





# 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, oktober 2020, letnik 69, str. 253-284

Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200  
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: **Jernej Mazij**  
**mag. Jernej Nučič**  
**mag. Mojca Ravnikar Turk**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**

Glavni in odgovorni urednik:

**izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Romana Hudin**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**450 tiskanih izvodov**  
**3000 naročnikov elektronske verzije**

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in 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

## 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: [sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si](mailto:sebastjan.bratina@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 **254**

prof. dr. Tatjana Isaković, univ. dipl. inž. grad.  
Antonio Janevski, mag. grad.  
doc. dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Matej Fischinger, univ. dipl. inž. grad.

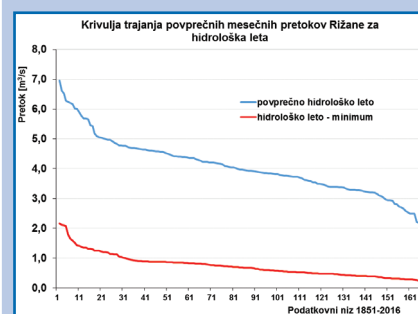
### **EKSPERIMENTALNE RAZISKAVE INTERAKCIJE MED ARMIRANOBETONSKIMI PLOŠČAMI IN STENAMI NA POTRESNI MIZI**

SHAKE TABLE EXPERIMENT OF RC SLAB-TO-WALL  
PIERS INTERACTION



stran **265**

doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.  
**PROBLEMATIKA OSKRBE S PITNO VODO V SLOVENSKI ISTRI**  
PROBLEM OF DRINKING WATER SUPPLY IN COASTAL  
REGION OF SLOVENIA



## Poročilo s strokovne delavnice

stran **278**

Miša Hrovat  
**STROKOVNA DELAVNICA – PRAVILNA IZVEDBA  
FASADNIH SISTEMOV**

## Novi diplomanti

stran **283**

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Tri-etažni preizkušaneec na potresni mizi na inštitutu IZIS v Skopju,  
foto Tatjana Isaković

# EKSPERIMENTALNE RAZISKAVE INTERAKCIJE MED ARMIRANOBETONSKIMI PLOŠČAMI IN STENAMI NA POTRESNI MIZI

## SHAKE TABLE EXPERIMENT OF RC SLAB-TO-WALL PIERS INTERACTION

**prof. dr. Tatjana Isaković, univ. dipl. inž. grad.**

tatjana.isakovic@fgg.uni-lj.si

**Antonio Janevski, mag. grad.**

antonio.janevski@fgg.uni-lj.si

**doc. dr. Matija Gams, univ. dipl. inž. grad.**

matija.gams@fgg.uni-lj.si

**prof. dr. Matej Fischinger, univ. dipl. inž. grad.**

matej.fischinger@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo

in geodezijo,

Jamova 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 624.012.45+624.042.7(047.31)

**Povzetek** | Na potresni mizi smo v okviru projekta HORIZONT 2020 SERA-TA na preizkušancu v velikem merilu testirali interakcijo med armiranobetonskimi ploščami in armiranobetonskimi stenami pri različnih nivojih potresne obtežbe. Preizkusili smo trietažno konstrukcijo v merilu 1 : 2. Bila je sestavljena iz štirih sten pravokotnega prečnega prereza, ki so bile v višini etaž povezane z gladkimi armiranobetonskimi ploščami. Preizkušane smo obremenjevali s potresno obtežbo, katere intenziteto smo postopno povečevali. Pri zadnjih treh testih so se plošče in stene vidno poškodovale.

Testi so pokazali, da sta v obravnavnem primeru upogibna nosilnost in togost plošč pomembno vplivali na mehanizem odziva konstrukcije. Po končanih testih so bile vse plošče vidno poškodovane, še zlasti v prvih dveh etažah, kjer je prišlo do plastifikacije zgornje in spodnje armature. Razpoke so se razširile po celi širini plošč. Poškodbe plošč so bile pretežno upogibne. Sodelujoča širina plošč je bila približno enaka celotni širini plošč. Zato je bila upogibna kapaciteta plastičnega členka, ki se je ustvaril v plošči na stiku s stenami, dokaj velika. Posledično so bile prečne sile v plošči dokaj velike, kar je povzročilo tudi velike spremembe osnih sil v stenah.

Potresni odziv preizkušene konstrukcije bi lahko glede na določila standarda Evrokod 8 (SIST, 2005) računali kot odziv štirih konzolnih sten, saj običajno ne pričakujemo, da bodo plošče brez gred stene med sabo močno povezale v okvir. Vendar se je izkazalo, da sta bili zaradi razmeroma velike togosti plošč in razmeroma velike kapacitete plastičnega členka v ploščah leva in desna stena v posamezni osi razmeroma močno povezani. Posledično se je ustvaril dokaj močan okvir, sestavljen iz sten in plošč, ki je prevzel velik del (približno 50 %) prevrnitvenega momenta, ki ga je v konstrukciji povzročil potresni vpliv. To je potrdilo posamezne indice iz literature, da lahko že samo plošče brez gred slope stene močno upogibno povežejo (ne le v horizontalni ravnini).

Glede na razmeroma močno povezanost sten lahko rečemo, da je bil preizkušane sestavljen iz dveh povezanih sten, sestavljenih iz dveh slopov sten in ene vrste odprtin. Pri močnejšem potresnem vzbujanju je bil v enem časovnem koraku v obeh stenah en slop obremenjen z močnimi nateznimi osnimi silami. Istočasno je bil drugi slop na nasprotni strani odprtine močno tlačno obremenjen. Zibanje natezno obremenjenega slopa okoli notranjega vogala (na strani odprtine) je bilo vidno s prostim očesom. Na zunanjem voga-

Iz lačno obremenjenega slopa se je navpična armatura uklonila. Razpoke v posameznih slopih sten so bile nesimetrične in bistveno drugače razporejene od križno razporejenih razpok, ki so tipične za konzolne stene. Pri zadnjem testu je bil dosežen povprečni 1,1% zasuk sten. Nihajni čas osnovne nihajne oblike preizkušanca je od začetnih 0,14 s narasel na 0,32 s.

Odziv je bil drugačen, kot ga običajno ocenimo z elastičnimi linearnimi postopki analize, in kaže na potrebo po reviziji postopkov projektiranja.

Ključne besede: armiranobetonske stene, eksperiment v velikem merilu, potresna miza, interakcija med ploščo in stenami

**Summary** | A shake table test of a half-scale three-story specimen subjected to different intensity levels was conducted to study the slab-to-wall piers interaction within HORIZON 2020 SERA-TA project. The specimen consisted of four rectangular walls linked by three slabs. It was subjected to a series of seismic excitations of increasing intensity. In the last three tests the non-linear response of the slabs and wall piers was observed. Flexural strength and stiffness of slabs considerably influenced the response mechanism in wall piers. All slabs were fully activated. They were significantly damaged, particularly in the first two floors, where the yielding of the top and bottom reinforcements was observed. Cracks were observed at their top and bottom surfaces over the entire width of the slabs. Their damage was predominantly flexural. The effective width of the slabs was equal to their total width. Therefore, the flexural capacity of the plastic hinge formed in the slabs near the joints with walls was considerable. The shear forces in the slabs were consequently quite large, resulting in considerable variations of axial forces in walls.

According to Eurocode 8 (SIST, 2005), the seismic response of the tested structure can be estimated by means of the numerical model consisting of four cantilever walls under the assumption that slabs with no beams cannot link the walls into the frame. However, due to the considerable stiffness and considerable flexural capacity of plastic hinges in slabs, the left and right walls in the same axis were considerably coupled. Consequently, walls and slabs formed quite strong frame, which resisted considerable shear of the overturning moment (50%) due to the seismic excitation. This confirmed some indications from the literature that the slabs alone (without beams) can provide considerable coupling (flexural) of wall piers.

In fact, the specimen was made of two coupled walls, consisting of two wall piers and openings between them. When the specimen was subjected to stronger seismic excitations, in both walls one pier was subjected to large tensile axial forces. At the same time, the pier at the opposite side of the opening was subjected to strong compression forces. The rocking of the wall pier subjected to tension around inner corners (near the openings) was visible to the naked eye. In the wall pier subjected to compression the buckling of the longitudinal bars was observed at the outer edge of the wall. The crack pattern in the wall piers was asymmetric and different from the cross-shaped damage pattern typical for cantilever walls. The maximum drift of the wall piers of 1.1 % was observed within the last test. The fundamental period of vibration of the specimen was increased from the initial 0.14 sec to 0.32 sec.

The response of the specimen was considerably different from that which is typically obtained by linear elastic analyses of such structures.

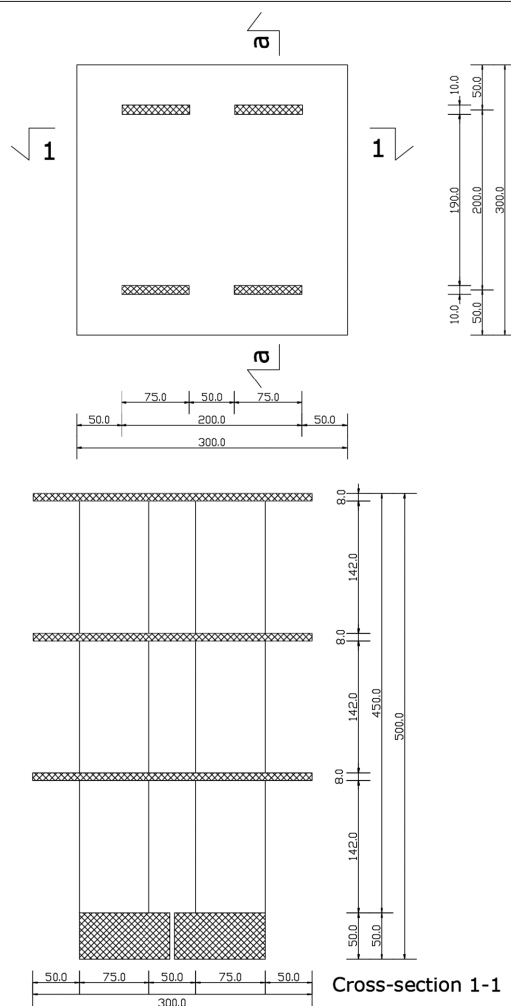
Key words: Reinforced concrete walls, Large-scale experiments, Shaking table, Slab-to-wall interaction

## 1 • UVOD

V članku je predstavljen test trietažnega preizkušanca, ki je bil sestavljen iz štirih posamičnih sten pravokotnega prereza, ki so bile v vsaki etaži povezane samo s ploščo brez gred (slika 1).

Eden izmed glavnih namenov eksperimenta je bil ugotoviti, kako močno povezavo med stenami lahko ustvari plošča pri različnih intenzitetah potresnega vzburjanja in kako to vpliva na mehanizem odziva sten ter konstrukcije.

Tradicionalno bi projektanti pri horizontalni obtežbi modelirali takšno konstrukcijo kot sestav štirih konzolnih sten. Ploščo bi upoštevali le kot togo šipo v svoji ravnini, njeno upogibno in strižno togost prečno na to ravnino pa bi zanemarili kot majhno v primerjavi s togostjo stene. Res je vztrajnostni moment npr. 1 m širokega pasu 16 cm debele plošče (34.100 cm<sup>4</sup>) zelo majhen v primerjavi z vztrajnostnim



Slika 1 • Preizkušane: videz (levo); tloris in naris (desno).

momentom 20 cm debele stene z dolžino samo 150 cm, ki znaša  $5.625.000 \text{ cm}^4$ . Zato bi običajno predpostavili členkasto povezavo med steno in ploščo z upoštevanjem momentnega članka v modelu. Mehanizem odziva takšnega modela na horizontalno obtežbo je shematično prikazan na sliki 2a. Enaki steni sta enako upogibno obremenjeni, osne sile zaradi horizontalne obtežbe pa ni.

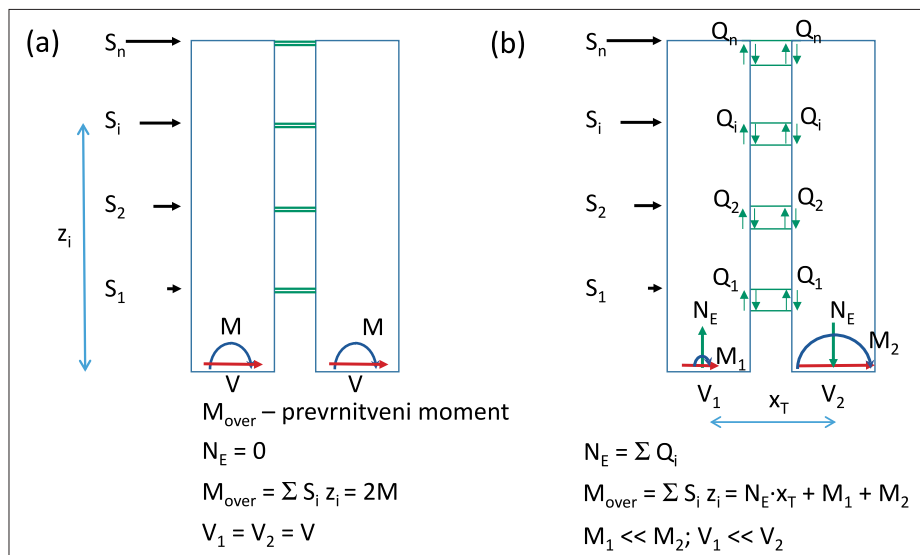
Pri tem je treba pripomniti, da v zgornjem primeru pogosto pozabimo, da na togost plošč in sten vpliva tudi dolžina odprtine med stenami in višina sten. Togost plošče je obratno sorazmerna s tretjo potenco dolžine odprtine, togost sten pa je obratno sorazmerna s tretjo potenco višine stene. Ker je dolžina odprtine v obravnavnem primeru bistveno manjša od višine sten (dolžina odprtine v prototipu znaša 1 m, višina stene pa 9 m), je togost plošče v primerjavi s togostjo stene bistveno večja, kot lahko sklepamo le na osnovi vztrajnostnih momentov. Zato lahko plošča razmeroma

močno poveže vitke stene, še zlasti ko je njena sodelujoča širina velika (v nadaljevanju bomo pokazali, da je lahko večja od 1 m), kar vpliva tako na njeno togost kot tudi na upogibno kapaciteto povezave med ploščo in stenami (kapaciteto plastičnega članka, ki se ustvari v plošči na stiku s stenami), za katero običajno tudi predpostavimo, da je majhna in da jo lahko zanemarimo (stik sten in plošč modeliramo s fizičnimi upogibnimi členki, kjer so momenti nič).

Pri povezavi sten z upogibno razmeroma močno medetažno konstrukcijo je odziv bistveno drugačen (slika 2b) kot odziv sistema konzolnih sten. Preko prečnih sil v povezavah se vnesejo v stene dodatne osne sile, ki spremenijo togost in nosilnost sten in s tem razporeditev notranjih sil v stenah. Če tega ustrezno ne upoštevamo, lahko v primeru močnih potresov nastanejo resne poškodbe in celo porušitve armiranobetonskih povezanih sten.

Problem tradicionalnega pristopa pri projektiranju povezanih sten je že v tem, da kot ključni parameter upošteva le elastično togost in celo samo vztrajnostni moment povezave. Povezanost pa je pri močnih potresih še v veliko večji meri odvisna od nosilnosti sten. Eksperimenti ((Fischinger, 2017), (Santhakumar, 1974), (Alvarez, 2019)) so na primer pokazali, da se lahko zaradi takih prerazporeditev v nelinearnem področju upogibni momenti in strižne sile v tlačno obremenjenih stenah celo podvojijo v primerjavi z rezultati linearnih modelov. Tako tega problema ne rešijo niti modeli iz elastičnih lupinastih elementov ali linijski modeli povezanih sten, ki se uporabljajo v sodobnem projektiranju.

To ugotovitev podpirajo opazovanja poškodb sodobnih stenastih stavb po zadnjih potresih v Čilu (2010) in na Novi Zelandiji (2010, 2011) ((Massone, 2013), (Boroschek, 2014), (Elwood, 2014)). Še zlasti so bile močno



Slika 2 • Mehanizem potresnega odziva: a) konzolne stene (šibka povezava med posameznimi stenami), b) povezane stene (močna povezava med posameznimi stenami).

poškodovane višje stavbe, v katerih so bile zabeležene močne strižne poškodbe in močne poškodbe robov sten, kjer se je upogibna armatura zaradi močnih tlačnih obremenitev najprej uklonila in nato pogosto tudi pretrgala. Med vzroki za te poškodbe je pomembna tudi nezmožnost elastičnih modelov, da upoštevajo spremenljiv vpliv interakcije med medetažnimi konstrukcijami in stenami.

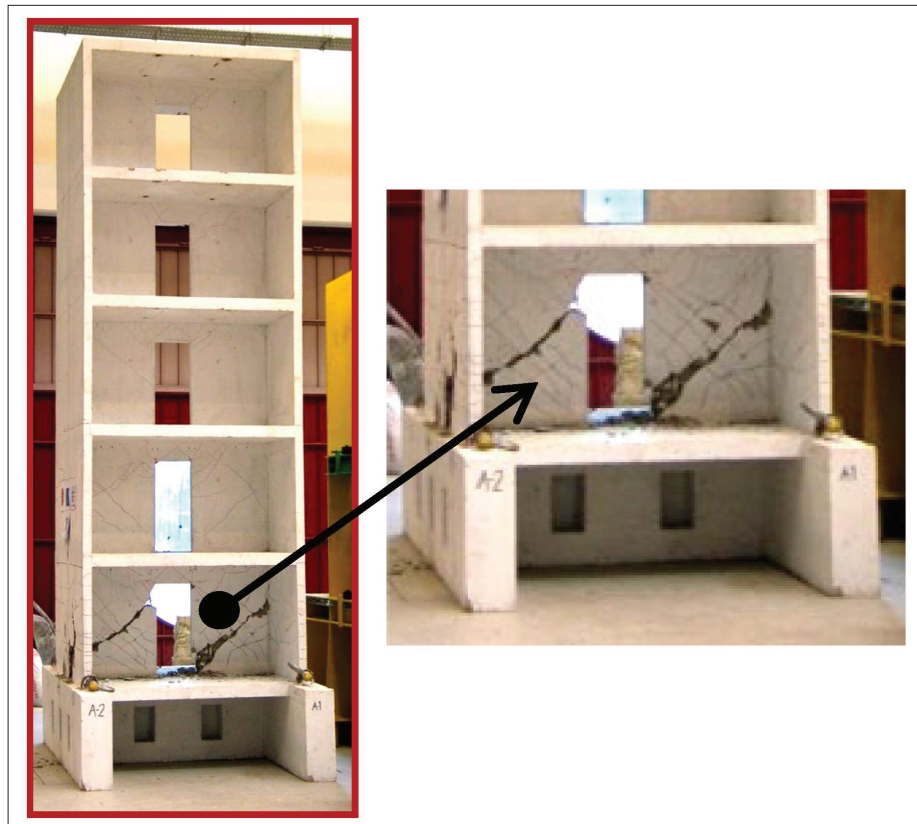
Do podobnih ugotovitev je prišla tudi raziskovalna skupina na UL FGG, ki je na potresni mizi testirala povezano steno, tipično za evropsko prakso (slika 3). Sestavljena je bila iz dveh slopov sten s prirobnicami (prečni prerez enega slopa je bil T-oblike), ki sta bila povezana z gredo, armirano z diagonalno armaturo (Fischinger, 2017). Ugotovljeno je bilo, da je lahko zaradi sodelovanja gred in plošč dodatna nosilnost stropov zelo velika in bistveno večja od pričakovane (določene s standardnimi postopki). V obravnavnem primeru sta bila zaradi povečane nosilnosti stropov slopa sten močnejše povezana, kot je bilo pričakovano, kar je povzročilo njihovo krhko strižno porušitev.

Tradicionalno mnenje je, da so opisani vplivi pomembni le pri povezavi sten s konstrukcijskimi prečkami. Za mlajšo generacijo bo zanimivo, da so statiki pred obdobjem računalnikov zelo radi uporabljali nekonstrukcijska polnila nad vratnimi odprtinami. Tako so bolj obvladali računski model. Na FGG tega pristopa nismo podpirali, ker namerne slabitve konstrukcije zaradi enostavnejšega računa niso primerne. Vendar je starim statikom treba priznati zavedanje, da lahko napačen model prinese še več škode.

V zadnjih letih je vedno več eksperimentov in analitičnih študij (npr. (Panagiotou, 2011) in (Nagae, 2011)), ki jasno kažejo, da je tudi povezava s samo ploščo brez grede lahko močna in pomembna. Panagiotou (Panagiotou, 2011) (slika 4) je pokazal, da lahko tudi izredno tanka plošča brez gred ustvari

precej močno povezavo med slopi sten. Na potresni mizi je bila preizkušena pravokotna stena. Preko plošče je bila povezana s konstrukcijsko steno, postavljeno pravokotno na njeno ravnino, ki je imela nalogo, da zagotovi stabilnost preizkušanca. Plošča je bila tanka, zato da steni ne bi bili medsebojno močno upogibno povezani. Da bi zmanjšali povezavo med stenama na najmanjšo možno mero, je plošča bila še dodatno oslajbljena na mestu stika sten. Na tem mestu je bila debela le 5 cm. Navkljub temu se je na celotni dolžini oslajblitve ustvarila precejšnja strižna sila. Zaradi tega so se povečale osne sile v testirani pravokotni steni, kar ni značilno za konzolne stene.

Ugotovitev te raziskave lepo pojasni bistvo problema, ki ga obravnavamo v prikazani raziskavi. Predpostavka, da je povezava plošče s steno zaradi relativno majhnega vztrajnostnega momenta plošče šibka oz. členkasta, je lahko napačna. Ta členek ni fizični členek, v katerem je moment nič, pač pa plastični členek. Momentna kapaciteta tega členka pa je prvenstveno odvisna od nosilnosti povezave. Ker se lahko ta povezava aktivira s plastifikacijo armature plošče na veliki sodelujoči širini, je lahko ta moment



Slika 3 • Zaradi povečane nosilnosti stropov sta slopa sten bila močnejše povezana, kot je bilo pričakovano. Zaradi tega so se povečale potresne zahteve in sta se slopa krhko porušila.



Slika 4 • Konzolna armiranobetonska stena, preizkušena na potresni mizi na UCSD.

velik. Posledično so velike prečne sile v plošči in spreminjajoče se osne sile v stenah. Vse to pa temeljno spremeni odziv v primerjavi z rezultati elastičnega modela tudi, če so stene povezane samo s ploščo.

To je treba upoštevati pri projektiranju. Vendar do sedaj ni bilo narejene sistematične raziskave, ki bi to povezanost eksplicitno raziskala. Zato smo interakcijo med

armiranobetonskimi stenami in ploščami pred kratkim raziskovali v okviru HORIZONT 2020 SERA-TA projekta »Vpliv interakcije med stropi in stenami na potresni odziv povezanih sten«. Na eni izmed največjih potresnih miz v Evropi, na inštitutu IZIS v Skopju (Severna Makedonija), smo preizkusili odziv trietažnega preizkušanca v velikem merilu. UL FGG je bila koordinator in vodja projekta, v katerem je

poleg IZIS-a kot partnerica sodelovala tudi Univerza iz Kalifornije v Los Angelesu.

Eksperimenti in glavne ugotovitve projekta so prikazani v naslednjih poglavjih. V 2. poglavju so predstavljeni testirana konstrukcija ter zasnova, merilna oprema in potek eksperimenta. Glavne ugotovitve, vključno z analizo povezanosti analiziranih sten, pa so povzete v 3. poglavju.

## 2 • OPIS EKSPERIMENTA

### 2.1 Geometrija preizkušanca, merilo in modelna podobnost

Naredili smo eksperiment trietažnega preizkušanca, ki je bil sestavljen iz štirih posamičnih sten pravokotnega prereza, ki so bile v vsaki etaži povezane samo s ploščo brez gred (slika 1). Vse stene so bile z močno smerjo obrnjene v smeri gibanja potresne mize. Preizkušavec smo naredili v merilu 1 : 2. Izbrali smo največje možno merilo, ki ga je dopuščala kapaciteta potresne mize, ki je med največjimi v Evropi. Na izbiro geometrije preizkušanca je predvsem vplival največji možen prevrtni moment, ki na tej mizi znaša ca. 500 kNm.

Glavni namen eksperimenta je bil ugotoviti, kako se spreminja interakcija med ploščami in stenami pri različnih intenzitetah potresnega vzbujanja in kako to vpliva na mehanizem odziva sten, še zlasti v nelinearnem območju. Zato je bilo treba poiskati ustrezno ravnovesje med realističnimi dimenzijami preizkušanca in omejitvami mize. Stene so bile visoke 4,5 m.

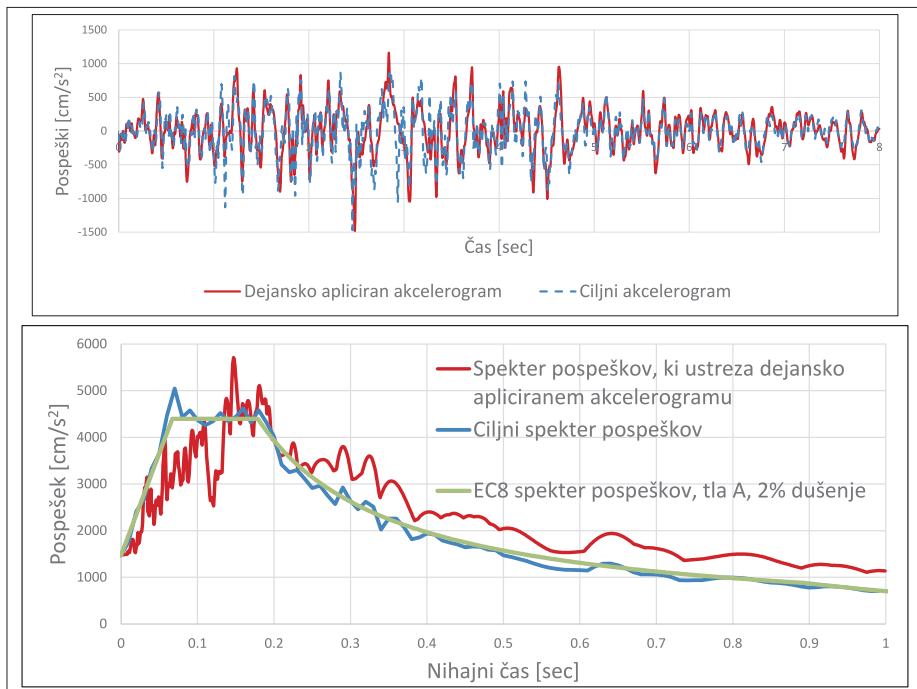
Njihov prečni prerez smo določili tako, da je bilo možno pri največji zmogljivosti mize (kritičen je bil maksimalni prevrtni moment) doseči plastifikacijo armature v stenah oziroma njihov nelinearen odziv, hkrati pa so morale biti dimenzije prečnega prereza še dovolj realistične. Dolžina prečnega prereza sten je bila 75 cm, širina pa 10 cm. Dolžina odprtine v smeri vzporedno z ravnino sten je znašala 50 cm. Če upoštevamo, da je bilo merilo 1 : 2, to pomeni, da preizkušenim stenam v prototipu ustrezajo 1,5 m dolge stene z medsebojnimi odprtini dolžine 1 m. Debelina preizkušenih sten ustreza debelini 20 cm v prototipu, kar je debelina, ki je značilna za večino armiranobetonskih sten v Sloveniji. Razmerje dolžine in širine prečnega prereza posameznega slopa stene je znašalo 7,5, razmerje višine enega slopa proti višini njegovega prečnega prereza pa 6. S tem smo v preizkušancu ustvarili pogoje, ki ustrezajo pogojem v vitkih stenah.

Dolžina in širina plošč (3 m x 3 m) je določena glede na prej omenjene omejitve mize. Debelina plošč je bila 8 cm (16 cm v prototipu). Celotna masa preizkušanca je bila  $3 \times 1,83 \text{ t} + 4 \times 0,81 \text{ t} = 8,7 \text{ t}$  (1,83 t je masa posamezne plošče, 0,81 t pa masa ene stene). Pri večini testov na potresnih mizah se običajno masa preizkušanca poveča s ciljem, da se zagotovijo realistične potresne zahteve v konstrukciji. Na plošče se običajno namestijo dodatne mase (npr. jekleni ingoti). V obravnavanem primeru tega nismo mogli narediti, saj bi z namestitvijo jeklenih ingotov bistveno spremenili tako togost kot tudi nosilnost plošč. To pa sta ključna parametra, ki vplivata na interakcijo med stenami in ploščami, kar je bila glavna tema raziskav. Ker mase ni bilo možno povečati, smo spremenili merilo za čas in pospeške ter na ta način dosegli realistične potresne zahteve v konstrukciji. Čas smo skrajšali s faktorjem 0,45, pospeške pa povečali 2,5-krat.

### 2.2 Lastnosti uporabljenih materialov

Modelna podobnost je bila določena tako, da so bile napetosti v prototipu in modelu

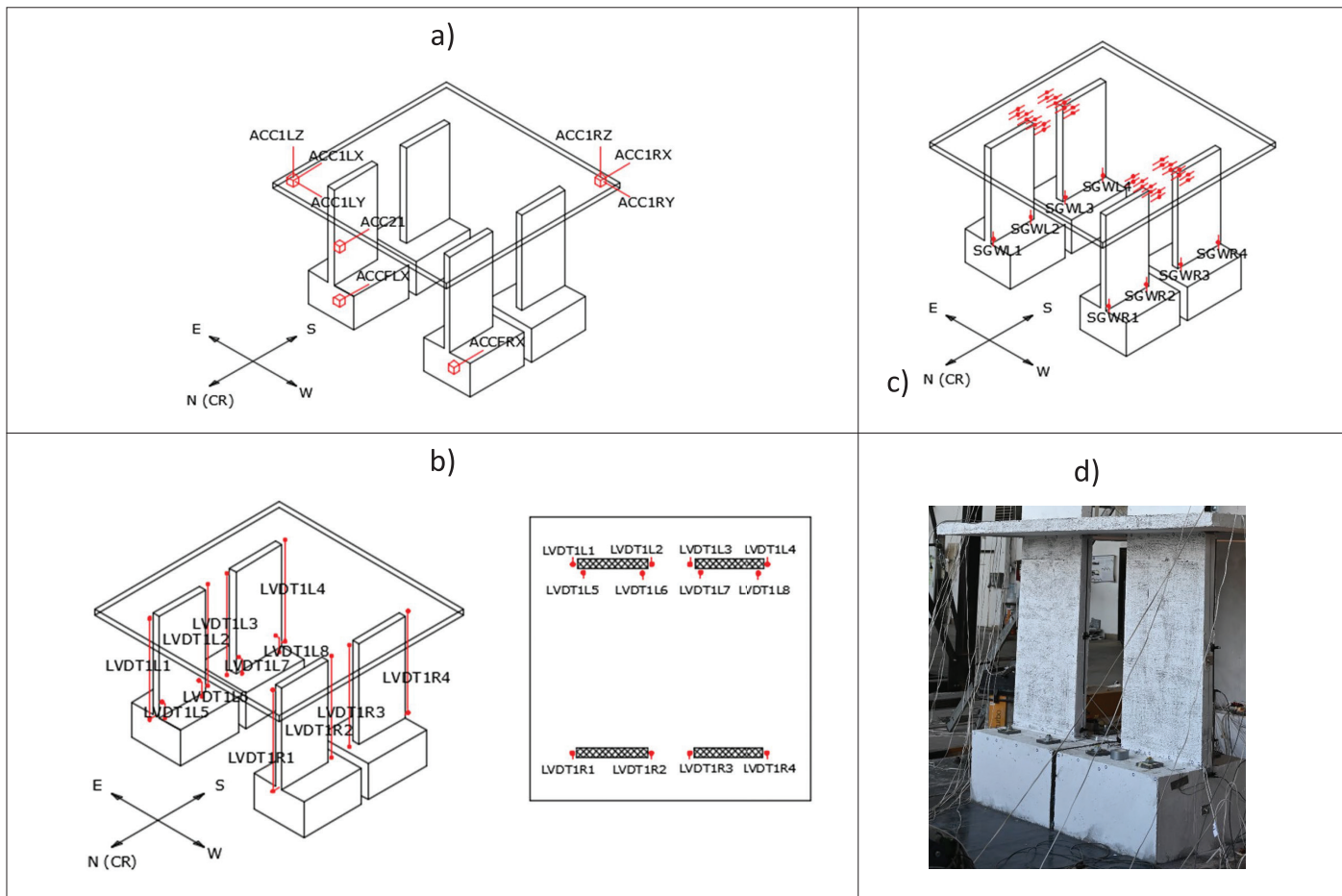




Test	Maksimalni pospešek na potresni mizi
R010	0,1 g
R020	0,2 g
R030	0,3 g
R050	0,5 g
R060(1)	0,6 g
R060(2)	0,6 g
R080	0,8 g
R090	0,9 g
R120	1,2 g
R150(1)	1,5 g
R150(2)	1,5 g

Opomba: Čas in pospešek sta prikazana v modelnem merilu.  
Slika 5 • Potresno vzbujanje: ciljni in dejansko apliciran akceleroگرام (zgoraj); ustrezni spektri pospeškov pri pospešku temeljnih tal 1,5 g (spodaj).

Preglednica 1 • Seznam testov.



Slika 6 • Pregled merilnih naprav: a) pospeškometri, b) merilniki pomikov, c) merilni lističi, d) optične meritve.

enake, med drugim tudi zato, da smo lahko v modelu uporabili običajne materiale (beton in predvsem jeklo za armiranje običajnih trdnostnih razredov). Tlačna trdnost betona plošč je znašala 27,5 MPa, betona v stenah pa 26 MPa.

Stene so bile armirane z minimalno navpično armaturo. Originalno smo načrtovali, da bodo armirane z 12 rebastimi palicami premera 6 mm iz jekla B500-B. Ker na trgu ni bilo možno dobiti duktilnih palic tega premera in glede na to, da je bil namen eksperimenta študija interakcije med ploščami in stenami, ne pa test različnih konstrukcijskih detajlov v stenah, smo stene armirali z 12 gladkimi vzdolžnimi palicami premera 8 mm. Meja elastičnosti jekla je znašala 300 MPa, nosilnost pa 420 MPa. V stenah smo po celi višini zagotovili dvostrizna stremena  $\phi 6$  mm/7,5 cm.

Plošče smo armirali z mrežami Q-131, ki smo jih postavili na spodnjo in zgornjo stran plošč. Tako smo v vseh treh ploščah zagotovili 1,31 cm<sup>2</sup>/m zgornje in spodnje armature. Meja

elastičnosti jekla mrežne armature je znašala 500 MPa, natezna trdnost pa 560 MPa.

### 2.3 Potresna obtežba

Potresno obtežbo smo simulirali z akcelrogramom, ki smo ga določili tako, da smo spremenili akcelrogram Petrovac N-S, ki je bil zabeležen pri potresu v Črni gori leta 1979. Po spremembi je spekter pospeškov ustrezal elastičnem spektru pospeškov, definiranim v standardu Evrokod 8 (SIST, 2005) za tla tipa A in 2 % dušenje (glej sl. 5). Pri tem smo upoštevali faktorja modelne podobnosti za čas in pospešek, navedenima v poglavju 3.1.

Preizkušane smo obremenjevali v smeri vzporedno z ravnino sten. Intenziteto vzbujanja smo postopno povečevali, in sicer od 0,1 g do 1,5 g. Seznam vseh testov z oznakami in pripadajočim maksimalnim pospeškom na mizi je prikazan v preglednici 1. Med posameznimi testi smo merili nihajne čase konstrukcije. Ti so znašali 0,14 s, 0,20 s, 0,32 s, po testih R010, R060 in R150(2).

### 2.4 Merilna oprema

Na sliki 6 je prikazana shema naprav, ki smo jih uporabili za registracijo različnih količin odziva. Zaradi preglednosti so prikazane le naprave v 1. etaži. S pospeškometri smo zajemali pospeške, in sicer v treh smereh v dveh vogalih vseh treh plošč (slika 6a). Z merilniki pomikov (LVDT) smo merili relativne navpične pomike na dnu in vrhu etaž (slika 6b). V prvi etaži smo merili tudi relativne pomike na dnu etaže na dolžini 20 cm. Z merilnimi lističi smo merili deformacije v spodnji in zgornji armaturi plošč, in sicer v območju odprtin levo in desno od slopov sten (slika 6c). Na dnu prve etaže smo z merilnimi lističi merili tudi deformacije navpične armature v slopih sten.

Poleg mehanskih naprav smo za registracijo deformacij uporabili optične merilne naprave, in sicer dve hitrosnemalni kameri, s katerima smo zajemali 70 slik na sekundo. Na ta način smo merili deformacije zunanjih ploskev sten v prvi etaži.

veno odstopal od mehanizma konzolnih sten (glejte sliki 2 in 8). Plošče so levo in desno steno v posamezni osi močno povezale in ustvarile povezano steno z dvema slopoma in eno vrsto odprtin, v kateri se je ustvaril močen okvirni učinek (glejte tudi diskusijo v uvodnem poglavju). Bistvena posledica tega učinka je bila variacija osnih sil v posameznih slopih, zaradi katere

## 3 • ODZIV PREIZKUŠANCA

### 3.1 Glavne značilnosti odziva

Odziv je bil pretežno elastičen približno do testa R120. Prve razpoke smo v stenah in v plošči prve etaže (na stiku s stenami) zaznali pri testu R030. Ko smo intenziteto vzbujanja povečali, so se razpoke odprle tudi v drugi in tretji etaži. Razpoke v ploščah so bile pravokotne na smer sten (potekale so v smeri E-W, oziroma vzhod-zahod; glejte sliko 6). Najprej smo jih zaznali v območju stika s stenami, in sicer na obeh straneh odprtin. Z večanjem intenzitete obtežbe so se razpoke postopoma razširile po širini plošče med stenami in na previsnih delih (slika 7). Bile so jasno vidne tako na zgornji kot tudi na spodnji strani plošč.

Stene so se najprej poškodovale na stiku s temelji. Kasneje smo razpoke zaznali tudi višje, in sicer do višine 1 m nad temelji (slika 8 levo). Stene so najprej razpokale na zunanjih robovih (nasproti odprtini). Potem so se razpoke postopoma širile proti odprtini (notranjemu robu sten). Njihov raspored je bil izrazito nesimetričen in bistveno drugačen od križnega rasporeda, ki je tipičen za konzolne stene (prosimo, primerjajte sliki 8 levo in desno).

Pri testu R120 je odziv postal nelinearen. Razpoke so se razširile po celi širini plošče.

Njihova širina se je vidno povečala. Spodnja in zgornja armatura plošč se je plastificirala. Efektivna širina plošč je bila enaka celotni širini plošče. Dosežena je bila upogibna nosilnost plošč. Zaradi tega je odziv bist-



Slika 7 • Razpoke na zgornji in spodnji strani plošč so se razširile po celotni širini plošč pravokotno na smer sten.



Slika 8 • Razpoke v stenah testirane konstrukcije (levo), razpoke, ki so značilne za konzolne stene (desno).

je bil odziv nateznega in tlačnega slopa v posameznem trenutku odziva bistveno drugačen.

Glede na to, da se je pri odzivu izkazalo, da sta bili steni v posamezni osi medsebojno močno povezani in je bil njun odziv primerljiv

silo, so se razpoke odprle do približno višine 1 m od nivoja temeljev. V desnem slopu, ki je bil tlačno obremenjen, so bile poškodbe večinoma omejene na dno stene. V zadnjih dveh testih R150(1) in R150(2) so bile nelinearne deformacije jasno razvidne, različen



Slika 9 • Odziv dveh slopov ene stene je bil bistveno drugačen (levo), v močno tlačno obremenjenem slopu se je navpična armatura uklonila (desno).

z odzivom povezane stene z odprtino, bomo v nadaljevanju prispevka namesto o štirih stenah govorili o dveh povezanih stenah.

Odziv posameznih slopov ene stene (natezno in tlačno obremenjenega slopa) je bil v posameznih časovnih korakih bistveno različen. To je razvidno s slike 9, kjer je prikazan odziv, zabeležen z optičnim sistemom v enem trenutku preiskave. Oranžno rdeče obkrožena polja predstavljajo razpoke. V levem slopu, ki je bil obremenjen s precejšnjo natezno osno

odziv slopov sten pa viden s prostim očesom. Opazili smo znatno zibanje natezno obremenjenih slopov ter uklon palic navpične armature v močno tlačno obremenjenih slopih.

### 3.2 Globalni parametri odziva

V nadaljevanju so prikazani globalni parametri odziva testiranih sten. Ovojnice izmerjenih vodoravnih pospeškov in horizontalnih pomikov v smeri vzbujanja (N-S, glejte sliko 6) so prikazane na sliki 10. Prikazane so povprečne vrednosti pospeškov, izmerjene v dveh nasprot-

nih vogalih plošč (slika 6a). Histerezni odziv, zabeležen v vseh testih, ki je predstavljen z zvezo med pomikom na vrhu preizkušanca in celotno prečno silo ob vpetju, je prikazan na sliki 11. Celotna prečna sila ob vpetju je določena na osnovi povprečnih pospeškov v ploščah.

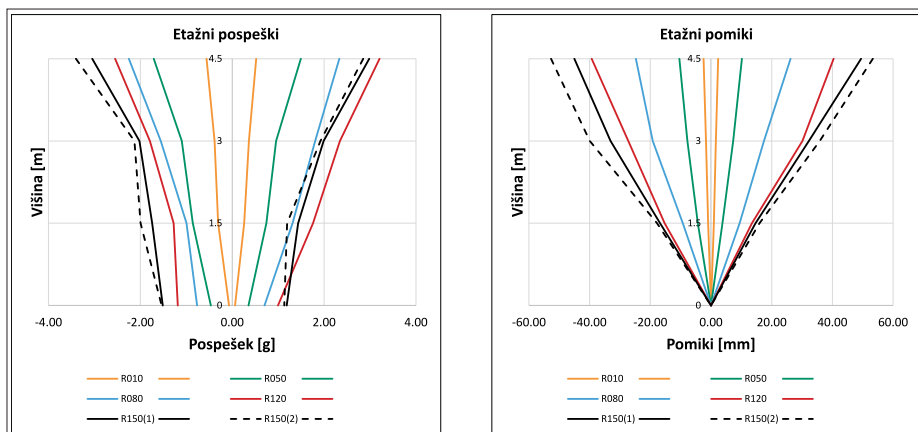
Največji pospešek je znašal 3,4 g in je bil izmerjen na vrhu preizkušanca v testu R150(2), v katerem je znašal največji pospešek na mizi 1,5 g. Treba je pripomniti, da je bila takšna vrednost dosežena le v enem časovnem koraku. Ostali lokalni maksimumi pospeškov so se večinoma gibali okoli 1 g, kar ustreza vrednosti 0,4 g v prototipu.

Maksimalni vodoravni pomik na vrhu stavbe je bil tudi dosežen v testu R150(2). Znašal je 5,3 cm. To ustreza 1,1% povprečnem zasuku stene.

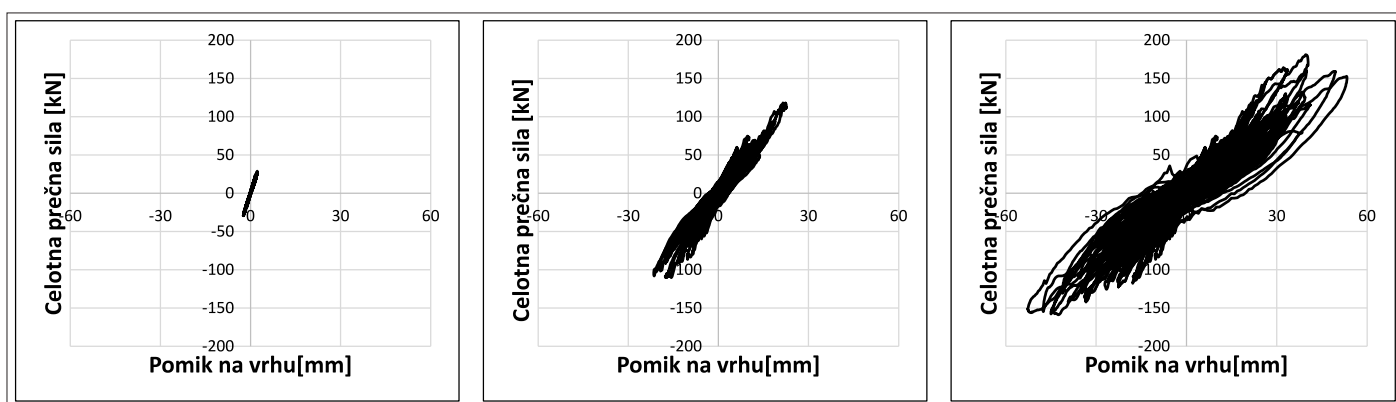
Potek pomikov po višini konstrukcije jasno kaže na pomembno povezanost sten s ploščami. Pretežno linearna deformacijska linija po višini konstrukcije je po obliki med defor-

macijsko linijo upogibne konzole in strižnega nosilca (okvirja).

Zveza med pomikom na vrhu preizkušanca in celotno prečno silo ob vpetju na sliki 11 desno potrjuje ugotovitve pri izvedbi eksperimenta, in sicer da je bil odziv konstrukcije v zadnjih testih nelinearen. S slike 11 je razvidno, da se je učinkovita togost konstrukcije postopno zmanjševala. Vrednosti nihajnih časov, ki smo jih ocenili na osnovi učinkovite togosti, določene iz zvez, prikazanih na sliki 11, se do-



Slika 10 • Ovojnice izmerjenih pospeškov (levo) in vodoravnih pomikov (desno).



Slika 11 • Histerezni odziv v testih R010 (levo), R060 (sredina), R150(2) (desno).

bro ujemajo z izmerjenimi vrednostmi (glejte tudi poglavje 2.3).

### 3.3 Ocena stopnje povezanosti slopov sten in diskusija o rezultatih testov

Stopnjo medsebojne povezanosti slopov sten smo ocenili glede na delež prevrnitvenega momenta, ki so ga prevzeli posamezni slopi s svojo upogibno nosilnostjo, in delež, ki ga je prevzel okvir, sestavljen iz sten in plošč. Slednjega smo določili kot moment, ki ga glede na težišče povezanih sten (na sredini odprtine) povzročajo osne sile v posameznih slopih sten. Te sile so enake vsoti prečnih sil v vseh treh ploščah (glejte sliko 2b, kjer je predstavljen mehanizem odziva povezanih sten). Prečne sile v ploščah so odvisne od upogibne nosilnosti plošč. Slednja je odvisna od armature v plošči in sodelujoče širine plošč, ki je bila v obravnavnem primeru enaka celotni širini plošče (upoštevajoč steni v obeh oseh).

Kako smo določili stopnjo povezanosti slopov sten bomo prikazali na primeru testa R150(2) in sicer za primer enega izmed časovnih korakov, v katerem je prišlo do plastifikacije navpične armature v slopih sten,

oziroma je bila dosežena njihova upogibna nosilnost.

Prevrnitveni moment, ki ga je potresni vpliv povzročil na konstrukciji, smo ocenili na osnovi inercialnih sil, določenih iz povprečnih pospeškov, ki smo jih izmerili v ploščah. Te vrednosti smo pomnožili s pripadajočo maso, ki je bila enaka vsoti mase plošče in pripadajoče mase slopov sten. Momente ob vpetju, ki so jih povzročile inercialne sile v posameznih etažah, smo sešteli in tako določili prevrnitveni moment.

Na začetku analize osnih sil v slopih sten nismo poznali. Zato smo upogibno nosilnost slopov sten najprej izračunali pri osni sili zaradi navpične obtežbe, ki je v vsakem slopu znašala  $N_g = 20$  kN. Vsota upogibnih nosilnosti obeh slopov ene stene je znašala 140 kNm (70 kNm na en slop). Upoštevali smo, da vsaka stena prevzame polovico prevrnitvenega momenta, ki je znašal 270 kNm. Iz teh podatkov smo ocenili, da je del prevrnitvenega momenta, ki ga je prevzel okvir, sestavljen iz sten in plošč, znašal  $M_{FA} = 270$  kNm - 140 kNm = 130 kNm (razlika med vrednostjo prevrnitvenega momenta in upogibno nosilnostjo slopov stene).

To naprej pomeni, da bi potresna obtežba v slopih sten povzročila osne sile

$N_E = \pm M_p / x_T = \pm 130$  kNm / 1,25 m =  $\pm 104$  kN (glejte sliko 2(b)). V enem slopu je ta sila bila natezna, v drugem pa tlačna. Tako je osna sila v nateznem slopu znašala  $N = N_g - N_E = 20 - 104 = -84$  kN (nateg), v tlačnem pa  $N = N_g + N_E = 20 + 104 = 124$  kN (tlak).

S tako ocenjenimi osnimi silami smo ponovno določili upogibne nosilnosti posameznih slopov sten. V nateznem slopu je upogibna nosilnost znašala 35 kNm, v tlačnem pa 100 kNm. Navkljub veliki spremembi upogibnih nosilnosti v posameznih slopih se njuna vsota ni bistveno spremenila in je znašala

135 kNm (začetna vrednost je bila 140 kNm). To niti ni tako presenetljivo, saj se upogibna nosilnost pri obravnavnem razponu osnih sil spreminja proporcionalno osni sili. Približno za toliko, kolikor se je zmanjšala osna sila in upogibna nosilnost v natezno obremenjenem slopu, sta se povečali osna sila in upogibna nosilnost v tlačno obremenjenem slopu.

Ponovno smo izračunali del prevrnitvenega momenta, ki ga prevzame okvir:

$M_p = 270$  kNm - 135 kNm = 135 kNm oziroma 50% prevrnitvenega momenta.

To je bistveno več, kot je zgornja meja (25% prevrnitvenega momenta), pri kateri Evrokod 8 (SIST, 2005) loči konzolne stene od povezanih sten. Torej bi bilo smotno testirane stene obravnavati kot povezane navkljub ustaljeni praksi, kjer velja mnenje, da plošče brez gred ne morejo slopov sten bistveno povezati oziroma da lahko takšne stene analiziramo kot konzolne. Z modelom konzolnih sten pa lahko bistveno podcenimo predvsem strižne sile in tlačne obremenitve v posameznih slopih sten, kar lahko privede do poškodb in krhkih načinov porušitve, podobnih tistim, ki

so bili registrirani v potresih v Čilu in na Novi Zelandiji.

Med glavnimi razlogi za močno povezanost slopov sten je precejšnja sodelujoča širina plošče, ki je vplivala tako na precejšnjo togost kot tudi na precejšnjo upogibno nosilnost plošče. To ima neposreden vpliv na velikost osnih sil v slopih sten oziroma na del prevrnilnega momenta, ki ga prevzame okvir, sestavljen iz slopov sten in stropov.

Strižne, tlačne in natezne obremenitve robov sten težko zanesljivo ocenimo tudi z elastičnimi modeli z lupinastimi končnimi elementi. Tudi sicer velja, da v splošnem z elastično analizo brez specializiranih postopkov projektiranja težko zanesljivo ocenimo vplive v povezanih stenah pri potresni obteži. Težava je predvsem v ustreznem modeliranju sprememb razmerja togosti med posameznimi konstrukcijskimi deli teh sten, upoštevanju vpliva nosilnosti plošč na zapleten odziv celotnega sistema in ustreznem

modeliranju prerazporeditev vplivov med slopi sten in ploščo. Na te prerazporeditve predvsem vpliva spremenljiva sodelujoča širina plošč, ki se z večanjem intenzitete potresne obtežbe postopoma večja.

Trenutno na UL FGG potekajo intenzivne raziskave potresnega odziva povezanih sten, katerih namen je določiti primeren postopek za projektiranje, ki bi zagotavljal ustrezno potresno varnost takšnih konstrukcij, pri tem pa bil primeren tudi za vsakdanjo prakso.

## 4 • ZAKLJUČKI

Na potresni mizi smo opravili preizkus tri-etažnega preizkušanca v velikem merilu, in sicer s ciljem, da preučimo vpliv stropov na potresni odziv posamičnih sten, povezanih le z gladkimi etažnimi ploščami. Preizkušanec je bil sestavljen iz štirih sten pravokotnega preseka, ki so bile v višini etaž povezane samo z gladkimi ploščami brez gred.

Tradicionalno bi pri projektiranju takšne konstrukcije za vpliv potresne obtežbe upoštevali numerični model, ki je sestavljen iz štirih konzolnih sten. Pri tem bi predpostavili, da so plošče s stenami povezane s fizičnimi upogibnimi členki, v katerih so upogibni momenti nič, saj bi izhajali iz predpostavk, da sta tako togost plošč kot tudi kapaciteta plastičnih členkov v ploščah na stiku s stenami zanemarljivo majhni. Z drugimi besedami – predpostavili bi, da etažne plošče lahko posamezne slope sten povežejo le v horizontalni ravnini (delujejo le kot toga diafragma) ter da njihova upogibna togost in nosilnost ne vplivata bistveno na odziv celotnega sistema.

Navkljub takšnemu splošno uveljavljenemu mnenju je eksperiment pokazal, da tudi plošče brez gred lahko pri podobnih konfiguracijah (s povezanimi vitkimi stenami) stene

bistveno medsebojno povežejo, tako da se ustvari razmeroma močen okvir, v katerem imata upogibna togost in nosilnost plošč pomembno vlogo za celoten potresni odziv. Oziroma da je lahko kapaciteta plastičnih členkov v ploščah na stiku z gredami dovolj velika, da plošče posamezne slope sten močno povežejo, tako da se odzivajo kot ena povezana stena.

V obravnavnem primeru je moment, ki ga je konstrukcija prevzela z okvirno povezavo med stenami in ploščami, znašal približno 50 % prevrnilnega momenta, kar je dvakrat več od zgornje meje, ki jo Evrokod postavlja kot mejo, pri kateri lahko stene obravnavamo kot konzolne.

Zaradi tega je bil odziv bistveno drugačen od tistega, ki je značilen za konzolne stene. Pri močni potresni obtežbi se je močno natezno obremenjeni slop stene vidno zibal okoli notranjega vogala (ob odprtini). Na močno obremenjenem tlačnem robu tlačno obremenjenega slopa se je uklonila vogalna armatura (na strani nasproti odprtine). Razpoke so bile bistveno drugače razporejene od križnih razpok, ki so značilne za konzole stene.

Po končanih testih so bile vse plošče vidno poškodovane, še zlasti v prvih dveh etažah, kjer sta se plastificirali zgornja in spodnja armatura. Razpoke so se razširile po celi širini plošč. Poškodbe so bile pretežno upogibne. Sodelujoča širina plošč je bila enaka celotni širini plošč, kar je bil eden izmed glavnih razlogov za močno povezanost slopov sten.

Eksperiment je potrdil navedbe nekaterih drugih eksperimentov iz literature, da lahko pri določenih konfiguracijah sten že samo plošče brez gred stene razmeroma močno povežejo v okvir. V takšnih primerih z obstoječimi postopki analize, ki temeljijo na elastičnih metodah in modelih, težko zanesljivo ocenimo potresne zahteve, kar lahko povzroči krhko strižno porušitev ali krhko porušitev zaradi močnih tlačnih obremenitev vogalov sten, ki jo povzroči uklon vzdolžne armature in posledično njen pretrg.

Sistematične raziskave, ki bi eksplicitno raziskale povezanost sten s stropnimi sistemi, trenutno niso na voljo. Eksperimenti, ki smo jih predstavili v članku, predstavljajo začetni korak takšnih raziskav, ki jih skupaj z mednarodnimi partnerji trenutno izvajamo na UL FGG, katerih končni cilj je definirati primerno metodologijo za projektiranje povezanih sten.

## 5 • ZAHVALA

Testi, predstavljeni v članku, so bili narejeni v okviru projekta HORIZONT SERA-TA »Influence of the floor-to-wall interaction on the seismic response of coupled wall systems«.

## 6 • LITERATURA

Alvarez R., Restrepo J.I., Panagiotou M., Santhakumar R.A., Truss Model for analysis of reinforced concrete coupled structural walls, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17: 6419–6436, 2019.

Boroschek R., Bonelli P., Restrepo J., Retamales R., Contreras V., Lessons from the 2010 Chile earthquake for performance based design and code development, Performance-based seismic engineering: vision for an earthquake resilient society (ISSN 1573-6059, vol. 32). Dordrecht (etc.): Springer, 143–157, 2014.

SIST, SIST EN 1998-1:2005, Evrokod 8. Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij. Del 1, Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.

Elwood K.J., Pampanin S., Kam W.Y., Priestley M.J.N., Performance-Based Issues from the 22 February 2011 Christchurch Earthquake, Performance-based seismic engineering: vision for an earthquake resilient society (ISSN 1573-6059, vol. 32). Dordrecht (etc.): Springer, 159–175, 2014.

Fischinger M., Kante P., Isaković T., Shake-table response of a coupled RC wall with thin T-shaped piers". Journal of Structural Engineering, 143:5, 1–16, 2017.

Massone L. M., Fundamental Principles of the Reinforced Concrete Design Code Changes in Chile Following the Mw 8.8 Earthquake in 2010, Engineering Structures, 56, 1335–1345, 2013.

Nagae T., Tahara K., Matsumori T., Shiohara H., Kabeyasawa T., Kono S., Nishiyama M., Wallace J., Ghannoum W., Moehle J., Sause R., Keller W., Tuna Z., Design and Instrumentation of the 2010 E-Defense Four-Story Reinforced Concrete and Post-Tensioned Concrete Buildings, PEER Report 2011/104, 2011.

Panagiotou, M., Restrepo, J. and Conte, J., Shake-Table Test of a Full-Scale 7-Story Building Slice. Phase I: Rectangular Wall, Journal of Structural Engineering, 137:6, 691–704, 2011.

Santhakumar A.R., The ductility of coupled shear walls, Dissertation, University of Canterbury, 1974.

# PROBLEMATIKA OSKRBE S PITNO VODO V SLOVENSKI ISTRI

## PROBLEM OF DRINKING WATER SUPPLY IN COASTAL REGION OF SLOVENIA

doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.

andrej.kryzanowski@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo

in geodezijo,

Jamova 2, Ljubljana

Strokovni članek

UDK 658.265:628.1.033(497.571)

**Povzetek** | Slovenska Istra in zaledno kraško območje, kot pomembni razvojni regiji Slovenije, sta se vedno soočala s problemom zadostnih količin pitne vode, še posebej v daljših sušnih obdobjih, ki praviloma sovpadajo s turistično sezono in s tem tudi bistveno povečano porabo pitne vode. Z naraščajočimi potrebami po pitni vodi zaradi povečevanja števila prebivalstva in razvoja turizma postaja problem zagotavljanja zadostnih količin pitne vode vedno bolj pereč. V preteklih sušnih obdobjih je bil upravljavec vodooskrbnega sistema v regiji že večkrat soočen z velikimi primanjkljaji vode, ki pa jih je doslej še premostil, predvsem z dodatnimi količinami vode iz sosednjih vodooskrbnih sistemov, zlasti z uvozom vode iz sosednje Hrvaške. Zaradi naraščajoče lastne porabe v času turistične sezone postaja vse bolj vprašljiva dobava vode s hrvaške strani. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo v slovenski Istri in zalednem kraškem območju predstavlja enega od najpomembnejših prihodnjih strateških projektov upravljanja in urejanja voda v Sloveniji. Projekt oskrbe z vodo je bil zaradi pomembnosti, zahtevnosti in kompleksnosti problematike uvrščen med prioritete naloge v programu izvajanja nacionalnih projektov državne infrastrukture. Republika Slovenija je sprejela odločitev, da k rešitvi pristopi z novim, neodvisnim regionalnim vodnim virom, s katerim bo oskrba prebivalstva s pitno vodo v regiji dolgoročno rešena.

Ključne besede: akumulacija, oskrba s pitno vodo, slovenska Istra, Kras

**Summary** | The Slovenian Coast and Karst region is the largest region with water shortage, especially during prolonged dry seasons that usually coincide with the tourist season and the resulting significant increase in drinking water consumption. The growing demand for drinking water due to the population increase and economic development has made the provision of sufficient volume of drinking water a pressing issue. During the past dry periods the operator of the regional water supply system was several times confronted with major water shortages, which were successfully overcome by supplying water from neighbouring water supply systems, especially from Croatia. However, due to Croatia's own increased water needs during the tourist season, the availability of surplus water has become an issue. Due to the significance and complexity of implementation, the drinking water supply of the region is one of the priorities of the programme for the implementation of national projects of state infrastructure. In Slovenia a decision was made to approach this issue by finding a new independent regional water source that would provide a long-term solution to drinking water supply in the Coast and Karst region.

Key words: reservoir, water supply, Slovenian Coast, Karst Region

## 1 • UVOD

Slovenska Istra velja za vododeficitarno območje podobno kot praktično celotno Sredozemlje. Pri načrtovanju dolgoročne oskrbe prebivalstva s pitno vodo se srečujemo z naraščajočimi potrebami po pitni vodi zaradi povečevanja števila prebivalstva in razvoja turizma, hkrati pa je treba vse bolj upoštevati vplive podnebnih sprememb z vedno pogostejšimi in dolgotrajnejšimi ekstremnimi razmerami. Glede na zatečeno situacijo postaja problem zagotavljanja zadostnih količin pitne vode za prebivalstvo, še posebej v sušnem obdobju, vedno bolj pereč. Glavni vodni vir v slovenski Istri predstavlja reka Rižana, ki se napaja iz kraškega zaledja in je, celoletno gledano, sorazmerno dovolj vodnata. V poletnem času, ko so potrebe po vodi največje, pa presahne. Slovenska Istra je zaradi pomanjkanja lastnih vodnih virov že dolga desetletja vezana na dobavo vode iz oddaljenih virov (od leta 1970 Gradole – Istrski vodovod,

od 1994 Klariči – Kraški vodovod). Iz teh virov se v kritičnih razmerah in ob največji porabi zagotavlja celo do dve tretjini potrebne vode. Razpoložljive količine vode so ob dolgih sušah tudi na teh virih omejene, zato v kriznih razmerah oskrba s pitno vodo slovenske Istre nikakor ni zanesljiva.

Zanesljivi vodni viri so temeljni pogoj za varno oskrbo s pitno vodo. V smernicah EU za področje pitne vode je zato zelo poudarjeno, da je poleg osnovnih vodnih virov nujno zagotavljati tudi rezervne vodne vire, s čimer se zmanjšajo tveganja zaradi možnega izpada enega ali več vodnih virov (npr. onesnaženje, izjemno zmanjšanje izdatnosti). Reševanje problematike vodnih virov na vododeficitarnih območjih je še posebej zahtevno. Praviloma je treba vključevati več vodnih virov, ki morajo ob upoštevanju njihovih hidroloških in drugih specifičnih lastnosti zagotavljati količine za

skupno vodno bilanco. Smernice in predpisi za oskrbo s pitno vodo določajo, da se vodni viri načrtujejo za obdobje najmanj 50 let. Pri tem je treba upoštevati tudi vplive podnebnih sprememb z vedno pogostejšimi in dolgotrajnejšimi ekstremnimi razmerami. Slovenska Istra je zaradi naravnih danosti območje z izrazitim pomanjkanjem vode, saj Rižana kot tipično kraški in edini lastni vodni vir v obdobjih suše, ki praviloma sovpadajo z največjo porabo pitne vode, lahko zagotavlja samo tretjino količin za oskrbo s pitno vodo.

V razmerah, ki so že dolgo prisotne pri zagotavljanju potrebnih količin pitne vode, za slovensko Istro ni mogoče vzpostaviti varne vodooskrbe. Nezanosljivost in s tem povezana tveganja se v zadnjih letih ob prisotnem očitnem zmanjševanju najnižjih izdatnosti izvira, vse daljših sušah in visokih temperaturah še povečujejo. Situacija z izlivom kerozina v zaledju vodnega vira Rižana v letu 2019 je ponovno aktualizirala potrebo po zagotovitvi strateškega vodnega vira za oskrbo s pitno vodo v regiji.

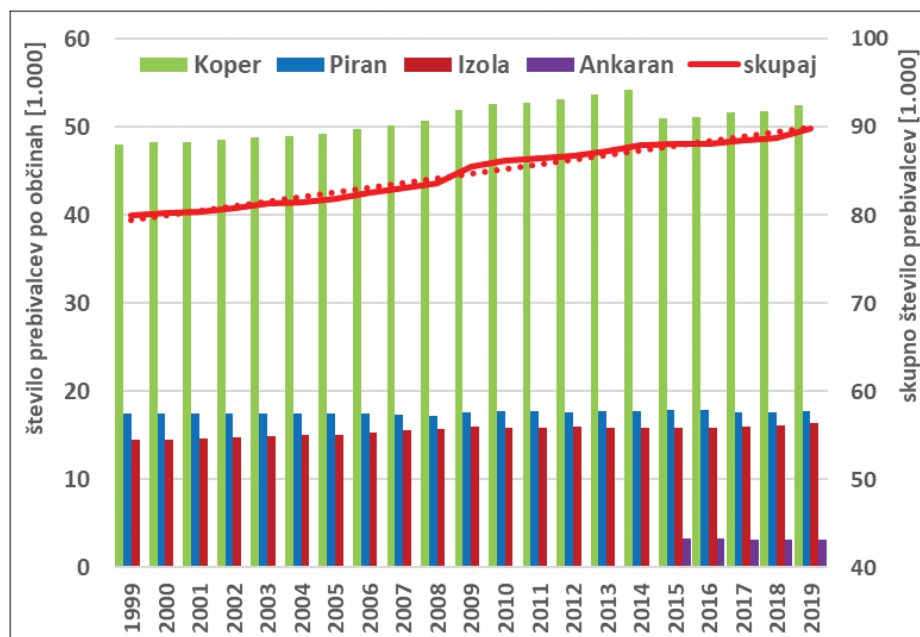
## 2 • Stanje oskrbe s pitno vodo v slovenski Istri

Rižanski vodovod Koper (RVK) oskrbuje s pitno vodo območja občin Ankaran, Izola, Koper in Piran. Pokritost oskrbe prebivalstva s pitno vodo v regiji iz javnega vodooskrbnega sistema dosega praktično polno pokritost (99,9%) z izjemo posameznih zalednih naselij v koprski občini, kjer je pa zagotovljena oskrba s pitno vodo na poziv. Na letnem nivoju predstavlja ta količina 4000 m<sup>3</sup>, ki predstavlja ustrezen delež povprečne porabe za prebivalstvo v obravnavanem obdobju. V vseh štirih obalnih občinah je leta 2019 živelo 89.814 prebivalcev. Največji delež prebivalcev na Obali živi v občini Koper (58%), sledita občini Piran (20%) in Izola (18%), najmanjši delež pripada občini Ankaran (4%). Najbolj izrazita rast prebivalstva je v občini Koper, sledi občina Izola, v občini Piran pa je rast prebivalstva najnižja. Če pogledamo gibanje števila prebivalstva v zadnjih dvajsetih letih, lahko ugotovimo, da je rast prebivalstva stalna, s približno 0,5- do 0,6-odstotno stopnjo letnega prirasta. Ta trend se bo, pričakovano, nadaljeval tudi v prihodnje (slika 1).

Register podatkov o porabi pitne vode na območju oskrbe RVK je na voljo od leta 1971. Na osnovi petdesetletnega niza po-

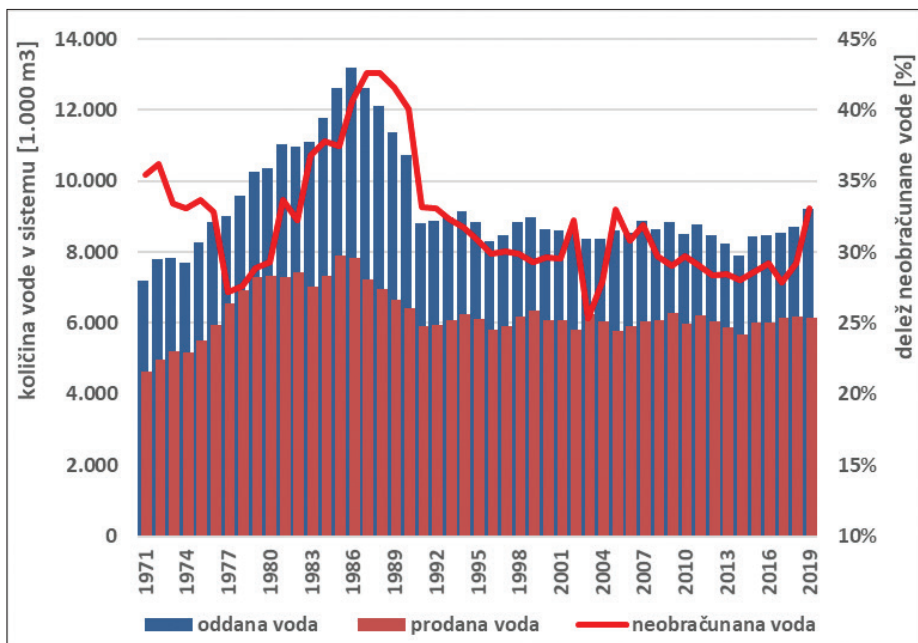
datkov o proizvedeni in oddani pitni vodi lahko razmejimo dve obdobji: prvo obdobje do leta 1990, ki je zaznamovano s strmo rastjo porabe, ki je dosegla vrh leta 1986 s 13,2 milijona m<sup>3</sup> oddane vode v sistem, kar je absolutni zgodovinski maksimum, ki mu je

sledil izrazit upad v letu 1991, ko je količina dobavljene vode padla pod 9 milijonov m<sup>3</sup>, ta razen dveh izjem v zadnjem tridesetletnem obdobju ni bila nikoli več presežena. V zadnjem obdobju je zaznaven rahel trend upada količine oddane vode v sistem. V analizah je treba upoštevati tudi t. i. izgube oziroma neobračunano vodo, ki predstavljajo razmerje med prodano in oddano vodo v sistem. De-



Slika 1 • Rast prebivalstva v slovenski Istri.





Slika 2 • Prikaz deleža med oddano in prodano vodo v sistemu RVK.

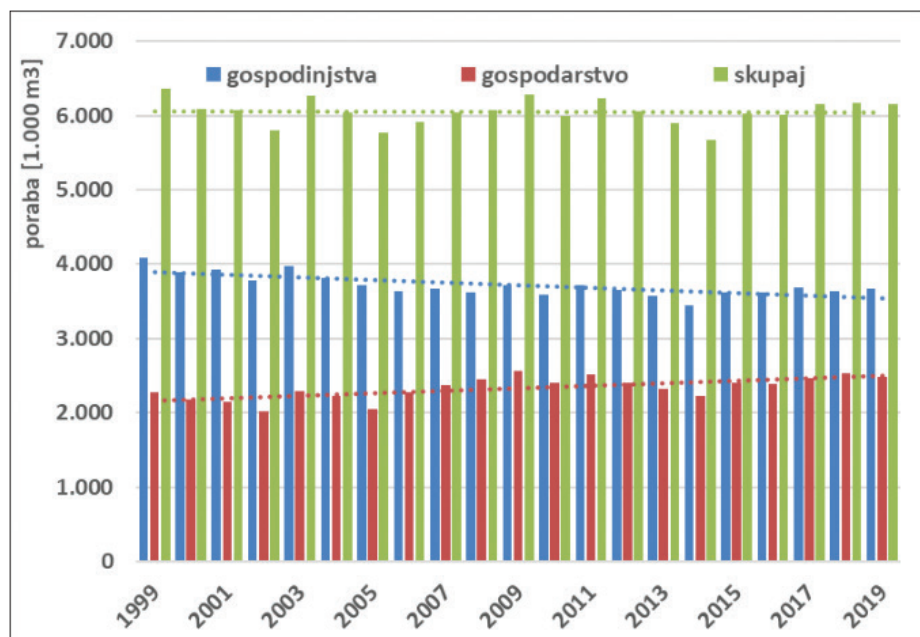
janjsko določene količine vode ne pridejo do uporabnikov predvsem zaradi dveh razlogov. Prvič, zaradi izgub v dovodnih sistemih, ki so posledica dotrajanosti materiala, nepravilnosti pri priključevanju uporabnikov, neustreznosti pri upravljanju sistema. To so tisti razlogi, ki se jih da z organizacijskimi ukrepi in izboljšavami v sistemu zmanjšati na sprejemljivo raven. V drugem sklopu pa so zaobjete vodne količine, ki so potrebne za zagotavljanje tehnološkega procesa priprave pitne vode in se jim ne moremo izogniti. Najbolj občutne razlike med oddano in obračunano vodo so bile v obdobju rasti porabe v osemdesetih letih, ko so izgube v sistemu presegle 40%. V zadnjem obdobju se delež t. i. neobračunane vode stalno zmanjšuje, predvsem na račun vlaganj v hidravlične izboljšave vodovodnega sistema (slika 2). V letu 2015 je bil uspešno realiziran projekt hidravlične izboljšave vodovodnega sistema RVK z namenom: (i) povečanja varnosti in zanesljivosti oskrbe s pitno vodo; (ii) izboljšanja tlačnih razmer in hidravličnih parametrov vodovodnega sistema; (iii) zmanjšanja vodnih izgub; (iv) zmanjšanja števila okvar na cevovodih in s tem interventnih popravil, motenj in stroških popravil; (v) izboljšanja nadzora nad obratovanjem in izboljšanja požarne varnosti. Povprečna vrednost neobračunane vode v zadnjem obdobju znaša 29,5% oddane vode v sistem, kar je nekako v okvirih razvojnih ciljev RVK. V obravnavanem obdobju se je delež neobračunane vode

dolgoročno zmanjševal s približnim trendom upada -0,1% na leto. Zmanjševanje deleža neobračunane vode v sistemu gre iz naslova izvajanja ustrezne politike kakovosti RVK, ki obsega izvajanje preventivnega vzdrževanja, vgradnjo kvalitetnih materialov, uvajanje stalnega monitoringa porabe, upravljanje in nadzor sistema iz enega centra, opravljene analiz delovanja sistema in stalno kalibracijo merilnih instrumentov.

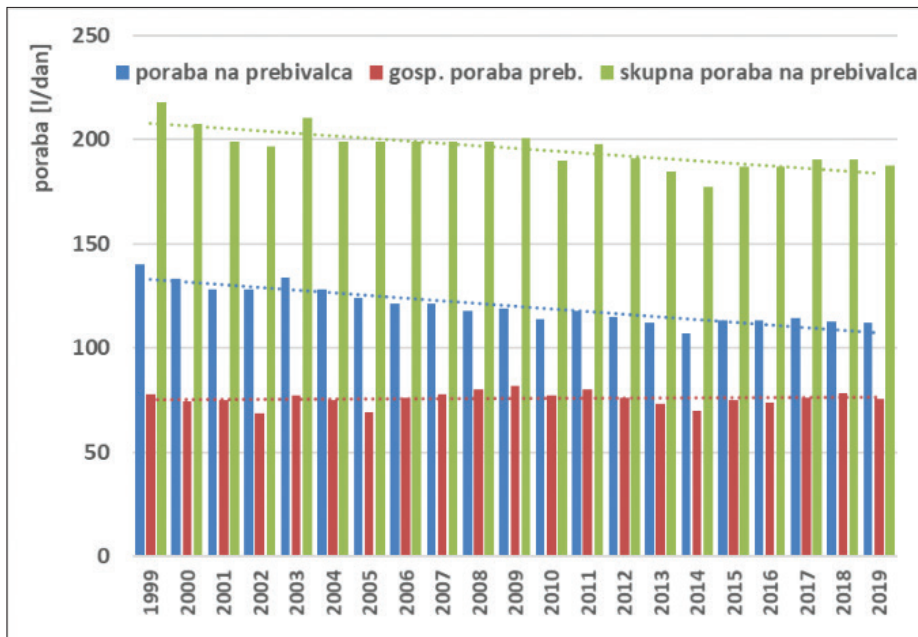
Dejanska porabljena voda v sistemu RVK, ki je tudi evidentirana in plačana, je vodena

ločeno za gospodinjstva in za gospodarstvo. Slednje se nadalje deli še glede na velikost odvzema na velike potrošnike, pri katerih odvzem presega 4000 m<sup>3</sup>/leto in male potrošnike, ki te meje ne presegajo. V zadnjem dvajsetletnem obdobju je več ali manj ohranjeno razmerje med deleži, ki ga predstavljajo gospodinjstva z 61% in gospodarstvo z 39%. V okviru gospodarstva je delež velikih uporabnikov 56%, malih uporabnikov pa 44%. Iz primerjave podatkov je razvidno, da je bila skupna poraba vode v celotnem obdobju bolj ali manj enakomerna, z rahlo zaznavnim trendom rasti, pri čemer je pri gospodinjstvih zaznaven trend upada porabe vode v celotnem obdobju. Pri gospodarstvu je nasprotno zaznan trend rasti porabe vode. Ta trend gre predvsem na račun malih potrošnikov, pri katerih je izrazit trend porasta porabe, pri velikih potrošnikih pa je zaznan negativen trend porabe vode (slika 3).

Povprečna dnevna poraba vode na prebivalca v obdobju je znašala 118 l/dan in se zmanjšuje ne glede na zabeleženo porast prebivalstva v obdobju. Povprečna dnevna poraba vode v gospodarstvu v obdobju, preračunana na prebivalca, znaša 76 l/dan in se povečuje. Če upoštevamo skupno porabo v obdobju, preračunano na prebivalca, znaša povprečna vrednost porabe 194 l/dan, pri čemer pa je skupni trend dnevne porabe vode na prebivalca v obdobju v upadu (slika 4).



Slika 3 • Dejanska poraba vode v obdobju 1999–2019 po sektorjih.



Slika 4 • Poraba vode na prebivalca v obdobju 1999–2019 po sektorjih.

### 3 • Vodni viri

Vodooskrbni sistem RVK napajajo naslednji vodni viri: Rižana, Klariči (Kraški vodovod), Gradole (Istrski vodovod) in Sečovlje.

#### 3.1 Vodni vir Rižana

Reka Rižana je najpomembnejši vodni vir za oskrbo prebivalstva s pitno vodo v sistemu RVK. Rižana je tipična kraška reka z izrazitimi nihanjem pretokov, ki imajo sezonski značaj. Določeni srednji pretok znaša 4,08 m<sup>3</sup>/s. Izrazit maksimum pretokov dosega v jesenskem času, bolj enakomerne pretoke v zimskem in spomladanskem času in izrazit nižek v poletnih mesecih, ko doseže minimum pretokov v juliju (slika 5). Osnovni zajem vode za potrebe vodooskrbe se izvaja na izviru reke Rižane z gravitacijskim odvzemom iz zajetja Zvorček v dovoljeni količini do največ 600 l/s, pri tem pa je treba upoštevati pogoj za zagotovitev ekološkega stanja pod izvirov v višini 176 l/s. V času manjše izdatnosti zajetja, ko pade pretok v zajetju Zvorček pod 176 l/s, se dodatno vključijo črpališča v Tonažih, kjer so vgrajene tri vodnjaške črpalke različne kapacitivnosti (ena z 250 l/s in dve po 50 l/s), ki zajemajo vodo iz kraških razpoklinskih vodonosnikov reke Rižane v dovoljeni količini do največ 350 l/s. V obdobju nizkih pretokov Rižane je treba vzdrževati ekološko sprejemljiv pretok in po potrebi vračati del načrpane vode nazaj v strugo reke za vzdrževanje »biološkega mini-

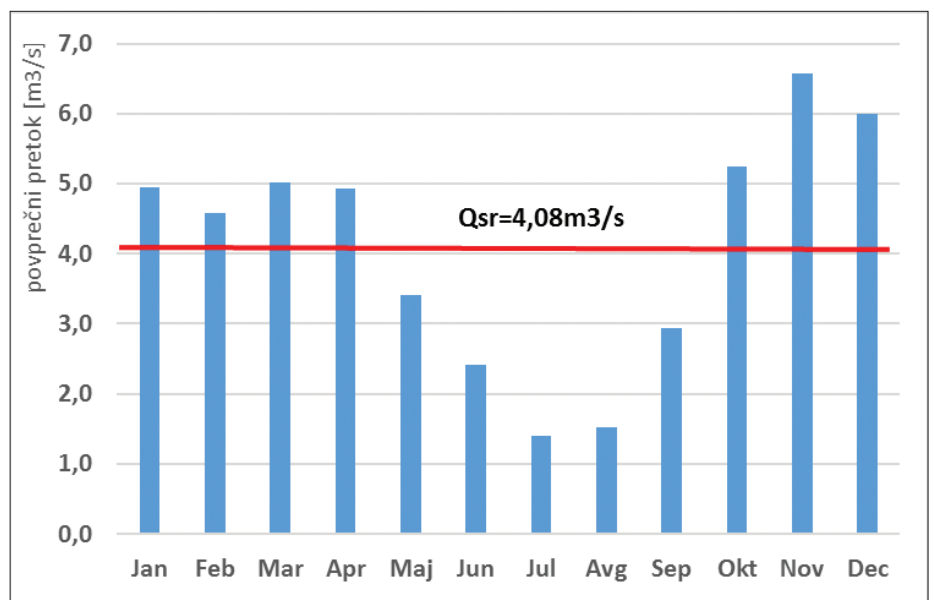
muma« v višini najmanj 110 l/s. Po upravnih dovoljenjih za izkoriščanje vode Rižane je maksimalni letni dovoljeni odzjem vode 7,5 milijona m<sup>3</sup>, ki se deli po ključu med obalne občine.

Odvzeta surova voda iz zajetja se po cevovodu dovaja na čistilno napravo v Cepkih (vodarno Rižana), kjer se s postopkom ultrafiltracije vodo prečisti in preventivno doda

sredstvo za dezinfekcijo ter hrani v vodohranu (VH) Rižana (s prostornino 5000 m<sup>3</sup>), iz katerega se voda prečrpava v višje tlačne cone (Škofije, Hrvatini, Dekani, Črni Kal) in gravitacijsko preko magistralnega cevovoda dovaja v Koper in Izolo, kjer se s prečrpavanjem v črpališču San Simon distribuira naprej v Portorož in Piran.

#### 3.2 Vodni vir Bužini in Gabrijeli – Sečovlje

Vodni vir Bužini predstavlja vodnjaško črpališče, ki se nahaja ob naselju Bužin. Podzemna voda se črpa iz vodnjaka globine 12



Slika 5 • Hidrogram povprečnih pretokov za reko Rižano.

m. Črpanje surove vode se izvaja s tremi črpalkami z zmogljivostjo po 40 l/s. Črpališče je s cevovodom dolžine 3 km povezano z vodarno Gabrijeli. Znotraj objekta vodarne Gabrijeli, ki se nahaja na izlivnem območju reke Dragonje, je locirano tudi vodnjaško črpališče Gabrijeli. Podzemna voda se črpa iz vodnjaka globine 2,5 m. Črpanje surove vode se izvaja z dvema črpalkama z zmogljivostjo po 60 l/s. Črpališči Bužini in Gabrijeli sta v upravljanju RVK, nahajata pa se na območju, ki je predmet arbitraže med Republiko Slovenijo in Republiko Hrvaško za določitev poteka državne meje. Vodozbirno območje, iz katerega se zbira voda v obliki podtalnice v vodnjakih Bužini in Gabrijeli, je locirano na območju sosednje Republike Hrvaške in ima določene tri vodovarstvene pasove. Vodni vir Sečovlje je bil opuščen v letu 2003

in ponovno aktiviran v letu 2012, ki je bilo zaznamovano tudi za eno značilnih sušnih hidroloških let.

### 3.3 Vodni vir Gradole

Vodni vir Gradole je v hrvaški Istri z izlivom v dolino reke Mirne. Vir je v upravljanju sosednjega Istrskega vodovoda Buzet. V skladu z medsebojno pogodbo je pravica odjema iz tega vira do 150 l/s. Iz tega vira se voda črpa v vodarno Gradole, zgrajeno leta 1970, kjer se voda prečisti ter preko magistralnega sistema oskrbuje obmorska istrska mesta in končno v VH Kaldanija prevzema v vodovodni sistem Rižanskega vodovoda. Pogodba za vir Gradole je potekla in se stalno obnavlja – trenutno je na osnovi medsebojnega dogovora RVK dolžan odkupiti najmanj 500.000 m<sup>3</sup> na leto.

### 3.4 Vodni vir Klariči

Vodni vir Klariči je v upravljanju Kraškega vodovoda Sežana in je eden glavnih virov vode za oskrbo Krasa in Obale. Nahaja se ob zaselku Klariči, ki ležijo ob vasi Brestovica pri Komnu. Vodnjaško črpališče je bilo zgrajeno 1984 in je umeščeno v vrtači tik ob državni meji z Italijo na nadmorski višini 16 m, ki je tudi najnižja točka vodovodnega sistema. Iz črpališča Klariči se voda črpa v vodarno Sela na Krasu, preko katere se z vmesnim prečrpavanjem oskrbuje celotno območje Krasa. Trenutna zmogljivost črpališča Klariči je 250 l/s. Z izgradnjo magistralnega cevovoda od vodohrana Rodik do vodarne v Rižani v letu 1993 je RVK po pogodbi pridobil možnost odjema vode do 135 l/s. Tako se tudi obalno območje, predvsem v poletnem obdobju, oskrbuje z vodo iz vodnega vira Klariči.

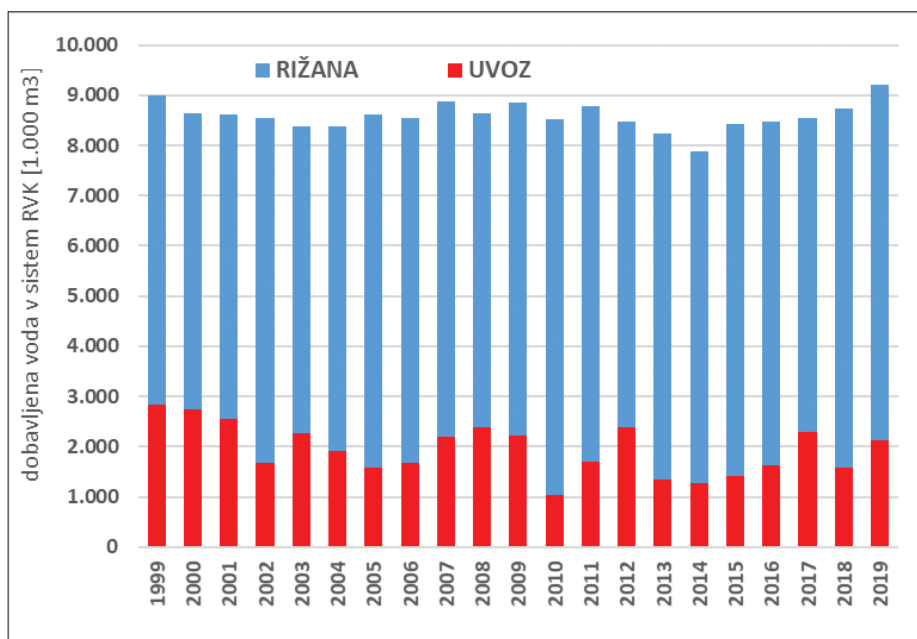
no, dobava vode iz Kraškega vodovoda pa petino vseh potreb v sistemu. V zadnjem obdobju se vse bolj izkorišča dobava iz Sečovlj s primerljivo večjim deležem porabe tudi zunaj sezone, medtem ko je delež pri ostalih virih zunaj sezone izrazito manjši v primerjavi z letnim obdobjem (slika 7). Maksimalna mesečna povprečna poraba vode v sistemu RVK je v juliju, ko znaša povprečni

## 4 • Pokrivanje potreb po pitni vodi

Povprečna količina dobavljene pitne vode v sistem RVK v obdobju 1999–2019 je znašala 8,6 milijona m<sup>3</sup>. Maksimum obdobja je bil dosežen leta 2019, in sicer je dobava znašala 9,2 milijona m<sup>3</sup>, minimum, ki je znašal 7,89 milijona m<sup>3</sup>, pa je bil dosežen leta 2014. Glavni vir pri oskrbi s pitno vodo v sistemu RVK je vodni vir Rižana, ki v povprečju zagotavlja 6,75 milijona m<sup>3</sup> oz. 78,8% deleža potreb, preostali delež vode pa je bil zagotovljen iz t. i. uvoza, povprečno 1,82 milijona m<sup>3</sup> oz. 21,2% deleža vseh potreb v obdobju (slika 6) (Kryžanowski, 2020b).

Pregled srednjih vrednosti mesečne porabe pokaže, da se glede na zunajsezonsko obdobje poraba vode v sezoni med majem in oktobrom poveča in doseže vrh v juliju in avgustu. V obravnavanem obdobju 1999–2019 je povprečna mesečna vrednost dobavljenih količin vode znašala 0,713 milijona m<sup>3</sup>, mesečni maksimum obdobja, dosežen v juliju, je znašal 0,877 milijona m<sup>3</sup> in mesečni minimum obdobja, dosežen februarja, 0,604 milijona m<sup>3</sup>. Delež oskrbe iz Rižane zunaj sezone znaša okoli 90%, preostali del oskrbe predstavlja uvoz predvsem na račun vzdrževanja stalne pretočnosti cevovodov, s čimer je zagotovljena funkcionalnost transportnih cevovodov. V letnem obdobju maj-oktober se delež Rižane pri vodooskrbi izrazito zmanjšuje in doseže svoj minimum v avgustu (53%), ko se

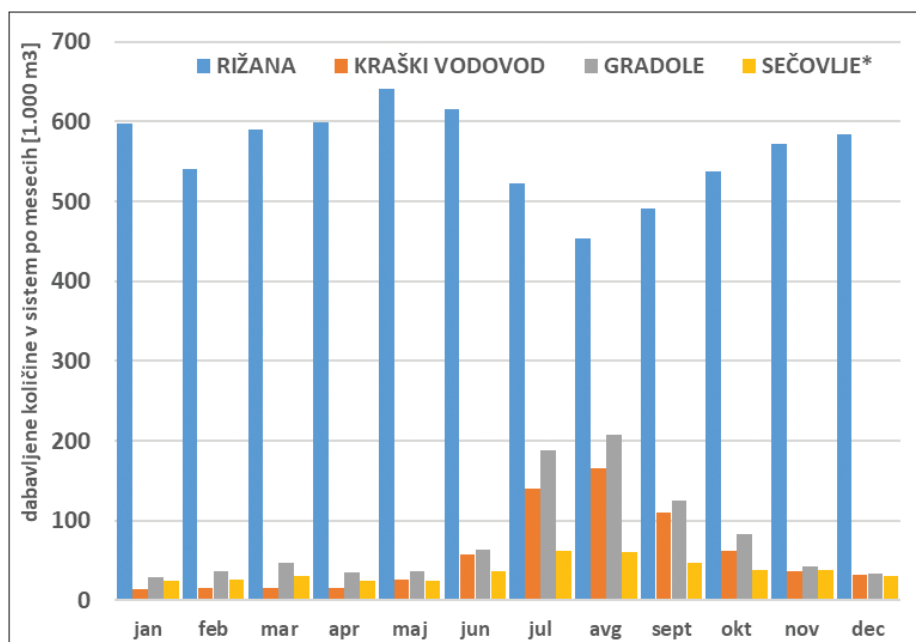
praktično izenači z uvozom, ki predstavlja skoraj 47% potreb po vodi v sistemu v tem mesecu. Bolj izrazit primanjkljaj Rižane in večje potrebe po uvozu so zaznavne še v juliju in septembru, ki se v prehodnih mesecih



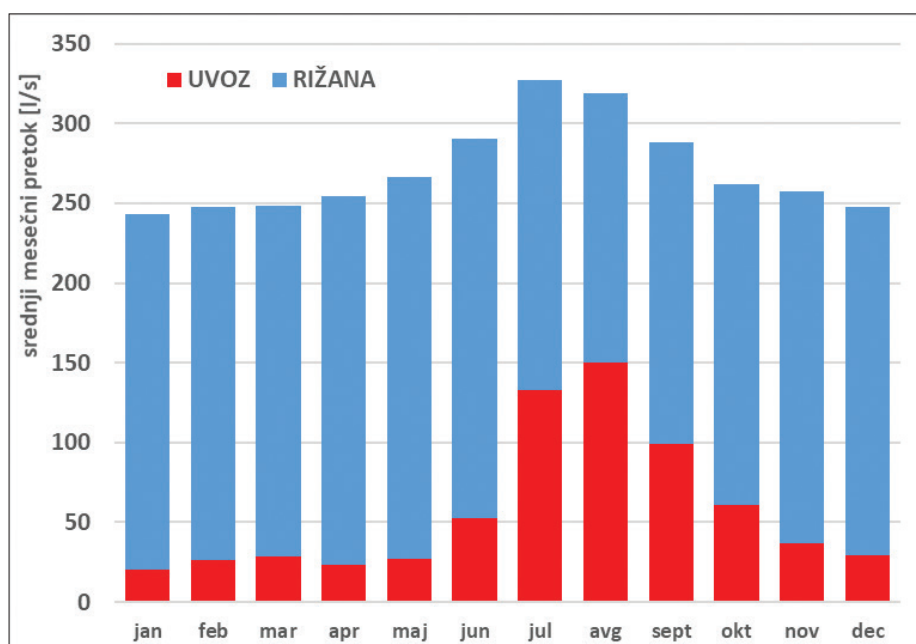
Slika 6 • Količina dobavljene vode v sistem RVK iz Rižane in uvoza.

postopoma zmanjšujejo s prehodom iz zunaj sezonskega obdobja v sezonsko. Pretežni del uvoza predstavlja dobava vode iz Gradol in Kraškega vodovoda. V avgustu zagotavlja dobava vode iz Gradol praktično eno četrti

mesečni pretok 324 l/s – od tega iz Rižane 200 l/s in iz uvoza 124 l/s. Povprečni maksimum iz uvoza je dosežen v avgustu s 148 l/s pri letnem minimumu dobave iz Rižane, ki znaša 167 l/s (slika 8).



Slika 7 • Količina dobavljene vode v sistem RVK v obdobju 1999–2019 po mesecih (za vodni vir Sečovlje je upoštevan niz 2012–2019).



Slika 8 • Povprečni mesečni pretok dobavljene vode v sistem RVK iz Rižane in uvoza.

## 5 • Napovedi porabe vode v slovenski Istri

### 5.1 Izhodišča

Napoved porabe pitne vode je bila izdelana na osnovi dejanske porabe vode v obdobju 2002–2019, z upoštevanjem trendov porabe in izhodišč iz predhodno izdelanih študij ((SI Consult, 2006), (Projekt,

2011), (Kryžanowski, 2017a), (Kryžanowski, 2020a)):

- V modelu napovedi smo za izhodiščno leto upoštevali leto 2019, kot ciljno leto pa leto 2070.
- Rast prebivalstva je stalna v okvirih pričakovanih vrednosti, ki se gibljejo

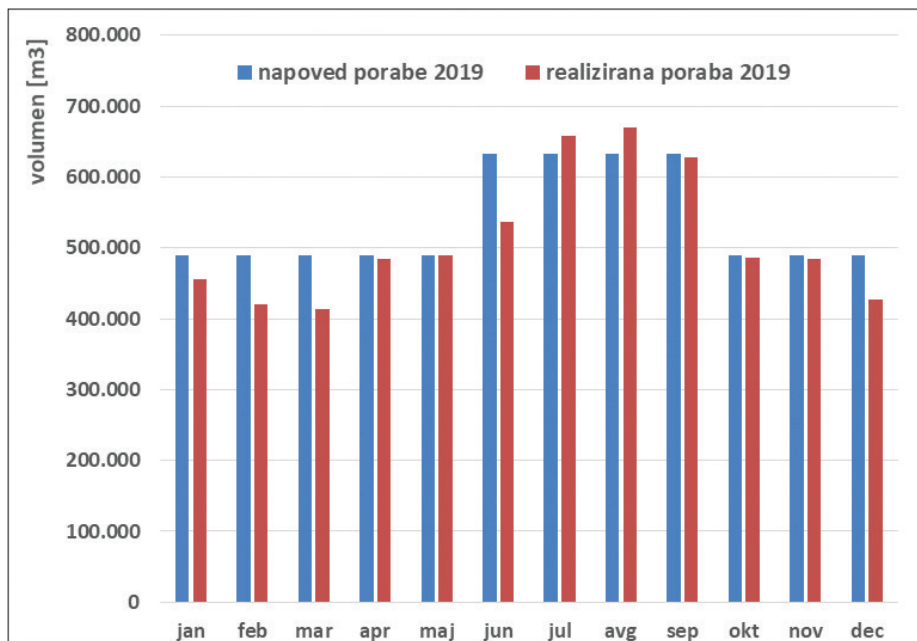
med 0,5 % in 0,6 % in so v naših modelih napovedih privzete kot referenčne vrednosti.

- Turizem obravnavamo ločeno (povzeto po (SI Consult, 2006)) z upoštevanjem fiksne števila turistov skozi vso poletno sezono (20.000) in zunaj sezone (5000). Kot variantna je dopuščena možnost, da se število turistov indeksira z enako stopnjo rasti kot prebivalstvo.

- Računska dnevna poraba na prebivalca (110l/s) in turista (170l/s) je določena na osnovi študije (SI Consult, 2006) in se dobro ujema tudi z dejanskimi dnevnimi pretoki (112l/s) v izhodiščnem letu 2019. V sezoni je treba upoštevati še računski faktor (1,1) povečanja porabe.
- Pri opredelitvi konične porabe je treba upoštevati še računski faktor povečanja porabe v sezoni (1,3) in zunaj sezone (1,2).
- Računska dnevna poraba na prebivalca v gospodarstvu je bila določena na osnovi dejanskih razmerij med porabo vode v gospodinjstvih in gospodarstvu iz obravnavanega obdobja. Vrednosti računске dnevne porabe so nižje kot v študiji (SI Consult, 2006) ter znašajo 60l/s zunaj sezone in 65l/s v sezoni. Zmanjšanje gre predvsem na račun obravnavanja turistov kot posebne kategorije.
- Delež neprodane vode je določen na osnovi povprečja obdobja (29,5 %) in je privzet kot izhodiščna vrednost za leto 2019. Glede na dinamiko znaša pričakovana letna stopnja zmanjšanja izgub v sistemu 0,1 %.
- Obdobje višje porabe oziroma sezona je v modelu upoštevana med junijem in septembrom (4 meseci), preostanek leta je obravnavan kot zunajsezonsko obdobje (8 mesecev).

### 5.2 Preveritev privzetih izhodišč

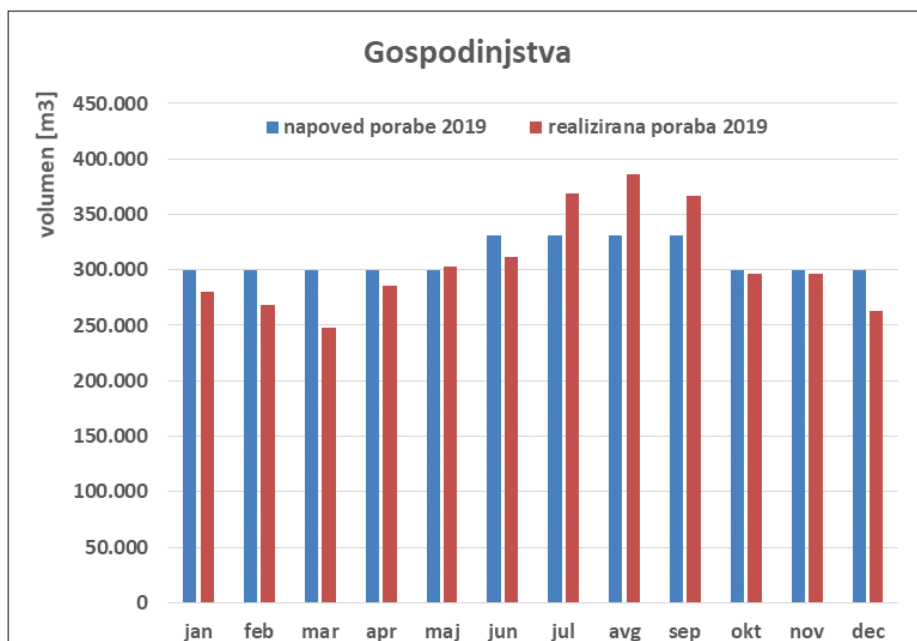
Glede na privzeta izhodišča smo najprej naredili primerjave med računskim modelom in dejansko realizirano proizvodnjo za izhodiščno leto 2019. V analizi smo upoštevali samo oddano vodo brez izgub. Rezultati primerjalne analize so prikazani na sliki 9, v kateri smo primerjali količine prodane vode in računsko določene količine po mesecih. Ujemanje dejanskih in računskih količin med letom je zadovoljivo. Za leto 2019 so računске količine v povprečju za 5 % višje od dejanskih količin, kar pomeni, da smo z računskim modelom na varni strani. Predvsem v prehodnem obdobju (april–maj in oktober–november) je doseženo presenetljivo dobro ujemanje med računskimi in dejanskimi vrednostmi, razlika je v korist računski porabi, vendar pod 1 %. V vsem obdobju zunaj sezone so računске vrednosti po mesecih za okoli 7 % višje kot dejanske količine, kar je posledica tega, da je dejanska poraba v zimskih mesecih nizka. V sezoni (junij–september) dejanske vrednosti porabe ne odstopajo bistveno od napovedi (manj kot 2 % v korist napovedi), čeprav so mesečna odstopanja bolj izrazita ( $\pm 14\%$ ), kar pa je posledica tega, da smo v



Slika 9 • Primerjava računskih rezultatov in dejanske porabe vode v sistemu RVK za izhodiščno leto 2019.

modelu napovedi upoštevali, da traja sezona štiri mesece – dejansko traja le tri mesece. Bilančno gledano, znaša odstopanje med računsko in dejansko izmerjeno porabo v celotnem analiziranem obdobju okoli 4 % v

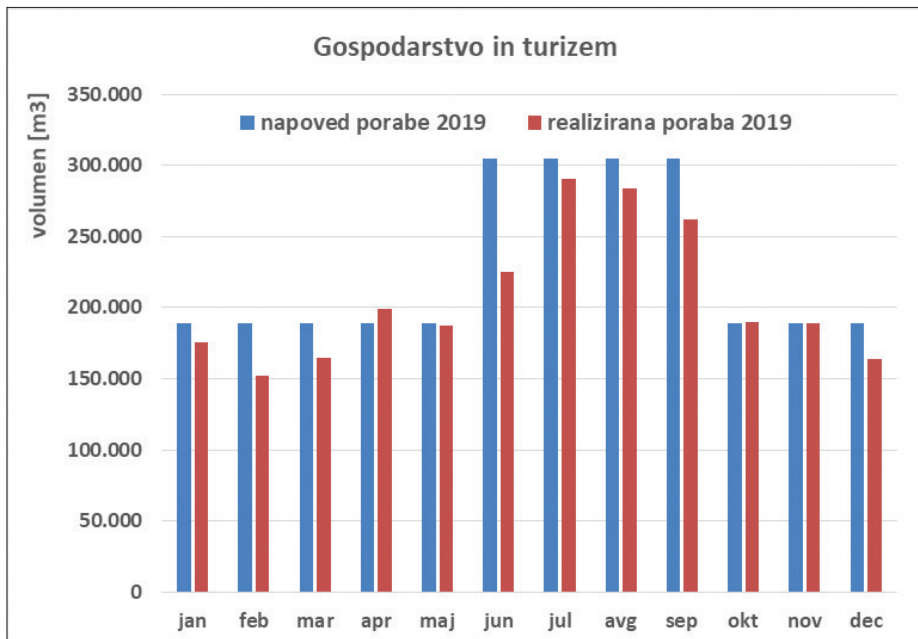
kot so lahko: nenačrtno povečanje porabe v sezoni, povečanje izgub v sistemu, tehnološki razlogi ipd. Nadalje smo analizirali mesečno porabo po sektorjih, kjer lahko vidimo, da so tako pri sektorju porabe vode v gospodinjstvih



Slika 10 • Prikaz računskih rezultatov in dejanske porabe vode v sistemu RVK za gospodinjjski sektor za izhodiščno leto 2019.

korist računski porabi, kar pomeni, da smo z napovedmi v vseh letnih in večletnih obdobjih vedno na varni strani. Na ta način lahko kompenziramo tudi nepredvidene okoliščine,

(slika 10) kakor tudi gospodarstvu (slika 11) opazna sezonska nihanja med vrednostmi porabe, kar gre pripisati vplivu turistov, ki so dejansko udeleženi v obeh sektorjih: kot



Slika 11 • Prikaz računskih rezultatov in dejanske porabe vode v sistemu RVK za gospodinjstvi sektor za izhodiščno leto 2019.

hotelski gostje pri gospodarstvu in kot individualni gostje pri gospodinjstvih. Po našem privzetem modelu je teža vpliva turistov na sektor gospodarstva, kjer je računska poraba v sezoni za okoli 15 % višja glede na dejan-

sko. Ta presežek se kompenzira z mankom pri sektorju gospodinjstva (v sezoni okoli 8 %) do te mere, da je na letni ravni razlika med napovedano porabo in dejansko porabo na letni ravni v korist računski napovedi (+5 %) v letu

2019. Iz navedenega sledi, da je privzeti model napovedi ustrezen in ga lahko uporabimo za oceno gibanja porabe vode v računskem obdobju (Kryžanowski, 2020b).

### 5.3 Napoved potrebnih vodnih količin

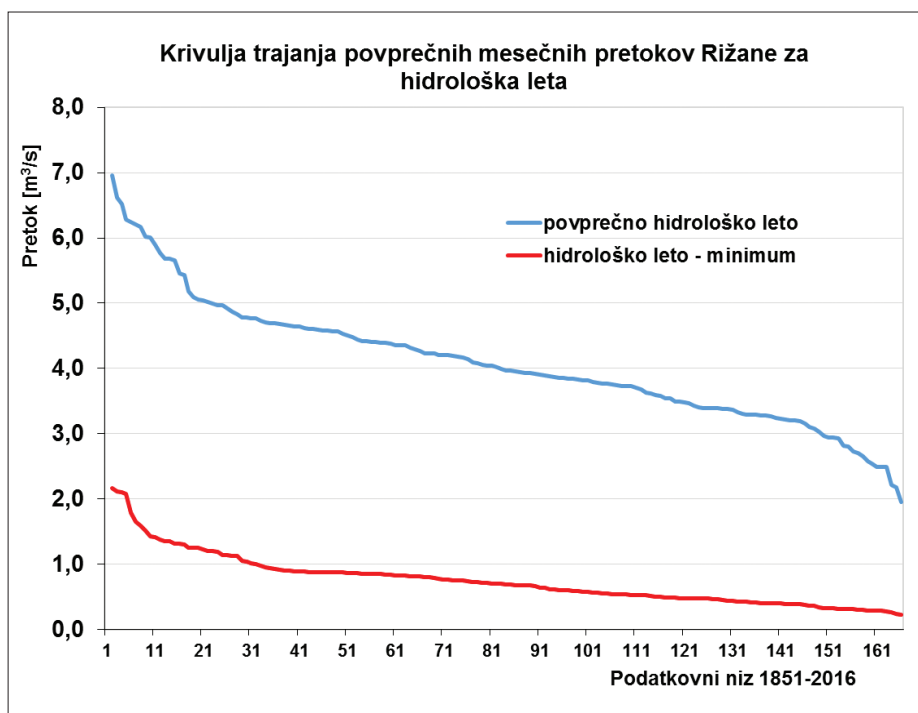
Za načrtovanje proizvodnih kapacitet so merodajne napovedi pretokov v konici porabe za sezono in zunaj sezone. V modelih napovedi je bilo upoštevano dnevno povprečje porabe s privzetimi računskimi predpostavkami. Račun je bil izveden na osnovi upoštevanja sezonskih potreb po pitni vodi z upoštevanjem korekcijskih faktorjev ter na osnovi tega določena konična poraba v sezoni s faktorjem 1,2 zunaj sezone in s faktorjem 1,3 v sezoni ((SI Consult, 2006), (Kryžanowski, 2017a), (Kryžanowski, 2020a)). Po scenariju nižje stopnje rasti prebivalstva (0,5 %) se bo potreba po vodi leta 2070 na letni ravni povečala na dobrih 10,7 milijona m<sup>3</sup> (16 % rast glede na leto 2019) oziroma po scenariju višje stopnje rasti prebivalstva (0,6 %) na 11,5 milijona m<sup>3</sup> (25,7 % rast glede na leto 2019). Temu ustreza je tudi pričakovana konična poraba v sezoni, ki se po optimističnem scenariju iz sedanjih 444 l/s leta 2070 poveča na 511 l/s oziroma 556 l/s po pesimističnem scenariju.

## 6 • Analiza izdatnosti vodnega vira Rižana

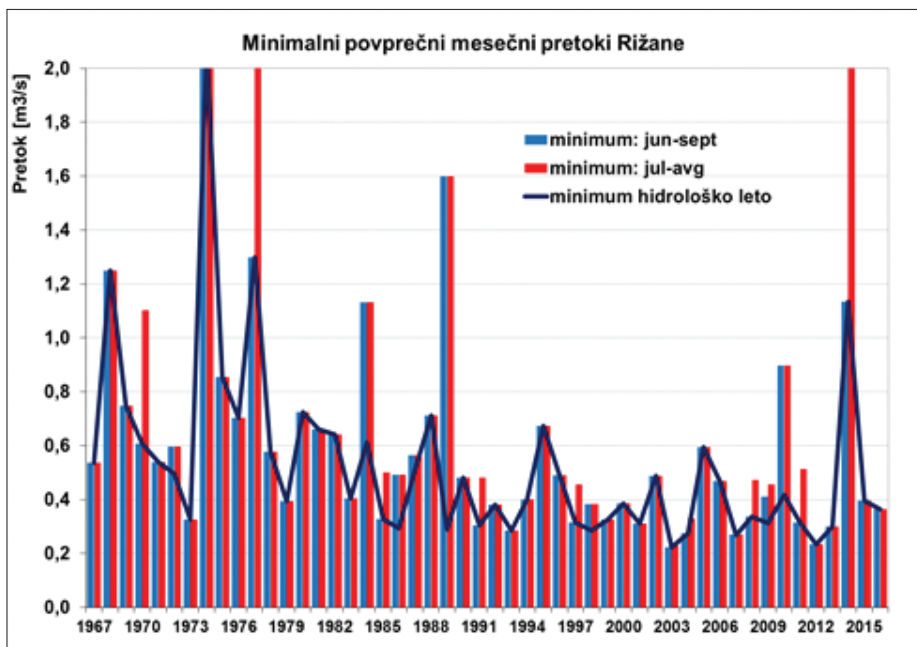
### 6.1 Analiza razpoložljivosti pretokov

Za Rižano so na voljo podatki o povprečnih dnevni pretokih na vodomerni postaji Kubeč od leta 1955. Odvzem vode za vodarno je nad vodomerno postajo, zato je treba v vodni bilanci upoštevati tudi delež, ki se odvaja na vodarno. RVK meri odvzem vode za vodarno od leta 1968, od leta 2007 se merijo pretoki kontinuirano, kar pomeni zajem podatkov v poljubni časovni enoti. Analize izdatnosti vodnega vira Rižana so bile narejene za obdobje do leta 2016 (Kryžanowski, 2017b). Od upravljavca smo dobili podatke za pretoke na vodarno za obdobje 2007–2016 s časovnim korakom 5 minut, na osnovi katerega smo določili urne povprečne vrednosti, s katerimi je bila možna primerjava z ostalimi meritvami. Pri analizi izdatnosti vodnega vira Rižana smo naredili simulacije na osnovi rezultatov modelov napovedi, kolikšen delež načrtovane porabe bi lahko dejansko pokrili na osnovi historičnih podatkov. Narejena je bila rekonstrukcija pretokov od leta 1851, ko obstajajo prve hidrološke meritve na klima-

tološki postaji v Trstu ((Kryžanowski, 2008), (Brilly, 2008)). Na osnovi teh podatkov so bili v študiji sintetizirani pretoki Rižane za obdobje,



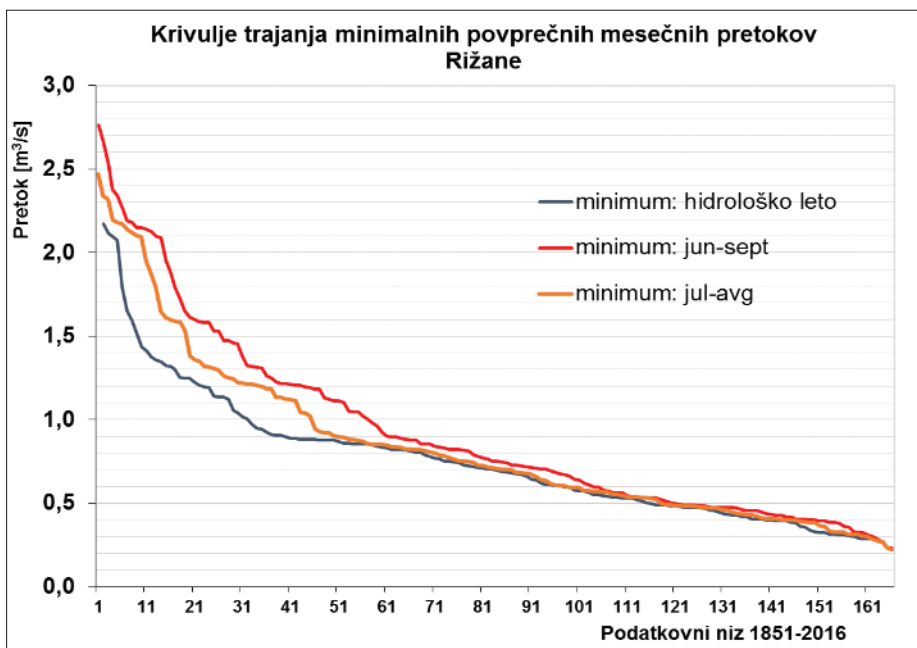
Slika 12 • Krivulja trajanja za Rižano v obdobju 1851–2016.



Slika 13 • Minimalni povprečni mesečni pretoki Rižane v obdobju 1967–2016.

ko ne razpolagamo z dejanskimi meritvami. V analizi so nas zanimala letna obdobja, ko je zaradi izdatnosti vodnega vira Rižana najbolj deficitarna: (1) obdobje julij–avgust; (2) obdobje sezonske porabe junij–september; (3) hidrološko leto. Hidrološko leto štejemo

v več kot poldrugem stoletnem nizu lahko ugotovimo, da je Rižana sorazmerno vodnata reka: srednji pretoki v obdobju se nahajajo v območju med 2 m<sup>3</sup>/s in 7 m<sup>3</sup>/s. Če analiziramo minimalne mesečne pretoke v obdobju pa vidimo, da so ti pretoki v večini obdobja pod 1



Slika 14 • Krivulja trajanja minimalnih mesečnih pretokov Rižane v obdobju 1851–2016.

od oktobra predhodnega leta, ki se zaključijo s koncem septembra v tekočem letu. Na osnovi analize podatkovnega niza srednjih mesečnih pretokov za hidrološka leta za reko Rižano

m<sup>3</sup>/s in dosežejo svoj minimum pri 0,22 m<sup>3</sup>/s, najbolj izrazito prav v poletnem obdobju (slika 12). Na osnovi analize minimalnih pretokov v obdobju lahko ugotovimo, da je v zadnjih 40

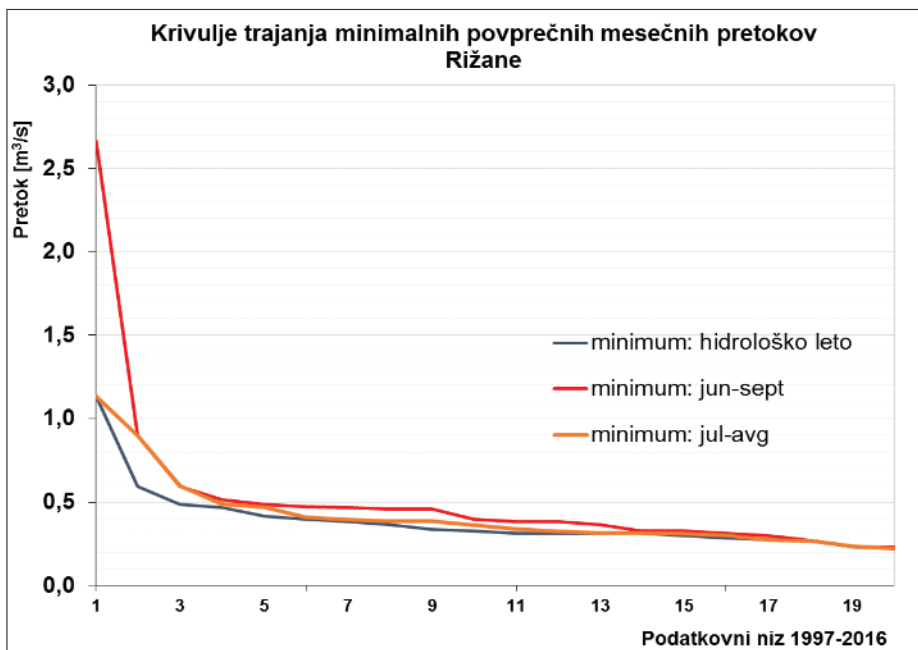
letih opaziti izrazit trend upada pretokov tako v sezoni kot tudi v hidroloških letih. Frekvenca pojava pretokov pod 0,4 m<sup>3</sup>/s, ki so se do osemdesetih let prejšnjega stoletja dogajali le izjemoma, je v zadnjem obdobju bolj pravilo kot ne. Če podrobneje analiziramo zadnjih 20 let, lahko ugotovimo, da sta v tem obdobju dva izrazita minimuma (leto 2003 in leto 2012) tako v sezoni kot tudi v pripadajočem hidrološkem letu (slika 13) in predstavljata tudi absolutni minimum celotnega obravnavanega obdobja.

Na sliki 14 so prikazane krivulje trajanja minimalnih mesečnih pretokov reke Rižane za obdobje 1851–2016. Glede na konico porabe vode v regiji je mogoče iz Rižane oskrbovati sistem, če pretoki presegajo 0,5 m<sup>3</sup>/s. Iz krivulj trajanja je razvidno, da je bilo v celotnem obdobju od leta 1851, 40 let (obdobje hidrološkega leta) oziroma 35 let (poletno obdobje), ko je bil minimalni povprečni pretok manjši od 0,5 m<sup>3</sup>/s. Če pa posebej analiziramo zadnje 50-letno obdobje, je pojavnost takih dogodkov bistveno bolj frekventna: 30 let (obdobje hidrološkega leta) oziroma 26 let (poletno obdobje). V zadnjih 20 letih pa je primanjkljaj pretokov Rižane praktično dejstvo – v obdobju je bilo registriranih 18 let (obdobje hidrološkega leta) oziroma 16 let (poletno obdobje), ko pretoki niso dosegali referenčnih vrednosti (slika 15).

Analiza razpoložljivosti pretokov je pokazala, da se izdatnost Rižane v dolgoletnem obdobju opazovanj manjša, predvsem s povečano frekvenco pojavljanja minimalnih pretokov pod tisto vrednost, ki še zagotavlja nemoten odvzem vode za potrebe vodooskrbe v regiji. Če je v dolgoletnem opazovanem obdobju bilo 25 % let s primanjkljajem, se je v zadnjih 50 letih število let s primanjkljajem povišalo na 60 % in v zadnjem obdobju dvajsetih let doseglo 90 %, kar praktično pomeni, da Rižana ne more v celoti pokrivati potreb po vodi v regiji.

### 6.2 Analiza primanjkljaja Rižane glede na napoved porabe

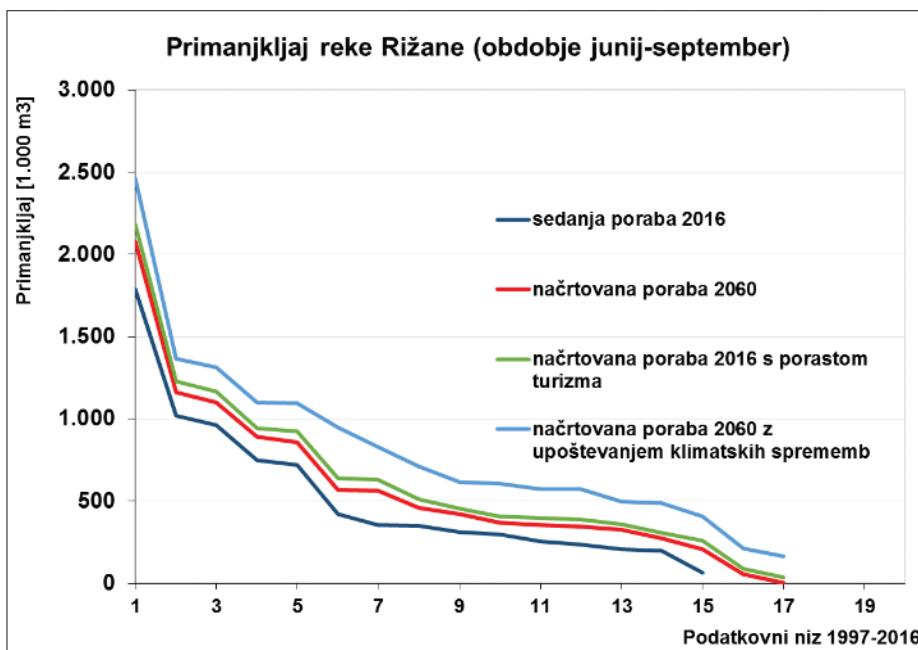
V nadaljevanju smo analizirali, kolikšen je primanjkljaj potreb po vodi, pri čemer smo upoštevali povprečne mesečne pretoke in predvideno porabo v sistemu na osnovi napovedi iz predhodnih poglavij. Pri analizi smo upoštevali optimistično rast prebivalstva z 0,5% letno stopnjo, zmanjševanje izgub v sistemu z dejansko dinamiko ter z upoštevanjem biološkega minimuma reke Rižane s 0,11 m<sup>3</sup>/s. Analizo smo naredili za celotno sezono, med junijem in septembrom za izhodiščno leto 2016 in ciljno leto 2060. Kot



Slika 15 • Krivulja trajanja minimalnih mesečnih pretokov Rižane v obdobju 1997–2016.

pesimistični scenarij smo analizirali še vpliv povečanja števila turistov, ki je enaka stopnji

Za najbolj kritični sta se izkazali leti 2003 in 2012, ko je primanjkljaj Rižane v sezoni prese-



Slika 16 • Primanjkljaj reke Rižane, upoštevajoč povprečne mesečne pretoke podatkovnega niza 1997–2016, za obdobje junij–september.

rasti prebivalstva in vpliv klimatskih razmer, ki jih po študiji Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja – novelacija projektne zasnove (Kryžanowski, 2008) privzemamo s faktorjem zmanjšanja dejanskih pretokov v obdobju (-10 %).

gal mejno vrednost 1 milijon m<sup>3</sup> že v izhodiščnem letu 2016. Z upoštevanjem pesimističnega scenarija je mejna vrednost primanjkljaja Rižane v zadnjih 20 letih presežena 4-krat (slika 16). Z upoštevanjem projekcij povečanja rabe, rasti turizma in tudi z vplivom podnebnih sprememb je bilo ugotovljeno, da lahko z

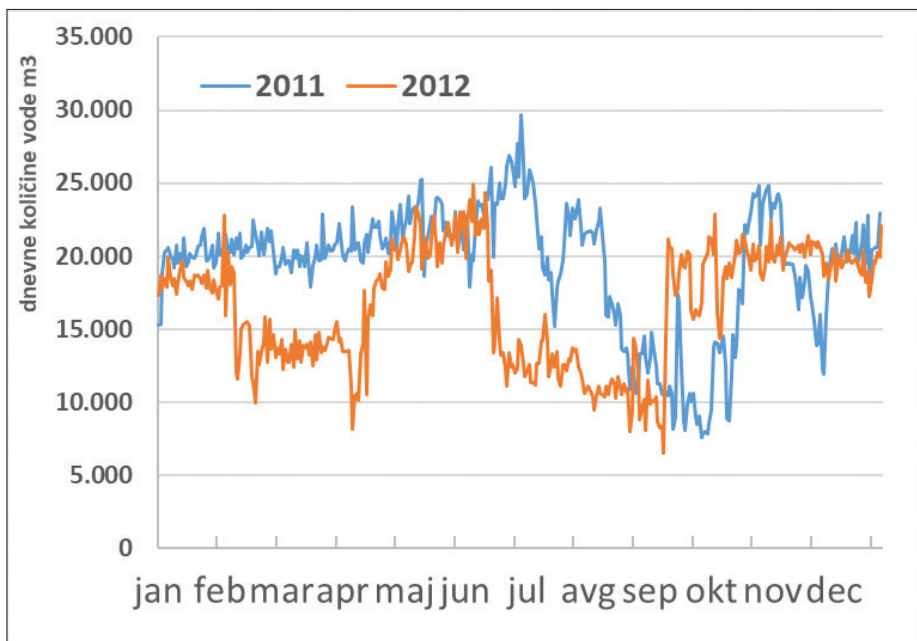
gotovostjo pričakujemo, da Rižana kot edini vir ne bo zadoščala in bo treba zagotoviti nadomestni vodni vir.

Analiza primanjkljaja izdatnosti Rižane v sezoni glede na napoved naraščajočih potreb po pitni vodi je pokazala, da je v vsej zgodovini opazovanj na reki Rižani obdobje zadnjih 20 let s stališča zanesljivosti oskrbe še najbolj kritično. Skladno z naraščajočimi potrebami po vodi je po številu dni najbolj deficitaren mesec avgust, po deficitu vode pa september. Povprečen primanjkljaj v obdobju znaša do 180 l/s. Z upoštevanjem projekcij povečanja rabe, rasti turizma in tudi z vplivom podnebnih sprememb lahko z gotovostjo pričakujemo vse večjo frekventnost pojava deficita vode v oskrbi iz Rižane in bo treba zagotoviti nadomestni vodni vir.

### 6.3 Zagotavljanje obratovalne varnosti pri vodooskrbi

V zadnjih desetletjih so primanjkljaji izdatnosti Rižane in posledično težave pri zagotavljanju zadostnih vodnih količin pitne vode postali stalnica. Ker sušna obdobja sovpadajo s turistično sezono je imel RVK že težave pri zagotavljanju ustreznih količin pitne vode za oskrbo prebivalstva. Eno najbolj kritičnih let v vsem obdobju delovanja je bilo hidrološko leto 2012. Sušno obdobje se je začelo že v oktobru 2011 in nadaljevalo skozi zimsko obdobje, ko je v februarju 2012 zabeležen prvi nižek pretoka Rižane, kar je za to letno obdobje neobičajno. Sušne razmere so se nadaljevale in v aprilu je bil dosežen drugi nižek izdatnosti v letu 2012 (slika 17). Glede na trende upada izdatnosti vodnega vira in neugodne napovedi pred prihajajočo turistično sezono se je RVK odločil ponovno aktivirati vodni vir Sečovlje, ki ni bil v uporabi od leta 2002. Tretje obdobje nižanja izdatnosti se je pojavilo v drugi polovici junija. Izvir Rižane je poleti popolnoma presahnil. Minimalne vodne količine so vzdrževali z vključitvijo vodnjaških črpališč z odvzemom podtalnice za izvirom Rižane. Minimum obdobja je znašal 230 l/s, pri čemer je bilo 110 l/s namenjenih za vzdrževanje ekoloških razmer v strugi Rižane. Povprečni delež vodnih količin iz izvira Rižane je v juliju in avgustu znašal okoli 40 %, preostanek je bilo treba zagotoviti iz uvoza (največji delež iz Kraškega vodovoda – 30 %). V času kritičnih razmer so bile uvedene omejitve porabe pitne vode, s čimer so bili doseženi prihranki pri dnevni porabi vode od 10 % do 15 %. Razmere so se stabilizirale šele v septembru 2012 zaradi ugodnejših hidroloških pogojev in upada potrebe po pitni vodi (Kryžanowski, 2012b).





Slika 17 • Dnevne količine vode v letih 2011–2012.

Havarija z izlitem kerozina leta 2019 v zaledju Rižane je opozorila na ranljivost vodnega vira za onesnaženje, ki lahko vpliva na spo-

sobnost zagotavljanja za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Zaradi nevarnosti onesnaženja izvira Rižane je bil vzpostavljen odvzem

z vključitvijo vodnjaških črpališč, s čimer je bilo mogoče kontrolirati eventualni vdor onesnažil. V obdobju največjih omejitev v juliju je vodni vir Rižana zagotavljal le 27 % vseh potrebnih količin, preostanek pa iz Gradol (41 %) in Kraškega vodovoda (23 %). Dogodek v letu 2019 je bil resno opozorilo tudi z vidika sposobnosti zagotavljanja vodnih količin, ker so bile tudi dobave iz uvoza na meji transportnih zmogljivosti. Oba dogodka sta bila tudi resno opozorilo z vidika zagotavljanja obratovalne varnosti pri vodooskrbi v sistemu RVK. Prvi problem je v omejenih transportnih zmogljivostih, drugi pa razpoložljivost rezervnih vodnih virov. V poletnem obdobju se tudi Hrvaška sooča z naraščajočimi potrebami po pitni vodi in vprašanje je, ali bo možno tudi v prihodnje zagotavljati zadostne vodne količine v primeru izpada Rižane. Tako z vidika izdatnosti vodnega vira Rižana kot obratovalne varnosti je za varno oskrbo s pitno vodo nujno zagotoviti dolgoročni vodni vir, ki lahko delno ali v celoti pokriva sedanje in naraščajoče potrebe po pitni vodi v regiji (Krajnc, 2019).

## 7 • Zagotovitev dolgoročnega vodnega vira

Rižanski vodovod in Ministrstvo za okolje in prostor RS že več desetletij iščeta dolgoročni vodni vir za slovensko Obalo. Z reševanjem problematike pomanjkanja vode na območju slovenske Istre in kraškega zaledja so se začeli ukvarjati že v osemdesetih letih prejšnjega stoletja. Od takrat do danes je bilo zamišljenih in na različnih nivojih obdelanih več variant, katerih rešitve so bile usmerjene predvsem v iskanje dodatnega vodnega vira za zagotavljanje dolgoročne varne oskrbe s pitno vodo. V tem času so proučevali naslednje variante dovoda vode ali izkoriščanje vodnega vira (Krajnc, 2002):

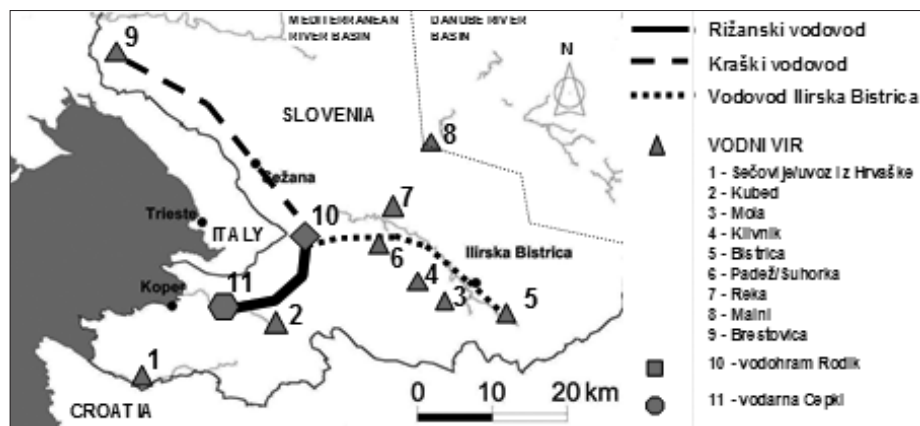
- vodni vir Malni na Planinskem polju,
- vodni vir Klariči v Brestovici in dovod vode iz vodovoda v Ilirski Bistrici,
- obstoječi akumulaciji Mola in Klivnik,
- dovod vode iz Italije,
- načrtovana akumulacija Kubed na Rižani,
- načrtovana akumulacija Pinjevec na Dragonji,
- načrtovana akumulacija Padež,
- razsoljevanje morske vode in
- hidravlične izboljšave na zatečenem stanju.

Od vseh navedenih projektov je bil realiziran samo projekt hidravličnih izboljšav na vo-

dooskrbnem sistemu Rižanskega vodovoda, ki je bil sofinanciran s sredstvi Kohezijskega sklada EU in je bil uspešno zaključen v letu 2015. Vsi ostali projekti so bili pričeti in zaustavljeni zaradi različnih razlogov.

V letu 1988 je bil razdelan koncept regionalnega vodovoda, ki povezuje vse vodooskrbne sisteme v regiji: Rižanski vodovod, Kraški vodovod, Postojnski vodovod in Vodovod Ilirska Bistrica (slika 18). Evidentiranih je bilo deset razpoložljivih vodnih virov: Rižana,

Sečovlje, Klariči, Malni, Bistrica, akumulacija Klivnik in Mola, Gradole, akumulacija Dragonja in akumulacija Padež. Za glavni vodni vir je bila predvidena Rižana, ki se v sušnem obdobju dopolni z dodatnim vodnim virom kot nadomestitev uvoza vode iz Hrvaške. Za najustreznejšo je bila izbrana varianta z vključevanjem vodnih virov: Rižana, akumulacija Padež in Malni. Predvidena je bilo faznost izvedbe. V prvi fazi, do leta 2010, je bilo predvideno, da se izvede rekonstrukcija zajetja izvira Rižana z možnostjo povečanja kapacitete na 2,6 m<sup>3</sup>/s in akumulacija Padež z volumnom 17,4 milijona m<sup>3</sup>. Po dgraditvi sistema prve faze je bilo predvideno, da se sistem RVK



Slika 18 • Vodni viri v regiji (povzeto po (Krajnc, 2010)).

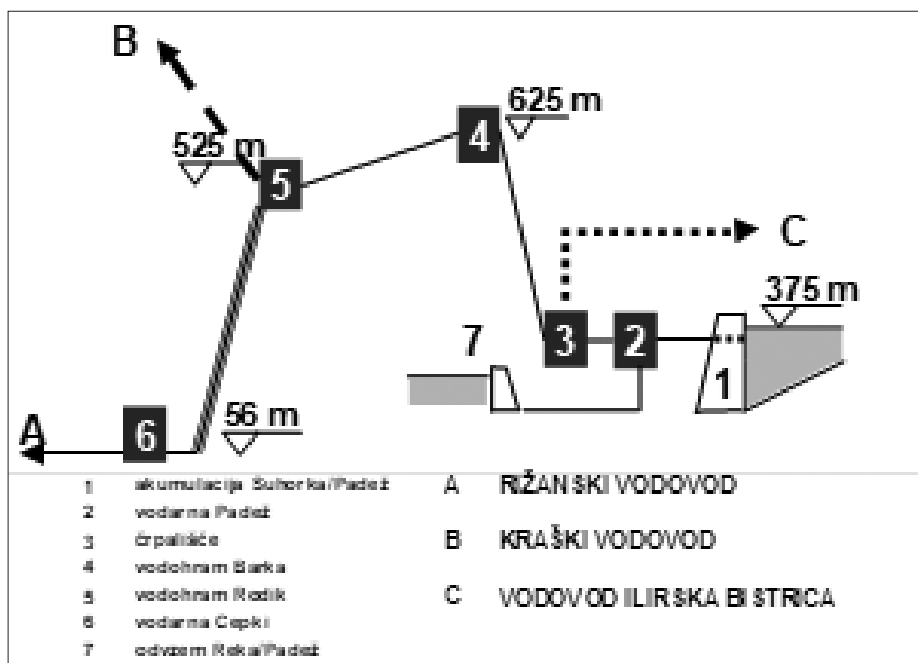
napaja iz Rižane, v sušnem obdobju pa iz akumulacije Padež, ki postane glavni vodni vir za vodooskrbo na Krasu, medtem ko vodni vir Klariči ostaja v rezervi. V drugi fazi, do leta 2050, je bilo predvideno, da se vključi vodni vir Malni s kapaciteto 2,86 m<sup>3</sup>/s, ki predstavlja rezervni vodni vir za Obalo in glavni vodni vir za Kras in Postojno, akumulacija Padež pa prevzame vlogo rezervnega vodnega vira v sušnem obdobju za vse vodooskrbne sisteme, vključno z Ilirsko Bistrico (Tomšič, 1988).

Glede na vse evidentirane vodne vire je koncept regionalnega vodovoda kljub spremenjenim okoliščinam in bistveno manjšim potrebam po vodi še vedno aktualen. Realizacija aktualizirane prve faze koncepta regionalnega vodovoda, ki jo predstavlja projekt Padež/Suhorka je od vseh do sedaj analiziranih možnih rešitev edini vodni vir, ki izpolnjuje vse zahtevane atribute: (1) zagotavljanje varne in dolgoročne oskrbe v regiji; (2) strateški vodni vir, katerega varstveni režim je v celoti na območju teritorija države; (3) rezervni vodni vir, ki lahko v kriznih razmerah oskrbuje vse glavne vodooskrbne sisteme v regiji. Ministrstvo za okolje in prostor je v letu 2020 ponovno oživilo projektne aktivnosti pri nadaljevanju projekta Padež z razpisom priprave projektne in prostorske dokumentacije za potrebe umeščanja v prostor s potrditvijo koncepta novelacije projektne zasnove ((Kryžanowski, 2008), (Kryžanowski, 2012a)): Osnovni vodni vir predstavlja akumulacija Suhorka z možnostjo izkoriščanja potoka Padež za izvedbo manjšega zajetja. Predviden volumen akumulacije znaša 13,1 milijona m<sup>3</sup>, od katerega je možno izkoristiti količino 6,9 milijona m<sup>3</sup>, ki v celoti ustreza potrebam po vodi v ciljnem letu 2070. Iz akumulacije je surova voda speljana po dovodnem cevovodu do čistilne naprave, od tod se prečiščena voda transportira s prečrpavanjem (v višini 250 m in dolžini 10 km) do obstoječega vodohrana v Rodiku, kjer je že izdelan priključek na kraški vodooskrbni sistem (dodatno rezervno napajanje sistema ob morebitnem izpadu glavnega vodnega vira Klariči) in predviden tudi priključek notranjskega vodooskrbnega sistema kakor tudi možnost navezave na vodooskrbni sistem Ilirske Bistrice. Na lokaciji Rodik je predvideno stičišče vseh treh regionalnih vodooskrbnih sistemov. Iz te točke bo mogoče iz vodnega vira Suhorka oskrbovati s pitno vodo tudi kraško in notranjsko zaledje v primeru izpada primarnih virov, Klariči in Bistrice. Od Rodika je voda speljana po obstoječem cevovodu v dolžini 17 km do

čistilne naprave v dolini Rižane s povezavo v vodooskrbni sistem v slovenski Istri. Za optimizacijo obratovanja je mogoče višinsko razliko med Rodikom in čistilno napravo (okoli 470 m) izkoristiti za proizvodnjo električne energije (slika 19). Glede na začrtane časovnice je možen rok za vzpostavitev sistema v obratovanje do leta 2026.

Predlagani koncept ne izključuje možnosti povezave z vodnim virom Malni, v kolikor bodo za to izkazane potrebe (večje potrebe po vodi, akumuliranje dodatnih vodnih količin zaradi posledic podnebnih spre-

mer v vodotokih. Glede na zadnje trende gibanja hidroloških parametrov je vse bolj verjetno, da bomo morali v prihodnjih petdesetih letih prav na vododeficitarnih območjih graditi akumulacije ne zaradi gospodarskih koristi, temveč zaradi preprostega razloga, da lahko na teh območjih ohranimo še kolikor toliko kvalitetne bivanjske razmere tako za prebivalstvo kot tudi za ohranjanje življenjskih združb, ki naseljujejo ta prostor. Na posvetu v Državnem svetu, ki je bil namenjen vlogi zadrževalnikov v procesu prilagajanja podnebnim spremembam, je bila



Slika 19 • Zasnova vodooskrbnega sistema Padež/Suhorka (povzeto po (Krajnc, 2010)).

memb, nadgraditve regionalnega vodovoda) kakor tudi možnost povezave regionalnih vodooskrbnih sistemov: Obale s kraškim zaledjem, notranjske in Ljubljanske kotline z realizacijo ideje, ki smo jo pred štiridesetimi leti znali koncipirati, kasneje pa zaradi partikularnih interesov popolnoma prezrli. Spremljanje hidroloških količin kaže na to, da so podnebne spremembe dejstvo, ki se manifestirajo s povečano frekventnostjo pojava hidroloških ekstremov (poplave/suše) in ga bomo morali upoštevati pri upravljanju voda. Pri uravnavanju vodne bilance imajo pomembno vlogo akumulacije, s katerimi lahko skladiščimo vodo v obdobju visokih pretokov, hkrati omogočajo regulacijo poplavnih voda in možnost koriščenja vode v času primanjkljaja ne samo za vodooskrbo, namakanje in gospodarske potrebe, ampak tudi za ohranjanje ekoloških

navedena primerjava, da bodo prihajajoče podnebne razmere v Sloveniji podobne ali pa postajajo vse bolj podobne razmeram v Makedoniji, kjer je oskrba z vodo pretežno vezana na akumulacije, in prav je, da tudi pri nas začnemo razmišljati drugače in politiko upravljanja voda postavimo na nove temelje z upoštevanjem primerljivih praks iz naše soseščine. Eden od pomembnih zaključkov posveta je tudi to, da pregrade in akumulacije skupaj z drugimi gradbenimi in negradbenimi ukrepi predstavljajo ključni sistem v okviru celovitega upravljanja vodnih virov in vzpostavitve odpornosti narave in družbe proti podnebnim spremembam. Na tehnični in institucionalni ravni si je treba prizadevati za iskanje kompromisa med deležniki z različnimi stališči, ki bi jih morali zblížati za skupno blaginjo (SLOCOLD in ZDGITS, 2020).

## 8 • Zaključne misli

Oskrba s pitno vodo v slovenski Istri pretežno temelji na viru Rižana, ki pa kot edini pravi lastni vir vodooskrbnega sistema nima rezerve ob izpadu – največji problem predstavlja potencialno onesnaženje vodnega vira, ki se bo z načrtovanimi infrastrukturnimi posegi v vplivnem območju še potenciral.

Na dolgoročnost oskrbe vode iz uvoza ne gre računati, prvič zaradi naraščajočih lastnih potreb na Hrvaškem in drugič zaradi tehničnih omejitev pri distribuciji vode iz Krasa zaradi nerealiziranega projekta rekonstrukcije vodooskrbnega sistema na Krasu.

Analiza primanjkljaja izdatnosti Rižane v sezoni glede na napoved naraščajočih potreb po pitni vodi je pokazala, da je v vsej zgodovini opazovan na reki Rižani obdobje zadnjih 20 let s stališča zanesljivosti oskrbe še najbolj kritično.

Z upoštevanjem projekcij povečanja rabe vode, rasti turizma in tudi z vplivom podnebnih sprememb lahko z gotovostjo pričakujemo vse večjo frekventnost pojava deficita vode v oskrbi iz vodnega vira Rižana in bo treba zagotoviti dolgoročni vodni vir.

Kot najustreznejši dolgoročni in strateški vir za oskrbo prebivalstva s pitno vodo se je izkazal

koncept regionalnega vodovoda, ki temelji na vodnem viru akumulacija Padež/Suhorica in omogoča povezavo vseh vodooskrbnih sistemov v regiji v združen sistem oskrbe s pitno vodo. Aktivnosti pri projektu, pričete v letu 2020, bodo predvidoma zaključene v letu 2026, s čimer bo rešena oskrba s pitno vodo dolgoročno, do leta 2070.

Pregrade in akumulacije skupaj z drugimi gradbenimi in negradbenimi ukrepi predstavljajo ključni sistem v okviru celovitega upravljanja vodnih virov in vzpostavitve odpornosti narave in družbe proti podnebnim spremembam. Na tehnični in institucionalni ravni si je treba prizadevati za iskanje kompromisa med deležniki z različnimi stališči, ki bi se jih moralo zblížati za skupno blaginjo.

## 9 • Literatura

- Brilly M., Kompare B., Kryžanowski A., Rusjan S., Ureditev oskrbe prebivalstva v slovenski Istri in zalednem kraškem območju, 19. Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, VGB Maribor, 184–195, 2008.
- Krajnc U., Czurda D., Blažeka Ž., Gobec S., Žaja S., Ravnik J., Ignjatovič M., Šuman S., Sterger B., Kralj P., Vodooskrba slovenske obale in zalednega kraškega območja – preveritve možnih vodnih virov s ciljem dolgoročne in regionalno zasnovane rešitve, študija, IEL Maribor, 2002.
- Krajnc U., Somrak D., Kryžanowski A., Padež project: A case study of strategically planning of water resources for water supply, International Symposium: »Dams and Sustainable Water Resources Development«, Zbornik referatov, VNCOLD Hanoi, Topic 17.2, 15, 2010.
- Krajnc U., Kryžanowski A., Vroče poletje 2019 znova opozorilo na problem oskrbe z vodo Slovenske obale, 30. Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, VGB Maribor, 106–113, 2019.
- Kryžanowski A., Kompare B., Atanasova N., Uršič M., Škerjanec M., Brilly M., Rusjan S., Čotar A., Stojč Z., Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja – novelacija projektne zasnove, študija, UL FGG-Geateh, Ljubljana, 2008.
- Kryžanowski A., Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zahodnega kraškega območja. Zbornik prispevkov, I. kongres o vodah Slovenije, UL FGG Ljubljana, 301–315, 2012a.
- Kryžanowski A., Žigon I., Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja, 23. Mišičev vodarski dan, Zbornik referatov, VGB Maribor, 64–72, 2012b.
- Kryžanowski A., Utemeljitev uvedbe razsoljevanja kot dopolnilni vir za oskrbo s pitno vodo v slovenski Istri, Dokument identifikacije investicijskega projekta, UL FGG, Ljubljana, 2017a.
- Kryžanowski A., Krajnc U., Utemeljitev uvedbe razsoljevanja kot dopolnilni vir za oskrbo s pitno vodo v slovenski Istri, Tehnični elaborat, UL FGG, Ljubljana, 2017b.
- Kryžanowski A., Rusjan S., Sapač K., Klun M., Vodni vir Malni kot dodatni vodni vir za oskrbo prebivalstva s pitno vodo v slovenski Istri, Dokument identifikacije investicijskega projekta, UL FGG, Ljubljana, 2020a.
- Kryžanowski A., Rusjan S., Sapač K., Opredelitev potrebnih količin vode za določitev ustreznosti vodnega vira Malni za oskrbo s pitno vodo v slovenski Istri, Tehnični elaborat, UL FGG, Ljubljana, 2020b.
- Projekt Nova Gorica, Oskrba s pitno vodo Obale in Krasa – novelacija dokumenta identifikacije investicijskega projekta, Nova Gorica, 2011.
- SI Consult, Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja – Dokument identifikacije investicijskega projekta, Ljubljana, 2006.
- SLOCOLD in ZDGITS, Zaključki posveta: Slovenija prihodnosti v luči podnebnih sprememb - je zadrževanje vode nuja ali možnost v procesu prilagajanja podnebnim spremembam, Državni svet, Ljubljana, 30. januar, 2020.
- Tomšič M., Pirc V., Burja D., Kovačič I., Rismal M., Artač A., Regionalni primorski vodovod – Idejni projekt, VGI, Ljubljana, 1988.



**GREEN  
BUILDING  
COUNCIL  
SLOVENIA**

Slovensko združenje  
za trajnostno gradnjo



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR



**EKO SKLAD**

SLOVENSKI OKOLJSKI  
JAVNI SKLAD

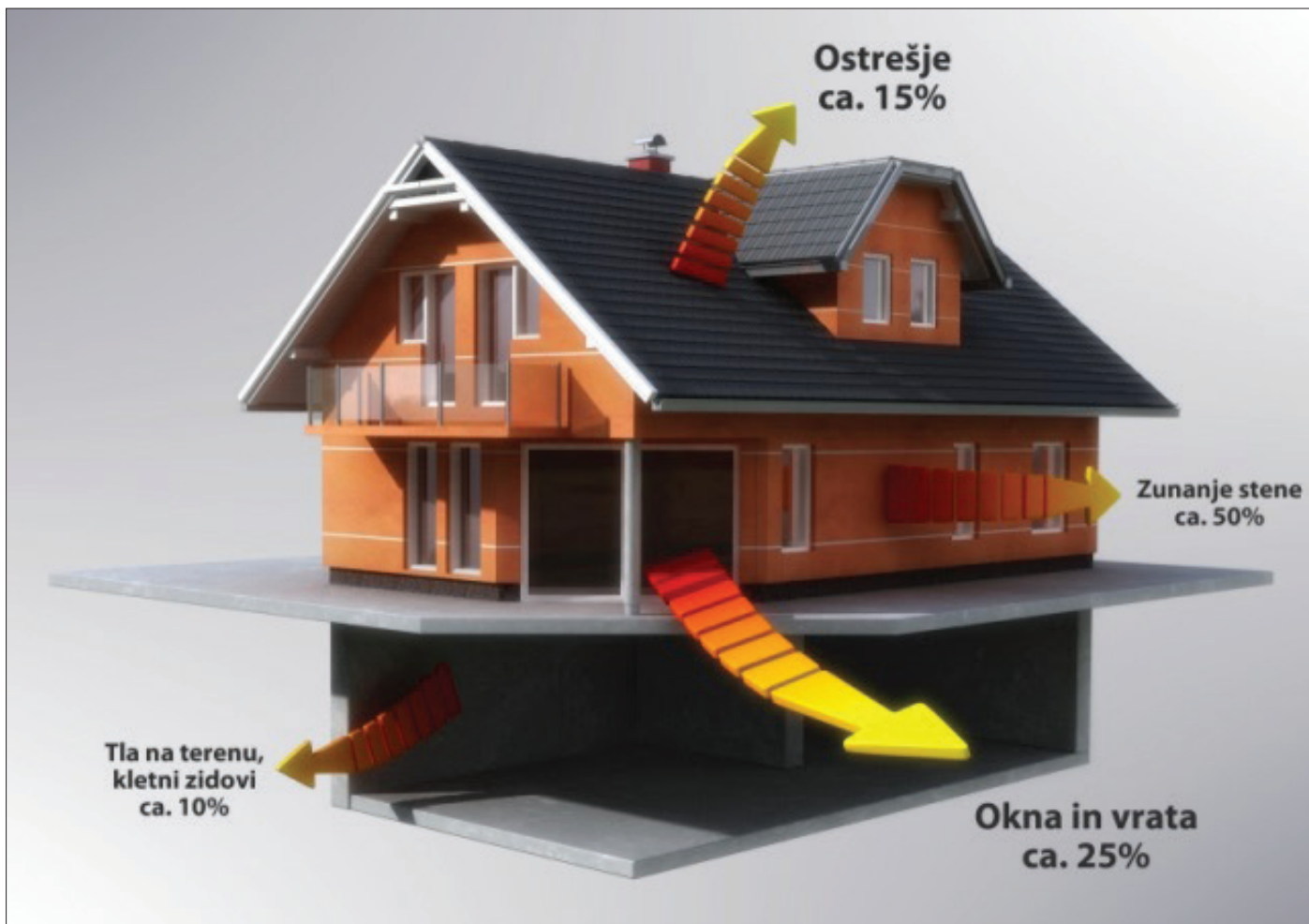
Sporočilo za javnost

## Delavnica za izvajalce – pravilna izvedba fasadnih sistemov

Projekt: Energijsko učinkoviti ovoji stavb

Ljubljana, 7. oktobra 2020: V prostorih JUB Akademije je 11. in 25. septembra 2020 potekala strokovna delavnica na temo pravilne izvedbe fasadnih ovojov, ki jo je organiziralo Združenje za trajnostno gradnjo GBC Slovenija ob podpori MOP in Eko sklada. Namenjena je bila izvajalcem fasaderjem, ki so poleg teoretičnih znanj pridobili tudi vrsto koristnih nasvetov za pravilno vgradnjo ter sanacijo poškodb na fasadnih ovojih objektov. GBC Slovenija si namreč prizadeva z ozaveščanjem izvajalcev poudariti pomen pravilne vgradnje izolacijskih materialov, sistemov za pritrjevanje izolacijskega materiala ter pravilne izdelave različnih zaključnih slojev, vključno z izvedbo transparentnih delov fasad. Pri tem so se fasaderji seznanili tudi z detajli in najpogostejšimi napakami, ki jih na trgu zaznavajo proizvajalci gradbenih materialov. Na delavnici so obravnavali tudi aktualne pozive Eko sklada, ki so trenutno v veljavi, ter predstavili pogoje, ki jim morajo za pridobitev subvencije slediti vlagatelji. K sodelovanju pri izvedbi programa ZERO 500 so povabili vse





**prisotne fasaderje, ki bodo v okviru Eko sklada skupaj z energetskimi svetovalci iz mreže ENSVET sodelovali pri izvajanju teh ukrepov.**

Slovensko združenje za trajnostno gradnjo (Green Building Council Slovenia) spodbuja načrtovanje in gradnjo objektov na temeljih trajnostnega razvoja, pri tem pa v procese vključuje vse deležnike ter podpira izmenjavo znanj med strokovnjaki, o dosežkih pa seznanja tudi širšo javnost. »Gradbeni sektor je za doseganje globalnih ciljev pri blaženju podnebnih sprememb ključen in se mora nujno preoblikovati v bolj trajnostno smer,« poudarja predsednik UO združenja dr. Iztok Kamenski. »V združenju nenehno izvajamo predstavitve tako za izvajalce kot tudi investitorje ter druge deležnike, med njimi lastnike, nepremičninske posrednike in upravnike, ki morajo razumeti potrebo po izvajanju energetskih sanacij stavb.

Da pa bi sploh lahko ocenili naložbo in rezultate, morajo biti ob osnovnih kazalnikih trajnostne gradnje vzpostavljeni tudi kriteriji za odločanje glede investicij, pa tudi izbor sistemov in izvajalcev.«

Toplotni ovoj mora objektu dajati zaščito skozi vse leto, hkrati pa ščititi konstrukcijo pred zunanjimi vplivi in propadanjem. V primerjavi z neizoliranim objektom lahko uporabnik na letni ravni prihrani celo do 40 % stroškov za ogrevanje ali prezračevanje. Temperatura v objektu mora biti zaradi dobre akumulacije energije konstantna in ne sme preveč nihati. Pravilna zaščita fasadnega ovoja mora preprečevati tudi nastanek toplotnih mostov, ki povzročajo nastanek plesni in alg na zidnih površinah. Pravilno izdelan toplotni ovoj prispeva tudi k varovanju okolja in nudi uporabnikom ustrezno protihrupno zaščito, s svojo zunanjo podobo pa daje objektu tudi estetsko vrednost.

Zasebni investitorji vse bolj upoštevajo kriterije trajnostne gradnje, še posebno zaradi vremenskih vplivov, ki postajajo vse bolj ekstremni.

Pri gradnji in sanaciji fasade so izjemno pomembni njeni konstrukcijski deli, potrebna je ustrezna priprava zidne podlage, pravilno lepljenje izolacijske obloge, sidranje in vgradnja fasadnih profilov. Posebej natančna mora biti vgradnja in obdelava oken, pozornost pa mora izvajalec ob upoštevanju različnih raztezkov posvetiti tudi stikom različnih materialov. Kamenski je v svojem predavanju na vrsti primerov izvajalce opozoril na najpogostejše napake pri obdelavi ali sanaciji toplotnih ovojev, ki jih zaznavajo v družbi JUB pri izvedbah fasad, in dodal, kako pomembna je pravočasna sanacija razpok in poškodb, saj to vpliva na življenjsko dobo fasade ter investitorju pomembno znižuje stroške



njenega vzdrževanja. Poškodbe lahko povzročijo trajnejšo degradacijo in s tem višje stroške sanacije. Osredotočil se je še na nepravilno vgradnjo stika toplotne izolacije z napuščem, podzidkov s kapilarno vlago ter slabim stikom s keramičnimi oblogami. Fasaderjem je predstavil tudi trende v gradbeništvu, kot so projektiranje v BIM, 3D printanje stavb, toplotne meritve s termovizijo ter uporaba dronov za nadzor gradnje iz zraka in z njim uveljavljanja garancij za izvedbo fasad.

Peter Bandelj iz družbe Alukönig Stahl se je v svojem predavanju osredotočil

na transparentne ovoje stavb, kot so okna in vrata ter steklene fasadne zasteklitve, ki morajo poleg toplotne zaščite in toplotne izolativnosti objektu nuditi tudi ustrezno zvočno in protivlomno zaščito ter ob ustreznem tesnjenju ščititi objekt pred vremenskimi vplivi in sončnim sevanjem. Domen Ivanšek je predstavil izdelke iz kamene volne, ki jih izdelujejo v škofjeloški družbi Knauf Insulation. Fasaderjem je podrobno predstavil plošče in lamele iz kamene volne za kontaktne fasade ter pravilne načine njihove vgradnje, od lepljenja, sidranja in stikanja do obdelave detajlov in špalet. Udeležencem

je predstavil tudi novosti, ki jih prinašajo gradbene smernice in se nanašajo na negorljive požarne pasove, ki jih v Knauf Insulationu rešujejo z novimi izolacijskimi ploščami iz kamene volne. Miha Alič iz družbe Leskovec je fasaderjem predstavil pravilne pristope pri sidranju različnih fasadnih izolacijskih materialov (kamena volna, porobeton ali EPS) ter poudaril, da je izbira sistema pritrdjevanja odvisna tudi od lokacije objekta oziroma njegove izpostavljenosti vetrnim obremenitvam.

Eko sklad, slovenski okoljski javni sklad, je za toplotno izolacijo fasad za novogradnje in za povečanje energijske



učinkovitosti starejših individualnih in večstanovanjskih stavb pripravil vrsto pobud, pri čemer mora biti toplotna izolacija fasade izvedena s preizkušenim fasadnim sistemom ali pa z dodatno toplotno izolacijo ob izpolnjevanju pogojev, ki jih predpisujejo. Te je podrobneje predstavila svetovalka Maja Vrezovnik, Sabina Rajšelj pa je v imenu Eko sklada udeležencem predstavila še najnovejši Javni poziv ZERO 500, ki je namenjen le socialno šibkim občanom za energetska prenova njihovih eno- ali dvostanovanjskih stavb, zgrajenih pred letom 1968. Program ZERO 500 se bo izvajal do

leta 2023, na voljo pa je 5 milijonov evrov iz Kohezijskega sklada. Letošnji poziv v višini 960.000 evrov je odprt še do 31. 12. 2020 oziroma do dodelitve razpoložljivih virov. Višina nepovratne finančne spodbude znaša 100 % upravičenih stroškov projekta, vendar lahko posamezni vlagatelj, ki izpolnjuje pogoje poziva, pridobi spodbudo do največ 9.620 evrov (skupaj z DDV). Eko sklad želi na osnovi tega javnega poziva k sodelovanju privabiti tudi potencialne izvajalce za izvedbo fasad, ki bodo skupaj z energetskimi svetovalci iz mreže ENSVET sodelovali pri izvajanju teh

ukrepov. Zato so prisotnim fasaderjem v JUB Akademiji tudi podrobno predstavili pogoje, način dela in pripravo zaključne dokumentacije z izjavami o lastnostih toplotne izolacije ali fasadnega sistema, dodatno pa jim bodo pravila in postopke, ki morajo biti izvedeni v šestih mesecih, predstavili še na posebej organiziranih informativnih delavnicah, ki jih bo organiziral Eko sklad.

**Miša Hrovat, agencija MAGA**



Fotografije: arhiv GBC Slovenija



Več informacij: dr. Iztok Kamenski, predsednik UO GBC Slovenija,  
M: 041 716 845,  
E: iztok.kamenski@jub.eu,  
W: www.gbc-slovenia.si



# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Blaž Dolgan**, Dimenzioniranje armiranobetonskih stebrov v skladu z Evrokodom 2, mentor doc. dr. Jože Lopatič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119479>

**Jakob Tavčar**, Izdelava priročnika za uporabo sistemskih opažev, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski, somentor asist. dr. Bojan Čas; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120601>

**Simon Savič**, Prenova ovoja stavbe enodružinske hiše za učinkovitejšo rabo energije in kakovostno notranje okolje, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentor asist. dr. David Antolinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120132>

**Luka Žižmond**, Analiza poteka izvedbe del projekta rekonstrukcije cestnega odseka, mentor doc. dr. Aleksander Srđić; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120596>

### I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Domen Kunič**, Analiza potresne odpornosti zidane stavbe s pomenostavljeno nelinearno analizo, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor asist. dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120746>

**Uroš Tolar**, Uporaba metode KarstALEA za napovedovanje kraških pojavov na trasi proge 2TDK, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor Marko Žibert; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120352>

**Ožbej Vene**, Prenova Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani z namenom dosega kakovostnega notranjega okolja in minimalne možne rabe energije, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentor izr. prof. dr. Uroš Stritih; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120353>

**Davor Kaučič**, Numerična analiza in projektiranje medetažne plošče s programom Safe, mentor prof. dr. Boštjan Brank; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120131>

**Jure Krušič**, Projektiranje naknadno vgrajene armature po Evrokodu 2, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentor Ervin Brulc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120350>

**Đorđe Đukić**, Potresnoodporno projektiranje montažne armiranobetonske stavbe z upoštevanjem osnutka novega Evrokoda 8, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor asist. dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120133>

**Filip Baumgartner**, Analiza razlik med prodajnimi cenami in posplošenimi (tržnimi) vrednostmi v občini Radovljica in v okoliških občinah, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119483>

**Darjan Grudnik**, Eksperimentalno podprta numerična analiza vijačenih spojev iz armirane plastike, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. dr. David Antolinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120134>

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

**Igor Mlakar**, Enačbe valovanja morja, mentorica izr. prof. dr. Marjeta Kramar Fijavž, somentor izr. prof. dr. Dušan Žagar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119482>

**Lazar Cerović**, Primerjava izračunov srednje dnevne vrednosti temperature zraka po različnih metodah, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor doc. dr. Nejc Bezak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119767>

**Nejc Pev**, Variantni rešitvi odvodnje padavinskih voda s ceste v naselju Rogoznica, mentor doc. dr. Mario Krzyk, somentor prof. dr. Franc Steinman; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120598>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smeri Gradbene konstrukcije, Geotehnika-hidrogeotekhnika, Nizke gradnje)

**Dani Gabršček**, Uporaba informacijskega in geološkega modela predora v orodju za mehansko analizo po MKE, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentorja asist. dr. Robert Klinc in Marko Žibert; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119481>

**Matic Kuhar**, Načrtovanje površin za mirujoči promet, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120749>

**Domen Štihec**, Interoperabilnost orodij BIM pri parametričnem projektiranju infrastrukturnih objektov, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120136>

**Timotej Jurček**, Laboratorijske meritve reologije naravnega drobirskega materiala, mentor doc. dr. Matej Maček, somentor prof. dr. Matjaž Mikoš; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119485>

**Jernej Radakovič**, Analiza uporabe pristopa BIM pri projektiranju obvoznice Brežice, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentor doc. dr. Tomaž Maher; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120751>

**Jure Starc**, Seizmični stresni test stavbnega fonda Univerze v Ljubljani, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentorja asist. dr. Anže Babič in asist. dr. Jure Žižmond; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120137>

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smer Informacijsko modeliranje zgradb - BIM A+)

**Nabih Msharbash**, Razvoj seznama gradiv na osnovi BIM s študijami primerov, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121117&lang=slv>

**Vanessa Antonela Valentina Bertero**, Uporaba BIM za zgradbe tipa načrtaj-izgradi-preseli, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentor Žiga Babnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121110&lang=slv>

**Matteo Mandrile**, BIM kot pospeševalec analiz grajenega okolja na več merilih, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentor Milan Tomac; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121115&lang=slv>

**Filipe Mateus Moraes Finco**, Zahteve in knjižnice pri prenovi hidro-elektarn z BIM, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentorja doc. dr. Andrej Kryžanowski in Jurij Skuber; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121116&lang=slv>

**Roger Peicho**, BIM za raziskovanje in predstavljanje arhitekturnega oblikovanja, mentor doc. dr. Mitja Košir; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121118&lang=slv>

**Md Tousif Rahman**, Upravljanje geotehničnih podatkov v okolju BIM, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentorja doc. dr. Tomo Cerovšek in Marko Žibert; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121209&lang=slv>

**Cristian David Rincón Pinzon**, Izmere gradbenih količin predorskih konstrukcij na osnovi geotehničnega BIM modela, mentor doc. dr. Aleksander Srdić, somentorja Andrej Likar in doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121210&lang=slv>

**Camila Andrea Sandoval Bustos**, Integrirani delotoki projektiranja BIM nad in pod površjem tehnoloških objektov, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek, somentorja doc. dr. Dejan Grigillo in dr. Franc Sinur; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121211&lang=slv>

**Fernando Silva**, Projektno načrtovanje In-situ preiskav in utrditvenih ukrepov z orodjem BIM, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. dr. Tilen Urbančič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121119&lang=slv>

**Ana Gloria De Luna Guajardo**, BIM-procedure zagotavljanja in nadzora kakovosti na osnovi izkušenj s težavami pri izvedljivosti, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121114&lang=slv>

## II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

**Andraž Kovačič**, Predlog prenove negovalne bolnišnice na Vrazovem trgu v smeri kakovostnega notranjega okolja in učinkovite rabe energije, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentor prof. dr. Aleš Krainer; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=120135>

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

**Simon Lesjak**, Ureditev ribjega prehoda na Demšarjevem jezu na Poljanski Sori, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor viš. pred. mag. Andrej Vidmar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121207>

**Rok Indihar**, Klasifikacija hudourniških pregrad s primerom uporabe, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor viš. pred. dr. Jošt Sodnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=121208>

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

### I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI GRADBENIŠTVA

**Aleš Kalamar**, Analiza stanja po izkopu naplavin na odseku reke Ščavnice, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentorica dr. Janja Kramer Stajnko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77771&lang=slv>

**Aleš Koren**, Zasnova enodružinske hiše po ICF sistemu gradnje, mentorica izr. prof. dr. Vesna Žegarac Leskovar, somentorica asist. Maja Žigart Verlič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77923>

**Luka Kukec**, Vpliv reciklirane odpadne gume kot drobnega agregata na lastnosti betonov visoke trdnosti, mentor izr. prof. dr. Andrej Ivanič, somentor izr. prof. dr. Samo Lubej; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77452>

**Peter Polak**, Obnova cevovoda Šoštanj - Termoelektrarna Šoštanj, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentorica dr. Janja Kramer Stajnko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77885&lang=slv>

**Jaka Zorko Vrabčič**, Sekundarna fekalna kanalizacija v Mo Ptuj - tehnične rešitve, mentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc, somentorica dr. Janja Kramer Stajnko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=76920>

**Matej Županec**, Primerjava izračuna prostornine izkopa gradbene jame po klasični in sodobni metodi ter stroškovna in časovna analiza, mentorica doc. dr. Nataša Šuman, somentor asist. dr. Zoran Pučko; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77697>

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Rok Stojnšek**, Tehnološki procesi grajenja in zagotavljanje varnosti pri gradnji stanovanjskega naselja Dalgona, mentor red. prof. dr. Andrej Štrukelj; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77671&lang=slv>

Študij so z diplomskim izpitom zaključili:

**Eva Gašperšič**

**Jan Hojnik**

**Gaja Karo**

**Mitja Madjar**

**Klemen Meh**

**Nastja Ozvatič**

**Katjuša Skledar**

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Josipa Blažeka**, Geomehanska in stroškovna analiza konzolno vpetih uvrtnih pilotov, mentor doc. dr. Primož Jelušič, somentor izr. prof. dr. Bojan Žlender; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77623&lang=slv>

**Josipa Božičević**, Postopek razlastitve v javnem interesu v Sloveniji in na Hrvaškem, mentor prof. dr. Igor Pšunder; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77215&lang=eng#>

**Stjepan Đurasek**, Zasnova in računska analiza poslovne jeklene stavbe višine 42 m s tri etažno podzemno armirano betonsko garažo, mentor prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Primož Jelušič; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77278&lang=slv#>

**Marko Kresnik**, Dimenzioniranje in analiza mostnih opornikov iz armirane zemljine, mentor doc. dr. Primož Jelušič, somentor izr. prof. dr. Bojan Žlender; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77534&lang=slv>

INTERDISCIPLINARNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽE-  
NIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

**I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM –  
SMER GRADBENIŠTVO**

Študij so z diplomskim izpitom zaključili:

**Ana Mastnak**

**Niklas Ozvatič**

**Nika Pokeržnik**

**II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM-  
SMER GRADBENIŠTVO**

**Valentina Novak**, Problemi pri tehnologiji gradnje čistilne naprave pri Triglavskem domu na Kredarici in predlogi rešitev, mentorja prof. dr. Andrej Štrukelj in izr. prof. dr. Igor Vrečko, somentor Andraž Hribar; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=77444&lang=slv>

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

# KOLEDAR PRIREDITEV

12.-14.11.2020

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

Spletna konferenca  
<https://iccste.com/>

19.-20.11.2020

**CRRB — 22nd International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings**

Brno, Češka  
<http://crrb.wfa.cz>

23.-24.11.2020

**3. konferenca Biznis in trendi v gradbeništvu : »Država gradbeništvu: cokla ali partner, ki nas lahko povleče iz koronskega zastoja?«**

Portorož, Slovenija  
<https://akademija-finance.si/konference/gradbena-konferenca/>

18.-19.1.2021

**NGM2021 — 18th NGM Nordic Geotechnical Meeting**

Spletna konferenca  
[www.ril.fi/en/events/ngm-2020.html](http://www.ril.fi/en/events/ngm-2020.html)

6.-8.4.2021

**BMCT Dubai 2021 - International Conference and Exhibition on Building Materials and Construction Technologies**

Dubaj, Združeni arabski Emirati  
<https://bmctdubai.org/>

20.-22.4.2021

**“Structural Faults + Repair-2020” & “European Bridge Conference-2020”**

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

7.-9.6.2021

**Mediterranean Symposium on Landslides**

Neapelj, Italija  
<https://medsymplandslides.wixsite.com/msl2021>

17.-19.6.2021

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

Izmir, Turčija  
<https://egrwse2021.com/>

21.-25.6.2021

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

Šanghaj, Kitajska  
[www.icossar2021.org/](http://www.icossar2021.org/)

4.-7.7.2021

**11th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar**

Valletta, Malta  
[www.iwagpr2021.eu/](http://www.iwagpr2021.eu/)

5.-8.7.2021

**DFI Deep Mixing Conference 2021**

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

2.-6.11.2021

**5th World Landslide Forum**

Kjoto, Japonska  
<http://wlf5.jp/hq.org/>

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