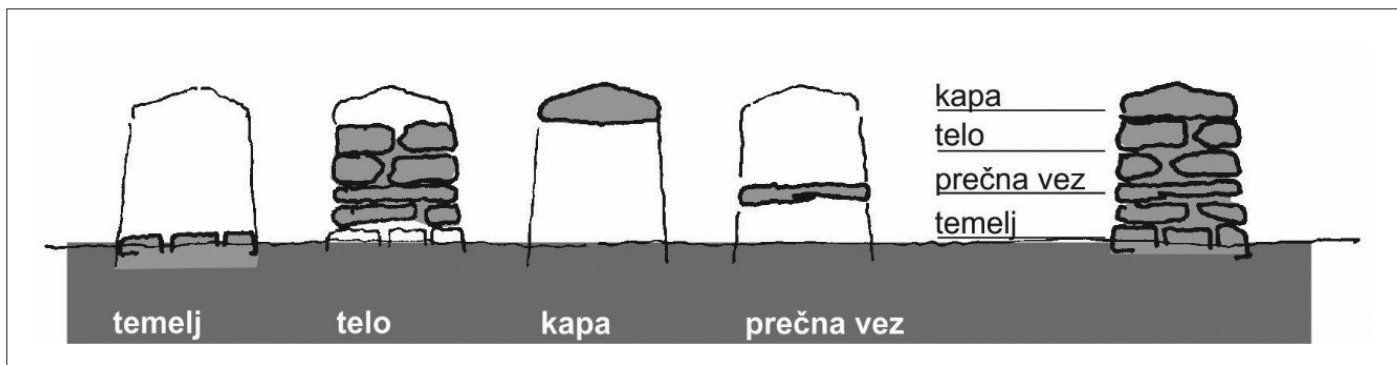
Kamnita konstrukcija je lahko en sam kamen, pogostejše je to sklop več kamnov, ki so zloženi v določenem redu. Kamnito konstrukcijo sestavljajo vzdolžni in prečni kamni, vertikalni, taki, ki previsevajo, pa preklade, ki pod seboj tvorijo uporaben prostor (slika 3).

Posamičen kamen še ni zgradba, a lahko označuje in poudarja prostor, usmerja in vodi, tudi spominja na kaj.

Kup kamenja se s časom poravna z okolico in od njega ne ostane ničesar (Lassure, 2004).

Sestav več kamnov je že konstrukcija in je bistveno trajnejša. Grublja na primer je le spravljen kamen.

Kadar je konstrukcija visoka, predstavlja opozorilo ali omogoča umik pred nevarnostjo. Možic je samo poudarek prostora, ki ga sestavljamo v zabavo ali kot spomin. Kadar pa je ta konstrukcija večja in sega res visoko, je to stolp, ki se dviga nad teren, omogoča razgled,



Slika 3 • Zid je tehnično sestav temelja, telesa in kape. Telo je lahko sestav ene same debeline kamna (unjulica na Krku, pa tudi na Portugalskem ločuje in varuje, veter pa delno prepušča, da je ne podre), sestavljen zid ima vzdolžnike in prečnike, ki ga vežejo, kapa pa zaključuje konstrukcijo, jo obtežuje in odvaja vodo, ki bi sicer zid razdirala ((Juvanec, 2016) str. 30).

boljšo obrambo ali s svojo pojavnostjo le straši.

Jašek je konstrukcija, zgrajena v tleh: v bistvu je obrnjen stolp, ki v sredini tvori navpični prostor. Ta je najobičajneje vodnjak, ponekod tudi rudniški jašek za dostop do plasti pod površjem.

Ko kamen previseva spodnja dva ali spodnji sestav, tvori odprtino – okno ali vrata. Od velikosti je odvisna njena namembnost: skozenj lahko pridejo le otroci, suhi ali voda.

Previsevanje ali korbelling je sistem, v katerem so teoretično vodoravne plasti kamna zamaknjene preko prostega roba (slika

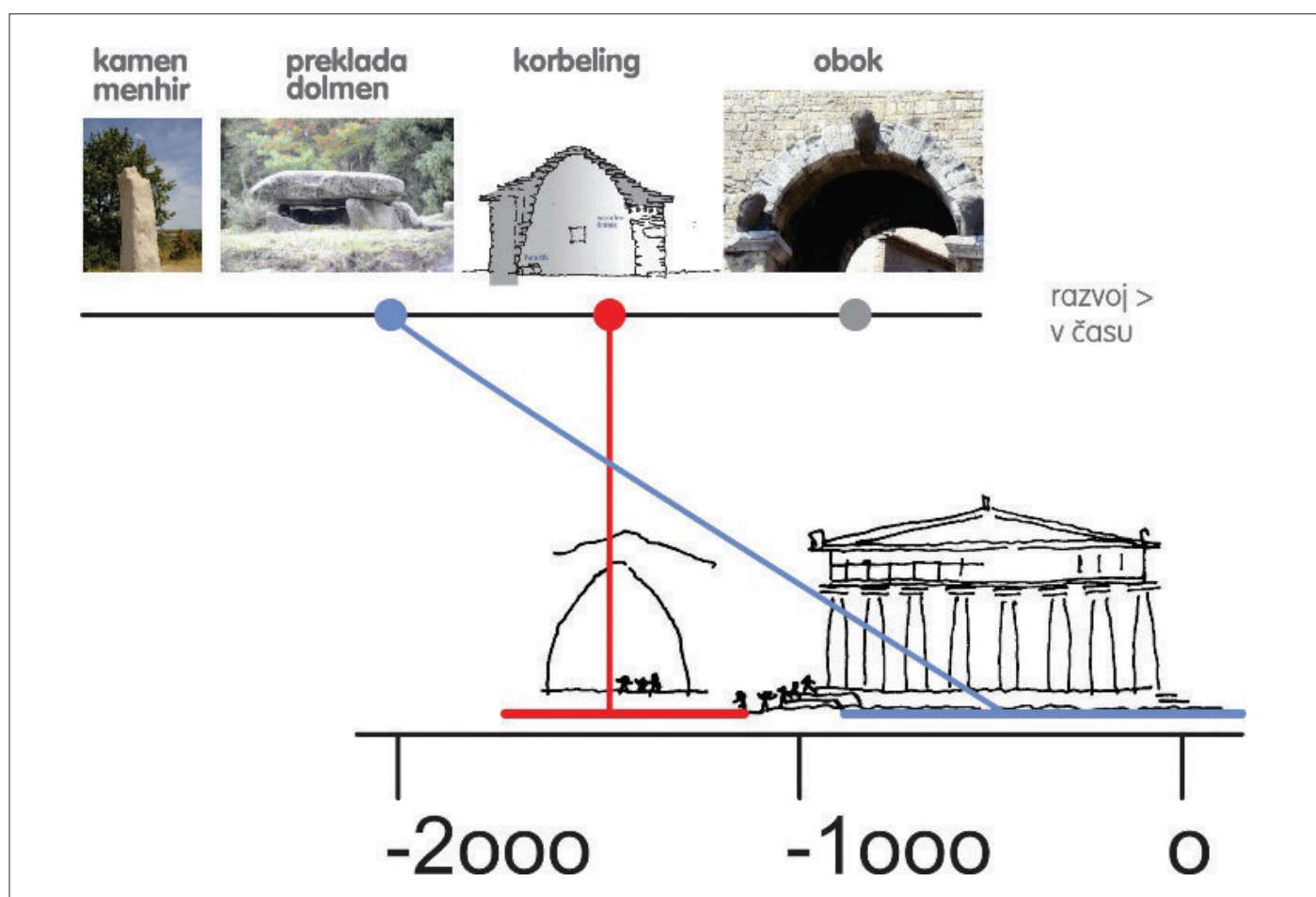
4). Pri tem je bistveno, da lahko zgornji kamen previseva le do svojega težišča. Pri naslednjih plasteh pa je pomembno, da previsevajo le do skupnega težišča spodnjih plasti. Prostorski sestav korbellinga tvori nepravo kupolo, kjer se v zgornjem delu sile prenašajo tudi preko vodoravnih obročev, v temenu pa se zaključijo kot plošča ali klin ((Rovero, 2014) str. 51).

Korbelling najdemo tudi v egiptčanskih piramidah, to so na primer grobne celice v Lomljeni piramidi (Bent Pyramid) ali hodnik v Keopsovi (Juvanec 2018b). Zato ni presenetljivo, da so teorijo korbellinga raziskovali že takrat. Arhitekt Hemium je s posk-

usom ugotavljal razmerje dolžine kamna s previsom, ki je 9 : 1 ((Hitchinson 2010) str. 46), kar pa velja le za sestav kamnov brez zunanje obtežbe.

Konstrukcije, ki jih poznamo v korbellingu danes, pa so dvojne: prekrite z zemljino, kjer je celica v notranjosti tumulusa, ter take, kjer obstajata dve plasti. Prva je nosilna, druga zunanja služi za protitež in odvod vode. Zunanja plast določa obliko objekta.

Konstrukcija korbellinga – ne glede na to, da ne pozna veziva, je presenetljivo stabilna celo na potresnih območjih ((Tonietti, 2012) str. 178).



Slika 4 • Konstrukcija kamna brez veziva po vrstnem redu zahtevnosti. Menhir je neobdelan, delno obdelan ali povsem obdelan kamen, ki kaj označuje. Dolmen je preklada, ki sloni na dveh stebrih. Je že najpreprostejša konstrukcija, ki tvori tudi prostor, če jo nameščamo drugo za drugo (predzgodovinski »koridor« ali hodnik). Korbelling je konstrukcija, kjer plasti kamna previsevajo druga drugo: simetrična kompozicija tako tvori odprtino, nepravi obok. Obok pa je že zahtevna konstrukcija, ki potrebuje za sestavo podporni oder. Korbelling zahteva ploščate kamne, obok mora imeti kamne, ki so klesani: menhir (Krkvče, Slovenija), dolmen (Portugalska), korbelling (Louziniko, Magnesia, Grčija), etruščanski obok (Italija). Pri razvoju klasičnih arhitektur je zanimivo, da je Atrejeva zakladnica grajena v korbellingu sredi drugega tisočletja pred našim štetjem, klasični objekti v Atenah (Partenon) pa v starinskem načinu preklad, kot dolmen, tisoč let kasneje.

Obok pa je že inženirska konstrukcija, ki potrebuje podpornike in spremljajoča tehnična pomagala, predvsem pa strokovno tehnično znanje graditeljev. Kamen je klesan, v zidu vsaj z dveh strani, pri oboku s treh, vse stranice pod svojim kotom, sklepnik pa je kot klin ali zagozda klesan s štirih strani in ima večjo višino, maso in obliko od ostalih kamnov.

4 • KOMPOZICIJA PROSTORA

V prostoru je korbelling lahko vzdolžen ali okrogel. Vzdolžni korbelling je klasični korbelling, ki je zgrajen nad kvadratnim ali pravokotnim tlorisom po vsej dolžini objekta enako.

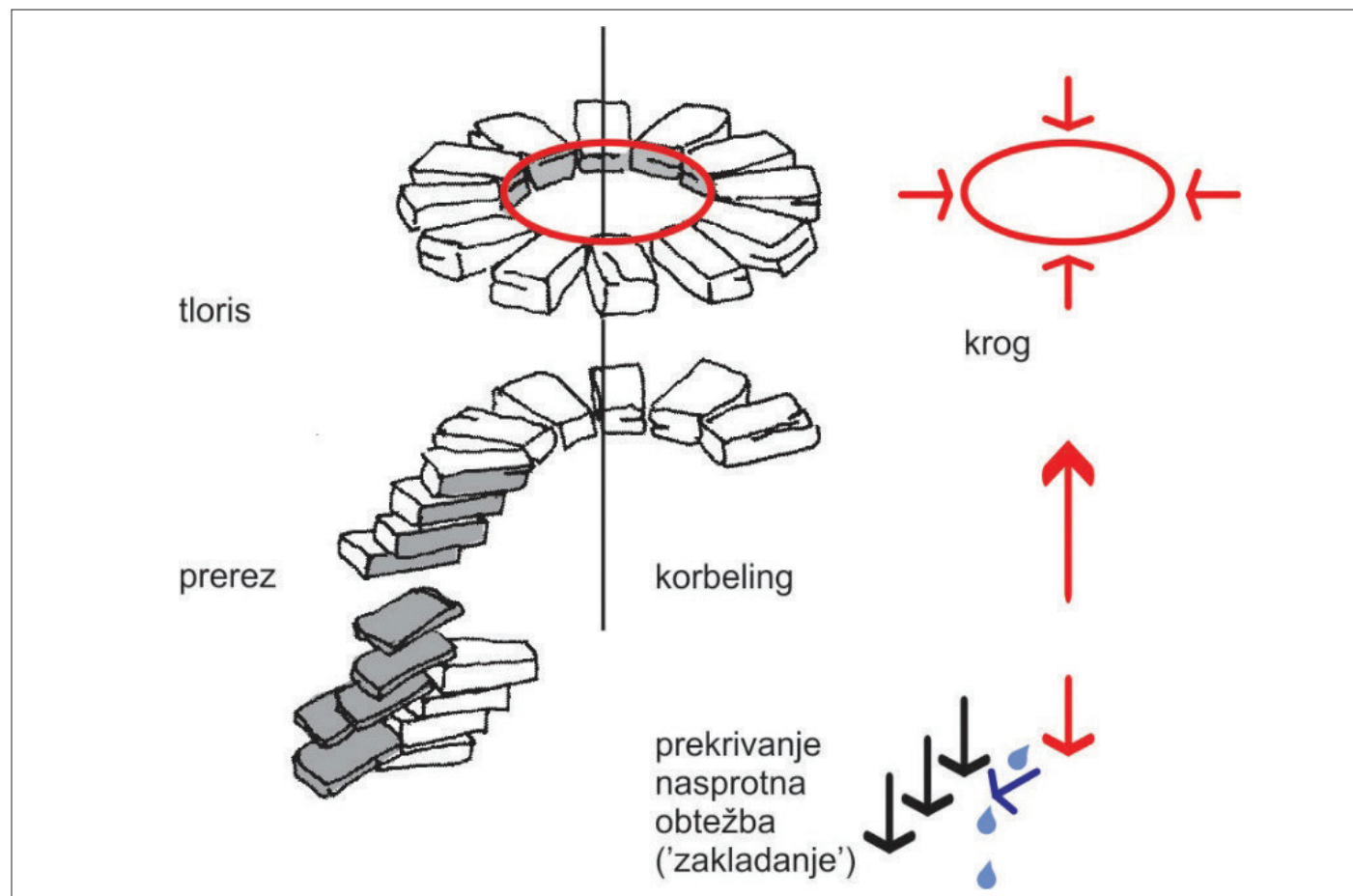
Klasični korbelling tvori nepravo kupolo, če je zgrajen nad okroglim (ali približno okroglim) tlorisom (slika 5). Njeno geometrijo določa

enakostranični trikotnik. Ta ima svoji spodnji oglišči v sredini opornih zidov tik nad temeljem, vrh pa na sredini debeline kupole v temenu konstrukcije. To je vrhunec vernakularne arhitekture (Juvanec, 2009).

Korbelling je vedno znova izumljen, saj preprosti mojstri niso poznali načinov gradnje druge

po svetu. Zanimivo je, da se je ta način gradnje uporabljal še dolgo po izumu oboka in kupole kot rezultat spretnosti domačih mojstrov, ki so znanje dobivali z dediščino od očeta na sina.

Največja in najlepša arhitektura korbellinga, ki pa so ga gradili strokovnjaki, je Atrejeva zakladnica v Mikenah, ki je v sredini visoka kar 14,9 metra. Obok pa so izumili Etruščani, ki so jih Rimljani premagali in pobili, od njih pa so prevzeli najboljše: izum oboka, ki so ga nadgradili v prostorsko kompozicijo.



Slika 5 • Najenostavnejši korbelling je sestav previsevanja v ravnini. Če ga gradimo nad okroglim tlorisom, se v vrhnjih plasteh kamni naslonijo drug na drugega tudi v vodoravni ravnini in tvorijo tlačeni obroč. Večje previsevanje je omogočeno tudi s protiutežjo, kar npr. predstavljajo strešniki, ki odvajajo vodo ((Juvanec, 2018a) str. 31).

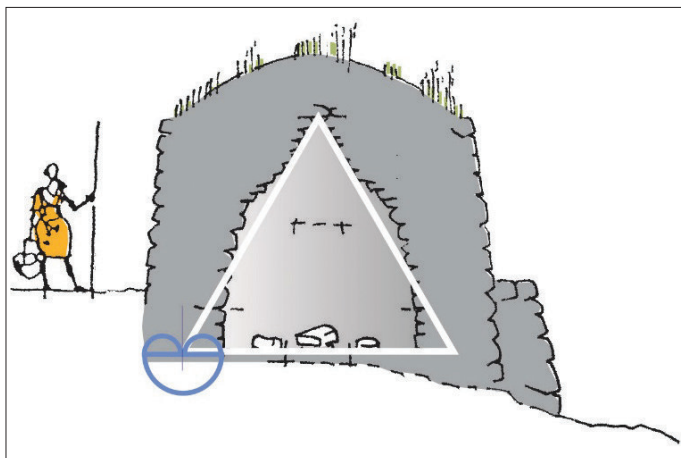
5 • RED

Red predstavlja pravila, po katerih so suhozidne strukture zgrajene. Statično so to pri zidu temelj, zid sam (odvisno od tipa: enojni, dvojni, dvojni s polnilom, dvojni sestavljeni), temenska plast (plošča, večji kamni, ostri kamni kot grožnja, vse z odtekalno površino, z odkapom in v enem kosu ali iz dveh polovic).

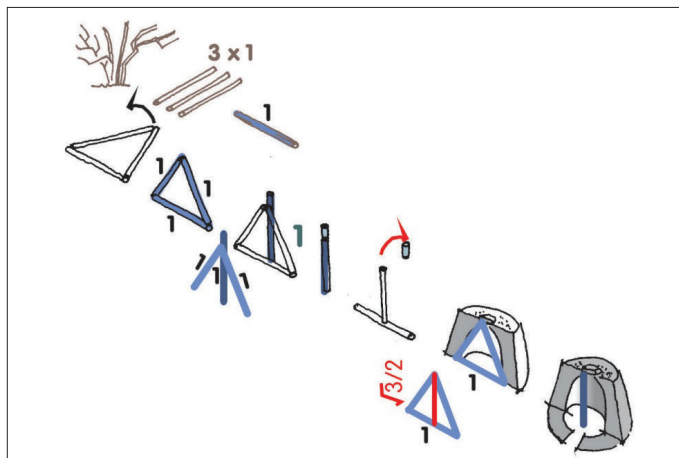
To je tudi razdalja med sredinama obeh zidov do temenskega kamna. Izmeri se kot razdalja med zunanjim robom pri vходу do nasproti ležeče stene (Juvanec 2018a: 33). Primer: Cervelló, Barcelona, Španija.

Korbelling, ki tvori tridimenzionalni prostor – zatočišče, je v prerezu sestav previsevanja, v tlorisu pa čim bližje krogu. Tako so

sile v spodnjem delu konstrukcije pretežno navpične, v zadnji četrtini pa prevzema sile tudi vodoravni obroč, ki je zaključen s ploščo ali zagozdo ((Rovero, 2014) str. 53) in ima lahko tudi vidni poudarek na temenu. Višina značilnega korbellinga je določena z višino enakostraničnega trikotnika (slika 7). Dolžina osnovnice pa je razdalja od polovice levega zidu preko vse širine (dva radija) do polovice desnega zidu. Polovic zidu se ne da izmeriti: dolžini osnovnice trikotnika je enaka tudi vsoti debeline zidu in širine prostora.



Slika 6 • Geometrija korbellinga je pri večini objektov določena z enakostraničnim trikotnikom. To je tudi razdalja med središči obeh zidov do temenskega kamna. Izmeri se kot razdalja med zunanjim robom pri vhodu do nasproti ležeče stene (Juvanec 2018a: 33). Primer: Cervelló, Barcelona, Španija.



Slika 7 • Preprosti graditelji so za določanje geometrije korbelinga verjetno uporabljali tri enako dolge palice.

6 • NAMEN IN UPORABA KAMNITIH KONSTRUKCIJ

Kamnite konstrukcije najdemo kot oznako, spomenik, razmejničnik, zid, zatočišče, stanovanje, zbiralnik vode, ledenico, grobnico, verski objekt, koledar, mero, obrambni objekt, melioracijski objekt, prometnico in še nekaj drugih.

6.1 Kamen kot oznaka

V naravi nastopa kamen navadno položen, to je najpreprostejša statična oblika. Kadar stoji, tako ga je narava zelo redko postavila, je navadno to delo človeka, ki je želel s tem nekaj povedati: omejiti, poudariti, sporočiti.



Slika 8 • Možic stoji na izpostavljenem mestu in tam, kjer je zadosti kamna. To je navpična konstrukcija, razmeroma ozka in visoka in predstavlja za postavljaljavnca pravi izziv. Na sliki je možic na Slemenu nad Tamariem.

se postaviti, označiti prostor ali zgodovinski spomin. To je lahko naravno oblikovan kamen ali pa ga je vsaj delno obklesal ali dekoriral človek (slika 8). Največji menhir najdemo v Bretaniji, je sicer zlomljen in leži na tleh, njegova višina pa bi bila 18 metrov. Pri nas je med najbolj znanimi menhir v Krkvčah.

6.2 Spomenik

Spomenik je klesan kamen večje vrednosti, bodisi zaradi starosti, zgodovine, pomena, oblikovanja ali postavitve na pomembnem mestu. Medtem ko risbe sčasoma zbledi, klesana slika ostaja in priča o svoji zgodovini. Tako je lahko na kamnu kot spomeniku kaj narisano kot realno ali le kot dekoracija, napis lahko pripoveduje le o podatkih (ime, priimek, starost, položaj v družbi ali o dejanjih na tem mestu) ali pa pripoveduje cele zgodbe. Stela pri Tombi dei giganti na Sardiniji na primer izstopa s svojo velikostjo, obliko in preprostim okrasjem (le rob kamna). Pogostejše pa kamen kot spomenik predstavlja človeka, tudi žival (na primer konjenika na konju). Spomenik pa je lahko tudi krašen kamen, vključen v konstrukcijo zidu. V Sloveniji so najstarejši spomeniki rimski nagrobniki.

6.3 Razmejniki, miljniki

Vertikalni kamen (ali pa kamen kar tako) predstavlja ali označuje neki podatek: položaj meje, razdaljo, smer.

Miljnik označuje sekvence razdalje v izbranim merskem sistemu: milja izhaja iz rimske milje, ki je štela tisoč dvojnih korakov ali okrog 1480 metrov. Po letu 1929 uporabljamo miljo predvsem še v letalstvu in meri 1825 metrov. Morska milja se še vedno uporablja za merjenje hitrosti ladij: vozeli predstavlja hitrost eno miljo na uro.

Miljnik je vertikalno postavljen kamen, na katerem je označba razdalje od nekega cilja ali do njega, ponekod so na njem še lokacija, lokalno ime kraja, ponekod tudi izvor razmejevanja.

Pri nas je ohranjen rimski miljnik pri Krkavčah v Muzeju PMK Koper.

6.4 Zid

Zid je navpična konstrukcija večje dolžine (slika 9) in je lahko tanek ali debel: najtanjši je na primer »unjulica« na hrvaškem Krku, ki meri le 15 cm v debelino, najdemo ga pa še med Portugalsko in Španijo. Bistvo tankega zidu je, da prepušča veter, ki bi ga sicer podrl, vidno pa razmejuje in ločuje, ga je pa najtežje sestavljati. Široki zidovi v Istri so debeli tudi več kot pet metrov, so pa sestavljeni iz dveh klasičnih zidov, med katere (z manj napora od sestavljanja) namečejo drobir in ostalo kamenje. Tak zid služi tudi za povezavo in pot (človeku, pa tudi živalim, predvsem majhnim, tudi insektom).

Višina zidu sega vse do štirih metrov (Mallorca), lahko ima urejene prehode kot stopnice (prečno ali vzdolžno), odprtine za živali (line) ali za človeka (vrzeli). Vrata so lahko lesena, pri manj uporabljenih zidovih odprtine tudi zapirajo s kamenjem. Zgornja plast zidu varuje konstrukcijo pred vlago, jo obtežuje in s tem pripomore k njeni stabilnosti, lahko pa ima tudi preprečevalce prehoda: koničaste kamne, ki delujejo grozeče. Zid ima lahko povsem navpične ali nagnjene stranske ploskve: to pomaga konstrukciji (da kamen ne leze navzven, da vlaga komprimira sredico) ali pa predstavlja psihološko oviro manjšim živalim (nagnjen zid je videti višji, kot je v resnici). Zid v strmini zadržuje zgornji del terena (tudi vodo) in ustvarja terase, navadno se tak zid imenuje škarpa.

Zid razmejuje, deli, vodi, usmerja, združuje, ureja midsosedske odnose, omogoča dostope ali jih preprečuje, straši ali le označuje lastnino ali uporabo terena.



Slika 9 • Zidov je mnogo vrst in imajo različne namene. Na sliki je zid v Španiji, sestavljen iz različnih kamnov, ki ločuje, varuje in vodi.

6.5 Zatočišče pastirjev

Zatočišča za pastirje najdemo med Islandijo in Jemnom, od Kanarskih otokov do Palestine, nastopajo pa še daleč proti vzhodu (slika 10). Zatočišče je preprosta zgradba,

namenjena človeku, živalim ali orodju. Zatočišče je lahko le sedež, obrnjen od vetra, in je namenjen enemu samemu človeku. Zahtevnejši objekti so grajeni v principu korbellinga z nepravo kupolo in ponekod



Slika 10 • Kamnita zatočišča iz avtorjeve dokumentacije: med Islandijo in Jemnom ter med Kanarskimi otoki in Palestino je nekaj deset tipov: vsa so grajena v principu korbellinga.



Slika 11 • Izbor pastirskih zatočišč. Zgoraj levo je clochan (angleško beehive-hut, hiška kot čebelji panj) na Irskem; zgoraj desno el bombo v osrednji Španiji kot tricelčni objekt; spodaj levo slovenska hiška, ki izkorišča možnosti narave, je prislonjena ob skalo (Lokev na Krasu); spodaj desno howd (arabsko streha) v hribih zahodnega Jemna.



Slika 12 • Pont de bestiar (katalonsko) je zatočišče za živino na otoku Menorka v Balearih. Obstajata dve vrsti: mali objekti služijo za varovanje ovc in imajo vhode, ki niso večji kot 50 x 30 centimetrov, na sliki pa je večji iz okolice Ciutadelle, v katerem so našli zatočišče konji in biki. Ponekod objekte še vedno uporabljajo.

predstavljajo zaščito za cele družine, ki poleti pasejo (slika 11).

V svetu so znani clochan IRL, crot/scele CH, weingartenhuetle A, cabane, pagliad-diu F, abrigo P, barraca, bombo, chozo, hiska, capanno, caprile, pineta, trullo, capano I, kažun, komarda, bunja, vrtujak, trim HR, poljarica BiH, khalivia, mitata, tholos GR, girna M, mantarah PAL, howd Yemen.

V Sloveniji najdemo hiško na Krasu, šiško v vasi Lokev, kutjo na območju Slavnika in slovenski Istri

6.6 Stalno bivališče

Povsem kamnita zgradba kot bivalna hiša je redka, najdemo jo na primer kot Columba's House na Irskem, severno od Dublina. Gre za vzdolžni korbelling strehe, pravokotni tloris obdajajo vertikalni zidovi. Pri nas najdemo povsem kamnito hišo v Štanjelu,

nekatero stanovanjske hiše pa imajo kamnite strehe (primer v Gorenju pri Divači).

6.7 Zatočišče za živino

Hlev za živino je povsem kamnit le v korbellingu. Nekateri kažuni v Istri so izjemno veliki in imajo višino do temena skoraj šest metrov. Na Islandiji in nekateri objekti na Menorci (slika 12) imajo izjemno majhne vhode, namenjene le ovcam (pont de bestiar pa ima velike vhode za biko). Zatočišče nudi živalim senco v vročini in varnost ponoči. Na Menorci poznajo tudi vzdolžni korbelling, pa še poenostavitve konstrukcije s klesanimi ploščami, ki jih postavljajo v streho pod kotom (z dvema strešinama). Tholos v Magneziji, GR, stoji kot skupno gospodarstvo tudi v vrstah, po pet in več objektov v liniji.

Znani so še fjarborg, ISL, twlch mochin crwn Wales.

6.8 Zbiralnik vode, vodnjak

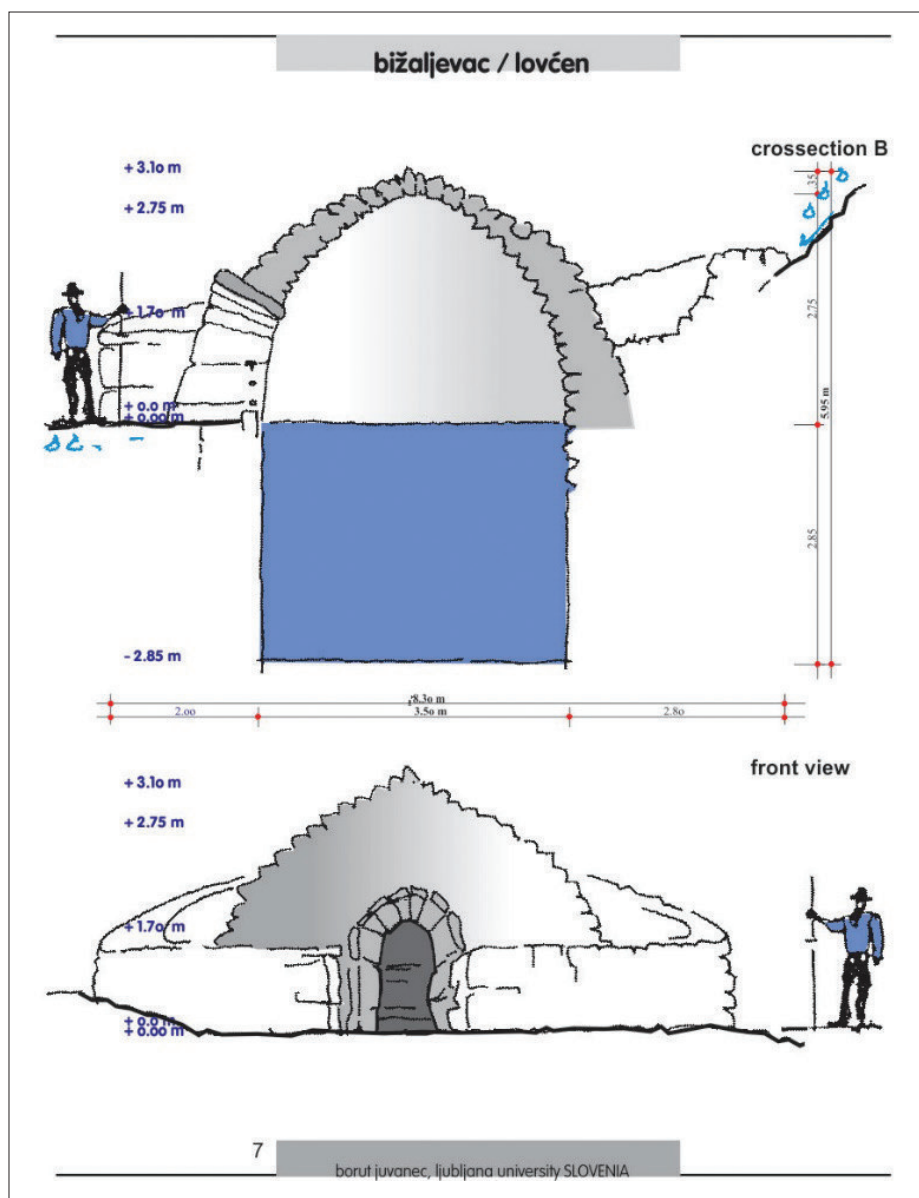
Naravni vir vode je lahko kraška vrtača, ki ima vodonepropustno plast gline v dnu. Tako nastane kal, ki ga človek ponavlja v kamniti konstrukciji vertikalnih kamnov (predzgodovinski sališ), ki omogočajo samovzdrževanje, ko žival vtiskuje kamen v glinasto dno in ga s tem zatesnjuje.

Zbiralnik vode je lahko le majhna duplina v škarpi (Gradišče Kaštelir nad Kortami, Izola), vzdolžni korbelling (Valencia, E) ali pa nepravda kupola z nekajmetrsko višino (Malorka, E, Lovćen (slika 13), slovenska Istra). Tako je ves prostor zapolnjen z vodo, konstrukcija korbellinga pa omogoča zbiranje vode tudi z lastne strehe.

Znani so še bunar na Krku, HR, in pozo, E, pri nas pa kali na Krasu in v slovenski Istri (Zabavlje, Kaštelir, Korte) in na Notranjskem.

6.9 Ledenica

Ledenica je objekt, ki vzdržuje stalno nizko temperaturo in s tem podaljšuje življenjsko dobo ledu. Ledenice so predvsem kamnite, čeprav obstajajo tudi lesene. Kamnite so vdolane v teren, praviloma okroglega tlorisa in konične proti dnu, da ne omogočajo praznega prostora med ledom in stenami. Streha je praviloma krita s slamo, ki je odličen izolator, čeprav so nekatere ledenice pri nas tudi krite s korci (Hrpelje, Kačiče, Lipica). Kamnite konstrukcije so ponekod kasneje zamenjali z opeko (Beltinci SI).



Slika 13 • Počuo ali rezervoar vode pod Lovčonom v Črni gori je konstrukcija korbellinga, ki zbira vodo z lastne strehe in jo hrani v osrednjem delu. Ograja zadržuje živino, da vode ne onesnaži in da skrbi za nadzorovan dostop do nje.

V svetu so najbolj znane ledenice v krajih Carrasqeta, Xixona E, Tramuntana Mallorca, E, Cava gran Mariola, E, glaciére de Pivot Marseilles, F, La Madonnina Pistoia, I, Chiamonte Sicilia, I (slika 14), Carpenedolo Brescia, I, Genor Tegnò, CH, crot/scele Poschiavo, CH, Le Petit Trianon Versailles, F, Zsolnay Pecz, H, pri nas pa: Kačiče, Lipica, Mašun, Vrhpolje, Turjak, Grimšče, Šulinči, Gornja Radgona, Lendava (25 x!), Beltinci (Rateče, Žiri, Vrhnika).

6.10 Shramba

Kamniti objekti služijo tudi za spravilo hrane, krme ali orodja. Za krmo je najzanimivejša

tazota, ki ima dva nivoja in jo polnijo zgoraj, slamo za osle praznijo spodaj. Enak princip ima tudi pagliaia (Puglia, I), ki jo polnijo dobesedno »zgoraj«, skozi temensko odprtino, do koder vodijo stopnice. Gorfe v Tuniziji so sicer zamazane z glino (zaradi higiene), a imajo vzdolžno korbellingasto konstrukcijo, enake najdemo tudi v Jemnu. Najmanjša skladišča orodja so na otoku Krku in pa pri nas, a so redka. Kažeta ima sicer leseno konstrukcijo strehe, a je krita s skrlami in služi za spravilo orodja na polju.

Kamnite shrambe so še komarda (orodje), HR, mitato (bivanje, orodje, sirarna), GR,

pagliaia (slama), I, pri nas pa hiška (orodje) in kažeta.

6.11 Sušilnica

Sušilnice so lahko na zgornji površini ravne strehe ali pa v notranjosti stavbe. Horreo, E, ima po vsej kamniti površini neke vrste škrg, da veter prehaja in suši notranjost. Fiskbirgi, ISL, uporablja enak sistem za sušenje rib pa še brani jih pred napadi ptic. Znane so še horreo, E, espiguero, PT, girna (fige – opunciji), M, fiskbirgi (ribe), ISL, mantarah (sadje), PAL.

6.12 Grobnica

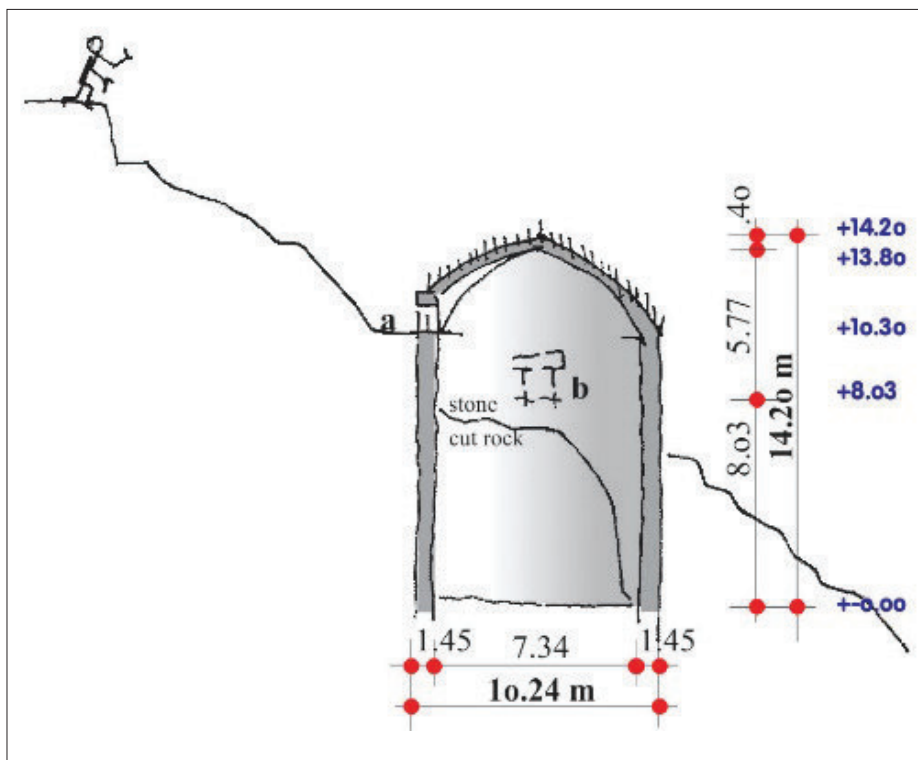
Grobnica je objekt za spravilo in hranjenje mrtvih teles. Egipčani so tako ohranjali biki, kasneje so grobnice namenjene predvsem ljudem. Najpreprostejša spravilo mrtvega telesa je vklesana oblika trupla v Španiji, v katakombah pa so že nekdaj spravljali trupla na »police«, enak sistem najdemo tudi v nekaterih dolmenih (Sardinija, I). Najbolj znane suhozidane kamnite grobnice v svetu so Ramlat-as-Sabatayn, Jemen (4200 pred našim št.), nawamis, Sinaj (4. tisočletje pred našim št.), piramide, Egipt, Mikene, GR, dolmen (Karnak Bretanija, Korzika, Sardinija, Malta).

6.13 Religiozni objekti

Gre predvsem za svetišča, od kapel do molilnic. V mehak kamen kraške jame je na primer vklesano svetišče Hal Saflieni na Malti, Glatjochkapelle (slika 15) ima zagotovo izvor v rimski dobi, molilnica Gallarus Oratory je grajena v vzdolžnem korbellingu. Religiozni objekti so znani tudi v predkrščanskem obdobju, kjer so vezani predvsem na vodo in na vodne izvire. Nekatere kamnite cerkve imajo obzidja, grajena predvsem v kamnu, enako so taki tudi srednjeveški tabori ((Juvanec, 2020) str. 46). Vse to ima svoje prednike v predzgodovinskih gradiščih. Znani so še Hal Saflieni (podzemski izklesan sanktuarj), Malta, nadzemski spomeniki (Ggantija, Mnajdra ...), Malta, Gallarus Oratory, IRL, Glatjochkapelle, A, vodni izvir Bazovica/Basovizza, I (le nekaj metrov od slovenske meje, torej na slovenskem etničnem ozemlju), pri nas pa predkrščanski religiozni izvir vode Vroček, tabor in cerkev (Hrastovlje).

6.14 Koledar, merilo, odmera

Objekti, vezani na merjenje (časa, vode, davkov), delujejo v povezavi s soncem, z



Slika 14 • Ledenica na Siciliji pri mestecu Bucchini leži v strmini nad mestom in omogoča preprosto zbiranje in vnos ledu. Je kamnita konstrukcija z nepravo kupolo, ki pa je na zunaj komaj vidna.

njegovimi žarki in s senco. Prazgodovinski vodnjak (12. stoletje pred našim štetjem) Sant'Anastasia na Sardiniji (slika 16) označuje god svetnice, v Egiptu so merili višino vode v Nilu in s tem določali višino davka. Sončne ure pa merijo čas še danes tudi pri nas.

6.15 Obrambni objekti

Kamnite konstrukcije v suhozidu, ki so služile za obrambo, so predvsem vertikalni objekti: nuraghi na Sardiniji (kultura nuraghov od 1750 do 380 pred našim štetjem) so značilna informacijska arhitek-



Slika 15 • Glatjochkapelle je molinica na višini 2500 metrov v avstrijskih Alpah (Koroška). Preko sedla so nekdaj nosili sol z juga proti celini. Nedaleč od kapele je še naselje okroglih ostankov bivališč iz rimskega obdobja.

tura, v stolpe na Kavkazu in na Peloponezu so se skrivali ljudje pred napadalci. Enako je s stolpi v Palestini, kjer so se morali prebivalci sami braniti pred napadalci, ker niso imeli skupne vojske ali policije, enako velja za kule na Balkanu. Zidovi v kamnu so predstavljali obrambo še v dvajsetem stoletju, v srednjem veku pa so bili tabori središče uporov kmetov proti gosposki. Tabori imajo svoj izvor v gradiščih. Na področju jugozahodne Slovenije so po tipih kamnite konstrukcije tri različice: 1. razmeroma eksaktne oblike kamna v flišu (Kašler nad Kortami), 2. apnenčast kamen neeksaktnih oblik (najdeni kamen) in 3. mešani material: kamen in zemljine, kjer so najdeni še ostanki lesenih konstrukcij (stolpi, zgradbe).

Znani so še obrambni stolpi v GR, stolpi na Kavkazu, weinbergshaeuschen (varovanje trtnih kolov), D, mantarah (kontrola), PAL, kula (Črna gora, Kosovo, Albanija), pri nas pa

Claustra Alpium lularum (delno: Rupnikova linija, Italijanska linija), srednjeveški stolpi in gradovi, gradišča, tabori (Hrastovlje ...).

6.16 Melioracijski objekti

Namakalni sistemi tečejo po kamnitih povezavah, saj je glinaste treba redno vzdrževati. Rimski akvadukti so izjemno inženirsko delo, saj so delovali s padcem nekaj centimetrov na kilometrskih dolžinah. V Španiji poznajo celo ventile, ki samostojno spuščajo in zapirajo vodo, odvisno od dotoka.

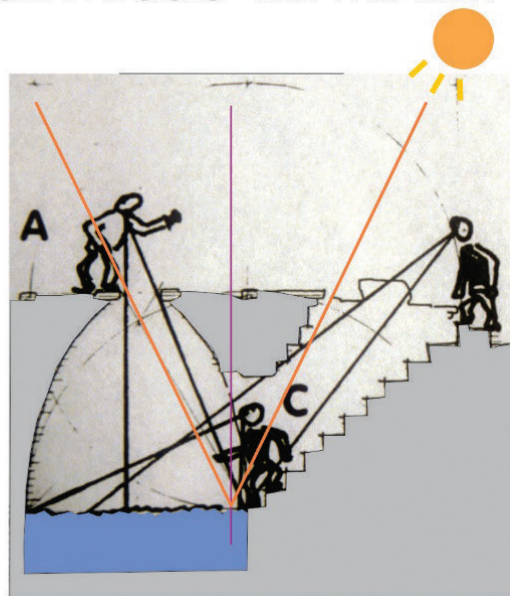
Znanih je še več starih vodovodov in namakalnih sistemov (Malta), pri nas ostanki rimskih vodovodov in kanalov. Jarki in cevi so navadno sestavljeni s kamni tesno drug ob drugem, praviloma brez veziva.

6.17 Prometnice

Prometne poti so zahtevni gradbeni objekti, ki pri uporabi prenašajo še dinamične obremenitve. Posebej zahtevna je železniška proga, saj nosi nasip različne materiale: lesene pragove, na katerih ležijo jekleni tiri, ki so z železnimi elementi pritrjeni nanje. Tako gre za sestav različnih materialov, ki lahko med sabo vplivajo na povsem različne načine. Posebej zahteven je transport vode, saj zahteva stalen padec, ki poganja vodo od izvora k cilju.

Ključni objekti v svetu: rimski akvadukt Pont du Gard, F.

OUT: miracle IN: The Sun



Slika 16 • Sveti vodnjak Sant'Anastasia v mestecu Sardara na Sardiniji je prav poseben: na god zavetnice posije sonce skozi vhod do vode, od koder se odbije in spet posije navzgor – iz zemlje. To je zagotovo čudež, ki ga dokazuje niz dejstev: (1) pojav obstaja in se dvakrat letno ponavlja, (2) potrjuje fizikalni zakon o vpadnem in odbojnem kotu, ki sta na ravni površini enaka, (3) »čudež« se zgodi na god zavetnice in (4) ime Anastasia izhaja iz stare grščine: anastasos, kar pomeni dvigovati se, tudi vstajenje (Juvanec, 2014).

Izbor v Sloveniji: ozkotirna železniška proga na Krasu iz prve svetovne vojne, kjer so vojaki zgradili okrog 30 km proge v treh mesecih

Tlaki so že od rimskih časov sestav kamnov brez veziva, da odvajajo vodo, podporni zidovi (škarpe) pa so v suhozidu celo na Bohinjski progi.

6.18 Drugo

Kamniti objekti za druge namene so redki, a jih najdemo predvsem kot objekte/peči v Sredozemlju, v Angliji spravljajo pepel v kamnite stavbe, kjer živijo kokoši, ki z iztrebki plemenitijo pepel, ki ga nato uporabljajo za gnojilo. Irska je še do nedavnega uporabljala »potilnice«, v katerih so se krepili telesa in duše, preden so se lahko ljudje okopali v »black pond«. Ne nazadnje so bazeni za knajpanje tudi kamniti, v Budimpešti so taka slovita kopališča. Poseben primer je na sliki 17.



Slika 17 • Rocha dos namorados ali kamen zaljubljenec (v portugalščini) je tri metre visoka skala, na katero je treba vreči kamen, da pove, ali se bomo tistega leta poročili ali ne. Ker je na skali že množica drugih kamnov, jih nekaj pade tudi nazaj. Število padlih kamnov pove, koliko let še ostane do poroke. En sam kamen – kot na primer menhir – še ne predstavlja arhitekture, a ta ima vse elemente konstrukcije: temelj, telo in zaključni del z vencem – vse v enem.

7 • SUHOZID V SLOVENIJI

Značilni zid v tehniki suhozida najdemo v Sloveniji predvsem na zahodu in na jugu. Zid je praviloma dvojen, stene so rahlo nagnjene navznoter, pokrit pa je s temenskimi kamni,

lahko tudi s ploščami. Višina je navadno okrog 90 centimetrov, ponekod pa je zaradi vetra tudi višji (vse do skoraj treh metrov, Padriče, Lipica). Pogoste so tudi škarpe, ki tvorijo

terase. Hiške so ponekod opremljene s tlaki in s stopnicami.

Od objektov v suhozidu naj omenim predvsem hiško, šiško in kutjo pa vodnjake, ledenice, med prazgodovinskimi objekti pa so najznačilnejša gradišča ((Marchesetti, 1903), (Guštin, 1976)).

8 • PROBLEMATIKA

8.1 Stanje, možnosti in potrebe: sanacija, obnova, prenova

Suhozid je konstrukcija kamna brez veziva, zato je potrebno stalno vzdrževanje. Kadar so na terenu živali, pa so potrebne še modifikacije konstrukcij (nadvišanje, temenski kamni, ki preprečujejo preskok, odprtine za male živali in prepušči za vodo).

Leseni elementi zapiranja (lesa) imajo krajšo življenjsko dobo od kamna, zato jih je treba ne le vzdrževati, pač pa občasno tudi zamenjati. Tudi elementi, ki so značilni za slovenske konstrukcije (ognjišče, odvod dima: toplotna zavesa), so potrebni pogostejših posegov.

Vsi posegi, tudi vzdrževanje, morajo biti delo strokovnjakov, ki se na suhozid spoznajo in so za to ustrezno licencirani.

8.2 Organizacija prenov

Prenova je strokovno delo in seveda lahko teče v zasebni organizaciji (ko gre za zasebno lastnino), a je bolje, da je to organizirano delo pod strokovnim vodstvom ustreznih organizacij (zavodi za varstvo kulturne dediščine, muzeji, organi občinskih uprav). Dela morajo biti vnaprej planirana, ustrezno prijavljena, kontrolirana in na koncu vrednotena kot kvaliteten poseg v konstrukcijo. Brez vseh teh elementov prenove ne sme biti, pa tudi če gre le za popravilo manjšega detajla.

Kadar gre za zahtevnejše objekte (spomenike, arheološka najdišča) smejo projektirati le strokovnjaki ustreznih strokovnih organizacij, dela pa se vodijo v okviru zavoda za varstvo kulturne dediščine.

8.3 Tehnične zahteve in zahteve izobraževanja

Gradnja suhozida poteka brez vezi, lepil in betona – razen kadar gre za vzorčne primere javne uporabe (hiška ali zid na otroškem igrišču), tam pa je treba vezivni material ali konstrukcijske elemente ustrezno skriti v konstrukcijo samo.

Posebna zahteva je tudi izbor na novo vdelenega materiala (kamna), ki mora biti izvoren, obdelan na klasičen način v tradicionalni tehniki, da se popravki ne vidijo. Kadar pa gre za dodatke, je treba to jasno pokazati.

Strokovnjaki suhozida morajo imeti veljavne licence suhozidarja (suhozidarke), ki jih izdaja Državni izpitni center kot NPK (nacionalna poklicna kvalifikacija). Za kontrolo posegov in licenciranja so odgovorni upravni organi. To zahteva tudi odločitev ICSIC v točki R3: »Eden najpomembnejših ciljev tega varovanja je postavitve stalnega, standardiziranega izobraževanja z ustreznim licenciranjem.« Pri nas je to sistem NPK, nacionalna poklicna kvalifikacija na državnem nivoju.

8.4 Inventarizacija, dokumentiranje, dokumentacija

Inventarizacija je seznam značilnih objektov istega tipa. Obsega le ime, naslov, lahko pa ima še ime in naslov lastnika, GPS-podatke, podatke o starosti, posebnosti in slike.

Dokumentacija pa je obsežnejši sklop s karti, s tehničnimi podatki o objektu, naslov in naslov lastnika, opis, tehnične risbe (tloris, prereze, poglede), analize in fotografije.

Dokumentiranje je zahtevno strokovno delo, analiziranje pa je laboratorijsko delo znanstvenega značaja. Razlaga konstrukcije, materiale, medsebojne odnose in proporcije, shematizira delovanje ali gradnjo, umešča objekt v podobne objekte v regiji in v svetu.

8.5 Izbor objektov za prenov

Nabor objektov suhozida je velik, varovanje, obnova in prenova pa so nujni za preživetje te – verjetno najstarejše gradbene tehnike človeštva. Ukrep Ministrstva za kmetijstvo RS bi moral obsegati obnove hišk (šišek, kutij, kažet) in kompozicij prostora v suhozidu, zidovja in škarpe, ki oblikujejo terase (ki s sodobnimi tehnikami obdelave žal izginjajo), ki so nekdaj oblikovale našo kulturno krajino.

Ker so prostorski objekti (hiška) enovite konstrukcije razmeroma majhnih dimenzij, jih moramo upoštevati kot celote. Zidove, škarpe in tlake je treba omejiti po kvadraturi suhozida – odvisno od možnosti, predvsem sredstev. Višino sredstev in način izbora določa ministrstvo. Izbor in obseg del na zgodovinskih spomenikih (to so predvsem gradišča) določa ZVKD.

varovanje je izjemno občutljiv element dela in mora teči predvsem strokovno in pod nadzorom organizacij, ki so za to postavljene, akcije pa lahko vodijo in izvajajo le strokovnjaki z državno priznanimi kvalifikacijami. Zato je uvedba licenc za delo s suhozidom, ki ga vodijo državne institucije, tako pomembna (Ministrstvo za delo RS, 2018).

9.2 Stiki s podobnimi projekti EU, sodelovanje

Vsako povezovanje s podobnimi organizacijami v svetu je koristno in bogati znanje

9 • SKLEPI

Suhozid je živ organizem, ki zahteva sprotno vzdrževanje (Oliver, 2006), zato je zanj izjemnega pomena tekoč nadzor, vzdrževanje, kar lahko teče sporadično, a so pomembnejše skupne, občasne ali tekoče akcije organiziranih strokovnih skupin, v sklopu mednarodnega sodelovanja, s tekočim spremljanjem stanja, vrednotenjem in prilagajanjem spremembam tako v času kot v prostoru.

9.1 Občasne in tekoče akcije

Občasne akcije prenov suhozida so v naši praksi dokaj pogostne: treba bi jih bilo poenotiti in urediti tako na strokovnih kot finančnih in varstvenih temeljih, predvsem pa po priporočilih ali zahtevah UNESCO, ki zahteva »stalen, urejen sistem izobraževanja z ustreznim licenciranjem« (UNESCO, sklep 13.com 10.b.10 z dne 26. 11. 2018). Aktivno

lokalnih strokovnjakov. Projekti, ki jih postavlja Evropska unija, so zagotovo usmerjeni v varovanje in v napredek kulturne krajine, predvsem v njeno ohranjanje v izvornem stanju. Ker kultura ne pozna meja in suhozid nastopa le tam, kjer je doma kamen, so izjemnega pomena tudi čezmejni projekti, ki združujejo znanja, vedenja in hotenja ljudi na obeh straneh. To bi bilo treba nadgraditi z združevanjem tematskih projektov tudi z združevanjem bolj oddaljenih lokacij, regij, držav, ki imajo enake strukture in enake probleme. Pri tem lahko največ pomagata stroka in znanost na osnovi možnosti, ki jih omogočajo države in lokalne skupnosti.

9.3 Spremljanje rezultatov, vrednotenje

Spremljanje rezultatov in kontrola izvedb sta ključna za kvaliteto projektov, tudi izvedb na področju varovanja kulturne krajine. Nadzor ni ustrahovanje, je usklajevanje dela in omogočanje optimalnih rezultatov. Ocene učinkovitosti na področju kulture ne morejo biti povsem absolutne, a kot optimalne služijo za usmerjanje nadaljnjega dela, ki lahko prinese nove in boljše rezultate.

9.4 Usmeritve za nadaljevanje projekta

Dokumenti UNESCO govorijo povsem jasno, da »so vlade prijaviteljev (vključno s Slovenijo) usmerjene predvsem v varovanje obstoječih spomenikov suhozida na mestu samem,

lokalne uprave in strokovne organizacije pa morajo biti usmerjene v učinkovit prenos znanja o suhozidu in njegovo predstavljanje javnostim. Državno varstvo in mednarodno priznavanje viša to prakso in gradi odnos ter zavedanje o pomembnosti.« (Točka R3) Zato morajo biti vsi napor državnih in lokalnih institucij, organizacij in strokovnjakov usmerjeni v predstavljanje, razširjanje vedenja o suhozidu, v njegovo varstvo in v akcije, ki to omogočajo, pospešujejo. Ukrep ministrstva za kmetijstvo za pospeševanje in omogočanje vzdrževanja, obnove in prenove suhozidnih konstrukcij, ki je v pripravi (2020), je zagotovo korak v tej smeri in bo omogočil preživetje starodavne kulture gradnje suhega zidu in s tem vse kulturne krajine tudi pri nas.

10 • LITERATURA

- Berge, B., *The Ecology of Building Materials*, Architectural Press, Amsterdam, 2003.
- Burton, R., *Note sopra i castellieri o rovine preistoriche della penisola Istriana, Capodistria, 1877*, Trieste, 1970.
- Črešnar, M., *Wooden house construction types in Bronze age and Early Iron Age in Slovenia*, Situla 27, str. 321-339, Ljubljana, 2007.
- Dipasquale, L., *The Preservation of Dry Stone Architectural Heritage in Sicily*, Int. Forum Le Vie del Mercanti, Aversa, 2011.
- Dular, J., *Zgodovina raziskovanj železnodobnih naselij in poselitve v osrednji Sloveniji*, Arh. vest. 43, str. 37-52, Ljubljana, 1992.
- Dular, J., *New results from the excavation of upland settlements in Slovenia*, Die Osthallstattkultur, str. 47-55, Budapest, 1996.
- Dular, J., *Höhensiedlungen in Zentralslowenien von der Kupfer – bis zur Eisenzeit, Bericht über ein Forschungsprojekt*, Praehistorische Zeitschrift 74, str. 129-153, 1999.
- Dular, J., *Prazgodovinske lesne gradbene tehnike in njihova terminologija*, Annales 18, str. 337-348, 2008.
- Dular, J., Tecco Hvala, S., *South-Eastern Slovenia in the early Iron Age: Settlement, Economy, Society*, Jugovzhodna Slovenija v starejši železni dobi: poselitve, gospodarstvo, družba, ZRC SAZU, Inštitut za arheologijo, Založba ZRC, Ljubljana, 2007.
- Flego, S., Rupel, L., *Prazgodovinska gradišča Tržaške pokrajine, I castellieri della provincia di Trieste*, Založništvo tržaškega tiska, Editoriale stampa Triestina, Trst/Trieste, 1993.
- Freudenreich, A., *Kako narod gradi na ogoljenom krasu*, Zagreb, 1972.
- Grobovšek, J., *Doktrina*, ICOMOS Slovenija, Ljubljana, 2003.
- Guštin, M., *Tipologija gradišč železne dobe v Slov.*, Materijali 14, str. 135-144, Prilep, 1976.
- Guštin, M., *Gradišča železne dobe v Sloveniji*, Arh. vest. 29, str. 100-121, 1978.
- Guštin, M., *Eisenzeitliche Siedlungs- und Hausstrukturen im Südostalpengebiet*, Archaeologia Austriaca 80, str. 215-220, 1996.
- Guštin, M., *Odsevi iz preteklosti. Razmišljanja o vsebinah in metodi. – Raziskovanje kulturne ustvarjalnosti na Slovenskem*, str. 55-77, Ljubljana, 1999.
- Guštin, M., *Argo, come una freccia scoccata in volo*, Piceni ed Europa, v Guštin, M., Ettel, P., Buora, M. (eds.), *Archaeologia di frontiera* 6, str. 7-17, 2007.
- Hitchins, D., *The Secret Diaries of Hemium*, Lulu, https://books.google.si/books?id=OqFzAgAAQBAJ&pg=PA46&lpg=PA46&dq=stone+corbelling+rules&source=bl&ots=jvrU6DUETD&sig=ACfU3U1fBaSz2GefUxJm7DrN3ccJeZQ_Q&hl=sl&sa=X#v=onepage&q=stone%20corbelling%20rules&f=false, London, 2010.
- Hrobat Virloget, K., *Ko Baba dvigne krilo: prostor in čas v folklori Krasa*, Ljubljana, 2010.
- Juvanec, B., *Reinventer les abris en pierre*, UNESCO Canada, Montreal, 2001.
- Juvanec, B., *Kozolec*, i2 in UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2007.
- Juvanec, B., *Chozo de Extremadura, Joya en piedra*, ARTE Caceres, 2008.
- Juvanec, B., *Basic Proportion Systems in Architecture*, Prostor 17, AF Zagreb, 2009.
- Juvanec, B., *Arhitektura Slovenije 2, Architecture of Slovenia 2*, i2 in UL, Ljubljana, 2010.

- Juvanec, B., Corbelling in Mediterranean, Mecca ur. Earthen Domes, ETS Pisa, 2011.
- Juvanec, B., Arhitektura Slovenije 5, Architecture of Slovenia 5, i2 in UL, Ljubljana, 2013.
- Juvanec, B., Pozzo sacro Sant'Anastasia, Restauro archaeologico 2014/1, Firenze, 2014.
- Juvanec, B., Hiška. i2, SAZU, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 2016.
- Juvanec, B., Vodnjak. i2, UL in SAZU, Ljubljana, 2017.
- Juvanec, B., Ledenica. i2, UL in SAZU, Ljubljana, 2018a.
- Juvanec, B., Classical Corbelling in Greece, Dry Stone Construction, SPS, Argostoli, 2018b.
- Juvanec, B., Slovenija, arhitektura in dediščina, i2 in SAZU, Ljubljana, 2019.
- Juvanec, B., Arhitektura Dežele med Jelovico in Karavankami, i2 in SAZU, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 2020.
- Juvanec, B., Zupančič, D., Besednjak vernakularne arhitekture, i2, UL in SAZU, Ljubljana, 2014.
- Lassure, C., Cabane en pierre seche de France, Edisud, Aix en Provence, 2004.
- Marchesetti, C., Castellieri, Trieste (ponatis 2005) 1903.
- Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti RS, Sistem NPK, nacionalnih poklicnih kvalifikacij (6040-1189/2018-395, suhozidar, suhozidarka), 2018.
- Novaković P., Turk P., Kamen na kamen palača (izkopavanje gradišča na Krasu), Arheo 12, str. 57-64, 1991.
- Oliver P., Encyclopaedia of Vernacular Architecture, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Oliver, P., Built to meet Needs, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- Polli, E., Le casite del Carso Triestino, CAI xxx Ottobre, Trieste, 2009.
- Rovero, L., Tonietti, U., Structural Behaviour of earthen Corbelled Domes, Materials and Structures 45, str. 171 – 184, 2012.
- Rovero, L., Tonietti, U., A modified Corbelling Theory for Domes, Constructions and Building Materials 50, str. 50-61, 2014.
- Sakara Sučević, M., Tri prazgodovinske naselbine na Slovenski obali, Annales, Ser. hist.sociol. 18.2 str. 439-454, 2008.
- Sakara Sučević, M., Tomaž, A., Rimskodobna poselitev na Kaštelirju nad Kortami, Histria Antiqua 12, Pula, str. 45-54, 2015.
- Stacul, G., Il castelliere C. Marchesetti presso Slivia, nel Carso Triestino. Riv. sc. 145, 1972.
- Stančič, Z., Gaffney, V., Napovedovanje preteklosti – uporaba GIS v arheološki študiji Hvara, Ljubljana, 1991.
- Šrajter, F. ur., Gradimo u kamenu, Slobodna Dalmacija, Split, 2012.
- Teržan, B., Turk, P., Iron Age Tower upon Ostri vrh, v G. Bandelli, E. Montagnari Kokelj (ur.), Carlo Marchesetti e i castellieri, 1903-2003, str. 339-352, Trieste, 2005.
- Teržan, B., Turk, P., Kraški opazovalni in obrambni stolpi iz železne dobe, Kras, št. 77, 2006.
- Tonietti, U., Rovero, L., Statical behaviour of earthen corbelled domes in Aleppo's Region, Materials and Structures, 45, str. 171-184, 2012.
- UNESCO, Art of dry stone walling, knowledge and techniques, No. 01393, Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity, Paris, 2018.
- Zbašnik Senegačnik, M., Koprivec, L., Pametna gradiva in njihove aplikacije v arhitekturi, AR 2010/1, UL FA, Ljubljana, 2010.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Luka Kočevar, Uporaba programa SCIA za analizo in projektiranje sovprežnih plošč, mentor prof. dr. Boštjan Brank; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116609>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Klara Kovač, Projektiranje mestnih prometnih površin za hendikepirane udeležence prometa, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116029>

Žiga Plevel, Projektiranje armirano-betonske AB diafragme za zaščito gradbene jame ob upoštevanju potresne obtežbe; mentor doc. dr. Boštjan Pulko, somentor asist. dr. Mirko Kosič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116197>

Tamara Šoronda, Projektiranje tipičnih armiranobetonskih nosilnih elementov več etažne poslovne stavbe, mentor izr. prof. dr. Sebastjan Bratina; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116195>

Andraž Zalar, Preiskave akustičnih lastnosti protihrupnih ograj, mentor izr. prof. dr. Roman Kunič, somentorja mag. Mihael Ramšak in prof. dr. Zvonko Jagličič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116493>

Rok Rošar, Temperaturna segregacija pri vgradnji asfaltnih zmesi, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentor viš. pred. dr. Robert Rijavec; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116608>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

Gaj Rak, Ocena dnevne osvetljenosti stanovanjskega stavbnega fonda v Sloveniji po drugi svetovni vojni, mentor doc. dr. Mitja Košir; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116606>

Anja Dolšak, Presoja vidikov energijske prenove v smeri zdrave in okolju prijazne gradnje na primeru večstanovanjske stavbe, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentorica doc. dr. Marjana Šijanec Zavrl; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116028>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Gasper Mauko, Simulacija vodnega udara v dograjeni hidroelektrarni Tonstad na Norveškem, mentor prof. dr. Matjaž Četina, somentorja izr. prof. dr. Helmut Knoblauch in Wolfgang Richter; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116627>

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

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jernej Flajšman, Planiranje gradnje lesenih prefabriciranih montažnih hiš s pomočjo 4D informacijskih modelov, mentor izr. prof. dr. Uroš Klanšek, somentor asist. dr. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=76278&lang=slv>

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

KOLEDAR PRIREDITEV

3.-8.8.2020

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

Limassol, Ciper

www.isec-society.org/EURO_MED_SEC_03/

18.-20.10.2020

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

Lizbona, Portugalska

<https://icsect.com/>

12.-14.11.2020

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

Niagarski slapovi, Kanada

<https://iccste.com/>

19.-20.11.2020

CRRB – 22nd International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings

Brno, Češka

<http://crrb.wta.cz>

18.-20.1.2021

NGM2021 – 18th NGM Nordic Geotechnical Meeting

Helsinki, Finska

www.ril.fi/en/events/ngm-2020.html

20.-22.4.2021

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

Edinburg, Škotska

www.structuralfaultsandrepair.com/

7.-9.6.2021

Mediterranean Symposium on Landslides

Neapelj, Italija

<https://medsymplandslides.wixsite.com/msl2021>

17.-19.6.2021

EGRWSE-2020 – 3rd International Conference on Environmental Geotechnology, Recycled Waste Materials and Sustainable Engineering

Izmir, Turčija

<https://egrwse2021.com/>

21.-25.6.2021

ICOSSAR 2021-13th International Conference on Structural Safety & Reliability

Šanghaj, Kitajska

www.icossar2021.org/

27.-30.6.2021

ICSGE'21 – 1st International Conference on Sustainability in Geotechnical Engineering – Geodiversity & Resilience

Lizbona, Portugalska

<http://icsge.lnec.pt/>

4.-7.7.2021

11th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar

Valletta, Malta

www.iwagpr2021.eu/

5.-8.7.2021

DFI Deep Mixing Conference 2021

Gdansk, Poljska

www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330

2.-6.11.2021

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