





Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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

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

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

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

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

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

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, avgust 2019, letnik 68, str. 173-200

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

Članki • Papers

stran 174

dr. Mojca Jarc Simonič, univ. dipl. inž. grad.
dr. Samo Gostič, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.

PREISKAVE STIKA MED OPEKO IN POLIMERI, ARMIRANIMI Z VLAKNI

RESEARCH OF BRICK AND FIBRE REINFORCED POLYMER JOINT

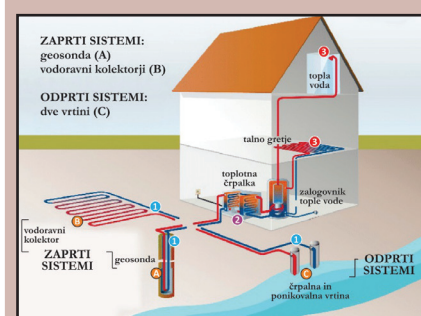


stran 186

doc. dr. Željko Vukelič, univ. dipl. inž. rud. in geotehnoł.
dr. Jurij Šporin, univ. dipl. inž. rud. in geotehnoł.
Blaž Janc, mag. inž. geotehnoł.

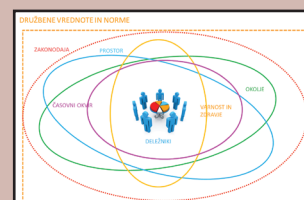
DIMENZIONIRANJE GEOSONDE (IN TOPLOTNI VPLIVNI RADIJ) ZA POSTAVITEV TOPLOTNEGA OGREVALNEGA SISTEMA S TOPLOTNO ČRPALKO – PRIMER IZ ŠKOFJE LOKE

DESIGN OF BOREHOLE HEAT EXCHANGER (AND
THERMAL IMPACT RADIUS) FOR THE APPLICATION OF HEATING
SYSTEM WITH HEAT PUMP – CASE STUDY FROM ŠKOFJA LOKA



stran 195

dr. Lidija Kegljevič Zagorc, inž. grad., mag. ekon. in posl. ved
TRAJNOSTNI RAZVOJ IN SPREMEMBE V GRADBENIŠTVU
SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CHANGES IN THE
CONSTRUCTION



Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradbišče dostopne ceste T4-T7 pod Tinjanom do trase drugega tira Divača-Koper;
foto Martin Tomažin, 2TDK

PREISKAVE STIKA MED OPEKO IN POLIMERI, ARMIRANIMI Z VLAKNI

RESEARCH OF BRICK AND FIBRE REINFORCED POLYMER JOINT

dr. Mojca Jarc Simonič, univ. dipl. inž. grad.

mojca.jarc-simonic@gi-zrmk.si

dr. Samo Gostič, univ. dipl. inž. grad.

samo.gostic@gi-zrmk.si

Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.,

Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

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

roko.zarnic@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo

in geodezijo,

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 691:620.1

Povzetek | Problem delaminacije utrditev iz polimerov, armiranih z vlakni, z opečnih zidov, je eden glavnih vzrokov za predčasen padec strižne nosilnosti utrjenih zidov, obremenjenih s potresno obremenitvijo. V članku so predstavljene strižne preiskave stikov opeke in armiranih polimerov, s katerimi smo želeli razviti stik z večjo nosilnostjo. Opravljali smo preiskave z vnosom strižne obremenitve na stik vzporedno s stično ploskvijo. Preiskave preizkušancev opeke s FRP-utrditvami so bile v grobem razdeljene na dva dela: obloge s karbonskimi vlakni v epoksidnem lepilu (CFRP) ter obloge s steklenimi mrežicami v cementni malti (GFRM). V prvi vrsti smo ugotovili, da je najpomembnejše pred lepljenjem zagotoviti primerno podlago, predvsem podlaga ne sme biti pregladka. Dosežene razlike v nosilnosti in porabi energije do odtrganja so zelo velike, pomembno pa k povečanju nosilnosti in porabi energije prispevajo tudi izboljšani načini sidranja koncev trakov. Bodisi zaokrožitev konca trakov bodisi lastovičji rep uspešno prepreči možnost porušitve z odlepitvijo, aktivira pa tudi večji volumen opeke, ki jo morajo iztrgati iz opečne mase, za kar pa potrebujejo veliko več energije. Seveda visoko nosilnost zagotovi tudi velika polepljenost s CFRP-trakovi, vendar pa nosilnost ni sorazmerna površini nalepitve. Ključne besede: utrjevanje opečnih zidakov, obloga, trakovi iz karbonskih vlaken, epoksidno lepilo, mreža iz steklenih vlaken, opeka, strižne preiskave stika FRP-opeka, nosilnost stika FRP-opeka

Summary | Problem of the delamination of fibre-reinforced polymers (FRP) from brick masonry walls is one of the main reasons for preliminary drop of shear strength of strengthened walls, loaded with earthquake forces. The article presents the research on brick-FRP shear joint. The intention of research was to find configurations with higher capacity of joint (in terms of load bearing and/or deformation). Loading of FRP stripes was performed in the parallel direction of the FRP-masonry surface (direct shear). Tests of FRP-brick samples were in general divided into two parts: strengthening of bricks with carbon FRP-s in epoxy glue (CFRP) and with glass meshes in cement mortar (GFRM). The most important factor of high load bearing capacity was adequately prepared surface before placing the strengthening layer (CFRP or GFRM) that should not be too smooth. The differences achieved in strength and energy absorption are big. An important contribution to increased load capacity and energy absorption is also anchored endings of the strips. The rounding of the strips ends or the shape of swallowtail both successfully prevent the possibility of collapse with peeling of the stripe. They also activate a greater volume of

brick, which they must rip from the brick, thus requiring more energy for the delamination. Higher strength was achieved also with higher amount of FRP reinforcement, though the strength is not proportional to the amount of glued FRP-s.

Key words: strengthening of bricks, coating, carbon fibre strips, epoxy glue, glass fibre grid, shear tests of joint FRP-brick, strength of joint FRP-brick

1 • UVOD

Opazovanje obnašanja zidanih stavb med potresi kaže, da je velikokrat trdnost zidovja premajhna, da bi bili zidovi sposobni prevzeti med potresom nastale sile. Med številnimi poznanimi metodami utrditve, ki so bile izvedene v praksi, se je pri opečnem zidovju najbolj uveljavilo oblaganje z armiranimi ometi na eni ali obeh straneh zidu ali pa zamenjava obstoječe slabe malte med spojnicami s trdnejšo, t. i. prefugiranje. Tem metodam so se pridružile obloge iz drugih materialov, kot so tkanine ali mreže iz polimerov, utrjenih s steklenimi (GFRP) ali karbonskimi vlakni

(CFRP). Mreže se polagajo v malto ali epoksidnem lepilu, tkanine pa se na izravnano površino zidu lepijo z epoksidnimi lepili.

Učinek utrjevanja opečnih zidov je preiskovalo kar nekaj avtorjev ((Schwegler, 1994), (Triantafillou, 1998), (Gostič, 2004), (Gostič, 2006), (ElGawady, 2006), (Alcaino, 2007), (Tomažević, 2011), (Triller, 2017)), vendar je število raziskav razmeroma majhno. Kljub temu je vsem skupno to, da je stik med opeko in utrjevalnimi oblogami največkrat merodajen način porušitve utrjenih zidov, zaradi česar je najpomembnejše zagotoviti

čim bolj nosilen stik, saj bo le tako utrjen zid kot celota bolj nosilen in duktilen ter potresna varnost objekta večja. Raziskovalci poročajo predvsem, da se trakovi, kadar so nalepljeni površinsko, najhitreje odtrgajo na konceh. Tam se namreč tvorijo največje koncentrirane napetosti pravokotno na podlago. Precej bolje so se izkazali trakovi, ki so prilepljeni po celotnem obodu zidu, vendar v veliko primerih ta način utrjevanja ni možen. Preiskav s področja nosilnosti stika opeke in FRP-utrditev je malo ((Khalifa, 1999), (Hall, 2002), (Oliveira, 2011)), zato smo pristopili k lastnim preiskavam z namenom, da raziščemo obnašanje stika in preizkusimo nove načine pritrditve koncev trakov.

2 • PROGRAM RAZISKAV, PRIPRAVA PREIZKUŠANCEV IN MATERIALI

2.1 Zasnova preiskav

Pri zasnovi programa raziskav smo upoštevali spoznanja, ki smo jih dobili med preiskavo opečnih zidov, utrjenih s površinsko nalepljenimi CFRP-trakovi ((Jarc Simonič, 2014), (Jarc Simonič, 2015)), ki so se izkazali za slabo učinkovite, ker je stik opeke in FRP-utrditev zelo hitro odpovedal. Tako smo raziskali učinek utrjevanja s CFRP-trakovi z različnim sidranjem ter GFRM-oblogo z mrežicami v ojačeni cementni malto na dveh različnih podlagah. Za CFRP-preizkušance smo izbrali široke (10 cm) in ozke trakove (1,5 cm) z dvema različnima dolžinama, 10 in 20 cm, za podlago pa smo priskrbeli staro in novo opeko. Sproti smo ugotavljali učinkovitost/neučinkovitost CFRP-utrditev, razvijali različne vrste sidranja in tako obravnavali 17 skupin preizkušancev, praviloma s po 5 preizkušanci. Ozke trakove smo nalepili ravno, z zaobljenim koncem, s čepi, spreminjali smo podlago, ki je bila gladka (obstoječa stara ali nova opeka), narebrena ali pod vplivom 100 % vlage (30 dni v vodi). Ko smo ugotovili, da so porušitve – odtrganje trakov od podlage, hipne tudi zaradi velike togosti nalepljenega sistema, smo preizkusili še vpliv dodajanja tekoče gume v epoksidno lepilo, da bi togost nalepljenega materiala zmanjšali.

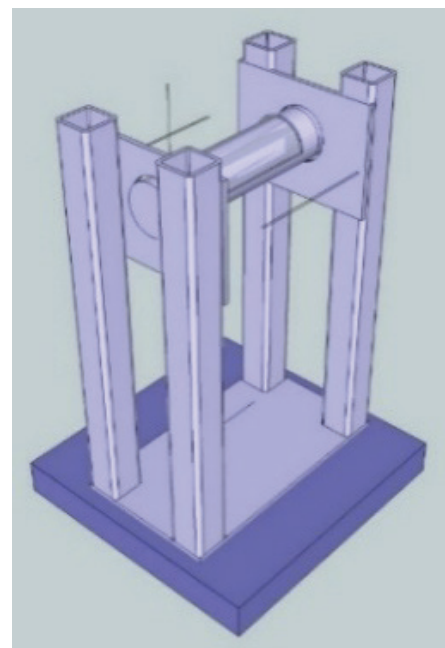
2.2 Priprava preizkušancev

Pripravo preizkušancev in preiskave stikov smo udeležili v laboratoriju Gradbenega inštituta ZRMK. Uporabili smo staro opeko, ki smo jo pridobili iz objekta Cirkovce, kjer smo delali tudi in-situ preiskave utrjenih zidov ((Jarc

Simonič, 2014), (Jarc Simonič, 2015)), in je bil predviden za rušenje. Novo polno opeko navadnega formata smo dobavili iz Hrvaške. Preiskave smo zasnovali za izvedbo na tlačni stiskalnici. Da bi lahko vnesli natezno silo v trakove, smo zasnovali dvojčke opek, na katerih je bil po notranji strani polkrožno nalepljen CFRP/GFRM trak (slika 1). Vzorec je bil obešen na kovinsko cev s primernim radijem



Slika 1 • Opeki s FRP-trakom.



Slika 2 • Jekleni okvir.



Slika 3 • Vzorec v stiskalnici.

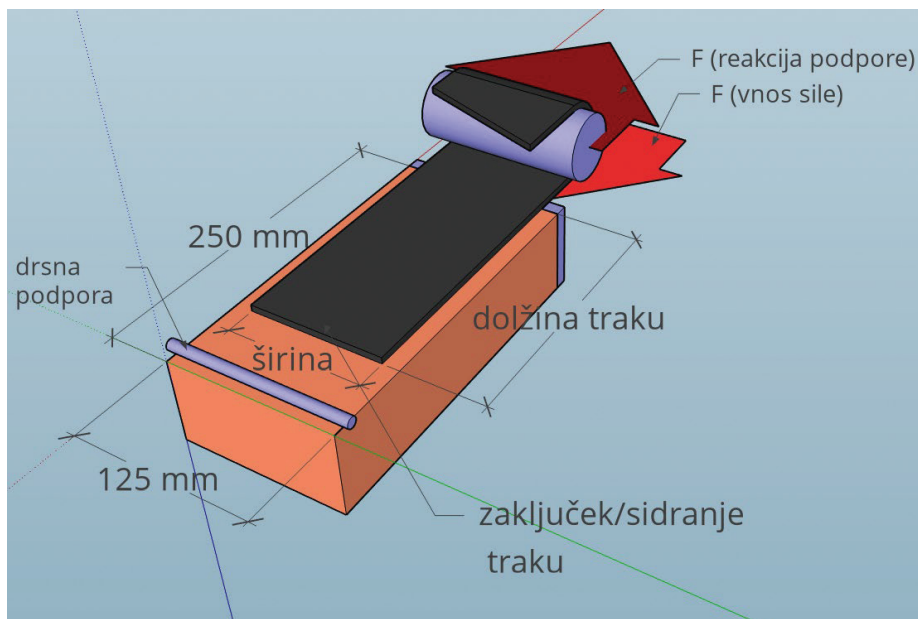
zaokrožitve (40 mm). Konce opek je tlačna stiskalnica potiskala navzdol, medtem ko je kovinsko cev podpiral jekleni okvir (slika 2). Dimenzije okvirja so znašale 20 x 20 x 30 cm in so bile prilagojene dimenzijam plošč tlačne stiskalnice (slika 3).

Na preizkušancih smo najprej pripravili podlago, tako da smo opeke očistili, nekatere narebrili s kotno brusilko obojestransko poševno, nekaterim izvrtali vdolbine za čepe premera 12 mm, globine 5 mm, nekatere pa zaključili z zaokrožitvijo približno v radiju 3,5 cm. Pripravi podlage preizkušancev s CFRP-utrditvijo so sledili impregnacija, izris položaja trakov, nanos epoksidnega lepila, rezanje trakov, nalepitev trakov, prepojitvev trakov z epoksidnim lepilom, drugi premaz epoksidnega lepila, utrditev srednjega zaokroženega dela, končni premaz z epoksidnim lepilom, vpetje v kalup, premaz zaokrožitve in strjevanje.

Pripravi podlage preizkušancev z GFRM-oblogo so sledili močenje opek v vodi, rezanje mrežice, priprava cementne malte v mešalniki, nanos prvega sloja cementne malte, poravnava robov malte, vtiskovanje mrežice v malto, drugi nanos cementne malte, vpenjanje v kalup, nanos malte na zaokroženi del in strjevanje v kalupu.

2.3 Karakteristike uporabljenih materialov

Za utrjevanje smo uporabili material, ki ga je mogoče dobiti na trgu. Posebej smo raziskovali tudi mehanske lastnosti teh materialov. Za oblogo s širokimi trakovi smo uporabili tkanino S&P C-Sheet 240 in dvokomponentno epoksidno lepilo S&P Resin Epoxy 55. Tkanina



Slika 4 • Shema (pol) vzorca z označenimi merami in silami.

iz karbonskih vlaken je bila enosmerno pletena tkanina debeline 0,176 mm. Mehanske lastnos-

ti, dobljene iz preiskav, in deklarirane vrednosti so podane v preglednici 1 in preglednici 2.

	sila	natezna trdnost	deformacije	modul elastičnosti
	F (kN)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
povprečje	9,07	3435,0	2,5	206,5
st. dev.	1,5	573,0	0,37	15,1
c.o.v.	16,5 %	16,7 %	14,8 %	7,3 %
Primerjava deklariranih in izmerjenih vrednosti za S&P-trakove				
deklarirano		3800	1,55	240
delež pov/dek		90 %	161 %	86 %

Preglednica 1 • Rezultati preiskav natezne trdnosti FRP trakov S&P (n=6).

	Natezna trdnost	Gostota	Raztezek do pretrga	Čas strjevanja
	(MPa)	(kg/l)	(%)	(dni)
Resin Epoxy 55	35,8 (po 14 dneh)	1,11	2,3 (po 14 dneh)	7

Preglednica 2 • Karakteristike epoksidnega lepila S&P.

Preiskava natezne trdnosti FRP-trakov C-iar				
	sila	natezna trdnost	deformacije	modul elastičnosti
	F (kN)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (GPa)
povprečje	22,24	3369,6	1,23	242,9
st. dev.	1,3	194,2	0,33	87
c.o.v.	5,8 %	5,8 %	26,8 %	35,8 %
Primerjava deklariranih in izmerjenih vrednosti za C-iar				
deklarirano		3500	1,6	235
delež pov/d		96 %	77 %	103 %

Preglednica 3 • Rezultati preiskav natezne trdnosti FRP-trakov C-iar (n=6).

Koeficienti variacije kažejo, da raztrosi niso veliki oz. so preiskane lastnosti dokaj homogene.

Za oblogo z ozkimi trakovi smo uporabili FRP-trakove Carboniar 800/1,5 ter epoksidno lepilo Epoxiar C64/ET. Preizkusili smo tudi preizkušance lepila, strjenega z dodatkom tekoče gume. Trakovi iz ogljikovih vlaken so bili enosmerno pleteni tovarniško izdelani trakovi v širini 1,5 cm nominalne debeline 0,44 mm.

Koeficienti variacije kažejo, da raztrosi sil in natezних trdnosti niso veliki, večje odstopanje je pri deformacijah in modulu elastičnosti.

V preiskavah strjenega epoksidnega lepila Epoxiar so raztrosi majhni, nekoliko večji pri deformacijah.

Ugotovljeni koeficienti variacije pri preiskavi natezne trdnosti epoksidne smole z dodatkom gume niso veliki in kažejo na dokaj homogene preiskane lastnosti.

Za oblogo z mrežicami v malti smo uporabili mrežico z oznako SikaWrap-350G in mikroarmirano cementno malto Sika Mono-Top-722 Mur. Mrežica z okenci nominalno 15.7/10.1 mm je mrežica iz steklenih vlaken z alkalno odporno oblogo. Mrežice nismo preizkušali. Trdnost posamezne niti je po podatkih proizvajalca 3,4 GPa, obremenitve, ki jih prenese mrežica, pa so 77 kN/m v vzdolžni in 76 kN/m v prečni smeri. Raztezek ob porušitvi je 3%. Tlačno in upogibno trdnost malte smo preizkušali po standardu EN 1015-11.

Preiskava natezne trdnosti epoksidne smole Epoxiar				
	sila	natezna trdnost	deformacije	modul elastičnosti
	F (kN)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
povprečje	1,1	28,4	1,54	2,8
st. dev.	0,15	3,7	0,44	0,36
c.o.v.	13,6 %	13,0 %	28,6 %	12,9 %

Preglednica 4 • Rezultati preiskav natezne trdnosti strjenega epoksidnega lepila Epoxiar (n=6).

Preiskava natezne trdnosti epoksidne smole Epoxiar s tekočo gumo				
	sila	natezna trdnost	deformacije	modul elastičnosti
	F (kN)	σ (MPa)	ε (%)	E (GPa)
povprečje	0,65	16,3	1,8	1,43
st. dev.	0,06	1,4	0,3	0,1
c.o.v.	9,2 %	8,6 %	16,7 %	7,0 %
Doseženi odstotek Epoxiar z gumo in Epoxiar brez				
delež z/brez	60 %	57 %	117 %	51 %

Preglednica 5 • Natezne trdnosti epoksidne smole Epoxiar s tekočo gumo (n=6).

	upogibni preizkus utrditvene malte		tlačni preizkus utrditvene malte	
	maks. sila	up.trdnost	maks. sila	tl.trdnost
	$P_{o,j,sr}$ (kN)	$f_{o,j,f}$ (MPa)	$P_{o,j,sr}$ (kN)	$f_{o,j,c}$ (MPa)
povprečje	2,8	6,7	50,9	32,0
st. dev.	0,26	0,6	6,4	4,0
c.o.v.	9 %	9 %	13 %	13 %

Preglednica 6 • Rezultati preiskav tlačne in upogibne trdnosti prizem ojačilne malte (n=4).

3 • REZULTATI PREISKAV

3.1 Načini porušitve

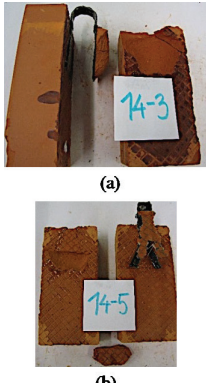
Tipični načini porušitve so bili odvisni od zasnove preizkušancev, predvsem od vrste

utrditvenega materiala, dimenzij lepljene površine pa tudi od vrste in priprave površine podlage. V naslednji preglednici so prikazani

načini porušitve preskušanih vrst stikov med opeko in različnimi utrditvenimi sredstvi.

Skupina	Način utrditve	Izgled porušitve	Opis načina porušitve
1 CFRP (S) 10/20	Široki dolgi trakovi		Široki trakovi dolžine 20 cm na stari opeki so se odrgali od opeke tik pod površino, na koncu traku pa se je zaradi koncentracije napetosti odrgal večji kos opeke približno 10 mm v globino opeke.
2 CFRP (S) 10/10	Široki kratki trakovi		Široki, 10 cm dolgi trakovi na stari opeki so se večinoma porušili po opeki bodisi podobno kot pri skupini 1 ali pa se je odrgal večji klin opečne mase od celotne opeke.

<p>3 CFRP (S) 1,5/20</p>	<p>Ozki dolgi trakovi na stari opeki</p>		<p>Ozki dolgi trakovi, ki so bili nalepljeni na staro opeko, so se odtrgali od podlage po opeki, nekateri enakomerno do konca, v več primerih pa se je na koncu odtrgal še kos opeke v globino 6-10 mm.</p>
<p>4 CFRP (N) 10/20</p>	<p>Široki dolgi trakovi na novi opeki</p>		<p>Široki dolgi karbonski trakovi na novi opeki so se odtrgali skoraj na površini opeke, v treh primerih pa se je na koncu traku odtrgal večji kos opeke do globine 14-17 mm.</p>
<p>5 CFRP (N) 10/10</p>	<p>Široki kratki trakovi na novi opeki</p>		<p>Široki kratki trakovi na novi opeki so se porušili podobno kot na stari opeki. Večinoma je nastopil poševen odlom opeke od konca traku.</p>
<p>6 CFRP (S) 1,5/10</p>	<p>Ozki kratki trakovi na stari opeki</p>		<p>Ozki kratki trakovi na stari opeki so se v treh primerih v začetku nalepive porušili globlje v opeko (13-23 mm), v nadaljevanju po opeki tik pod površino, na koncu pa 4-20 mm v globino. Dva preizkušanca sta se na začetku porušila tik pod površino opeke.</p>
<p>7 CFRP (N) 1,5/10</p>	<p>Ozki kratki trakovi na novi opeki</p>		<p>Ozki kratki trakovi na novi opeki so se odtrgali od podlage brez značilnega večjega opečnega kosa na koncu traku. Dosežene sile so bile nizke. Ugotovili smo, da je bila podlaga na novih opekah pregladka.</p>
<p>8 CFRP (N) 1,5/20</p>	<p>Ozki dolgi trakovi na novi opeki</p>		<p>Na preizkušancih z dolgimi ozkiimi trakovi je bil način porušitve enak kot pri skupini 7. Vrednosti doseženih sil so bile nizke zaradi pregladke površine opeke.</p>
<p>9 GFRM (S) 10/20</p>	<p>Obloga iz mrežice v malti na stari opeki</p>		<p>Pri preizkušancih, utrjenih z mrežico v malti, se je pokazalo, da je izvedba utrditve problematična. Poskus je uspel le v dveh primerih, ko se je obloga odlepila od podlage. V neuspešnih primerih je prišlo do trganja mrežice na slabo utrjenem zaobljenem delu.</p>

10 CFRP (N) 1,5/10 z	Ozki zaobljeni trakovi na novi opeki		Preizkušanci, pri katerih smo konec opeke zaoblili in 10 cm dolg trak delno prilepili na zaobljeno, delno pa na ravno podlago, so izkazali visoko nosilnost stika. Preizkušancem se je od podlage na koncu odtrgal velik kos opeke večje širine in v globino od 9 do 22 mm.
11 GFRM (N-n) 10/20	Obloge iz mrežice v malti na novi narebreni opeki		Obloga iz steklene mrežice v cementni malti je bila nalepljena na izboljšani podlagi – na novi opeki z narebreno površino. Nosilnost stika se je zvišala vsaj za dvakratno vrednost. V večini primerov se ni porušil stik, ampak se je pri poružitvi iz malte izpulila mrežica.
12 CFRP (N-n) 1,5/10	Ozki kratki trakovi na novi narebreni opeki		Ravno nalepljeni ozki kratki trakovi na novi opeki z narebreno površino so se večinoma porušili po opeki tik pod površino in na koncu trakov v globino 19-26 mm.
13 CFRP (N) 1,5/10 č	Ozki kratki trakovi na novi gladki opeki z dodanim čepom iz epoksidnega lepila		Pri preizkušancih z dodanim čepom na gladki novi opeki je prišlo do povečanega sipanja energije. Zaradi čepov na koncu trakov se je v vseh primerih odtrgal večji kos opeke v globino 18-23 mm, s čimer je bila dosežena višja nosilnost stika.
14 CFRP (N-n) 1,5/10 lastovičji	Ozki kratki trakovi v obliki lastovičjega repa na novi narebreni opeki		Zaželen način poružitve smo dosegli pri ozkih kratkih trakovih, ki smo jih polagali na novo narebreno opeko, zaključili pa tako, da smo konec traku razcepili na dva dela. To smo poimenovali lastovičji rep. Preizkušanci so se porušili tako, da se je odtrgal velik kos opeke v globino 20 do 32 mm bodisi po celi dolžini bodisi na koncu opeke, kar je privedlo do visoke nosilnosti stika.
15 CFRP (S) 1,5/10 z	Ozki kratki trakovi na zaobljeni stari opeki		Zaobljeni trakovi na stari opeki so se obnašali podobno kot zaobljeni trakovi na novi opeki. Od podlage se je odtrgal velik kos opeke na zaobljenem delu v globino 11-18 mm v precejšnji širini.

<p>16 CFRP (S) 1,5/10 v</p>	<p>Ozki kratki trakovi na stari, z vodo zasičeni opeki</p>		<p>Kratki ozki trakovi na stari opeki, zasičeni z vodo, so hitro odpovedali. Porušitev je večinoma potekala po opeki tik pod lepilom in z doseženimi nizkimi nosilnostmi.</p>
<p>17 CFRP (N-n) 1,5/10 g</p>	<p>Ozki kratki trakovi v epoksidnem lepilu z dodatkom gume na novi narebreni opeki</p>		<p>Z dodatkom tekoče gume v epoksidno lepilo smo dosegli bolj enakomerno razporeditev sil vzdolž trakov, kar se je izražalo v enakomerni porušitvi po celotni dolžini trakov do globine 20-30 mm.</p>

Preglednica 7 • Pregled načinov porušitve lepjenih stikov med opeko in utrditvenimi plastmi.

3.2 Nosilnost stikov

V preglednici podajamo dosežene povprečne nosilnosti preskušanih stikov, pri čemer so preizkušanci sortirani in združeni glede na uporabljene materiale (CFRP-trakovi ali GFRM; stara, nova ali nova narebrena opeka), dimenzije traku (š – širina traku; d – dolžina traku) in način sidranja (zaključka traku).

opeka	CFRP									
	š=10 cm			š=1,5 cm						
	d=20cm	d=10cm	d=20cm	d=10cm						
				čepi	zaobljen konec	lastovičji rep	dodatek gume	v vodi 30 dni		
stara	1-CFRP(S)10/20 25,91	2-CFRP(S)10/10 32,15	3-CFRP(S)1,5/20 12,4	6-CFRP(S)1,5/10 19,25		15-CFRP(S)1,5/10 z 21,73				16-CFRP(S)1,5/10 v 13,69
nova	4-CFRP(N)10/20 26,48	5-CFRP(N)10/10 23,96	8-CFRP(N)1,5/20 10,57	7-CFRP(N)1,5/10 7,99	13-CFRP(N)1,5/10 č 9,14	10-CFRP(N)1,5/10 z 16,22				
nova-narebrena				12-CFRP(N-n)1,5/10 17,03			14-CFRP(N-n)1,5/10 l 19,99	17-CFRP(N-n)1,5/10 g 16,06		

F[kN]

opeka	GFRM
nova narebrena	11-GFRM(N-n)10/20 12,43
stara	9-GFRM(S)10/20 9,37

Preglednica 8 • Povprečne porušne sile (glede na širino in dolžino traku, vrsto opeke in vrsto traku/utrditve).

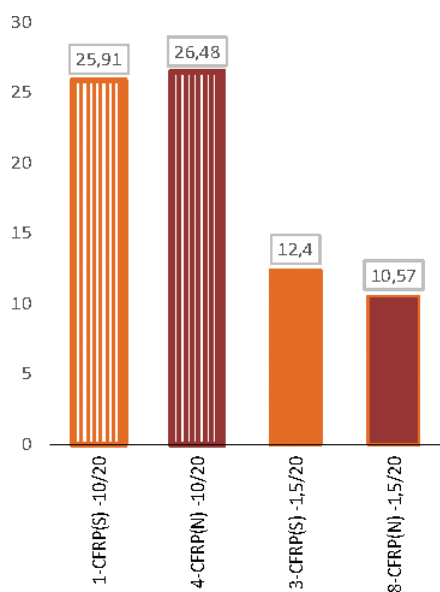
4 • ANALIZA REZULTATOV

4.1 Primerjava nosilnosti

Primerjava rezultatov preiskav preizkušancev z 10 cm širokimi trakovi na stari in novi opeki z dolžinama trakov 10 in 20 cm je pokazala, da dolžina trakov ne vpliva sorazmerno na zvišanje nosilnosti stika. Zaradi raztrosa rezultatov med preizkušanci so celo kratki (10 cm) trakovi na stari opeki s povprečno porušno silo 32,15 kN prenesli več kot 20-cm trakovi, kjer je bila povprečna porušna sila 25,91 kN. Rezultat ni povsem logičen, kajti površina nalepljenega traku je bila 2-krat večja. Vzrok je v kvaliteti opeke in izvedbi preiskave. Vsa stara opeka je bila iz zelo neenotnega materiala, kar

se je dalo prepoznati že po razliki v barvi opek. Opeke slabše trdnosti so bile izrazito oranžne barve, opeke boljše trdnosti pa izrazito rdeče barve. En vzorec med krajšimi utrditvami je močno izstopal od preostalih po nosilnosti stika. Bil je narejen iz opeke temno rdeče barve, dosežena nosilnost pa je bila 50,36 kN. Ob izločitvi tega preizkušanca iz njegove skupine znaša v skupini povprečna nosilnost 27,59 kN, kar je upoštevano v primerjavah. Ob izvedbi preiskav smo ugotovili, da manjša ekscentričnost vnosa sile (vertikalno silo smo v vzorce vnašali cca 2,5 cm od roba opeke oz. od stika opeke in FRP-traku), ki je potreb-

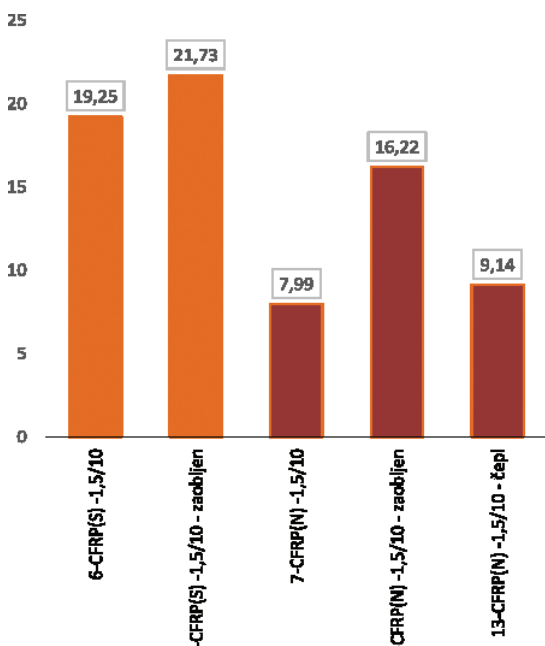
na, da preiskavo na ta način lahko izvedemo, negativno vpliva na vzorce s kratko utrditvijo s širokimi trakovi. Ta ekscentričnost skoraj ni imela vpliva pri opekah z dolgo utrditvijo in utrditvijo z ozkimi trakovi. Preizkusi širokih trakov na novih opekah so pokazali, da je povprečna dosežena nosilnost stikov 20-cm trakov 26,48 kN, 10-cm trakov pa 23,96 kN. Stiki 1,5 cm širokih CFRP-trakov enakih dolžin, kjer je bila površina lepjenja 6,6-krat manjša kot pri širokih utrditvah, so se porušili strižno, zato lahko direktno primerjamo 20-cm utrditve na novi in stari opeki, kajti porušni mehanizmi so bili povsod enaki. Na diagramu spodaj (slika 5) lahko vidimo, da je dosežena maksimalna sila pri utrditvah z ozkimi trakovi za približno polovico nižja od nosilnosti stikov pri



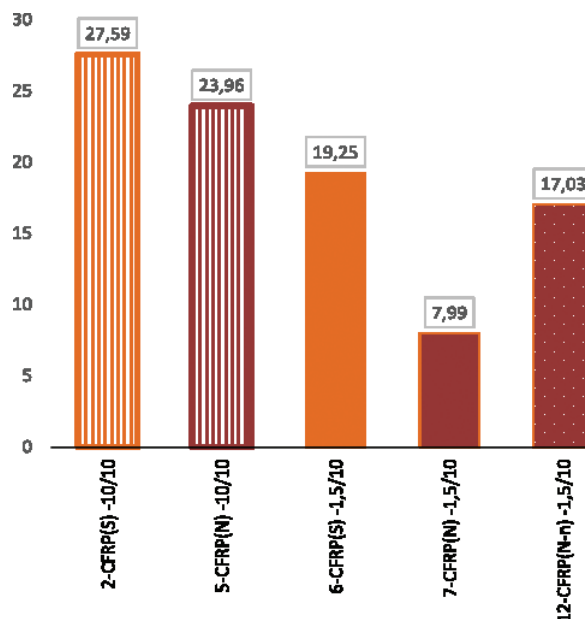
Slika 5 • Strižna nosilnost 20-cm FRP-utrditev na novi (N) in stari (S) opeki.

širokih trakovih na stari opeki in nekoliko višja pri širokih trakovih na novi opeki.

Če primerjamo stike 10-cm trakov (slika 6), je razlika pri lepljenju na stare opeke nižja. Pri novih opekah je bila maksimalna dosežena nosilnost približno 1/3 maksimalne nosilnosti stikov 10 cm širokih trakov. Pri utrditvah z



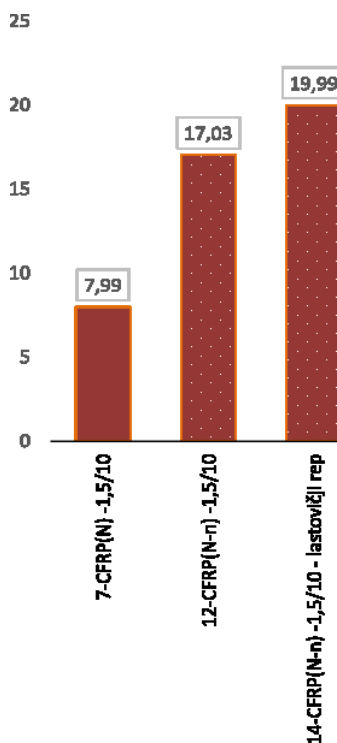
Slika 7 • Strižna nos. FRP-utrditev na novi (N) in stari (S) opeki z zaokroženim koncem trakov ali čepi.



Slika 6 • Strižna nosilnost 10-cm FRP-utrditev na stari (S), novi (N) in novi narebreni (N-n) opeki.

20 cm dolgimi ozkimi trakovi kakor tudi pri 10 cm dolgih trakovih je bila dosežena višja nosilnost stika na stari opeki. Glavni razlog ni v nosilnosti opeke, temveč v hrapavosti njene površine. Stara opeka je bila izdelana ročno z veliko neravninami, nova pa je gladka. Za nadaljnje preiskave je bilo evidentno, da je

treba izboljšati prijemljivost površine s povečanjem njene hrapavosti ali pa z načinom same utrditve. Večjo hrapavost površine novih opek smo dosegli z navzkrižno potekajočimi utori globine približno 1 mm. Na sliki (slika 8, desno) lahko v zadnjih dveh stolpcih primerjamo izboljšanje nosilnosti v primeru narebrenih opek. Z neposredno primerjavo preizkušancev z enako utrditvijo na gladki in narebreni površini lahko opazimo 213% izboljšanje nosilnosti (7,99 kN pri gladki opeki in 17,03 kN pri narebreni površini). Ta rezultat je tudi primerljiv z rezultatom stare opeke. Bistvena ugotovitev prvega sklopa preiskav je torej zagotoviti zadostno hrapavost površine. Nekoliko nelogičen je rezultat pri stari opeki s povprečno vrednostjo nosilnosti 19,25 kN za 10-cm trak in 12,4 kN za 20-cm trak. Iz podrobnega pregleda porušitev lahko vidimo, da so se preizkušanci pri kratkih trakovih v treh primerih porušili po opeki tako, da se je odtrgal precej širši del opeke, kot je znašala širina trakov, torej je površina porušitve pri takem klinu precej večja in zato so ti preizkušanci tudi dosegli večjo nosilnost. Kvaliteta opeke je bila pri krajših trakovih višja, saj so bili nekateri preizkušanci iz trdnejše rdeče opeke. Bolj logične vrednosti doseženih nosilnosti so pri novi opeki, kjer je pri krajših trakovih s povprečno porušno silo 7,99 kN za približno 32 % manjša od nosilnosti, dosežene pri 20-cm trakovih, kjer je ta v povprečju znašala 10,57 kN. Tudi v tem primeru lahko sklepamo, da dolžina nalepljenih trakov ne prispeva sorazmerno k višji nosilnosti.



Slika 8 • Strižna nos. CFRP na gladki (N) in narebreni (N-n) opeki ravno ter z lastovičjim repom.

Sidranje trakov na zaobljenih površinah se je izkazalo za učinkovit način sidranja koncev trakov. Pri takem sidranju je bila dosežena približno za 100 % višja nosilnost (16,22 kN) v primerjavi z ravno nalepljenimi trakovi (7,99 kN). Z zaobljenim sidranjem je bil dosežen ustreznejši mehanizem porušitve z odtrganjem kosa opeke na koncu traku. Pri utrditvi na stari opeki je dosežen podoben učinek zaobljenega sidranja. Nosilnost zaobljenega sidranja je bila višja za 12 % (21,73 kN) v primerjavi s sidranjem brez zaobljenosti (19,25 kN). Pri enakem načinu porušitve je bil učinek utrditve na stari opeki večji kot pri novi opeki kljub enakem mehanizmu porušitve. Zaobljeni konci trakov so torej zelo učinkovit način sidranja FRP-trakov (slika 7).

Pri gladki opeki smo preizkusili še en način »sidranja« koncev trakov. Približno 1,5 cm od konca trakov smo izvrtali 5 mm globoke luknje, ki smo jih zapolnili z epoksidnim lepilom istočasno z lepljenjem trakov na površino opeke. S tem smo dosegli boljši mehanizem porušitve, pri katerem se je ob čepu iztrgal večji kos opeke in posledično dosegla višja nosilnost stika. Čep je povzročil zvišanje nosilnosti stika za 14 % (9,14 kN) v primerjavi z nosilnostjo stikov ravno nalepljenih trakov (7,99 kN; slika 7).

V nadaljevanju raziskav smo razvijali način sidranja, pri katerem bi na sidrišču aktivirali kar se da veliko površino opeke in s tem

dosegli višjo nosilnost. Zato smo konce trakov razcepili na dva dela v obliki lastovičjega repa in jih nalepili na opeke z narebreno površino. Povprečna nosilnost sidranja z »lastovičjim repom« (19,99 kN) se je zvišala za 17 % v primerjavi z ravnim lepljenjem na enako narebreno površino (17,03 kN) oz. za kar 150 % v primerjavi z ravnim lepljenjem na gladko površino (7,99 kN). Zato lahko tudi za tak način sidranja rečemo, da je učinkovit (slika 8).

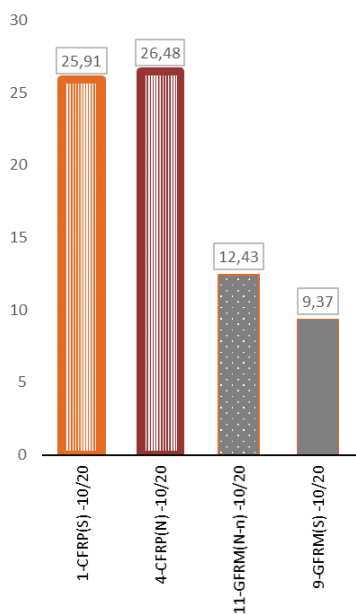
Učinkovitost utrditve z armiranimi oblogami (steklene mrežice v cementni malti) smo primerjali z učinkovitostjo utrditve s CFRP-trakovi, nalepljenimi z epoksidnim lepilom. Izdelali smo preizkušance z 10 cm širokimi in 20 cm dolgimi trakovi na stari in novi opeki z narebreno površino. Nosilnost utrditve na stari opeki je znašala 9,37 kN, kar predstavlja 36 % nosilnosti CFRP-utrditve na epoksidnem lepilu na stari opeki (25,91 kN). Nosilnost utrditve na novi narebreni opeki je znašala 12,43 kN, kar predstavlja 47 % nosilnosti utrditve CFRP z epoksidnim lepilom, ob tem da preizkušanci z epoksidnim lepilom niso imeli narebrenih površin (26,48 kN). V tem primeru je pričakovati, da bi bila razlika še večja (slika 9).

Preizkušanci, ki so bili 30 dni potopljeni v vodi, so pričakovano izgubili nosilnost. Njihova nosilnost je znašala 13,69 kN, kar je 71 % nosilnosti enakih preizkušancev (19,25 kN), ki niso bili izpostavljeni vlagi (slika 10).

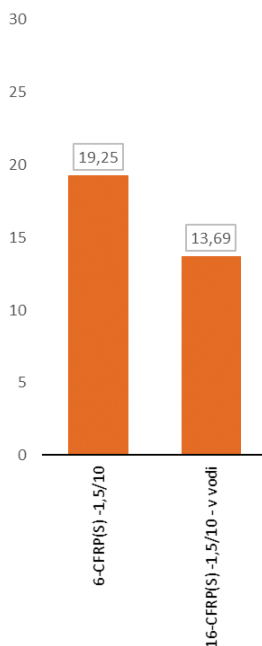
Porušitve preizkušancev so bile v vseh primerih hipne, bodisi z odleptitvijo od površine, za kar smo ugotovili, da je razlog v preglatki površini, bodisi z bolj zaželenim odtrganjem kosa opeke od celotne mase. Največkrat je do odtrganja kosa opeke prišlo na koncih trakov, kjer je bila koncentracija normalnih napetosti največja. Iz tega smo lahko sklepali, da je epoksidno lepilo preveč tog material, ki ne dopušča enakomerne razporeditve napetosti po celotni dolžini nalepljenega traku. Veliko togost so izkazale tudi utrditve s stekleno mrežico v cementni malti.

Razmere bi se lahko bistveno spremenile, če bi se našla taka mešanica epoksidnega lepila, ki bi povečala njegovo podajnost, kar so poskusili tudi (Ozturk, 2001). S tem bi se zagotovila boljša prerazporeditev napetosti po celotni dolžini lepljenca. V iskanju možnosti modifikiranja epoksidnega lepila smo mu dodali tekočo gumo (sintetična termoplastična guma). Rešitev se je izkazala za dokaj obetavno. Porušitev utrditve je nastopila po celotni dolžini stika po opeki do globine 2–3 cm. Nosilnost stika z dodatkom 15 % tekoče gume je bila sorazmerno visoka (16,06 kN; slika 11).

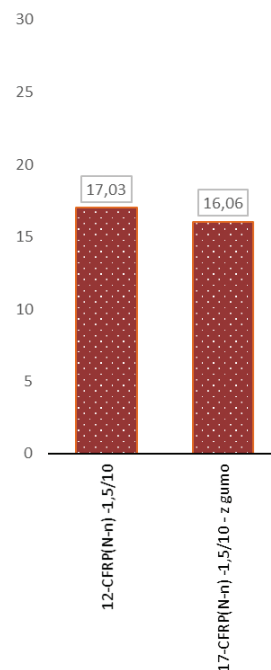
O potencialno večji duktilnosti stika lahko na podlagi analize rezultatov govorimo le v primeru uporabe utrditve z mrežico v malti, vse ostale porušitve so bile hipne, brez vnaprejšnjega opozorila, le da so preizkušanci na iniciacijo trganja opozorili s pokanjem.



Slika 9 • Strižna nos. GFRM-utrditev na novi narebreni (N-n) in stari (S) opeki v primerjavi s CFRP-utrditvijo enake površine.



Slika 10 • Strižna nosilnost CFRP-utrditev na suhi in z vodo nasičeni stari (S) opeki.



Slika 11 • Strižna nosilnost CFRP-utrditev na narebreni (N-n) opeki brez dodatka gume ali z dodatkom gume.

opeka	CFRP					
	š=10 cm		š=1,5 cm			
	d=20cm	d=10cm	d=20cm	d=10cm		
			čepi	zaobljen konec	lastovičji rep	dotadek gume v vodi 30 dni
stara	1-CFRP(S)10/20 1,30	2-CFRP(S)10/10 2,76	3-CFRP(S)1,5/20 4,13	6-CFRP(S)1,5/10 12,83	15-CFRP(S)1,5/10 z 14,49	16-CFRP(S)1,5/10 v 9,13
nova	4-CFRP(N)10/20 1,32	5-CFRP(N)10/10 2,40	8-CFRP(N)1,5/20 3,52	7-CFRP(N)1,5/10 5,33	13-CFRP(N)1,5/10 č 6,09	10-CFRP(N)1,5/10 z 10,81
nova-narebrena			12-CFRP(N-n)1,5/10 11,35		14-CFRP(N-n)1,5/10 l 13,38	17-CFRP(N-n)1,5/10 g 10,71

F/Analepive [N/mm²]

opeka	GFRM
nova narebrena	11-GFRM(N-n)10/20 0,62
stara	9-GFRM(S)10/20 0,47

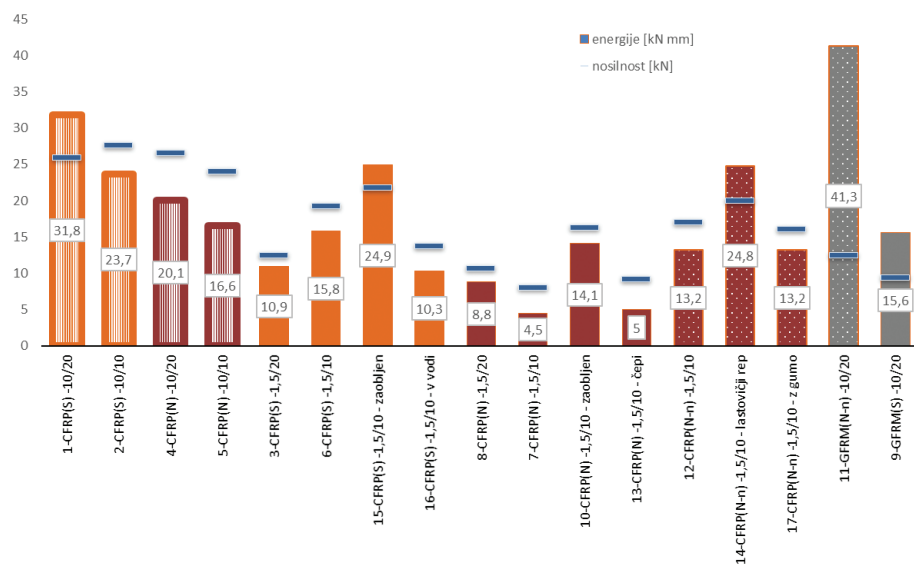
Preglednica 9 • Strižna nosilnost opečnih dvojčkov s FRP-/FRM-utrditvami na enoto površine lepljenja.

Nosilnost ni bila sorazmerna širini (oziroma površini) nalepljenih trakov, temveč predvsem od načina sidranja, kar prikazuje preglednica 9.

Dosežena sila na enoto površine lepljenja poveča razliko v nosilnosti med širokimi trakovi, s tem da kratki 10-cm trakovi dosegajo približno 2-krat večjo nosilnost v primerjavi z 20 cm dolgimi trakovi. Pri vseh širokih trakovih smo dosegli bistveno manjšo silo na enoto površine kot pri ozkih trakovih (od 0,47 N/mm² pri preizkušancih z mrežico v malti do 2,76 N/mm²). Med ozkimi trakovi močno izstopajo dobro zaključena sidranja (obe zaobljeni skupini in lastovičji rep) in preizkušanci z dobro izvedbo podlage (narebrena ali stara neravna luknjičasta opeka). Vrednosti sile na enoto površine lepljenja znašajo med 10,71 in 14,49 N/mm², kar v povprečju znaša 8-krat več v primerjavi z vsemi širokimi trakovi (CFRP in GFRM) oz. približno 6-krat več kot v primeru CFRP-trakov. Sila na enoto površine je pri preizkušancih, nasičenih z vodo, padla za 25 % v primerjavi z enakimi suhimi preizkušanci. Preizkušanci s preglednimi površinami so dosegli najnižjo silo na enoto površine.

4.2 Primerjava sipanja energije

Slika 12 prikazuje porabljeno energijo za obremenjevanje preizkušancev do dosežene trdnosti oz. porušitve. Največ energije je bilo porabljeno za porušitev preizkušancev, pri katerih je bila zaznana določena mera duktilnosti. To so preizkušanci skupine 11, ki so bili narejeni iz narebrenne opeke s stekleno mrežico v mikroarmirani cementni malti. Gre za preizkušance, katerih porušitev je večinoma nastopila v sami utrditvi (pulila in trgala se je mrežica in drobila malta), medtem ko se je druga skupina preizkušancev z mrežico v mal-



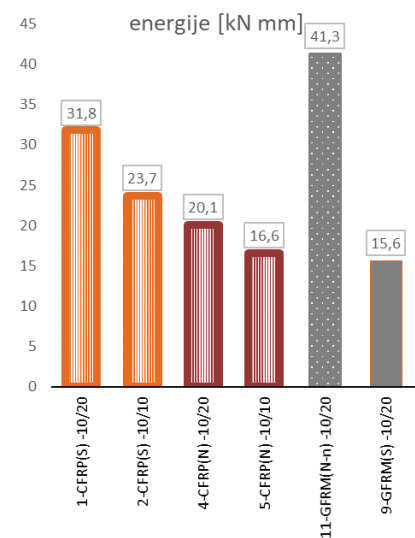
Slika 12 • Poraba energije opečnih dvojčkov s FRP-/FRM-utrditvami (za primerjavo so nakazane tudi nosilnosti).

ti (skupina 9) večinoma porušila z odlepitvijo. Pri taki krhki porušitvi je bila poraba energije pričakovano bistveno manjša. Med doseženo nosilnostjo preizkušancev teh skupin ni bilo velike razlike, razlika je bila le v duktilnosti in s tem v sipanju energije.

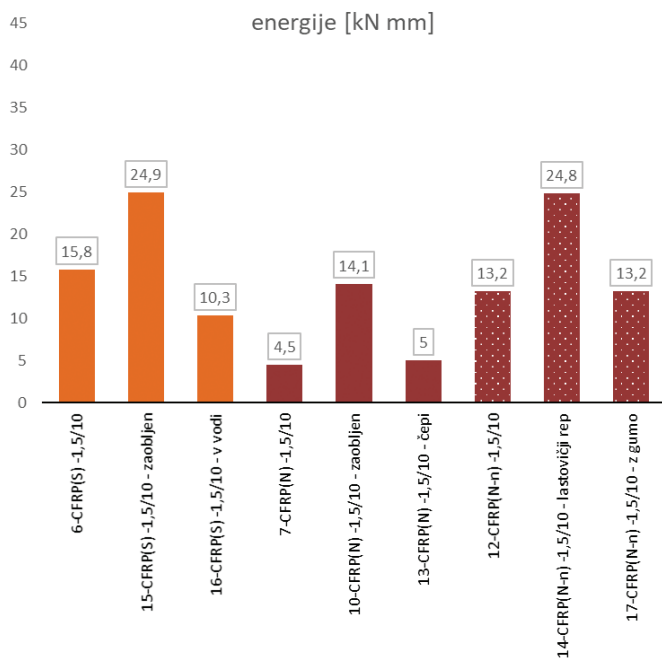
Ostali preizkušanci so trošili energijo do porušitve sorazmerno z dolžino trakov in s kvaliteto (hrapavostjo) podlage.

Glede količine porabljene energije so v primeru širokih trakov izstopali preizkušanci z daljšo sidrno dolžino (slika 13) z izjemo preizkušancev 2 zaradi izrazite porušitve po opeki. V skupini enakih dolžin ozkih trakov, le z različnim sidranjem, so izrazito izstopali preizkušanci z zaobljenim koncem in preizkušanci z razširitvijo zaključka trakov v obliki lastovičjega repa (slika 14), seveda pa prav tako sorazmerno s hrapavostjo podlage.

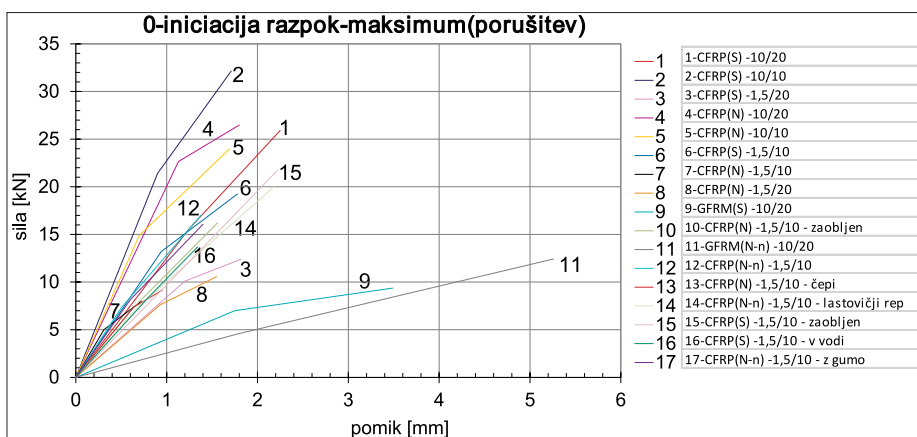
Porušitve preizkušancev (razen v enem primeru) so bile hipne (krhke). Po enakomernem, linearnem naraščanju sile in pomika smo dosegli maksimalno obremenitev, ki je hkrati bila tudi porušna sila. Stiki so se obnašali povsem neduktilno, saj je bilo razmerje med končnim pomikom in pomikom na meji elastičnosti enako 1. Kljub temu pa smo opazili točko iniciacije poškodb, pri kateri pa lahko rečemo, da se je linearno elastično področje naraščanja sile vendarle zaključilo. Te točke so bile pri enaki skupini preizkušancev dosežene pri približno enakih pomikih, v nekaterih primerih pa se sploh niso zgodile. Pri povprečju preizkušancev lahko vidimo, kako so preizkušanci po iniciaciji razpok



Slika 13 • Poraba energije v primeru širokih trakov.



Slika 14 • Poraba energije ozkih kratkih trakov z različnim sidranjem.



Slika 15 • Strižna nosilnost opečnih dvojčkov s FRP-utrditvami (0-iniciacija razpok-porušitev).

5 • SKLEPI

V članku so predstavljene strižne preiskave stikov opeke in armiranih polimerov. Opravljali smo preiskave z vnosom strižne obremenitve v stik vzporedno s stično ploskvijo. Za CFRP-preizkušance smo izbrali široke (10 cm) in ozke trakove (1,5 cm) z dvema različnima dolžinama, 10 in 20 cm, za podlago pa smo izbrali staro in novo opeko. Sprofi smo ugotavljali učinkovitost CFRP-utrditev in razvijali različne vrste sidranja. Preskušali smo 17 skupin različnih preizkušancev, praviloma s po petimi enakimi preizkušanci v posamezni skupini. Ozke trakove smo nalepili ravno, z zaobljenim koncem, s čepi ali z lastovičjim

repom. Poleg tega smo spreminjali podlago, ki je bila lahko gladka (obstoječa stara ali nova opeka), narebrna ali pod vplivom 100-% vlage (30 dni v vodi). Preiskave preizkušancev iz opeke s CFRP-/GFRM-utrditvami so v prvi vrsti pokazale, da podlaga ne sme biti pregledka. Če je pregledka, je treba podlago nujno narebrati. Ugotovili smo, da zadošča rebričenje do globine 1–2 mm s kotno brusilko, kar lahko dokaj enostavno in hitro opravimo na mestu samem kateregakoli zidu pred utrditvijo. Dosežene razlike v nosilnosti in porabi energije za doseganje porušitve stika, če primerjamo gladko in hrupavo podlago,

(točka loma krivulje na diagramu na sliki 15) pridobivali nosilnost do maksimalne sile oz. porušitve.

4.3 Primerjava nosilnosti in pomikov po iniciaciji trganja

Na sliki 15 so prikazani diagrami strižnih nosilnosti opečnih dvojčkov, utrjenih s FRP/FRM. Linearno so povezane tri točke: izhodišče diagrama, točka iniciacije razpok in meja porušitve. Naklon prve linije predstavlja povprečno togost preizkušancev posamezne skupine.

Najbolj togi so bili stiki preizkušancev iz skupin 2, 4 in 5, ki so imeli nalepljene široke trakove. Najbolj podajni so bili stiki preizkušancev iz skupin 11 in 9, ki so bili utrjeni z mrežico v malti.

so zelo velike (do 213 %). K povečanju nosilnosti in porabi energije pomembno prispevajo izboljšani načini sidranja koncev trakov. Bodisi zaokrožitev konca trakov bodisi lastovičji rep uspešno preprečijo možnost porušitve z odlepitvijo po lepilu in aktivirajo večji volumen opeke, ki jo morajo iztrgati iz opečne mase, za kar pa potrebujejo veliko več energije. Visoko nosilnost zagotavlja tudi velika površina polepljenosti s CFRP-trakovi, vendar pa ta ni sorazmerna površini nalepitve v primerjavi z uporabo ožjih trakov. V našem primeru je bila nalepitev po površini 6,6-krat večja, nosilnost pa le do 2-krat. Slabost večje polepljenosti s trakovi so višji stroški, ki pa v nasprotju z nosilnostjo naraščajo sorazmerno s površino lepljenja tako pri pripravi podlage, porabi lepila, porabi trakov itd.

Ko smo ugotovili, da so porušitve – odtrganje trakov od podlage, hipne tudi zaradi velike togosti nalepljenega sistema, smo preizkusili še vpliv dodatka tekoče gume v epoksidno lepilo, da bi povečali podajnost nalepljenega materiala. Zelo primerno nosilnost, predvsem pa malo manjšo togost in večje dosežene pomike, dosegajo preizkušanci z modificiranim epoksidnim lepilom. Rezultati prikazanih preiskav vpliva modifikacije lepila so zaradi malega števila enakih preizkušancev zgolj indikativni in osnova za nadaljevanje raziskav. Kljub temu smo spoznali, da se porušitev lahko razlikuje od večine porušitev ostalih pre-

izkušancev, če je le stik med lepilom in opeko dovolj kakovosten. Glede na način porušitev lahko sklepamo, da se napetosti enakomerno porazdelijo vzdolž traku. Posledično se opeka odtrga globinsko po celotni dolžini traku, ne le na konceh, s tem dosežemo večjo porabo energije in višjo porušno obremenitev. Ugotavljamo, da ima zamisel utrjevanja z uporabo modificiranega, podajnega lepila velik potencial. Uporaba gume v epoksidnem lepilu je dokazano uporabna. Možne so različne sestave lepila glede na vrsto modifikacijske snovi za doseganje ustrezne podajnosti stika med utrditvenimi trakovi in podlago.

Dolžina nalepljenih trakov v našem primeru ni igrala pomembne vloge. Zadoščala je že dolžina 10 cm, saj so preizkušanci z 20-cm trakovi v polovici primerov dosegli celo manjše nosilnosti od enako pripravljenih preizkušancev z 10 cm dolžine. V vseh primerih, kjer smo dosegli višje nosilnosti, pa so bile te le malo večje, in ne 2-krat, kolikor je bila površina nalepljene utrditve večja. S tem smo ovrgli trditve nekaterih avtorjev, da mora biti sidrna dolžina najmanj 20 cm, bolj pomembni sta priprava podlage in možnost kvalitetnejšega sidranja oz. zaključka trakov.

6 • ZAHVALA

Financiranje je potekalo v okviru projekta PERPETUATE in slovenske podpore Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport RS preko sofinanciranja doktorskega študija z

Inovativno shemo 2010/2011. Zahvala gre Evropski uniji in MIZŠ. Utrditvene materiale so priskrbeli podjetja, ki jih proizvajajo. Zahvala gre podjetjem S&P Italia S.p.a za FRP-kanino

S&P C-Sheet 240 in epoksidno lepilo S&P Resin Epoxy 55, podjetju I.A.R. Srl - Rovigo Italia za karbonske trakove Carboniar® 800/1,5 in lepilo Epoxiar C64/ET ter podjetju Sika Slovenija, d. o. o., za stekleno mrežico SikaWrap®-350G Grid ter mikroarmirano cementno malto Sika® MonoTop® -722 Mur.

7 • LITERATURA

- Alcaíno, P., Santa María, H., Shear response of brick masonry walls externally retrofitted with bonded carbon fiber fabric, Proceedings of 8th Pacific Conference on Earthquake Engineering (8PCEE), Singapore, 5–7 December, 2007, Singapore, Nanyang Technological University & The New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc., 2007.
- ElGawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M., Shear Strength of URM Walls Retrofitted Using FRP, Engineering Structures, 28(12): 1658–1670, 2006.
- Gostič, S., Mezgec, A., Študija učinkovitosti naprednih metod za sanacijo zidanih stavb., Raziskovalni projekt MŠZŠ Z2–3411, Ljubljana, Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, 129 str., 2004.
- Gostič, S., Žarnić, R., Strengthening of clay–brick masonry with carbon fibre reinforced plastic strips. V: Radić, J. (ur.), Rajčić, V. (ur.), Žarnić, R. (ur.). Heritage protection–Construction aspects: Proceedings of the International Conference organized by SECON, European Construction Technology Platform, University of Zagreb and University of Ljubljana. Dubrovnik, Croatia, October 14–17, 2006. Zagreb: Secon HDGK, 2006.
- Hall, J. D., Schuman, P. M., Hamilton, H. R., Ductile Anchorage for Connecting FRP Strengthening of Under-Reinforced Masonry Buildings, Journal of Composites in Construction, Vol. 6, No. 1: p. 3–10, 2002.
- Jarc Simonič, M., Učinki utrditve opečnih zidov s plastikami, armiranimi z vlakni, Doktorska disertacija Ljubljana, UL FGG, 2018.
- Jarc Simonič, M., Gostič, S., Bosiljkov, V., Žarnić, R., In-situ and laboratory tests of old brick masonry strengthened with FRP in innovative configurations and design considerations, Bulletin of earthquake engineering, Vol. 13, No. 1: p. 257–278, 2015.
- Jarc Simonič, M., Gostič, S., Bosiljkov, V., Žarnić, R., Ispitivanje i analiza nosivosti na posmik zidova ojačanih s FRP-om = Testing and analysis of walls strengthened with FRP = Versuche und Analysen zur Scherfestigkeit durch FKV ertüchtigten Mauerwerks. Građevinar, letn. 66, št. 6: str. 533–548, 2014.
- Khalifa, A., Alkhrdaji, T., Nanni, A., Lansburg, S., Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement, International Design and Construction, Vol. 21, No. 10: p. 49–54, 1999.
- Oliveira, D. V., Basilio, I., Lourenço, P. B., Experimental bond behavior of FRP sheets glued on brick masonry, Journal of composites for construction, Vol. 15, No. 1: p. 32–41, 2011.
- Ozturk, A., Kaynak, C., Tincer, T., Effects of liquid rubber modification on the behaviour of epoxy resin, European Polymer Journal 37.12 (2001): 2353–2363.
- Schwegler, G., Masonry Construction Strengthened with Fiber Composites in Seismically Endangered Zones, Proceedings, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Dunaj, 1994.
- Tomažević, M., Gams, M., Oblak, A., Protipotresno utrjevanje opečnih zidov s kompozitnimi oblogami, Gradbeni vestnik, 60(10): 246–257, 2011.
- Triantafyllou, T. C., Fardis, M. N., Strengthening of Historic Masonry Structures With Composite Materials, Materials and Structures, 30(8): 486–496, 1997.
- Triller, P., Gams, M., Tomažević, M., Seismic behaviour of multistorey strengthened URM masonry shear walls with openings: an experimental study, 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE. 2017.

DIMENZIONIRANJE GEOSONDE (IN TOPLOTNI VPLIVNI RADIJ) ZA POSTAVITEV TOPLOTNEGA OGREVALNEGA SISTEMA S TOPLOTNO ČRPALKO – PRIMER IZ ŠKOFJE LOKE

DESIGN OF BOREHOLE HEAT EXCHANGER (AND THERMAL IMPACT RADIUS) FOR THE APPLICATION OF HEATING SYSTEM WITH HEAT PUMP – CASE STUDY FROM ŠKOFJA LOKA

**doc. dr. Željko Vukelić, univ. dipl. inž. rud.
in geotehnol.**

zeljko.vukelic@ntf.uni-lj.si

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

jurij.sporin@ntf.uni-lj.si

Blaž Janc, mag. inž. geotehnol.

blaz.janc@ntf.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška
fakulteta

Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 550.836:621.577.2

(497.4Škofja Loka)

Povzetek | Izkoriščanje plitve geotermalne energije ima v Sloveniji velik potencial, posebno za primere nizkotemperaturnega ogrevanja in hlajenja stavb. Zaprti geotermalni sistemi z uporabo geotermalne toplotne črpalke so za izkoriščanje plitve geotermalne energije na območju Slovenije najbolj primerni. V članku so prikazani principi delovanja plitvih geotermalnih toplotnih sistemov, ki so trenutno v uporabi, ter potencial njihove uporabe na območju Slovenije. Na praktičnem primeru je prikazan primer dimenzioniranja globine geosonde glede na nemške smernice VDI 4640 v pogojih prevajanja toplote ter simulacija vplivnega toplotnega radija geosonde z analitičnim matematičnim modelom linijskega vira toplote.

Ključne besede: plitva geotermalna energija, geotermalna toplotna črpalka, vrtina, geosonda, model linijskega vira

Summary | Exploitation of shallow geothermal energy in Slovenia has a great potential, especially for low temperature heating and cooling of buildings. Closed geothermal systems with the use of geothermal heat pump are most suitable for the exploitation of shallow geothermal energy in Slovenia. The paper presents working principles of shallow geothermal systems that are currently in use and the potential of their application in the area of Slovenia. Practical example of borehole heat exchanger depth design according to the VDI 4640 guidelines in conditions of heat conduction and simulation of radius of thermal influence with analytical mathematical line source model is showed.

Key words: shallow geothermal energy, geothermal heat pump, borehole, borehole heat exchanger, line source model

1 • UVOD

Plitvo geotermalno energijo je mogoče definirati kot tisto, ki se pojavlja na globinah od 0 m do okoli 300 m pod površjem. Izkorišča se jo z geotermalno toplotno črpalko, ki je posrednik med hribinskim virom toplote in mestom, ki ga želimo ogrevati. Plitve geotermalne toplotne sisteme je mogoče razdeliti na odprte in zaprte. Pri tem velja, da so odprti sistemi tipa voda-voda, zaprti pa zemlja-voda, kjer prva beseda pomeni toplotni vir, druga pa toplotni ponor.

Namen članka je prikazati dimenzioniranje globine geosonde glede na nemške smernice

VDI (nem. Verein Deutscher Ingenieure) ter določiti toplotni vplivni radij geosonde na primeru iz Škofje Loke.

Z dimenzioniranjem geosonde želimo na praktičnem primeru iz Škofje Loke pokazati uporabo smernic VDI za določitev potrebne globine geosonde za vnaprej določene toplotne zahteve pri ogrevanju stanovanjskega objekta.

Z analitičnim modelom linijskega vira toplote želimo določiti toplotni vplivni radij geosonde. Ker se hribina okoli aktivirane geosonde sčasoma ohladi (v primeru odvzema toplote iz

hribine), nas zanima sprememba temperature hribine v odvisnosti od oddaljenosti od geosonde. Z rezultati modela je mogoče določiti medsebojno oddaljenost posameznih geosond v primeru postavitve več geosond ali polja geosond.

Poleg dimenzioniranja globine geosonde in toplotnega vplivnega radija bodo v članku predstavljene splošne osnove plitve geotermalne energije, geotermalni toplotni sistemi s tehnološkega vidika izkoriščanja plitve geotermalne energije ter potenciali za postavitve plitvih geotermalnih toplotnih sistemov s toplotno črpalko na območju Slovenije.

2 • OSNOVE PLITVE GEOTERMALNE ENERGIJE

Potencial izkoriščanja geotermalne energije je v veliki meri odvisen od lokalnih razmer. V splošnem obstajata dva vira plitve geotermalne energije. To sta energija Sonca (solarna energija) in energija Zemljine notranjosti. Posledično je mogoče definirati dve coni pod površjem, ki se navezujeta na prevladujoči vir energije: solarna cona in zemeljska cona (Kaltschmitt, 1999). Med solarno cono in zemeljsko cono obstaja prehodno območje (geosolarna cona), kjer je mogoče zaznati tako vpliv solarne kot zemeljske cone (Milivojević, 1994).

Sonce s svojim sevanjem ogreva površje Zemlje in atmosfero. Pronicanje vode s površja v globino prenaša to energijo v zemljo. Sonce je torej glavni vir energije v solarni coni.

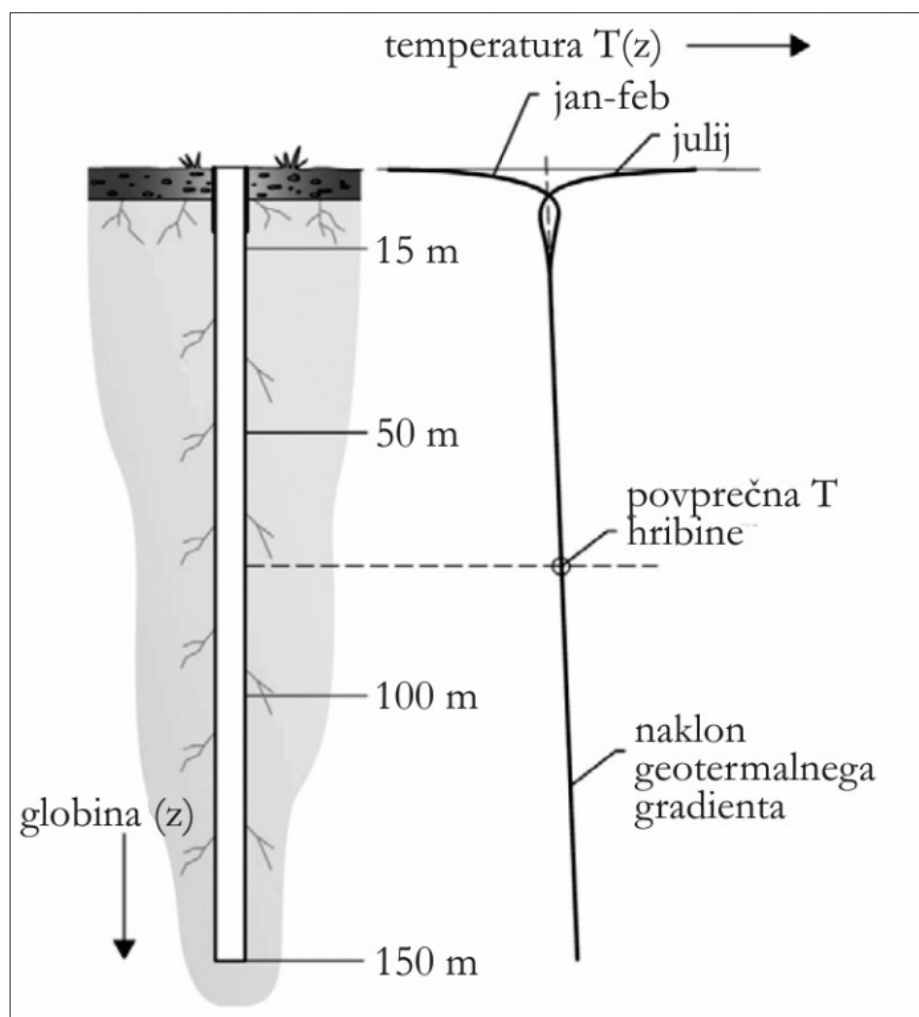
30–50 % energije v zemeljski coni izhaja iz nastanka planeta, preostalih 50–70 % energije pa iz radioaktivnega razpada izotopov (Sass, 2016). Ta energija se prenaša do plitvih globin v bližini zemeljskega površja. Glavna gonilna mehanizma pri tem sta prevajanje in konvekcija. Geotermični gradient v osrednji (celinski) Evropi znaša povprečno okoli 3 K na 100 m globine.

2.1 Solarna cona

V solarno cono spada prvih nekaj metrov globine zemeljskega podpovršja. Pri obravnavanju toplote, shranjene v solarni coni, je toplotni tok iz Zemljine notranjosti mogoče zanemariti. Gostota toplotnega toka iz Zemljine notranjosti ima povprečno vrednost okoli 0,070 W/m² in je tako znatno nižja od gostote toplotnega toka zaradi

neposrednega sevanja Sonca, ki znaša tudi do 1370 W/m² (Kaltschmitt, 1999).

Temperature zemljine do globine okoli 1 m nihajo glede na temperaturo površja, ki se spreminja glede na čas dneva in leta. V globinah pod 2 do 3 m temperature v srednji Evropi običajno ostajajo nad lediščem celo leto. Zaradi nizkih temperaturnih gradientov



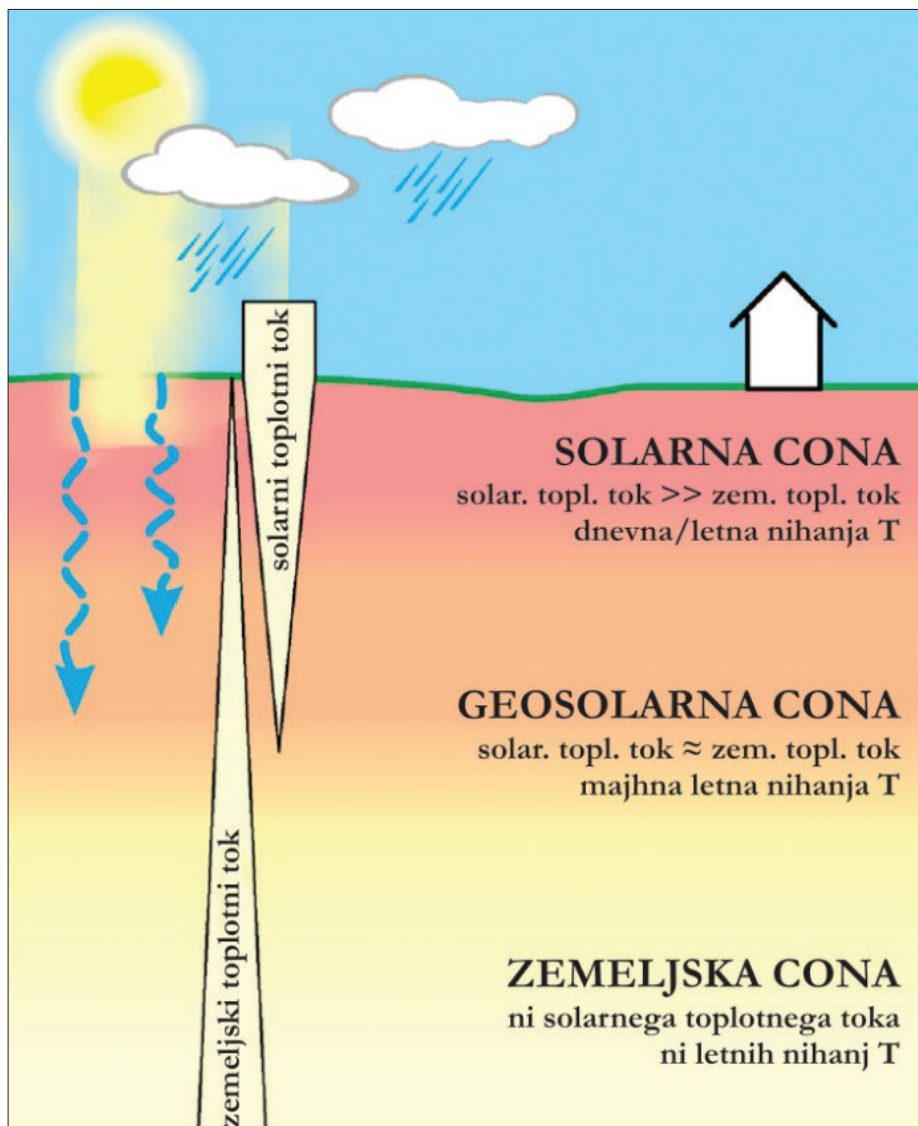
Slika 1 • Geotermični gradient (prirejeno po (Gehlin, 2002)).

v sušnem obdobju leta transporta energije v globino praktično ni. Prenos toplote v večje globine je mogoč samo preko infiltracije padavin ali preko gibanja vode iz drugih virov. Zaradi tega uporaba vodoravnih sistemov za zajem plitve geotermalne energije pod stavbami ni ekonomično upravičena.

Proces prenosa toplote s konvekcijo je odvisen od navpične vodoprepustnosti zemljine. Vpliv klimatskih sezonskih nihanj se z globino zmanjšuje. Pod globino okoli 15 m prevladujejo konstantne temperature celo leto.

2.2 Zemeljska cona

Zemeljska cona je območje od Zemljine notranjosti do solarne cone. V tej coni ni vpliva sončevega sevanja. Prav tako ne prihaja do sezonskih nihanj temperatur. Pri načrtovanju geotermalnih toplotnih odjemalcev je zadostna ocena, da toplotna energija kamnin v zemeljski coni izhaja izključno iz Zemljine notranjosti. Prenos toplote je odvisen od vrste kamnine in geološke situacije. V tektonsko nepoškodovanih razmerah temperatura kamnin narašča z globino glede na lokalni geotermični gradient.



Slika 2 • Shematski prikaz solarne, geosolarne in zemeljske cone (prirejeno po (Sass, 2016)).

3 • GEOTERMALNI TOPLOTNI SISTEMI

Geotermalni toplotni sistemi predstavljajo tehnologije za izkoriščanje geotermalne energije. V splošnem jih je mogoče razdeliti na zaprte in odprte geotermalne toplotne sisteme.

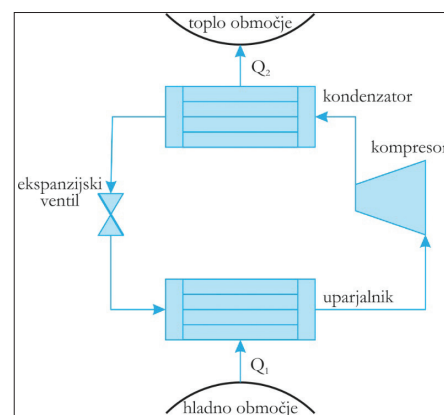
Ker so temperature plitvega podzemlja do globine okoli 300 m za neposredno uporabo v ogrevalnih sistemih večinoma prenizke, je treba v ogrevalnem sistemu uporabiti toplotno črpalko, ki s svojim delovanjem dvigne temperaturo plitvega podzemlja (na primer 12 °C) na obratovalno temperaturo ogrevalnega sistema (na primer 35 °C).

3.1 Toplotne črpalke

Toplotna črpalka (TČ) je ciklična naprava, ki pri ogrevanju prenaša toploto iz nizkotem-

peraturnega medija na visokotemperaturni medij. Toplotne črpalke za svoje delovanje porabljajo električno energijo. Glavni deli TČ so kondenzator, ekspanzijski ventil, uparjalnik in kompresor. Delovni fluid je običajno določen tip hladiva (Rosen, 2017).

Hladivo z nizko temperaturo vrelišča potuje preko toplotnega izmenjevalca (uparjalnika) in absorbira toploto od nizkotemperaturnega geotermalnega vira. Hladivo se pri tem upari. Para nato potuje skozi kompresor, kjer se ji dodatno poviša tlak in posledično temperatura. Vroča para za tem potuje v kondenzator, kjer odda toploto visokotemperaturnemu mediju. Ko hladivo odda toploto, kondenzira in se utekočini. Preden se



Slika 3 • Princip delovanja toplotne črpalke za ogrevanje (prirejeno po (Rosen, 2017)).

hladivo vrne v uparjalnik, potuje skozi ekspanzijski ventil, ki sprosti tlak. Cikel se za tem ponovi.

Za oceno učinkovitosti toplotne črpalke ali za njihovo primerjavo se uporablja koeficient učinkovitosti (ang. COP – coefficient of performance), ki ga imenujejo tudi grelni številci. COP je za ogrevanje prostorov definiran kot (Bonin, 2009):

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

kjer je Q toplota, potrebna za ogrevanje prostorov, in W porabljena električna energija.

Večji ko je COP toplotne črpalke, bolj učinkovit je sistem. COP pada z večanjem temperaturne razlike med visoko- in nizkotemperaturnim medijem. V splošnem imajo toplotne črpalke faktor učinkovitosti približno enak štiri in tudi že višji (boljši).

COP, ki ga navajajo proizvajalci, odraža učinkovitost toplotne črpalke pri laboratorijskih pogojih. Dejanski pogoji, v katerih obratuje črpalka, se od laboratorijskih razlikujejo. Zaradi tega je pri ocenjevanju potenciala toplotne črpalke bolj smiselna uporaba sezonskega koeficienta učinkovitosti (ang. SCOP – seasonal coefficient of performance). SCOP predstavlja končno energetska učinkovitost celotnega sistema preko celotne ogrevalne/ohlajevalne sezone. Izračunan je kot količnik med celotno uporabno izstopno energijo in celotno potrebno vstopno energijo sistema. Pri tem so upoštevane spremenljive potrebe po ogrevanju ali hlajenju, spremenljive temperature toplotnega vira in ponora ter dodatne energetske potrebe, na primer za obtočne in potopne črpalke (Nouvel, 2015).

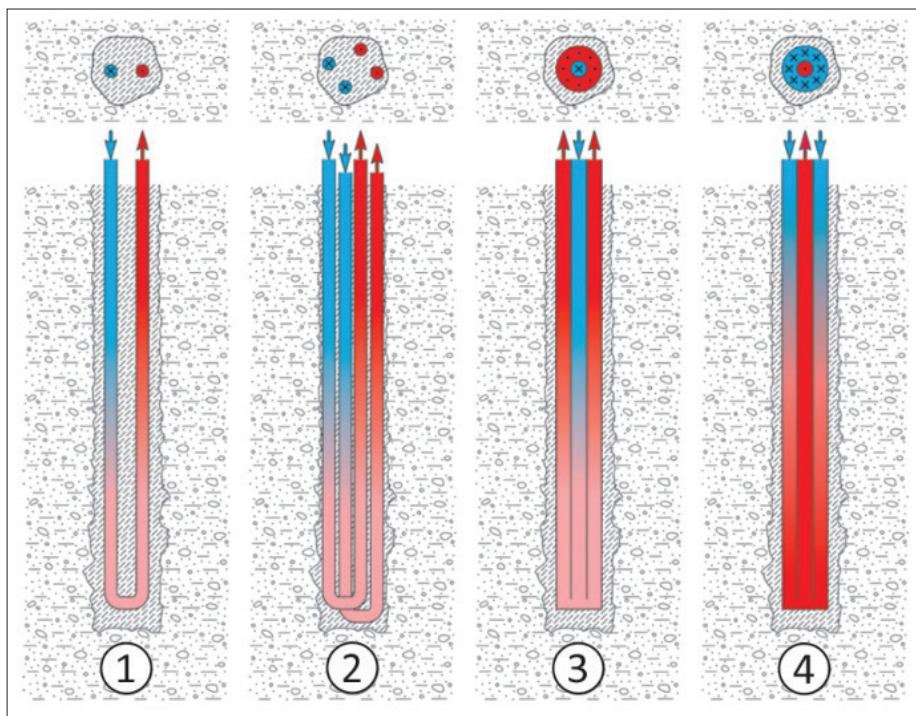
3.2 Zaprti geotermalni toplotni sistemi

Med zaprte geotermalne toplotne sisteme spadajo navpični toplotni izmenjevalci v vrtnah ali geosonde, toplotne cevi, vodoravni kolektorji in toplotni piloti. Med naštetimi obstajajo znatne razlike glede na obliko, prostorske zahteve in globino inštalacije.

Zaprte sistemi imajo podzemno mrežo cevi, ki imajo vlogo toplotnega izmenjevalca. Cevi so izdelane iz različnih materialov, večinoma iz polietilena visoke gostote (ang. HDPE – high density polyethylene), jekla in bakra.

3.2.1 Geosonde

Izvedba geosonde je mogoča z enojno U-cevjo, dvojno U-cevjo ali koaksialno cevjo kot toplotnim izmenjevalcem. Trenutno je največ geosond opremljenih z dvojno U-cevjo. Enojna U-cev se večinoma uporablja za vrtnice, globlje od okoli 250–300 m. Skupaj s cevmi so v vrtno vgrajeni tudi notranji in zunanji distančniki, ki omogočajo centričnost cevi. Notranji distančniki zmanjšajo toplotni vpliv



Slika 4 • Shematski prikaz različnih izvedb geosond 1-geosonda z enojno U-cevjo, 2-geosonda z dvojno U-cevjo, 3-geosonda s koaksialno cevjo (notranja povratna), 4-geosonda s koaksialno cevjo (zunanja povratna) (prirejeno po (Sass, 2016)).

med posameznimi cevmi. Zunanji distančniki preprečujejo stik med cevjo in ostenjem vrtnice in tako zagotavljajo, da so cevi popolnoma obdane z injekcijsko maso (Sass, 2016).

Konstrukcija geotermalnega toplotnega sistema z geosondo zahteva vrtnanje ene ali več navpičnih vrtnic, v katere so iz kolata spuščene cevi določene izvedbe. Cevi se pri tem ne smejo poškodovati. Vrtnice za geosonde so običajno globoke med 70 m in 200 m. Globlje vrtnice so manj pogoste.

Ko je sistem v obratovanju, fluid za prenos toplote kroži v zaprtem krogu geosonde. Fluid lahko absorbira toploto hribine (ogrevanje) ali prenaša toploto v hribino (hlajenje). Fluid za prenos toplote (prenosnik toplote) je večinoma iz mešanice vode in glikola. Kroženje fluida v sistemu omogoča črpalka.

3.2.2 Toplotne cevi

Toplotne cevi so napolnjene s toplotnim fluidom, ki je podvržen stalnim spremembam agregatnega stanja (tekoče-plinasto). Uporabljeni fluidi vključujejo ogljikov dioksid, amonijak, propan in butan. Toplotni fluid se uparja v uparjalni coni zaradi prejetja okoljske toplote in se zaradi znižanja gostote prične dvigovati navzgor. Pri tem ni potrebe po črpalci. Na vrhu cevi fluid odda toploto in kondenzira v hladni coni ter se vrača navzdol po cevi do uparjalne cone, kjer se cikel ponovi.

Cev je lahko spiralno zvita, kar pripomore pri procesu (Sass, 2016).

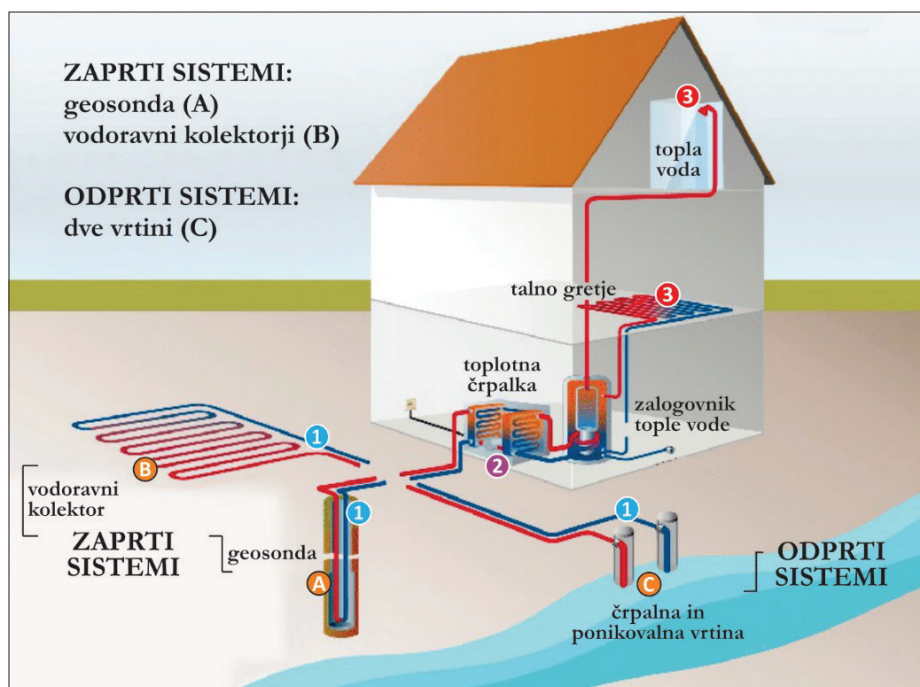
3.2.3 Vodoravni zemeljski kolektorji

Vodoravni kolektorji so sestavljeni iz mreže cevi, položenih v zemljo na globini okoli 1–2 m. Cevi so v zemljo položene na določeni medsebojni razdalji. Napolnjene so z mešanico vode in glikola, ki ne zmrzuje.

Prenosnik toplote (fluid) kroži v ceveh in odzema toploto, shranjeno v zemlji, ki je skoraj izključno rezultat sončevega sevanja (solarna cona). Zaradi različnih podnebnih režimov je tako pri enakih zemljinah pričakovati različne toplotne zmogljivosti (Sass, 2016).

Obstajajo različne izvedbe vodoravnih zemeljskih kolektorjev. Vse sestavljajo zanke iz plastičnih ali bakrenih cevi. Cevi je mogoče položiti tudi v jarke na globini 0,5–1,5 m. Prednost pri tem je manjša poraba prostora.

Poseben primer vodoravnega zemeljskega kolektorja predstavljajo geotermalne energetske košare. Nameščajo se tam, kjer ni prostora za vodoravne kolektorje, kjer obstajajo določene omejitve za vgradnjo geosonde ali kjer je na voljo posebej ugodna mehka zemljina. Energetske košare so sestavljene iz spiralno navitih polietilenskih cevi v obliki konusa. Običajno je položenih in povezanih več geotermalnih energetskih košar skupaj.



Slika 5 • Shematski prikaz različnih izvedb geosond 1:-geosonda z enojno U-cevjo, 2-geosonda z dvojno U-cevjo, 3-geosonda s koaksialno cevjo (notranja povratna), 4-geosonda s koaksialno cevjo (zunanja povratna) (prirejeno po (Sass, 2016)).

3.3 Odprti geotermalni toplotni sistemi

Odprti geotermalni sistemi delujejo po principu odvzema podzemne vode, spremembi njene temperature in vračanju nazaj v vodonosnik. Običajno je v uporabi dvojni sistem, ki ima najmanj eno črpalko in najmanj eno ponikovalno vrtnino.

Pri odprtih geotermalnih sistemih gre za večji poseg v vodonosnik kot pri zaprtih geotermalnih sistemih.

Temperaturna razlika vrnjene vode v vodonosnik naj ne bi presegala 3–6 K. Pri tem se ogrevanje podzemne vode šteje za bolj problematično kot njeno hlajenje. Zaradi tega je pri vgradnji odprtih geotermalnih toplotnih sistemov potrebno strogo upoštevanje pravil za zaščito podtalnice (Sass, 2016).

Odprti geotermalni sistemi izkazujejo večjo stopnjo izkoristka kot večina zaprtih geotermalnih sistemov, imajo pa večjo potrebo po vzdrževanju.

Pri odprtih geotermalnih toplotnih sistemih je potrebna posebna pozornost glede hidravličnih in toplotnih vplivov na okolico. Sistem dveh vrtnin povzroča pri črpalni vrtnini znižanje piezometrične višine podzemne vode v obliki depresijskega lijaka in pri ponikovalni vrtnini zvišanje piezometrične višine podzemne vode. Poleg tega v sistemu prihaja do temperaturnih razlik, kar privede do toplotnega toka. Radij toplotnih vplivov je lahko v primerjavi s hidravličnimi vplivi znatno večji. Zaradi tega je vpliv odprtih geotermalnih toplotnih sistemov na okolico lahko bistveno večji kot vpliv zaprtih sistemov.

Izvedba in uporaba sistema z vrtnino potrebuje dovoljenje v skladu z Zakonom o vodah.

Črpalna in ponikovalna vrtnina sta zasnovani na enak način. Obe vrtnini sta v zgornjem delu zaščiteni z obložnimi cevmi, v spodnjem delu pa s filtrskimi cevmi, ki so obdane z zasipnim materialom. V črpalno vrtnino je vgrajena potopna črpalka. Vsaka vrtnina mora zagotavljati tesnost proti vdoru meteorne vode. Prav tako mora biti njeno ustje zaščiteno proti nepooblaščenemu dostopu.

Neposredno ogrevanje iz črpalne vrtnine brez uporabe toplotne črpalke je mogoče samo pri dovolj globokih vrtninah. V večini primerov pa je potrebna uporaba toplotne črpalke.

Po uporabi v ogrevalnem sistemu se voda preko ponikovalne vrtnine vrača nazaj v vodonosnik, tokrat pri drugačni temperaturi, kot je bila pri odvzemu. Podzemna voda mora biti vrnjena v isti vodonosnik, iz katerega je bila odvzeta.

3.4 Priporočila pri namestitvi plitvih geotermalnih toplotnih sistemov

Pred namestitvijo plitvih geotermalnih toplotnih sistemov je priporočljivo pridobiti čim več informacij o hribini (prisotnost vode, toplotna prevodnost), v kateri se načrtuje vgradnja toplotnega sistema. Prav tako je potrebna pozornost glede injektiranja ali zasipa med cevmi toplotnega geotermalnega sistema in hribino. Če med cevjo in hribino nastanejo zračni žepi, ti delujejo kot toplotni izolatorji in preprečujejo prehod toplote iz hribine v toplotni geotermalni sistem. Zaradi tega je priporočljivo, da ima injekcijska ali zasipna masa čim večjo toplotno prevodnost. Pazljivost je potrebna tudi pri zadostni medsebojni oddaljenosti toplotnih geotermalnih sistemov, če nastopajo v skupinah. Za geosonde je priporočljiva medsebojna oddaljenost okoli 10 m (Sass, 2016).

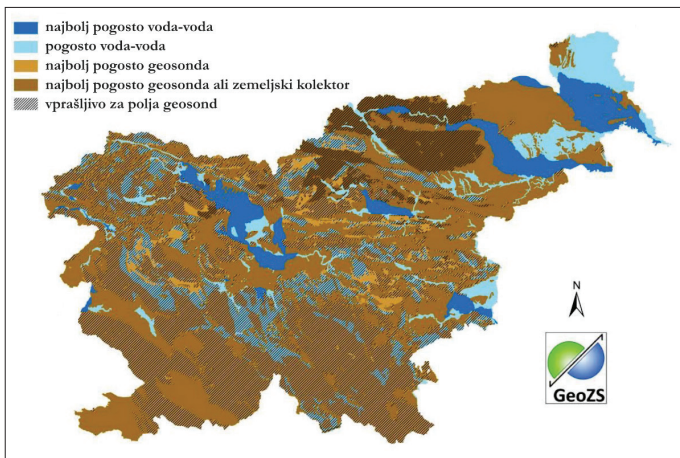
Slika 7 prikazuje pričakovane temperature na globini 100 m. Lokalni ekstremi se pojavljajo v severovzhodnem delu Slovenije in v delu krške kotline. Razlog za višje temperature na globini 100 m v SV Sloveniji od preostalih območij je tanjša Zemljina skorja in višji toplotni tok iz plašča Zemlje. Ta območja so najbolj primerna za geotermalne sisteme s toplotno črpalko, saj temperature na globini 100 m dosežejo okoli 14 °C.

4 • PLITVA GEOTERMALNA ENERGIJA V SLOVENIJI

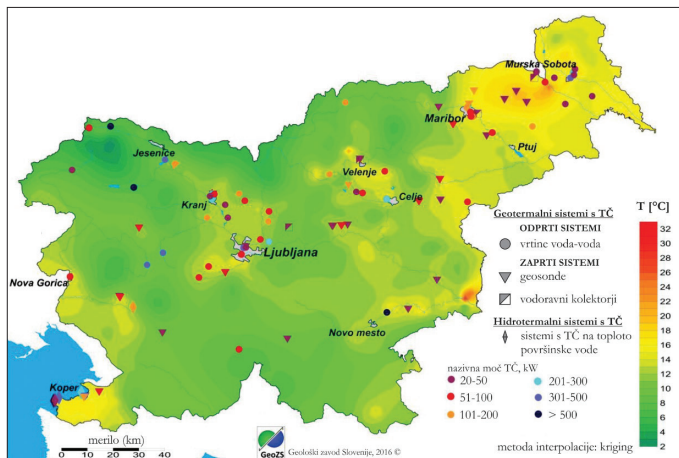
Slika 6 prikazuje geološki in hidrogeološki potencial plitvih geotermalnih sistemov voda-voda in zemlja-voda z uporabo toplotne črpalke na območju Slovenije. Vgradnja vodoravnih zemeljskih kolektorjev je najbolj primerna v peskih in peščenih glinah. Na območju dolomitov, apnencev in magmatskih ter metamorfnih kamnin je geosonda praviloma najprimernejši sistem. Zaradi nepredvidljivosti

so plitva kraška območja za geosonde manj primerna (Rajver, 2016).

Obsežni in visokoproduktivni vodonosniki so pod približno 7 % površja Slovenije. Ta območja so zelo primerna za odprte geotermalne sisteme voda-voda. Temperature podzemne vode se gibljejo med 10 °C in 15 °C. Nivo podzemne vode je na globini 2 m do 25 m. Na teh območjih so tudi največja mesta (Rajver, 2016).



Slika 6 • Potencial za postavitve plitvih geotermalnih toplinskih sistemov s topLOTNO črpalko na območju Slovenije (prirejeno po (Rajver, 2016)).



Slika 7 • Porazdelitev objektov z enotami GTČ večjih nazivnih moči (na plitvo geotermalno energijo) in pričakovane temperature na globini 100 m (prirejeno po (Rajver, 2016)).

5 • PRAKTIČNI PRIMER DIMENZIONIRANJA GEOSONDE IN TROPLOTNI VPLIVNI RADIJ

Na praktičnem primeru je prikazano dimenzioniranje globine geosonde ter njen vplivni toplotni radij. Izračuni so narejeni za območje Škofje Loke. Raziskovalna vrtna je bila izvedena na območju nekdanje vojašnice.

5.1 Globina geosonde

Predpostavimo, da ima enodružinska hiša površino 150 m² in je opremljena s talnim gretjem s projektirano temperaturo vode 35 °C. Specifična letna potreba po toploti znaša 90 kWh/m². To pomeni, da znašajo skupne toplotne potrebe 13.500 kWh, ki se porazdelijo čez celo leto.

Pri dimenzioniranju geosonde smo izbrali sezonski koeficient učinkovitosti (SCOP) enak 4,0. Prav tako je bil izbran čas delovanja sistema 2400 ur. Pričakovane vrednosti za specifični odvzem toplote za posamezne geološke plasti so izbrane glede na nemške smernice VDI 4640, ki so prikazane v preglednici 1. Vrednosti veljajo za toplotne ogrevalne sisteme moči do 30 kW.

Moč geosonde se določi po enačbi (Shao, 2016):

$$P_{BHE} = \left(1 - \frac{1}{SCOP}\right) \frac{E_{annual}}{h_{operation}}, \quad (2)$$

kjer je P_{BHE} moč geosonde (kW), SCOP se-

zonski koeficient učinkovitosti, E_{annual} skupna letna potreba po toploti (kWh) in $h_{operation}$ čas delovanja (h).

Potrebna moč geosonde je

$$P_{BHE} = \left(1 - \frac{1}{4}\right) \frac{13500 \text{ kWh}}{2400 \text{ h}} = 4219 \text{ W}$$

Obravnavano območje do globine 100 m gradijo geološke plasti, ki so opisane v preglednici 2.

Vrednosti za specifični odvzem toplote se nanašajo glede na VDI-smernice. Ker omenjene smernice za posamezni tip hribine upoštevajo intervalne vrednosti, smo v našem primeru upoštevali minimalne vrednosti.

Vrednosti za specifični odvzem toplote so prikazane v preglednici 3.

Čeprav je zgornjih 10 m v območju vpliva solarne cone, je pri izračunu upoštevano, kot da so vse plasti del zemeljske cone.

Toplotna moč 1. in 2. plasti je enaka 324 W in 770 W, kar skupno pomeni 1094 W. Če od potrebne moči geosonde, ki znaša 4219 W, odštejemo toplotno moč zgornjih dveh plast, dobimo 3125 W.

Globina geosonde v apnencu je enaka:

$$h_{apn} = \frac{3125 \text{ W}}{50 \frac{\text{W}}{\text{m}}} = 62,5 \text{ m}$$

Če upoštevamo globino prvih dveh plast in globino geosonde v apnencu, znaša skupna globina 102,5 m.

Izračunana globina geosonde se nanaša na nemške smernice VDI 4640. Pri tem je treba upoštevati, da je dejansko moč vrtnice mogoče določiti le s preizkusom termične odzivnosti geosonde (ang. TRT – thermal response test).

Princip preizkusa termične odzivnosti ge-

HRIBINA	SPECIFIČNI ODVZEM TOPLOTE	
	za 1800 ur	za 2400 ur
	W/m	W/m
suhi gramoz, pesek	<25	<20
nasičeni prod, pesek	65-80	55-65
močni vodni tokovi v gramozu, pesku	80-100	80-100
vlažna glina	35-50	30-40
masivni apnenc	55-70	45-60
peščenjak	65-80	55-65
kisle magmatske kamnine (granit)	65-85	55-70
bazične magmatske kamnine (bazalt)	40-65	35-55
gnajs	70-85	60-70

Preglednica 1 • VDI 4640 smernice za geosonde (VDI 4640).

PLAST	INTERVAL GLOBINE	HRIBINA
1. plast	0-18 m	zaglinjeni prod
2. plast	18-40 m	glinasti skrilavec
3. plast	40-100 m	pretrti apnenec in dolomit

Preglednica 2 • Geološke plasti na območju geosonde (Herič, 2017).

PLAST	DOLŽINA	SPECIFIČNI ODVZEM TOPLOTE
1. plast	18 m	18 W/m
2. plast	22 m	35 W/m
3. plast	60 m	50 W/m

Preglednica 3 • Specifični odvzem toplote.

sonde je v tem, da se opravljajo meritve temperature na vhodni in izhodni cevi geosonde. Toplotni fluid geosonde se pri tem umetno segreva z grelnikom. Kroženje fluida po sistemu zagotavlja črpalka z znanim pretokom. Preizkus se po priporočilih ASHRAE (ang. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) opravlja od 36 do 48 ur pri toplotni moči 50 do 80 W/m. Z modelom linijskega vira toplote je nato mogoče izračunati toplotno prevodnost hribine (Mu Bae, 2019).

5.2 Vplivni radij geosonde

Pri izračunu vplivnega radija geosonde je upoštevan analitični toplotni model z linijskim virom ponora toplote (ang. line-source model).

Pri teoriji linijskega vira je vrtna predpostavljena kot neskončni linijski vir v hribini. Hribina je predpostavljena kot neskončni medij z neko začetno enakomerno porazdeljeno temperaturo. Pri tem je prenos toplote v osni smeri vzdolž vrtnice zanemarljiv. Ta predpostavka je veljavna v območju vrtnice, ki je dovolj oddaljeno od vrha in dna vrtnice. Pri tem je prevajanje toplote v hribini mogoče poenostavljeno zapisati kot (Rosen & Koohi Fayegh, 2017):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (3)$$

kjer je T temperatura hribine, r radij, α toplotna difuzivnost hribine in t čas od začetka opazovanja.

Pri linijskem modelu geosonde so upoštevane naslednje predpostavke:

- toplotne lastnosti hribine so izotropne,
- pretok podzemne vode je zanemarljiv,
- toplotna upornost vrtnice je zanemarljiva in
- vpliv površja hribine je zanemarljiv.

Temperaturni odziv v hribini zaradi vpliva konstantnega toplotnega toka linijskega vira je mogoče zapisati kot:

$$T(r, t) - T_0 = \frac{q'}{4\pi k} \int_{r^2}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (4)$$

Z upoštevanjem približka eksponentnega integrala je enačbo mogoče zapisati kot (Rosen & Koohi Fayegh, 2017):

$$T = T_0 + \frac{q'}{4\pi k} \left[\ln \left(\frac{4\alpha t}{r^2} \right) - \gamma \right], \quad (5)$$

kjer je T temperatura hribine (K), T_0 začetna temperatura hribine (K), q' specifični odvzem toplote (W/m), k toplotna prevodnost hribine

začetna temperatura	T_0	283	K
specifični odvzem toplote	q'	50	W/m
toplotna prevodnost	k	3,5	W/m K
toplotna difuzivnost	α	$2 \cdot 10^{-6}$	m^2/s

Preglednica 4 • Specifični odvzem toplote.

(W/(m·K)), α toplotna difuzivnost hribine (m^2/s), t čas (s), r radij (m) in γ Eulerjeva konstanta ($\gamma = 0,5772$).

Z opisanim matematičnim modelom smo simulirali toplotni vpliv geosonde na okoliško hribino. Za tri različne čase (1 dan, 10 dni in 100 dni) smo simulirali spreminjanje tempera-

ture hribine v odvisnosti od oddaljenosti od geosonde.

V preglednici 4 so predstavljeni vhodni podatki za matematični model.

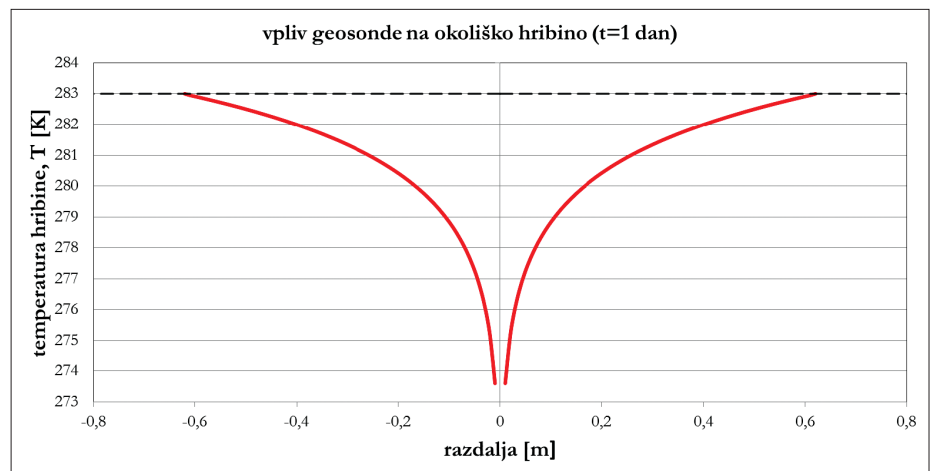
V nadaljevanju so prikazani grafi, ki so rezultat simulacije vpliva geosonde na okoliško hribino z različnim časom opazovanja. Vplivni radij geosonde se s časom povečuje. Po 100 dneh opazovanja znaša teoretični vplivni radij okoli 6 m. Hribina v okolici geosonde se sčasoma ohladi. Temperatura hribine na grafih je precenjena zaradi predpostavk matematičnega modela. Pri tem je treba upoštevati, da se okoliška hribina v času nedelovanja geosonde (poletna sezona) zopet ogreje. Zaradi tega ni mogoče pričakovati, da bi se hribina v okolici geosonde zaradi njenega delovanja z leti ohladila do take mere, da bi se zmanjšala njena učinkovitost.

Na sliki 8 je prikazan teoretični vpliv geosonde na okoliško hribino po enem dnevu. Vplivni radij znaša okoli 0,6 m.

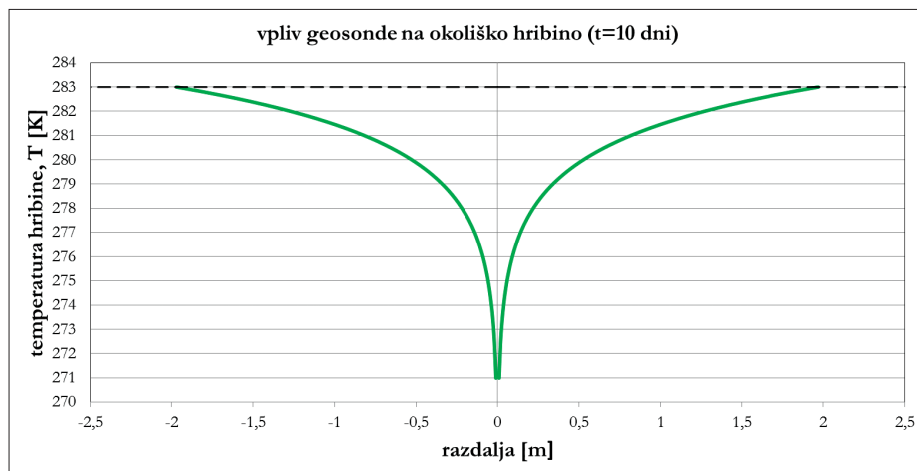
Na sliki 9 je prikazan teoretični vpliv geosonde na okoliško hribino po 10 dneh delovanja. Vplivni radij znaša okoli 2 m.

Na sliki 10 je prikazan teoretični vplivni radij geosonde po 100 dneh, ki znaša okoli 6 m.

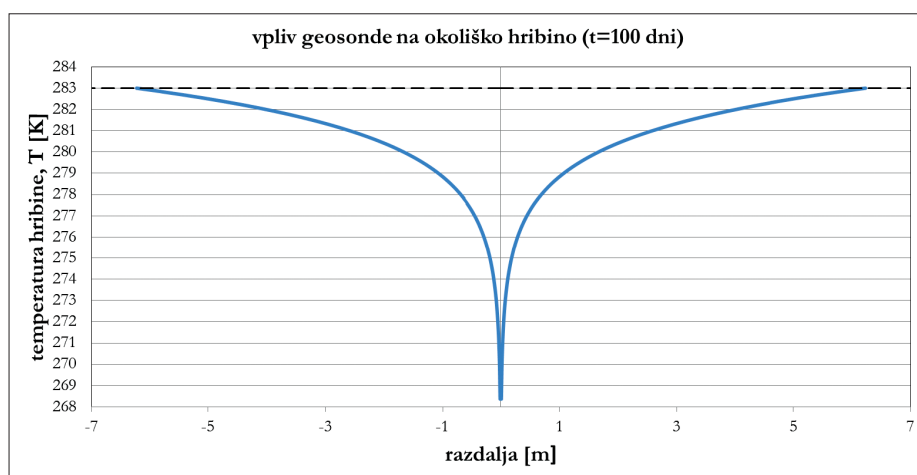
Na sliki 11 so združeni vsi trije grafi vpliva geosonde na okoliško hribino. 100 dni ustreza času delovanja 2400 ur, ki je bil izbran pri dimenzioniranju geosonde.



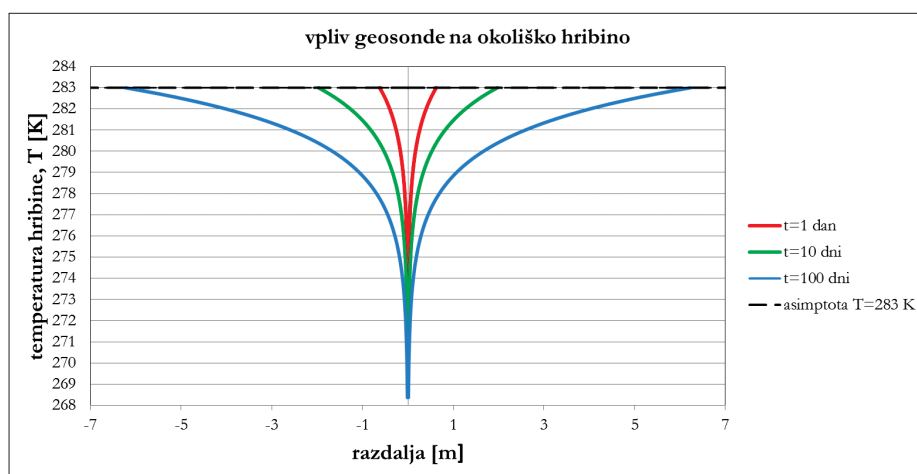
Slika 8 • Teoretični toplotni vpliv geosonde na okoliško hribino po 1 dnevu.



Slika 9 • Teoretični toplotni vpliv geosonde na okoliško hribino po 10 dneh.



Slika 10 • Teoretični toplotni vpliv geosonde na okoliško hribino po 100 dneh.



Slika 11 • Teoretični toplotni vpliv geosonde.

6 • SKLEP

Plitva geotermalna energija je zanesljiv in razmeroma lahko dostopen vir toplote, ki je predvsem primeren za ogrevanje in tudi hlajenje (z namestitvijo reverzibilnih enot TČ) stanovanjskih objektov. V Sloveniji je skoraj na vseh poseljenih območjih mogoča uporaba določenih geotermalnih sistemov, zaprtih ali odprtih. Večji potencial predstavljajo zaprti geotermalni sistemi, ki imajo tudi manjši hidravlični in toplotni vpliv na okoliško hribino v primerjavi z odprtimi sistemi. Geotermalne toplotne črpalke izkazujejo do 30 % večji sezonski koeficient učinkovitosti od toplotnih črpalk na zrak.

Z dimenzioniranjem geosonde s pomočjo smernic VDI je v članku prikazan način

določitve globine geosonde. Za omenjeni postopek je treba poznati geološko situacijo (debeline posameznih plasti in vrsto kamnine oziroma zemljine ter prisotnost podzemne vode). Globina, pridobljena glede na smernice VDI, služi za inženirsko oceno. Treba je upoštevati, da se dejansko moč vrtnice lahko določiti le s preizkusom termične odzivnosti geosonde, kjer je po izvedbi preizkusa mogoče izračunati toplotno prevodnost hribine. Smernice VDI pri vrednostih za specifični odvzem toplote upoštevajo intervalne vrednosti, kjer je povprečna razlika med najnižjo in najvišjo vrednostjo okoli 20 %. V našem primeru smo pri izračunu globine geosonde za posamezne

plasti materialov vzeli najnižje vrednosti za specifični odvzem toplote, kar pomeni, da končna izračunana globina geosonde znaša 102,5 m.

Z modelom linijskega vira toplote je prikazana določitev toplotnega vplivnega radija geosonde. Za primer v Škofji Loki znaša teoretični toplotni vplivni radij geosonde po 100 dneh delovanja okoli 6 m. Izračunani vplivni radij se sklada z nemškimi priporočili o minimalni osni oddaljenosti dveh geosond, ki znaša med 5 m in 10 m (Sass, 2016). Ker je dejansko porazdelitev temperature hribine v okolici delovanja geosonde v odvisnosti od časa mogoče določiti samo z meritvami temperature v vrtninah, služi določitev toplotnega vplivnega radija z modelom linijskega vira toplote za pomoč pri načrtovanju polja geosond.

7 • LITERATURA

- Bae, S. M., Nam, Y., Choi, J. M., Lee, K. H., Choi, J. S., Analysis on Thermal Performance of Ground Heat Exchanger According to Design Type Based on Thermal Response Test, *Energies*, 12(4):651, 2–16, 2019.
- Bonin, J., Handbuch Wärmepumpen-Planung und Projektierung, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2009.
- Gehlin, S., Thermal Response Test-Method Development and Evaluation (doctoral thesis), Lulea University of Technology, Sweden, 2002.
- Herič, J., Poročilo o izvedbi raziskovalne vrtnice PVK-1/17, Škofja Loka, Minervo d. d., 2017.
- Kaltschmitt, M., Huenges, E., Wolff, H., Baumgärtner, J., Hoth, P., Kayser, M., Sanner, B., Schallenberg, K., Jung, R., Scheytt, T., Lux, R., Energie aus Erdwärme, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1999.
- Milivojević, M. G., Praćenje promena klime na osnovu geotermalnih ispitivanja u bušotinama, Climatic change history based on geothermal down-hole measurements, *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 58/2, 265–284, 1994.
- Nouvel, R., Cotrado, M., Pietruschka, D., European mapping of seasonal performances of air-source and geothermal heat pumps for residential applications, *Proceedings of CISBAT 2015 International Conference on Future Buildings and Districts*, 2015.
- Portal GeoPLASMA-CE, <https://portal.geoplasma-ce.eu/>, 2019.
- Rajver, D., Lapanje, A., Rman, N., Prestor, J., Geothermal Energy Use, Country Update for Slovenia, European Geothermal Congress, Strasbourg, 18 p., 2016.
- Rosen, M. A., Koohi-Fayegh, S., Geothermal Energy-Sustainable Heating and Cooling Using the Ground, John Wiley & Sons, 2017.
- Sass, I., Brehm, D., Coldewey, W. G., Dietrich, J., Klein, R., Kellner, T., Kirschbaum, B., Lehr, C., Marek, A., Mielke, P., Müller, L., Panteleit, B., Pohl, S., Porada, J., Schiessl, S., Wedewardt, M., Wesche, D., Shallow Geothermal Systems-Recommendations on Design, Construction, Operation and Monitoring, Wilhelm Ernst & Sohn, 2016.
- Shao, H., Hein, P., Sachse, A., Koldiz, O., Geoenery Modeling II-Shallow Geothermal Systems, Springer, 2016.
- VDI-Standard: VDI 4640 Blatt 1 Berichtigung, Thermal use of the underground-Fundamentals, approvals, environmental aspect.

TRAJNOSTNI RAZVOJ IN SPREMEMBE V GRADBENIŠTVU

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CHANGES IN THE CONSTRUCTION

dr. Lidija Kegljavič Zagorc, inž. grad.,

mag. ekon. in posl. ved

lidija.zagorc@dri.si

DRI upravljanje investicij, d. o. o.,

Kotnikova 40, Ljubljana

Strokovni članek

UDK 502.131.1:69.03

Povzetek | Konec osemdesetih let so nekatere evropske države sprejele družbeni koncept razvoja in ga poimenovali sustainable development. S postavljanjem trajnostnega razvoja kot izhodišča razvojnih politik se spreminjajo merila za merjenje gospodarskega razvoja, ki poleg ekonomskega vidika vključujejo tudi razvoj na področju varovanja okolja in družbene blaginje. Trajnosten razvoj je v nacionalnih strateških dokumentih evropskih držav zapisan kot osrednja razvojna smernica, ki obenem predstavlja kriterij evalvacije financiranja ukrepov z evropskimi sredstvi. Glede na pomembnost v evropskem prostoru je postal izhodišče in koncept za oblikovanje nacionalnih razvojnih politik. Področje gradbeništva je vpeto v družbeno okolje, zato razvoj in kompleksnost družbe močno vplivata na investicijske procese. Trajnosten razvoj v gradbeništvo ne prinaša zgolj sprememb na okoljskem in tehničnem področju, ampak spreminja tudi vlogo inženirjev, uvaja nove modele in pristope graditve objektov in na ta način spreminja investicijsko okolje, ki postaja vse bolj kompleksno in zahtevno.

Ključne besede: trajnosten razvoj, gradbene investicije, vloga inženirjev

Summary | At the end of the 1980s, some European countries adopted a social development concept and called it sustainable development. By placing sustainable development as the starting point for development policies, the criteria for measuring economic development have changed, which, in addition to the economic aspect, include development in the field of environmental protection and social welfare. Sustainable development is documented in the national strategy documents of European countries as a central development guideline and is also a criterion for evaluating financing with European funds. Given the importance in the European area, it has become the starting point and a concept for establishing national development policies. The construction sector is embedded in social environment; therefore, the development and complexity of society have a major influence on the investment processes. However, sustainable development does not only bring changes in the environmental and technical area of the construction, but it also changes the role of engineers, introduces new models and practises of construction. Consequently, investment environment has altered significantly by becoming more complex and demanding.

Key words: sustainable development, construction investments, the role of engineers

1 • UVOD

Trajnostni razvoj je v dokumentih Evropske unije vrednota in je predpostavka strategije razvoja ((CEC, 2001), (CEC, 2009)). Tudi v nacionalnih strateških dokumentih je zapisan kot osnovna smernica in kriterij evalvacije financiranja ukrepov z evropskimi sredstvi ((MGRT, 2013), (Vlada RS, 2017)). Glede na pomembnost trajnostnega razvoja v evropskem prostoru je ta postal izhodišče in koncept za oblikovanje nacionalnih razvojnih politik.

Trajnostni razvoj je kompleksen tako za razumevanje kot za izvajanje. Zaradi svoje kompleksnosti se v praksi posplošuje na posamezne vidike, še posebej na okoljske vidike, s čimer se izgubi celovitost trajnostnega razvoja. Poleg tega se v Sloveniji angleški izraz sustainable development prevaja kot trajnostni razvoj, sonaravni razvoj, vzdržni razvoj ali kot blaginja, kar kaže na to, da se s prevodom skušamo približati izvirnemu pomenu, vendar ga nobeden od prevodov popolnoma ne definira, kar dodatno otežuje razumevanje koncepta in paradigme trajnostnega razvoja.

V obdobju pospešenega uveljavljanja trajnostnorazvojne politike se tako trajnostni razvoj enači z neekonomskimi cilji kot protiutež pred-

hodni izrazito neoklasični ekonomski obravnavi investicij. Vendar pa je takšen pristop v izhodišču enak neoklasičnemu in se, tako kot neoklasični, odmika od celostnega koncepta trajnostnega razvoja.

Za udejanjanje trajnostno razvojne politike je nujno uravnoteženje ekonomskih in neekonomskih ciljev ter doseganje razvojnih konsenzov kot skupnih razvojnih ciljev. Z udejanjanjem ciljev trajnostnega razvoja prihaja do večdimenzionalnih in medsebojno soodvisnih sprememb na vseh družbenih področjih. S tem se povečuje število udeležencev v procesih graditve objektov, zato je pričakovati, da bo število vključenih deležnikov v postopke graditve objektov vse večje, postopki pa bodo vse bolj kompleksni, dinamični in daljši.

V gradbeni stroki se trajnostni razvoj osredotoča predvsem na varovanje okolja, reciklažo, energetske učinkovitost objektov in ponovno uporabo oz. vgradnjo (reuse), torej na objekt in ne na proces in druge spremembe, ki jih trajnostni razvoj vnaša v stroko. Iz navedenega razloga so spregledane procesne spremembe, deležniki, ki se vključujejo v proces graditve objektov, in njihove vloge. Graditev objektov postaja vse bolj interdisci-

plinarna dejavnost in zahteva vključevanje različnih strok kot odgovor večdimenzionalnosti trajnostnega razvoja. S tem se ne spreminjajo zgolj pristopi h graditvi objektov, ampak tudi vloga inženirja, ki postaja vse bolj kompleksna in se odmika od klasične vloge inženirjev v procesu graditve objektov, ki jih opredeljuje gradbena zakonodaja.

Dejstvo je, da trajnostni razvoj ne prinaša zgolj sprememb in ukrepov, povezanih z varovanjem okolja, ampak se udejanja v vsej svoji celovitosti, ne glede na to, ali to razumemo ali ne. S tem v vse ravni družbe vnaša spremembe, ki zahtevajo spreminjanje zakonodaje, uvajanje novejših in dinamičnih modelov vodenja gradbenih investicij, doseganje konsenzov kot izhodišč za trajnostno razvojno pot, digitalizacijo procesov, nove vloge inženirjev, predvsem pa zahtevajo odmik od birokratskih pristopov, ki so še vedno močno prisotni v našem razmišljanju in delovanju.

Tehnični in okoljski vidik trajnostnega razvoja sta razmeroma dobro poznana in vključena v zakonodajo in prakso. Vendar pa trajnostni razvoj vnaša spremembe tudi na drugih področjih, ki niso zgolj tehnične in okoljske narave, vendar pomembno vplivajo na graditev objektov in spreminjajo vloge inženirjev ter uveljavljene prakse in modele. Namen tega članka je opozoriti na te spremembe in jih pojasniti z značilnostmi trajnostnega razvoja.

2 • TRAJNOSTNI RAZVOJ

Negativne okoljske in socialne posledice hitrega gospodarskega razvoja so privedle do spoznanja, da gospodarski razvoj sam po sebi ne predstavlja družbene blaginje, če ni sonaraven in usklajen z drugimi družbenimi potrebami. Konec osemdesetih let so nekatere evropske države sprejele družbeni koncept razvoja in ga poimenovala sustainable development. V tej zgodnji fazi je nastal dokument, znan kot Brundtland Report (WCED, 1987), v katerem je bila prvič zapisana definicija trajnostnega razvoja, ki je še danes največkrat uporabljena definicija, in se glasi: »Trajnostni razvoj je razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanjosti, ne da bi ogrozili možnosti prihodnjih generacij, da zadovoljijo svoje potrebe.«

Vendar pa je do uresničevanja ciljev tega razvoja in njegove implementacije v strateške državne dokumente prišlo šele z Agendo 21, ki je bila sprejeta leta 1992 na Konferenci Združenih narodov o okolju in razvoju v Riu de

Janeiru in je predstavljala načrt za doseganje trajnostnega razvoja v 21. stoletju (UN, 1992). Trajnostni razvoj je bil spoznan kot dolgoročni razvoj, ki ustvarja razvojne možnosti za naslednje generacije in predstavlja usklajevanje med ekološkimi, ekonomskimi in družbeno-socialnimi cilji. Po Meadowcroftu mora vsaka generacija znova sprejemati izzive, določati cilje in usmerjati družbeni razvoj znotraj okoljskih možnosti, njihovih želja in glede na njihovo razumevanje družbene pravičnosti.

Po začetnem navdušenju nad novo razvojno smerjo je sledilo spoznanje, da je doseganje win-win situacije ena najtežjih nalog trajnostnega razvoja. Raslo je zavedanje, da je uskladijev ciljev, vrednot in interesov med tako različnimi skupinami mogoče le na podlagi pogajanj in usklajevanj, zato je treba trajnostni razvoj razumeti kot neprekinjen proces, znotraj katerega se o vrednotah, interesih in ciljnih razpravlja, pogaja in usklajuje. Ravno zaradi

svoje procesne značilnosti ga »ni možno obravnavati kot načrt s trajnimi in jasno določeni cilji ter ostro začrtanimi potmi njihovega uresničevanja, ampak kot dinamičen, večdimenzionalen in pluralen proces, ki ga ni možno umestiti v ozke statične okvire niti ga ni možno nadzirati z uporabo statičnih kontrolnih pristopov« ((Rammel, 2004), (Loorbach, 2007), str. 23).

Trajnostni razvoj usmerja zavedanje o omejenosti naravnih virov. »Čeprav obstaja več definicij trajnostnega razvoja, je vsem skupna ideja, da je treba prihajajočim generacijam omogočiti razmere za življenje, ki bodo v izhodišču primerljive našim. Treba je ohranjati ekosistem in biološko raznolikost, vendar je obenem treba ohraniti tudi industrijo, ki mora biti naravnana trajnostno. Industrija mora proizvajati dobrine in usluge, ki jih ljudje potrebujejo ter s katerimi družbe ohranjajo zdravje, blaginjo in zadovoljstvo ljudi več generacij. Trajnostne odločitve morajo omogočiti industriji uspešno poslovanje ob upoštevanju zdravega okolja, od katerega smo odvisni vsi.« ((Hardisty, 2010), str. 10)

Zahtevnost problemske situacije	Enostavna			Kompleksna
Vrsta problemske situacije	Tehnika	Trg	Različni interesi in cilji	Trajnostni razvoj
Sprejemanje odločitev	Stroka	CBA	Pogajanja, Usklajevanja	Razpršeno
Način reševanja	Predpis	Uravnoteženje stroškov in koristi	Konsenz	Učenje

Slika 1 • Tipologija družbenih problemov in strategij po Hisschemöllerju ((Loorbach, 2007), str. 16).

Trajnostni razvoj predstavlja odmik od neoklasične ekonomske teorije koristnosti, saj v ospredje ne postavi le donosnosti in koristnosti investicijskih projektov, ampak uravnoteženo zasleduje več ciljev in vključuje večje število družbenih skupin. Ravno te značilnosti vodijo oportuniste v kritiko Agende 21, v kateri trajnostni razvoj označujejo kot novo, prikrito obliko socializma. Zaradi liberalizacije in postnormalnih značilnosti je trajnostni razvoj pri nasprotnikih prepoznani kot globalna politična kontrola, ki ogroža suverenost držav, posega v pravice lastnikov zemljišč ter skozi ekstremne naravovarstvene smernice implementira marksistične oz. socialistične ideje ter ogroža privatni sektor in ekonomijo.

»Trajnostni razvoj se po Hisschemöllerjevi lestvici tipologije družbenih problemov uvršča v višji razred družbene problematike (slika 1), kar zahteva drugačne miselne vzorce, drugačno strategijo odločanja in drugačno politiko reševanja.« ((Loorbach, 2007), str. 15) »Zavedati se je treba, da se moderna družba razvija kot mreža družbenih povezav, ki generira številne med sabo povezane družbene probleme, ki jih je nemogoče reševati s tradicionalnimi pristopi in inštrumenti ter v okviru obstoječih institucij.« ((Loorbach, 2007), str. 12) Oziroma kot je dejal Einstein: »Ne moremo reševati problemov z uporabo istih miselnih vzorcev, s katerimi smo probleme ustvarili.«

Zaradi značilnosti trajnostnega razvoja tega ni možno obravnavati z uveljavljenimi statičnimi modeli vodenja ali birokratskim pristopom, ampak je treba sprejeti pluralizem interesov in aktivno participacijo družbenih skupin kot normativno vodilo sodobne družbe ter oblikovati nove modele vodenja in upravljanja. Gre za zahtevo, da se vzpostavi povezava in

ravnovesje med gospodarskimi, družbenimi in okoljskimi cilji, kjer sprememba na enem področju vpliva na spremembo drugega področja.

Ko govorimo o trajnostnem razvoju, govorimo o večdimenzionalnem razvoju, ki presega okoljski, ekonomski in socialni razvoj ter se uresničuje na globalni, nacionalni in lokalni ravni. Temelji na konsenzu razvojnih ciljev in procesu nenehnega učenja, skozi katerega družba začne razumeti trajnostni razvoj in hkrati prispeva k reševanju razvojnih problemov. Po Haasu in Schlesingerju sledenje ciljem trajnostnega razvoja pogojuje doseganje kompromisov med:

- »(1) prostorskimi,
 - (2) družbenimi,
 - (3) ekonomskimi,
 - (4) okoljskimi,
 - (5) tehničnimi in
 - (6) časovnimi cilji« ((Hass, 2007), str. 14),
- pri čemer sta velikega pomena transparentnost in razumljivost postopkov, uporabljenih metod in podlag za odločanje.

V literaturi se glede dimenzij trajnostnega razvoja pojavljajo razlike glede na avtorje in glede na stroko, vendar praviloma vse obsegajo družbeni, okoljski in ekonomski vidik. Nemške smernice za trajnostno gradnjo določajo naslednjih šest dimenzij trajnostne gradnje: »(1) ekološka kakovost, (2) ekonomska kakovost, (3) družbeno kulturološka in funkcionalna kakovost, (4) tehnična kakovost, (5) procesna kakovost in (6) značilnosti lokacije« ((IJS, 2013), str. 13–27).

Ključni elementi trajnostnega razvoja, ki jih povzema tudi Transition management po Loorbachu, kot eden novjših modelov vodenja in upravljanja v trajnostno razvojnih družbah, so:

- sistemsko mišljenje z upoštevanjem več področij oz. domen, različnih faz in različnih nivojev,
- dolgoročna vizija (vsaj 25 let) kot okvir, znotraj katerega se uresničujejo kratkoročni cilji in dejanja,
- selektivni pristop k zagotavljanju ključnih akterjev oz. udeležencev, ki predstavljajo perspektive in prepričanja določene družbene skupine,
- uskladičev kratkoročnih in srednjeročnih ciljev z dolgoročnimi trajnostnimi vizijami,
- učenje kot ključna smernica delovanja,
- usmerjenost v spreminjanje, inovativnost in iskanje sistemskih inovacij,
- ustvarjalnost in
- dinamično vodenje družbenih skupin s poudarkom na varstvenih vsebinah.

Pri navedenih značilnostih trajnostnega razvoja je treba izpostaviti predvsem »selektivni pristop k zagotavljanju ključnih akterjev oz. udeležencev«, kar je v naši praksi in zakonodaji nekritično posplošeno na vključevanje zainteresiranih družbenih skupin, zaradi česar se te brez jasno opredeljenih ciljev, vloge in odgovornosti vključujejo v investicijske procese ter vplivajo na njihovo izvajanje.

Pasivna družbena participacija, kratkoročni in z mandatom omejeni politični cilji ter neselektivni pristop vključevanja družbenih skupin ne predstavljajo koraka k izpolnitvi pogoja aktivne družbene participacije. Aktivna družbena participacija mora predstavljati zavezo vključenih družbenih skupin k odgovornemu ravnanju in skrbi za razvoj sedanjih in prihodnjih generacij. Navedeno pomeni, da načini vključevanja družbenih skupin v investicijske procese zahtevajo dinamičen metodološki pristop in ne smejo izhajati iz birokratskih modelov niti ne smejo biti prepuščeni pritiskom posameznih družbenih skupin.

Pluralnost in različnost družbenih ciljev sta značilnosti sodobnih družb, vendar sama po sebi nezadostna za izvedbo investicijskega procesa. Da bi ju lahko uporabili v investicijskem procesu, zahtevata predhodno uskladičev ciljev in interesov ter oblikovanje skupnega razvojnega konsenza, ki bo determiniral temeljno razvojno pot v celotnem investicijskem procesu.

Ko govorimo o trajnostni gradnji, se je treba osredotočiti na celoten proces graditve objektov. Graditev objektov ni samo gradnja objektov, ampak je proces, ki zajema projektiranje, usklajevanje, dovoljenje in gradnjo. Ključne spremembe se zato ne dogajajo zgolj na področju uporabe novih tehnologij,

3 • TRAJNOSTNI RAZVOJ IN VLOGA INŽENIRJEV

Kompleksnost trajnostnorazvojne družbe vpliva na investicijske procese, povezane z graditvijo objektov, zato gradbena stroka postaja vse bolj interdisciplinarna, kompleksna in

vpeta v družbeno dogajanje. Spremembe na družbenem področju zato prinašajo spremembe v gradbeni stroki, ki se po svojih značilnostih vse bolj približuje postnormalni družbi.

materialov, reciklaže, energetske učinkovitosti in ravnanja z odpadki, ampak se spreminjajo tudi vloge inženirjev, načini dela, število vključenih deležnikov v proces graditve objektov in digitalizacija postopkov.

Strokovna znanja postajajo vse bolj specializirana, obenem pa stroka postaja vse bolj interdisciplinarna. Uvajajo se novi postopki, tehnologije in materiali. Vse večji poudarek je na digitalizaciji procesov, ki se trenutno pospešeno razvija na področju projektiranja, sčasoma, predvsem po letu 2020, pa bo vplivala tudi na digitalizacijo drugih področij v gradbeništvu (dovoljevanje, izvajanje del, nadziranje in vzdrževanje objektov).

V investicijski proces graditve objektov je vključenih vse več deležnikov. Iz nekdanj klasičnih

pogajanja in iskanja razvojnega konsenza, ki bo determiniral pot investicijskega procesa. Uskladitev razvojnih ciljev in iskanje razvojnih konsenzov je izhodišče oz. temelj za doseganje trajnostne gradnje, zato pomembno vpliva na investicijske procese graditve objektov.

Vključevanje večjega števila deležnikov v proces graditve objektov zahteva usklajevanje interesov in ciljev. Tako je danes večji del projektiranja povezan z usklajevanjem ter iskanjem kompromisnih rešitev. Rešitve niso več zgolj rezultat inženirskega dela, ampak nastajajo kot rezultat usklajevanja in iskanja kompromisnih rešitev. S tem pa vloga inženirjev postaja vse zahtevnejša in vključuje vedno bolj poglobljena strokovna znanja, na drugi strani pa proces graditve objektov zahteva vse bolj interdisciplinarna znanja (slika 2).

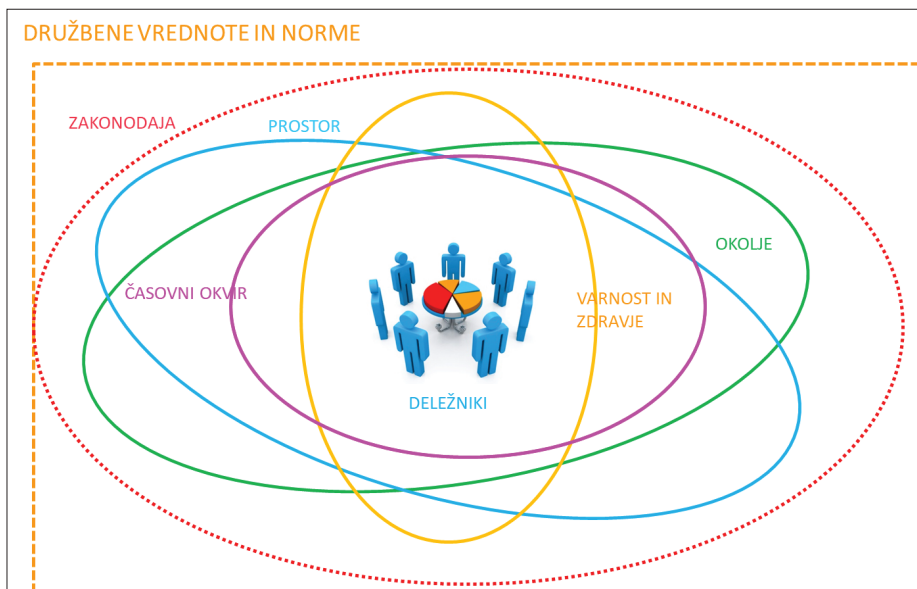
3.1 Trajnostno ni nujno trajno

V povezavi s trajnostno gradnjo je treba opozoriti tudi na napačno razumevanje trajnostne gradnje, ki se v praksi vse bolj enači s trajno gradnjo. Dilema je povezana s časovnim vidikom trajnostnega razvoja, ki je v naši praksi in tudi zakonodaji premalo poznan, predvsem pa slabo razumljen.

Trajnostni razvoj je dolgoročni cilj, ki se uresničuje skozi kratkoročne in srednjeročne cilje, zato predstavlja dolgoročni razvojni okvir, znotraj katerega se dosegajo cilji na različnih ravneh in v različnih časovnih obdobjih. Povsem napačno je razumevanje, da je trajnostni razvoj dolgoročni cilj, ki determinira trajne rešitve. Trajnostni razvoj je razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanje generacije, ne da bi ogrozil razvojne možnosti prihodnjih generacij.

Časovni vidik trajnostnega razvoja določa čas uporabe objekta, zato morajo biti rešitve sorazmerne namenu in cilju gradbenih investicij ob upoštevanju tehničnih, okoljskih, prostorskih, ekonomskih in družbenih vidikov. Če so objekti grajeni za potrebe sedanje generacije, torej zadovoljujejo potrebe v časovno omejenem obdobju, je treba k njihovi gradnji pristopiti na ekonomičen način, z uporabo materialov in tehnoloških postopkov, ki bodo po končani uporabi objektov omogočali ponovno uporabo materialov ali celotnega objekta oziroma jih bo možno reciklirati s čim manjšimi vplivi na okolje in čim manjšimi stroški. Če se objekt gradi za dolgoročno obdobje, je uporaba materialov in tehnologij drugačna, saj je treba zagotoviti trajnost objektov, pri čemer postajajo pomembni stroški vzdrževanja in vplivi na okolje, manj pa so pomembni možnosti in stroški reciklaže in ponovne uporabe materialov ali objektov, saj jih za tako dolgo časovno obdobje ni možno določiti oziroma je verjetnost za realizacijo zelo majhna.

Zakonodaja, tehnične smernice in pristop h gradnji objektov bi tako morali temeljiti na analizi življenjskega cikla objekta oz. t. i. Life Cycle Analyse (LCA). Ker pa se trajnostno zamenjuje s trajnim pripravo predpisov, tehničnih smernic, uporaba tehnologij in materialov temeljijo na trajni rabi objekta ne glede na namen in cilj grajenih objektov. Cilj časovnega vidika trajnostnega razvoja je določitev obdobja uporabe investicij (oz. t. i. amortizacijsko obdobje) in na tej podlagi ukrepov, ki bodo na dolgi rok uravnotežili rabo naravnih virov in dosegli najmanjše možne kumulativne vplive na okolje v celotnem življenjskem ciklu objekta, ne glede na to, za kakšno obdobje in kakšne potrebe je objekt zgrajen.



Slika 2 • Proces graditve objektov, udeleženci in kompleksnost družbenega okolja.

treh deležnikov (investitor, izvajalec, inženir) je danes v investicijski proces graditve objektov vključena širša množica udeležencev, ki so z gradnjo posredno ali neposredno povezani. V proces graditve objektov so poleg investitorja, inženirja, projektanta, izvajalca in nadzornika vključeni še strokovnjaki drugih področij, recenzenti, revidenti, mnenjedajalci, lokalne skupnosti, nevladne organizacije, civilna javnost, zavarovalnice, banke oz. financerji in drugi. S tem se proces graditve objektov srečuje z različnimi, običajno nasprotujočimi si cilji in interesi. Pluralnost ciljev je v trajnostno razvojnih družbah normativna, vendar sama po sebi nezadostna za izvedbo investicijskega procesa. Iz navedenega razloga je v investicijske procese treba vgraditi fazo usklajevanja,

Vloga inženirjev se tako odmika od klasične vloge inženirjev, ki je izhajala predvsem iz tehničnih znanj. Danes graditev objektov poleg tehničnega znanja zahteva še ekonomska in pravna znanja, tehnološka znanja, znanja s področja varovanja okolja, geodezije, upravljanja nepremičnin, projektnega menedžmenta, upravljanja družbenih skupin, znanja s področja stikov z javnostjo ter znanja s področja trajnostnega razvoja. Hkrati se od inženirjev pričakuje vse več kompetenc in znanja, povezanega z usklajevanjem, vodenjem in upravljanjem investicijskih procesov graditve objektov. Zahtevnejši je projekt, večji nabor znanj, kompetenc in veščin je potrebnih za zagotovitev uspešnosti investicijskega projekta.

4 • SKLEP

Ko govorimo o trajnostnem razvoju, govorimo o večdimenzionalnem razvoju, ki presega okoljski, ekonomski in socialni vidik in se uresničuje na globalni, nacionalni in lokalni ravni. Zaradi svojih značilnosti trajnostni razvoj predstavlja odklik od neoklasične ekonomske teorije koristnosti, saj v ospredje ne postavi le donosnosti in koristnosti investicijskih projektov, ampak uravnoteženo zasleduje več ciljev trajnostnega razvoja, kar vodi v povečanje števila udeležencev v procesih graditve objektov.

Čeprav imajo investicijski projekti neposredni učinek na celotno družbeno proizvodnjo, so lahko njihovi cilji širši od zgolj ekonomskih. To še posebej velja za investicije, katerih cilj je trajnostni razvoj. Trajnosten razvoj kot osrednja razvojna smernica razvitih gospodarstev vpliva na spremenjeno obravnavo in razumevanje investicij ter širi investicijske cilje iz tipično ekonomskih na večdimenzionalne cilje, ki predstavljajo presek ekonomskih, družbenih in okoljskih ciljev.

V obdobju pospešenega uveljavljanja trajnostnorazvojnne politike v Sloveniji se trajnostni razvoj enači z neekonomskimi cilji kot protitež neoklasičnemu pristopu. Vendar pa je takšen pristop v konceptualnem smislu enak neoklasičnemu in tako kot neoklasični ne vodi k doseganju trajnostno razvojnih ciljev. Za udejanjanje trajnostno razvojne politike so zato nujni uravnoteženost med neekonomskimi in ekonomskimi cilji, vključevanje relevantnih družbenih skupin in njihovo odgovorno sodelovanje v procesu graditve objektov.

Uresničevanje koncepta trajnostnega razvoja lahko zagotovimo le z usklajevanjem interesov in ciljev različnih družbenih skupin, zato stva razumevanje koncepta trajnostnega razvoja in aktivna družbena participacija ključnega pomena. O aktivni družbeni participaciji lahko govorimo le, če je ta odgovorna do družbe, zato je v zakonodaji in praksi treba uveljaviti selektivni pristop, ki bo zagotavljal odgovorno vključevanje relevantnih družbenih skupin.

Glede na to, da je gradbeništvo vpeto v družbeno okolje, trajnostni razvoj prinaša spremembe tudi v gradbeno stroko. Ko

govorimo o trajnostni gradnji, se je treba osredotočiti na celoten proces graditve objektov. Graditev objektov ni samo izvajanje gradbenih del, ampak je proces, ki zajema projektiranje, usklajevanje, dovoljenje in gradnjo. Ključne spremembe se zato ne dogajajo zgolj na področju uporabe novih tehnologij, materialov, recikliranja, energetske učinkovitosti, ravnanja z odpadki in digitalizaciji, ampak tudi na področju uporabe novih modelov in pristopov v investicijskem procesu graditve objektov.

Dejstvo je, da trajnostni razvoj v gradbeništvo prinaša okolju prijazne tehnološke postopke, uporabo recikliranih materialov, energetske učinkovitost objektov ter izpolnjevanje meril za trajnostno gradnjo. Vse te spremembe so vezane na okoljsko-tehnični vidik, vendar to niso edine spremembe v gradbeni stroki, ki so povezane s trajnostnim razvojem. Spremembe se kažejo tudi v vse večji specializaciji in interdisciplinarnosti gradbene stroke ter v vse večjem številu deležnikov, vključenih v procese graditve objektov. Iz nekdanj treh ključnih deležnikov (investitor, izvajalec, inženir) se v proces graditve objektov vključujejo še drugi udeleženci, ki so s procesom graditve posredno ali neposredno povezani. To povečuje stopnjo zahtevnosti in kompleksnosti procesov graditve objektov, vse večji delež procesa projektiranja pa predstavljata usklajevanje rešitev ter iskanje kompromisnih rešitev. Projektne rešitve tako niso več zgolj rezultat inženirskega pristopa, ampak so rezultat sodelovanja, usklajevanja in iskanja konsenzov.

V času trajnostnega razvoja postaja gradbena stroka vse bolj interdisciplinarna, vloga inženirjev pa vse zahtevnejša. Poleg strokovnega znanja s področja gradbeništva proces graditve objektov zahteva tudi druga znanja (npr. pravna, ekonomska ...) ter vse več kompetenc s področja usklajevanja, vodenja in upravljanja investicijskih procesov.

Trajnostnim razvoj prinaša tudi časovni vidik in zavedanje o življenjski dobi objektov ter s tem povezano gradnjo objektov. Trajnosten razvoj je dolgoročni razvojni

okvir, znotraj katerega se dosegajo cilji na različnih ravneh in v različnih časovnih obdobjih. Povsem napačno je razumevanje, da je trajnostni razvoj dolgoročni cilj, ki determinira trajne rešitve. Še posebej na področju gradbeništva se trajnostno zamenjuje s trajnim, kar vodi v napačno razumevanje trajnostnega razvoja, predvsem pa je takšno razumevanje v nasprotju s časovno dimenzijo trajnostnega razvoja. Časovni vidik trajnostnega razvoja zahteva opredelitev časa uporabe objektov (oz. t. i. amortizacijsko obdobje) in na tej podlagi izbiro materialov, tehnologij in ukrepov, ki bodo na dolgi rok uravnotežili rabo naravnih virov in dosegli najmanjše možne kumulativne vplive na okolje v celotnem življenjskem ciklu objekta.

Trajnostni razvoj v gradbeno stroko ne prinaša zgolj tehničnih in okoljskih sprememb, ki so gradbeni stroki blizu oz. znane in zato vključene v zakonodajo in prakso. Spremembe, ki jih trajnostni razvoj prinaša, so bistveno širše, vplivajo na proces graditve objektov in spreminjajo vloge inženirjev in ustaljene prakse. S temi spremembami se stroka srečuje dnevno, vendar jih zaradi slabšega poznavanja ne dojema kot del procesa udejanjanja trajnostnega razvoja, kar se odraža v konfliktnih med družbo, zakonodajo in prakso. Razumevanje trajnostnega razvoja kot holističnega razvojnega cilja, ki temelji na učnem procesu, je zato ključnega pomena, da bi lahko razumeli spremembe, povezane s trajnostnim razvojem, in se nanje ustrezno pripravili oz. odzvali.

5 • LITERATURA

CEC, Commission of the European Communities, A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development (Commission's proposal to the Gothenburg European Council), Brussels, 15. 5. 2001 COM (2001) 264 final, http://ec.europa.eu/regional_policy/archive/innovation/pdf/library/strategy_sustdev_en.pdf, 2001.

CEC, Commission of the European Communities, Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Mainstreaming sustainable development into EU policies, Review of the European Union Strategy for Sustainable Development. Brussels, 24. 7. 2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0400:FIN:EN:PDF>, 2009.

Hardisty, P. E., Environmental and Economic Sustainability, CRC Press, 2010.

Hass, H. D., Schlesinge, D. M., Umweltoekonomie und Ressourcenmanagement, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2007.

IZS, Inženirska zbornica Slovenije, Smernica za trajnostno gradnjo, Prevod nemške smernice: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, BMWBS, <http://www.gbc-slovenia.si/wp-content/uploads/2014/02/Smernica-TG-final-big.pdf>, 2013.

Loorbach, D., Transition Management - New Mode of Governance for Sustainable Development, Utrecht, International Books, 2007.

Meadowcroft, J., Planning for sustainable development: insights from the literatures of the political science, European Journal of Political Research 31, str. 427– 454, 1997.

MGRT, Ministrstvo za gospodarstvo, Strategija razvoja Slovenije 2014–2020 – osnutek, <http://www.eu-skladi.si/ostalo/operativni-programi/strategija-razvoja-slovenije>, 2013.

Rammel, C., Hinterberger, F., Bechthold, U., Governing sustainable development – a coevolutionary perspective on transitions and change, GO-SD working paper series: www.gosd.net, 2004.

UN, United Nations, Agenda 21, United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>, 1992.

Vlada RS, Strategija razvoja Slovenije 2030 (osnutek), http://www.svrk.gov.si/fileadmin/svrk.gov.si/pageuploads/Osnutek_SRS2030_-_javno_posvetovanje.pdf, 2017.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Gašper Maček, Neporušne metode merjenja lastnosti cementnih kompozitov, mentor prof. dr. Zvonko Jagličič, somentor asist. Martin Klun; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108505>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Urban Kavka, Povezava med svetlobnim in toplotnim udobjem na primeru generičnega poslovnega prostora, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108918&lang=slv>

Urban Kastelic, Analiza jeklenega paličnega nosilca z razponom 40 metrov, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108757>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Neža Čepon, Strižne obremenitve poplavnih območij pri visokovodnih dogodkih, mentor doc. dr. Gašper Rak, somentor prof. dr. Franc Steinman; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108756>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Matic Šušteršič, Dimenzioniranje nosilne konstrukcije prednapetega betonskega mostu čez reko Sotlo, mentor doc. dr. Jože Lopatič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108540>

Gregor Udovč, Statična in požarna analiza proizvodno-poslovnega objekta v Slovenj Gradcu, mentor doc. dr. Primož Može, somentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108542>

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Petra Triller, Obnašanje večetažnih zidanih strižnih sten z odprtinami pri potresni obtežbi, mentor prof. dr. Miha Tomažević, somentor doc. dr. Matija Gams; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108541>

Miha Hren, Karakterizacija korozijskih procesov jekla v mešanih cementih v prisotnosti kloridov, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor izr. prof. dr. Andraž Legat; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=108543>

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

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Študij sta z diplomskim izpitom zaključili:

Klementina Knez

Špela Kok

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVA

Aleksandra Kranar, Vrednotna analiza estrihov za enostanovanjsko stavbo, mentorja doc. dr. Nataša Šuman – FGPA in izr. prof. dr. Igor Vrečko – EPF; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=73870&lang=slv>

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

KOLEDAR PRIREDITEV

10.-13.9. 2019

CGE-2019 – 3rd International Conference “Challenges in Geotechnical Engineering”

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

16.-20.9. 2019

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

Praga, Češka
www.iccc2019.org/

24.-25.9. 2019

MVP BIM 2019 “Measurement, Visualisation and Processing in BIM for Design and Construction Management 2019”

Praga, Češka
<http://mvpbim2019.org/>

29.9.-2.10. 2019

ICITG – 3rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering

Guimaraes, Portugalska
www.3rd-icitg2019.civil.uminho.pt/

2.-5.10. 2019

MASE 2019 - 18th International Symposium of Macedonian Association of Structural Engineers

Ohrid, Makedonija
<http://mase.gf.ukim.edu.mk/MASE18-symposium.html>

17.-18.10. 2019

**Vodni dnevi 2019 - 2019 Water Days
Simpozij z mednarodno udeležbo - 25 let povezani z vodo /
International symposium - Connected to water for 25 years**

Portorož, Slovenija
<https://sdzv-drustvo.si/vodni-dnevi-2019/>

23.-25.10. 2019

4. regionalni simpozij o zemeljskih plazovih v Jadransko-balkanski regiji - 4th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region

Sarajevo, Bosna in Hercegovina
www.geotehnika.ba/ReSyLAB_2019.html

7.-8.11. 2019

41. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Bled, Slovenija
www.sdggk.si/index.php

20.11. 2019

5. strokovna konferenca siBIM 2019 - BIM v praksi

Brdo pri Kranju, Slovenija
<http://sibim.si/dogodki/>

21.-22.11. 2019

12. mednarodna konferenca o predorih in podzemnih objektih – 12th International Tunneling and Underground Structures Conference

Ljubljana, Slovenija
www.ita-slovenia.si/12-konferenca/

7.-9.4.2020

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

Tokio, Japonska
www.s-arch.net/

11.-14.5.2020

14th Congress INTERPRAEVENT 2020

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

15.-18.6.2020

Deep Mixing Conference 2020

Gdansk, Poljska
www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330

22.-27.6.2020

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

Limassol, Ciper
www.isec-society.org/EURO_MED_SEC_03/

7.-11.9.2020

6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterisation

Budimpešta, Madžarska
www.isc6-budapest.com/

2.-6.11.2020

5th World Landslide Forum

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

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