





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 2018, letnik 67, str. 193-228

Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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

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

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

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

Vsebina • Contents

In memoriam

stran **194**

DGIT Celje

**STANISLAV PETRIČ – STANE, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD.
(1937–2018)**

Članki • Papers

stran **195**

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

ONESNAŽENOST PODTALNICE NA OBMOČJU ČRPALIŠČ LJUBLJANSKEGA VODOVODA

POLLUTION OF THE GROUNDWATER WITHIN THE
WATER PUMPING STATIONS OF LJUBLJANA

stran **210**

doc. dr. Tomaž Žula, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Stojan Kravanja, univ. dipl. inž. grad.

MINLP OPTIMIRANJE SOVPREŽNEGA STROPNEGA SISTEMA Z ELASTIČNO ODPORNOSTJO NOSILCA

MINLP OPTIMIZATION OF A COMPOSITE I BEAM FLOOR
SYSTEM WITH THE ELASTIC RESISTANCE OF THE BEAM

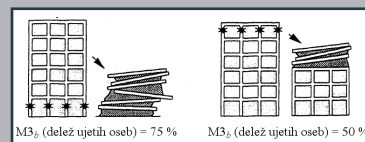
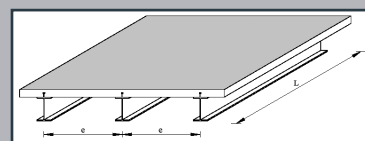
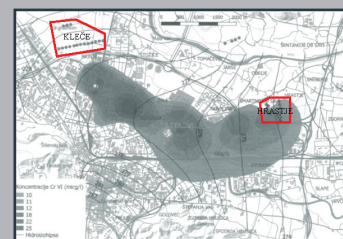
stran **219**

asist. dr. Nuša Lazar Sinković, univ. dipl. inž. grad.

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

MODELIRANJE ŠTEVILA SMRTNIH ŽRTEV PRI PORUŠITVI STAVBE

MODELLING THE NUMBER OF FATALITIES GIVEN THE
COLLAPSE OF A BUILDING



Novi diplomanti

stran **227**

Eva Okorn

Vabilo IZS

World Construction Forum 2019

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradnja brvi za pešce in kolesarje čez Savinjo pri Tremerjah, foto: Dejan Zupančič



IN MEMORIAM

STANISLAV PETRIČ – STANE, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. (1937–2018)

Poletje se je izteklo in izteklo se je življenje kolega Staneta Petriča, univ. dipl. inž. gradb. Od njega smo se poslovili v sredo, 12. septembra 2018, na celjskem mestnem pokopališču. Njegova življenjska pot se je začela v Dolenji vasi pri Ribnici na Dolenjskem v številni družini. Igrivo otroštvo je bilo ob skrbnih starših lepo, pa tudi prepleteno z zdravstvenimi težavami, ki jih je Stane prebrodil. Po osnovni šoli v domačem kraju in nižji gimnaziji v Kočevju ga je želja po znanju vodila na Srednjo tehnično gradbeno šolo v Ljubljano. Svojo prvo zaposlitev v stroki je opravljal v Kopru, a le kratek čas. Pot ga je pripeljala nazaj v Ljubljano, na študij na Gradbeno fakulteto. V času študija pa tudi pozneje je šahiral, igral odbojko in bil velik ljubitelj smučanja. Med počitnicami po drugem letniku študija se je udeležil gradnje avtoceste Beograd–Đeždželija ob južni Moravi. Po petem letniku študija se je v skupini študentov ljubljanske gradbene fakultete udeležil skupne strokovne prakse v tedanji Češkoslovaški. Smer hidrotehnike je končal uspešno in v rednem roku.

V Celju si je ustvaril družino, dom in se zaposlil pri takratni Vodni skupnosti za porečje Savinje in Sotle, ki se je preimenovala v Podjetje za urejanje voda NIVO Celje. Upokojil se je kot direktor podjetja NIVO, vodno gospodarstvo Celje, d. o. o., za tem je bil tudi član nadzornega sveta podjetja NIVO.

Njegovo delo in znanje sta bili vseskozi povezani z vodnim gospodarstvom in pozitivnim odnosom do narave. Povodje Savinje in Sotle je močno poplavno ogroženo. Spoprijemal se je s povodnimi v letih 1990 in 1998. Svoje strokovno znanje in rešitve je vgradil v številne ureditve vodotokov, komunalne infrastrukture. Izvedeni so bili veliki večnamenski objekti, kot so Šmartinsko jezero, Slivniško jezero, Žovneško jezero, pregrada Vonarje in še mnogi drugi. V vodnih ujmah, na začetku devetdesetih let, je narava stoletno delo vodarjev skoraj izničila. Svoje vodarje v podjetju je znal usmeriti in jim dati elana. Strokovno je sodeloval, da so odpravo posledic ujme usmerili v rešitve in sanacijo prizadetih območij. Za vsakega je imel lepo besedo. Znal je preudarno usmerjati vodnogospodarske programe, voditi in jih naročati. Njegova posebna ljubezen je bila družina. V jeseni življenja sta mu vsakdanje pestro življenje lepšali ljubeči vnukinji.

Ob poklicnih obveznostih se je Stane posvečal še družabnim in družbenim obveznostim. Bil je soustanovitelj Društva vodarjev Slovenije, Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Celje, dolgoletni član nadzornega odbora Inženirske zveze Slovenije, član odborov Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, član Društva generala Maistra, v čast spomina na svojega očeta, borca za severno mejo. Sodeloval je pri dejavnosti Kajak-kanu društva Nivo in športnih ureditvah na Špici in Šmartinskem jezeru. Veliko so mu pomenili prijatelji iz študentskih dni, s katerimi se je pogosto srečeval, obujal spomine na študentske dni. Mnogokrat so pogovori prešli v strokovne kroge in izmenjavo izkušenj. Kjerkoli je bil, se je vključil v dogajanje in s svojo vedrino obogatil druženje.

Žal je njegovo srce omagalo, izgubili smo kolega velikega duha, strokovnjaka in prijatelja. Ostali so njegova dela in spomini nanj.

Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Celje

ONESNAŽENOST PODTALNICE NA OBMOČJU ČRPALIŠČ LJUBLJANSKEGA VODOVODA

POLLUTION OF THE GROUNDWATER WITHIN THE WATER PUMPING STATIONS OF LJUBLJANA

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

Strokovni članek

UDK 614.7:628.112(282)(497.451.1)

Povzetek | Članek predstavlja vire onesnaženosti podtalnice, ki jo uporablja ljubljanski vodovod, ter povzema dosedanje predloge za njeno zaščito. Predlaga zaščito ogroženih črpališč ljubljanskega vodovoda v Klečah in Hrastju z umetnim bogatenjem podtalnice na podlagi izkušenj na črpališču Vrbanski plato mariborskega vodovoda in dveh drugih vodovodih v severovzhodni Sloveniji ter na črpališču Hardhof vodovoda v Zürichu.

Ključne besede: aktivna zaščita podtalnice, ljubljanski vodovod

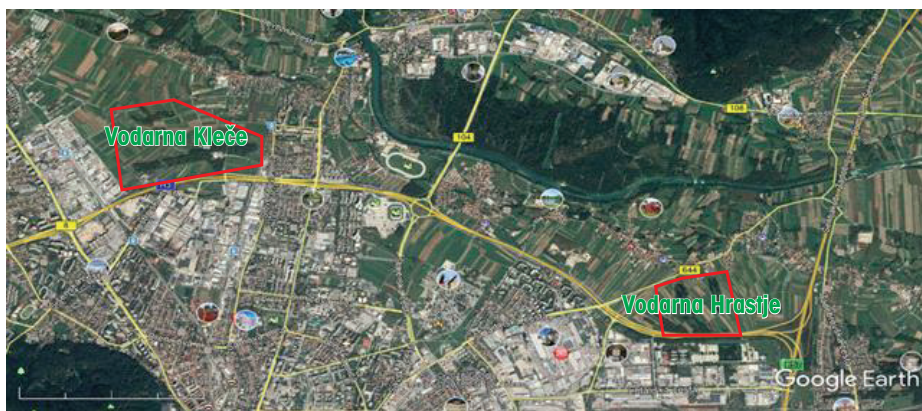
Summary | The paper summarizes the pollution sources of the groundwater that supplies the city of Ljubljana as well as existing proposals for its protection. It proposes a groundwater protection, particularly for the two pumping stations Kleče and Hrastje of the Ljubljana water supply system, from the pollution infiltrating from the city to the groundwater. The proposal is based on the results of artificial groundwater recharge of known cases: the Maribor groundwater waterwork Vrbanski plato, two waterworks in north-east Slovenia, and at the waterwork Hardhof in Zurich.

Key words: active groundwater protection, water supply system of Ljubljana

1 • UVOD

Podtalnica v vodonosniku Ljubljanskega polja je naravni rezervoar pitne vode z več kot

100.10⁶ m³ (slika 1), ki je ogrožen zaradi onesnažene podtalnice pod mestom (slika 2),



Slika 1 • Črpališči podtalnice za ljubljanski vodovod v Klečah in Hrastju.

primestnih zaselkov, kmetijskih površin in prometnic, zlasti severne obvoznice, ter z novim načrtovanim kanalom iz Medvod in Vodic do centralne čistilne naprave Ljubljane v Zalogu.

Prestor s soavtorji (Prestor, 2017) opozarja na številne vplive na kakovost podtalnice v vodonosniku pod mestom, ki kljub številnim zaščitnim ukrepom niso pod nadzorom. Opozarjajo, da »nekatera onesnaževala izvirajo iz daljne preteklosti, druga pa se v podzemni vodi pojavijo (ne)pričakovano«.

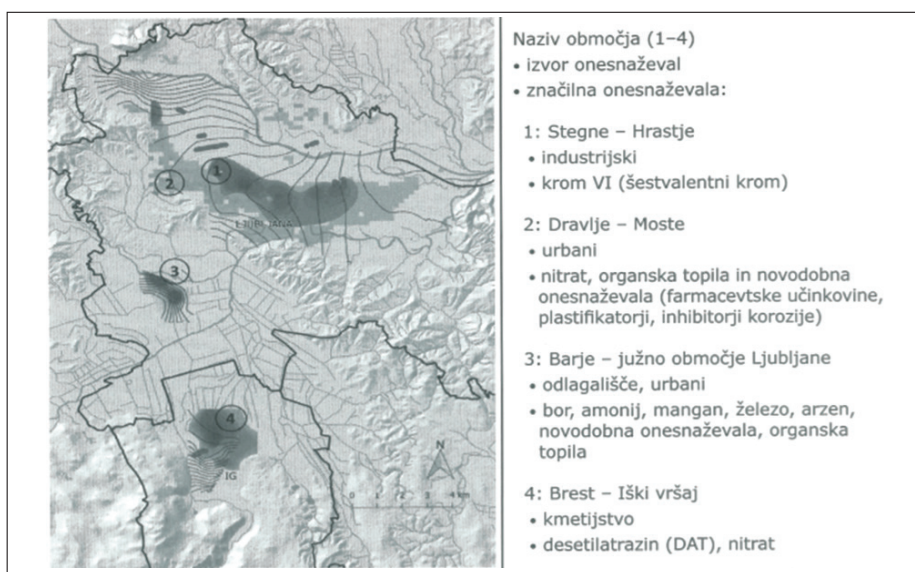
Nadalje opozarjajo na štiri najpomembnejše vire in vrste onesnaževal (preglednica 1 in slika 3), »med katerimi je desetilatrazin s stališča remediacije najtežji problem, saj so se največje koncentracije premaknile v globino od 15 do 30 m. Masa onesnaževal pa se zmanjšuje izredno počasi, v časovni razsežnosti več desetletij ali stoletja«.



Slika 2 • Vodarni ljubljanskega vodovoda v Klečah in Hrastju sta na gosto poseljenem območju Ljubljanskega polja, zato prikazano onesnaženje podtalnice ne preseneča (Prestor, 2017).

Vodarna	datum	alaklor	metolaklor	atrazin	desetil atrazin	Desizo-propil-atrazin	simazin	propazin	prometrin	Vsota	Ustreza/ne ustreza ES
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Jarški rod	21.07.97	<0,03	<0,03	<0,03	<0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	da
Hrastje	21.07.97	<0,03	0,08	0,13	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,21	ne
Kleče	21.07.97	<0,03	0,26	0,39	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,65	ne
Šentvid	21.07.97	<0,03	<0,03	0,10	0,19	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,29	ne
Brest	21.07.97	<0,03	<0,03	0,05	0,17	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,17	ne

Preglednica 1 • Vsebnost pesticidov v vzorcih pitne vode leta 1997 vodarn ljubljanskega vodovoda po poročilih IVO – ZZV Maribor in ZIRS Ljubljana.



Slika 3 • Vodarna na Brestu z barjansko podtalnico je bila zgrajena v 70. letih prejšnjega stoletja za pitno vodo tega območja in za rezervni varnostni vir ljubljanskega vodovoda v primeru izpada vodarn na Ljubljanskem polju.

Ne samo podtalnica na Ljubljanskem polju, tudi barjanska podtalnica črpališča na Brestu, ki je bila zgrajena za varnostno rezervo, ni več v celoti uporabna (slika 3). Zaradi onesnažene podtalnice v vodarni v Hrastju je ljubljansko podjetje VOKA moralo del vodnjakov izločiti, in vodarna deluje le z 20 % (slika 4) (Horvat 2005) svoje predvidene zmogljivosti. To pomeni, da sedanji način zaščite teh vodnih virov ljubljanskega vodovoda ne zadostuje.

Izjemen pomen in problemi zaščite podtalnice Ljubljanskega polja so predstavili Rejec Brancelj in sodelavci (Rejec Brancelj, 2005): »Iz dosedanjih hidrogeoloških raziskav lahko sklenemo, da je naravna ranljivost podzemne vode na celotnem Ljubljanskem polju velika. Upravljanje in varovanje podzemne vode Ljubljanskega polja mora tako izhajati iz poglobljene analize ranljivosti podzemne vode.« In dalje: »Poleg podrobnejše analize litološke zgradbe nenasičene

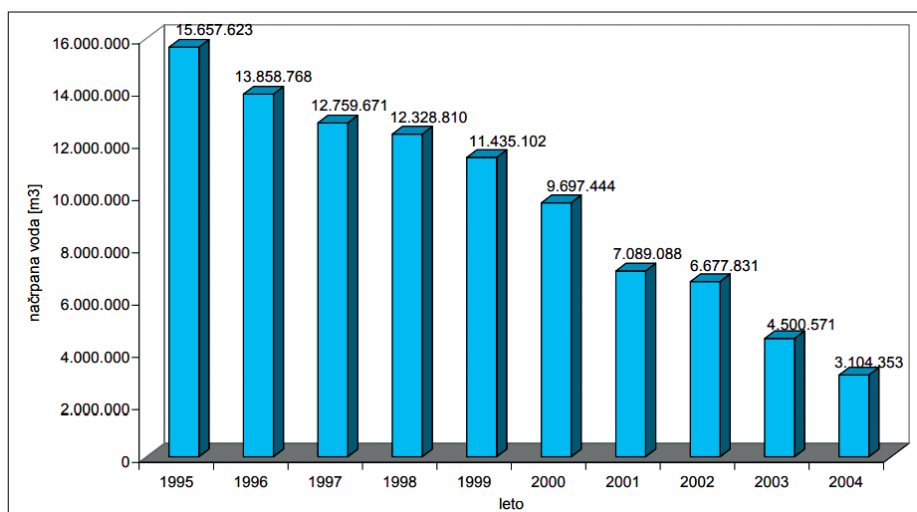
cone bi bilo treba upoštevati tudi interakcijo s površinskimi vodami (predvsem s Savo in Ljubljanico, ki napajata in drenirata vodonosnik Ljubljanskega polja) in antropogene vplive (gramoznice, avtocestni useki, urbanizirane površine, vodovodni in kanalizacijski objekti ...) na spremembo naravne ranljivosti podzemne vode Ljubljanskega polja. V okviru ocenjevanja posebne ranljivosti podzemne vode naj bi bile vključene tudi informacije o fizikalnih in kemičnih lastnostih potencialnih onesnaževal ter informacije o fizikalnih in kemičnih lastnostih pedoloških in litoloških plasti, kar bi omogočalo oceno učinkovitosti procesov retardacije in degradacije onesnaževal. Na teh podlagah bi morala sloneti strategija zaščite in sanacije podzemne vode Ljubljanskega polja, predvsem pa je treba nadaljevati in razširiti proces ozaveščanja uporabnikov tega prostora o vodnem bogastvu Ljubljanskega polja in njegovi veliki ranljivosti.«

Na ogroženost pitne podtalnice zlasti v vodarni v Hrastju s pred leti načrtovano, sedaj že leta zgrajeno severno obvoznico je opozarjal že Breznik (Breznik, 1988).

Podobno je opozoril avtor tega članka (Rismal, 1999) v poročilu za DARS, investitorja severne obvoznice, da z načrtovano kanalizacijo ne bo zaščitil pitne podtalnice vodarne v Hrastju pred permanentnim onesnaževanjem izpod mesta, ampak jo bo z že obstoječim onesnaženjem le dodatno izpostavil. Namesto da bi onesnaženi pretok 8,8 m³/s po kanalu ϕ 220 in ϕ 200 že zgrajenega dela severne obvoznice speljali v Savo, so vanjo spustili le 3,5 m³/s. Preostalih 5,3 m³/s pa so po novem kanalu ϕ 180 iz duktilne litoželezne litine speljali le okoli 200 m od vodarne in ga nekaj kilometrov pod njo spustili v Savo (slika 7).

S tem kanalom z onesnaženim padavinskim odtokom 5,3 m³/s pa so vodarno v Hrastju le dodatno izpostavili nevarnosti, saj poškodbe kanala in večja razlitja onesnaženja pri veliki prometni obremenitvi obvoznice niso izključene.

Za zaščito vodarne v Hrastju bi morali ves dotok z obvoznice nad vodarno speljati v Savo (slika 8). Za to razbremenitvijo pa desetkrat



Slika 4 • Zaradi onesnaženja podtalnice so na vodarni Hrastje v 10 letih morali zmanjšati črpanje podtalnice s 15.657.623 m³ na 3.104.353 m³ na leto ali za 18,86 % svoje zmogljivosti (Horvat, 2005).

manjši odtok iz obvoznice po manjših ceveh ϕ 60 iz duktilne litoželezne litine speljati v Savo, stran od območja vodarne (slika 8).

Ker ob reviziji projekta kanalizacije v nadaljevanju tega članka predlagane zaščite vodarne v Hrastju z umetnim bogatenjem podtalnice niso sprejeli, ni presenečenje, da so morali pozneje zaradi skupnega

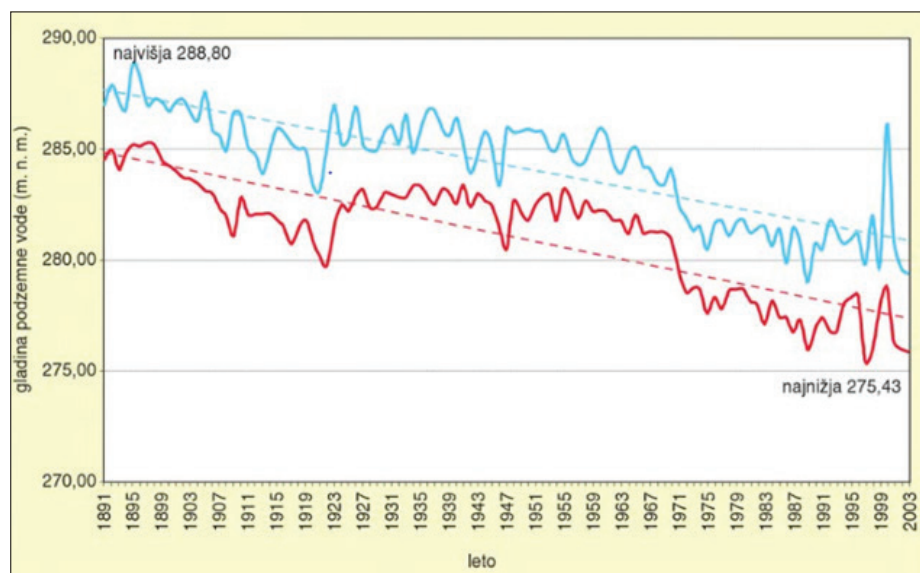
onesnaženja del vodnjakov v vodarni v Hrastju izklopiti.

Kljub temu pa sedaj, kot vemo iz javnih občil, na tem vplivnem območju vodarni ljubljanskega vodovoda in kljub javnim opozorilom hidrogeologov s kohezijskim denarjem gradijo novi kanal za odvod odpadne vode od Vodic in Medvod do centralne čistilne naprave Ljubljana v Zalogu.

2 • PREGLED PREDLAGANIH REŠITEV ZA VARNOST PODTALNICE

Ranljivosti podtalnice so se zavedali že inženirji na Vodni upravi in Zvezi vodnih skupnosti, ki so načrtovali bolj varno pitno vodo iz podtalnice na Sorškem polju. Varianta je bila celo

voda iz 70 km oddaljene vodne akumulacije na Radovni, ki bi jo v ta namen zgradili. Za vodo iz akumulacije v lškem vintgarju pa je bila narejena tudi študija. Predlagana je



Slika 5 • Gladina podzemne vode Ljubljanskega polja med letoma 1891 in 2003 (Rejec Brancelj, 2005).

bila možnost zajema kraške podtalnice izpod Krima.

Po naročilu Ljubljanskega vodovoda je med letoma 1974 in 1976 Biro za komunalno hidrotehniko Zavoda za urbanizem v Mariboru izdelal idejni elaborat za zaščito podtalnice vodarne v Hrastju z umetnim bogatenjem podtalnice preko tedanje velike gramoznice Gradisa ob Savi.

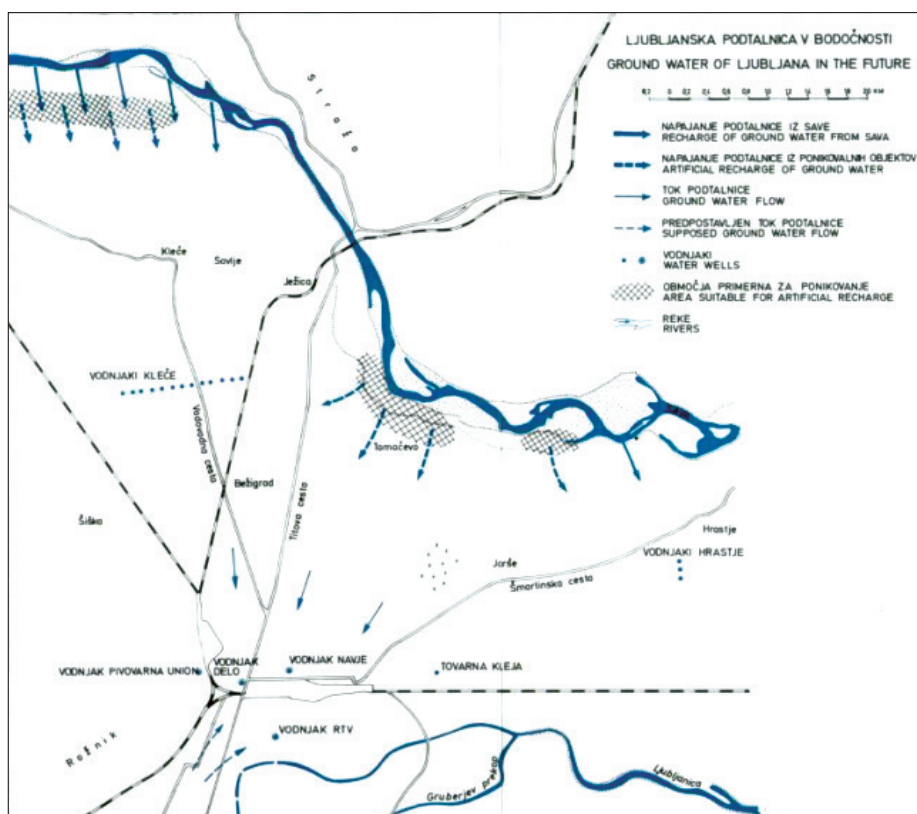
Podobno rešitev z bogatenjem podtalnice, kar bi rešilo težave zaradi upadanja gladine podtalnice (slika 5) zaradi poglobljanja savske struge in večjega črpanja podtalnice v vodarnah v Klečah in Hrastju, sta predlagala tudi Pleskovič (Pleskovič, 1974) in Breznik ((Breznik, 1969), (Breznik, 1988)). S tem pa bi podtalnico obeh vodarn tudi zavarovali pred onesnaženjem izpod mesta, industrije, kmetijskih površin in prometnic (slika 6).

Po Brezniku (1988) bi bogatenje podtalnice iz Save vplivalo na podtalnico med Malo vasjo in Tomačevim, deloma na črpališče v Klečah, predvsem pa na črpališča v središču Ljubljane. Med Malo vasjo in Tomačevim bi blizu Save izkoristili obstoječe in zgradili nove bazene ali jezera, kot je bilo že predvideno za rekreacijski center na Ježici.

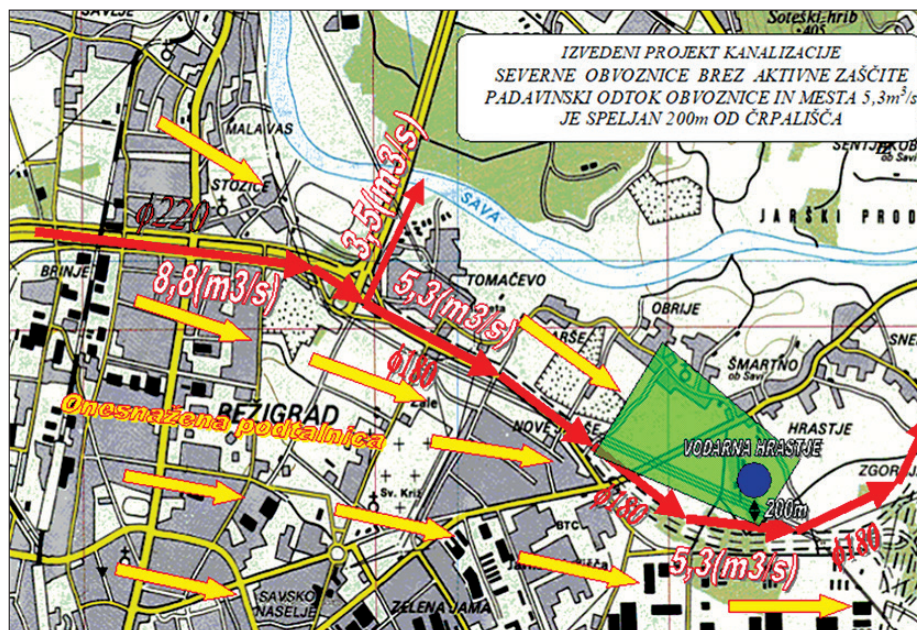
Približno 1 km od Save bi uredili ponikalne jame ali ponikalne vodnjake. Stare rokave ob Savi bi preuredili v ponikalne ovalne bazene ali jezera. Nekoliko bolj oddaljeni bi bil ponikalni jarek. Vodo iz Save bi dobili na jezu kanala tlačenske elektrarne ali bi jo črpali z Save.

Aktivna zaščita z umetnim bogatenjem podtalnice iz Save zavaruje črpalo podtalnico pred možnim onesnaženjem z obvoznice in pred onesnaženo podtalnico izpod mesta. Ta način rešuje tri probleme hkrati: vodarni daje dovolj vode in jo istočasno varuje pred prisotnim onesnaženjem iz mesta in s severne obvoznice (Rismal, 1999).

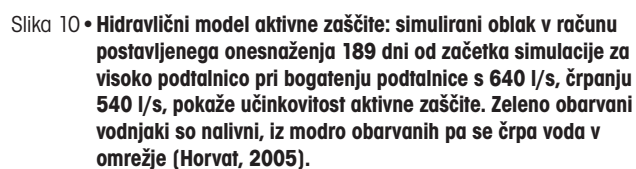
Zaradi velike ogroženosti podtalnice s strani severne obvoznice s kanalizacijo in z onesnaženjem izpod mesta je mogoče vodarno v Hrastju zavarovati edino z aktivno zaščito podtalnice (slike 9, 10), z bogatenjem iz Save ustvarjeno vodno zaveso, kot je že več kot 30 let načrtovana, žal pa le delno izvedena za vodovod v Mariboru in drugih v nadaljevanju navedenih primerih ((Rismal, 1974), (Rismal, 1999)), (slike 8 in 9).



Slika 6 • Umetno bogatenje podtalnice Ljubljanskega polja za preprečitev upadanja podtalnice (Breznik, 1969).



Slika 7 • Vodnogospodarsko in hidrotehnično napačni načrt kanalizacije severne obvoznice za zaščito vodarne v Hrastju.



3 • LASTNOSTI AKTIVNE ZAŠČITE PITNE PODTALNICE Z UMETNIM BOGATENJEM

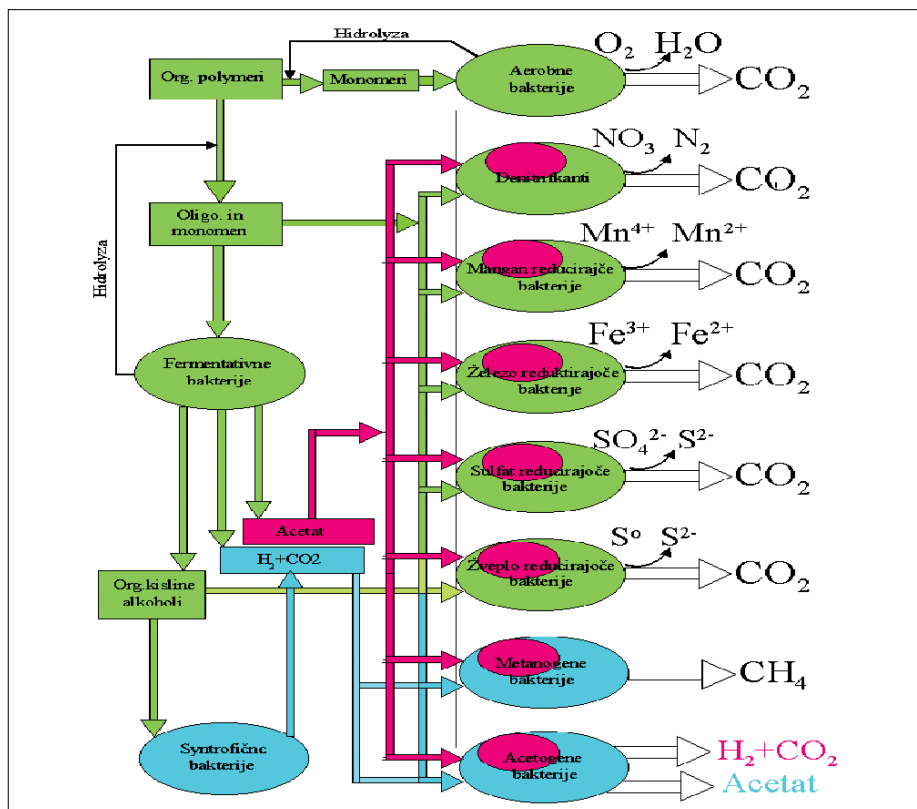
V primerjavi s pasivno zaščito s predpisanimi varnostnimi pasovi ima naslednje lastnosti in prednosti:

6. Pozitivna lastnost »aktivne« zaščite je tudi, da se namesto fizikalno-kemičnega čiščenja

rečne vode na čistilnih napravah, tam, kjer so ugodni hidrogeološki pogoji, izkoristi med obrežno filtracijo potekajoče naravno biokemično čiščenje rečne vode brez kemikalij. Biokemijske procese samočiščenja, ki poteka v vodonosnikih, kaže slika 11.

7. Kakovost obogatene črpane podtalnice je zagotovljena s popolno kontrolo in nadzorom kakovosti infiltriranega obrežnega filtrata.
8. Po dolgoletnih izkušnjah črpališča Mariborskega vodovoda na Vrbskem platoju z bogatenjem podtalnice z obrežnim filtratom Drave in v Zürichu na črpališču Hardhof iz reke Limmat (slike 28, 29 in 30) je vdor onesnažene podtalnice v vodnjake iz zaledja uspešno preprečen.

Opisana aktivna zaščita pitne podtalnice z bogatenjem rešuje pitno vodo v vodarni Hrastje in podobno v Klečah. Ne izključuje pa predpisanih in drugih varnostnih ukrepov drugih uporabnikov prostora, ki so potrebni za dolgoročno rehabilitacijo kakovosti podtalnice v preostalih delih tega velikega rezervoarja pitne vode. Aktivna zaščita pa je potrebna tudi zato, ker lahko odstranitev desetil-atrazina traja tudi 100 let. Za bogatenje podtalnice je pomembno (slika 11), da je voda, s katero bogatimo podtalnico, dobro zasičena s kisikom O_2 , ki je potreben za oksidacijo organskega ogljika in za preprečitev redukcije Mn, Fe, S in C v CH_4 .



Slika 11 • Mikrobiološka razgradnja organskih polutantov v vodonosniku poteka po različnih metaboličnih poteh, ki se razlikujejo po sprejemnikih elektronov v procesu oksidacije ogljika z O_2 , NO_3 , Snovi, ki so v podtalnici, so na eni strani »hrana mikrobov« na drugi strani pa produkt njihove presnove (Gpoll, 1998).

4 • PETDESETLETNE IZKUŠNJE Z AKTIVNO ZAŠČITO PODTALNICE V SLOVENIJI IN TUJINI

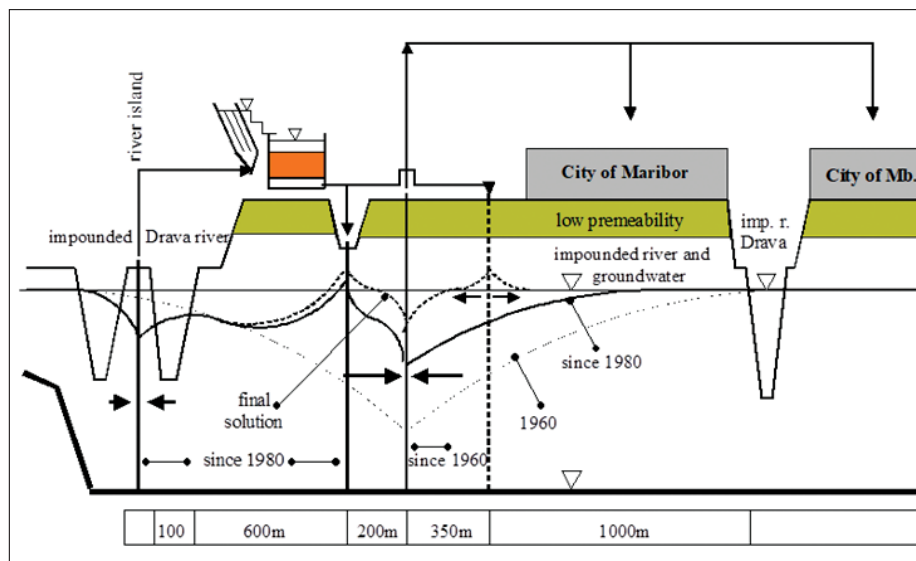
V Sloveniji se aktivna zaščita podtalnice uporablja že od leta 1970. Na Vrbskem platoju pri Mariboru deluje črpališče vode iz reke Drave s kapaciteto od 400 do 500 l/s, ki jo je mogoče povečati na načrtovano, od 700 do 800 l/s (slike 12 do 24). To črpališče oskrbuje s pitno vodo široko zaledje od Fale do Šentilja, Benedikta in Lenarta v Slovenskih goricah. Površina zaščitnega pasu je nekajkrat manjša, kot bi bila za črpanje podtalnice na Dravskem polju.

Podobne rešitve so uporabljene na plitvejši podtalnici Apaškega polja za vodovod Gornja Radgona - Radenci (slike 25 do 27) in na podtalnici Ptujkega polja za vodovod Ormož že od 1980 leta (slike 28 in 29).

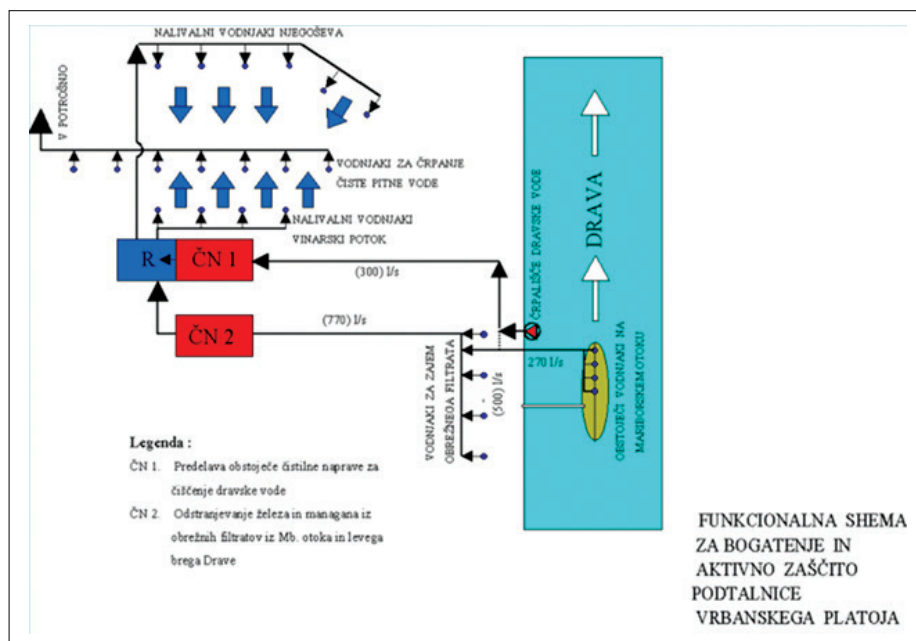
Med znanimi primeri v tujini je tudi črpališče Hardhoff pri Zürichu. Iz reke Limmat, odtoka Zürškega jezera, načrpa $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (slike 29, 30 in 31).



Slika 12 • Območje vodarne na Vrbskem platoju v neposredni bližini mesta Maribor je po načrtu (slike 13 do 18) zaščiteno pred vplivi iz mesta. Podtalnica se po načrtu bogati z obrežnim filtratom iz Mariborskega otoka, obrežnih vodnjakov Drave in po potrebi z očiščeno dravsko vodo (slika 14). Izvedeno pa je le bogatenje z obrežnim filtratom in iz Mariborskega otoka.



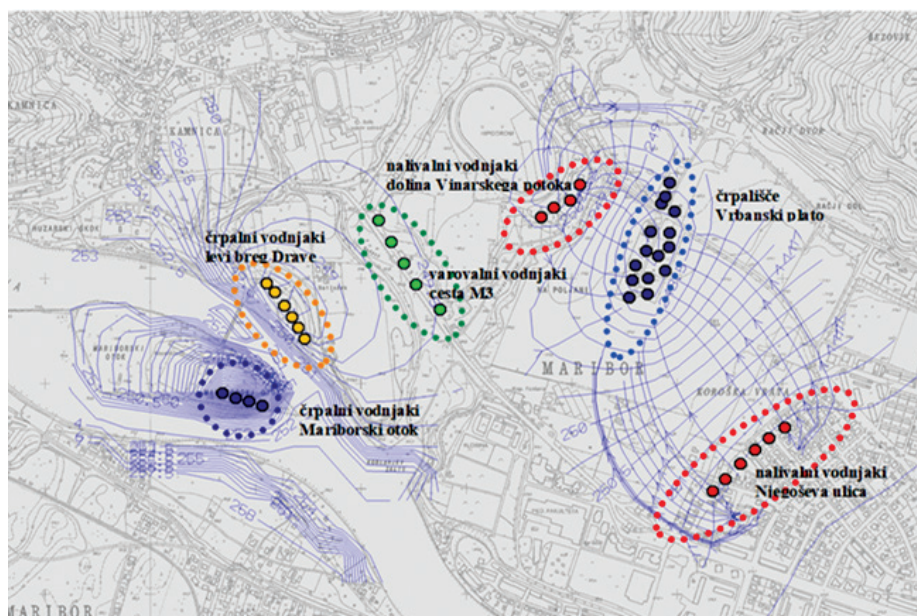
Slika 13 • Shema umetnega bogatenja podtalnice na Vrbanškem platoju (Rismal, 2000).



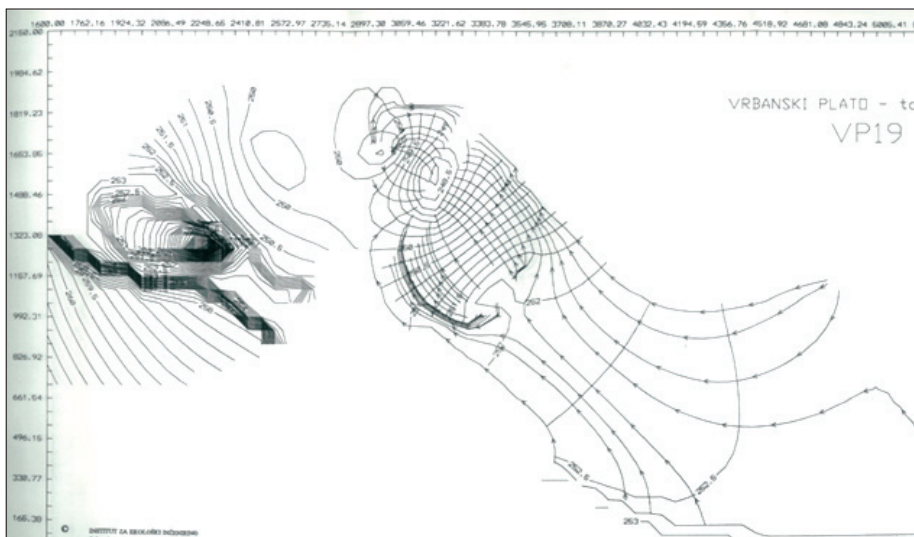
Slika 14 • Načrt za aktivno zaščito pitne podtalnice za črpalnice na Mariborskem otoku (slika 16) je narejen za zmogljivost črpalnice od 700 do 800 l/s črpane podtalnice z dvostranskim bogatenjem podtalnice. Do danes pa je zgrajeno le enostransko bogatenje z zahodne, ne pa tudi z vzhodne strani črpalnih vodnjakov (slika 13). Načrtovani so vodnjaki za 270 l/s obrežnega filtrata Drave na Mariborskem otoku in zajem 500 l/s na levem bregu Drave z možnim dodatkom na ČN 1 očiščene Drave (Rismal, 2007).



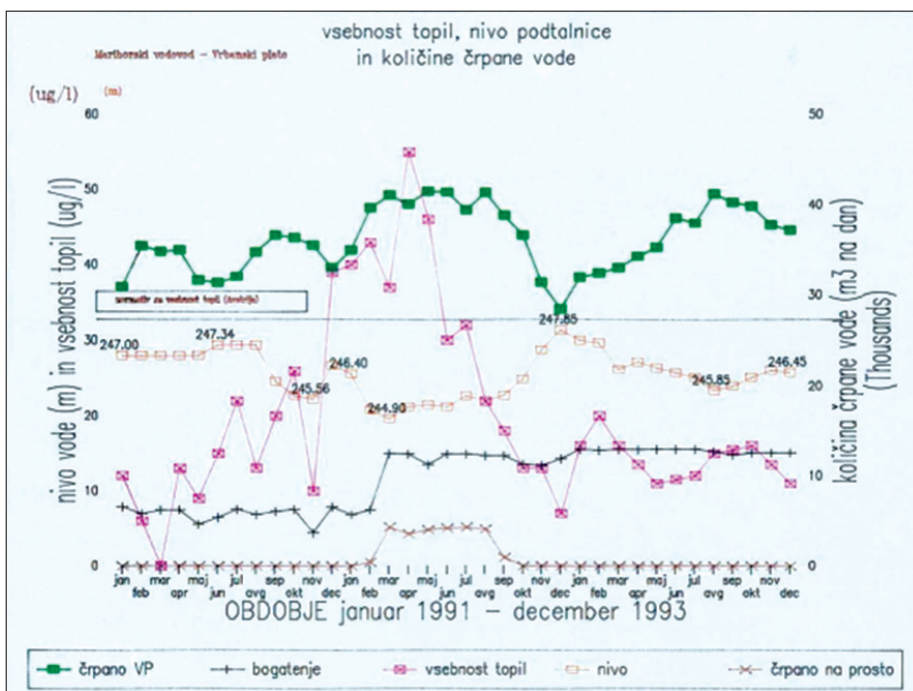
Slika 15 • Načrtovana bariera nalivnih vodnjakov s čistilno napravo (levo pod športnim igriščem) za pripravo obrežnega filtrata pred bogatenjem in zgrajenih črpalnih vodnjakov. Rdeče označena bariera nalivnih vodnjakov proti onesnaženi podtalnici izpod mesta ni zgrajena.



Slika 16 • Tokovnice obogatene podtalnice, zmogljivost črpalnišča 700 do 800 l/s, z negativnimi vodnjaki na zahodni (zgrajeno) in proti mestu na vzhodni strani črpalnih vodnjakov. (Model podtalnice: mag. Irena Kopač).



Slika 17 • Model toka podtalnice na Vrbanjskem platoju. (mag. Irena Kopač).



Slika 18 • Prikaz naglega upada organskih topil (trihalometanov) iz nevodotesne mestne kanalizacije. S povečanim bogatenjem podtalnice z zahodne strani je koncentracija trihalometanov naglo upadla. Na črpalnišču so z namenom zmanjšati porabo energije opustili bogatenje podtalnice z obrežnim filtratom Drave z Mariborskega otoka. S povečanim bogatenjem je v črpani vodi koncentracija trihalometanov naglo upadla. Podoben primer je bil tudi onesnaženje s šestvalentnim kromom Cr^{6+} .



Slika 19 • Zgrajenemu vodnjaku na Mariborskem otoku za črpanje obrežnega filtrata so nasprotovali okoljevarstveniki.



Slika 21 • Zakopani vodnjaki za zajem obrežnega filtrata na Mariborskem otoku.



Slika 20 • Na lamelnem usedalniku peska očiščeni obrežni filtrat.



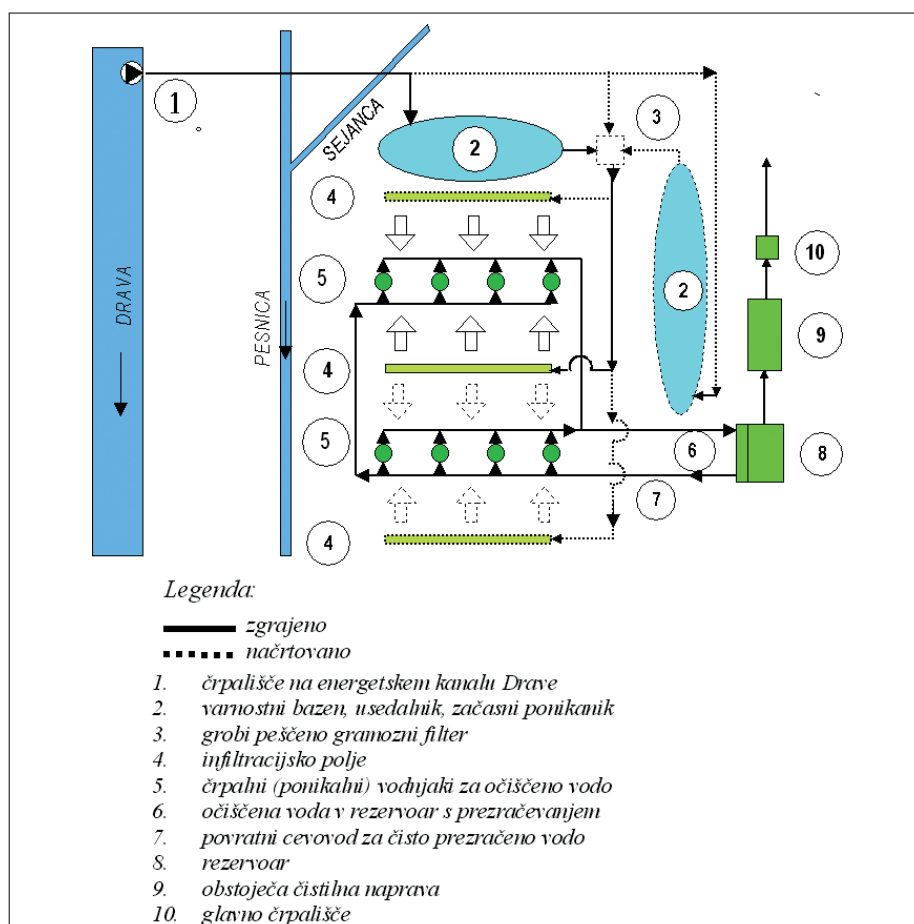
Slika 22 • Obrežni filtrat na iztoku iz lamelnih usedalnikov.



Slika 23 • Čistilna naprava za odstranitev peska, za eliminacijo Mn^{2+} in Fe^{2+} in ozračje vode pred infiltracijo preko nalivalnih vodnjakov v podtalnico na vodarni Vrbanski plato.



Slika 24 • Ozračenje obrežnega filtrata na čistilni napravi pred infiltracijo v vodonosnik.



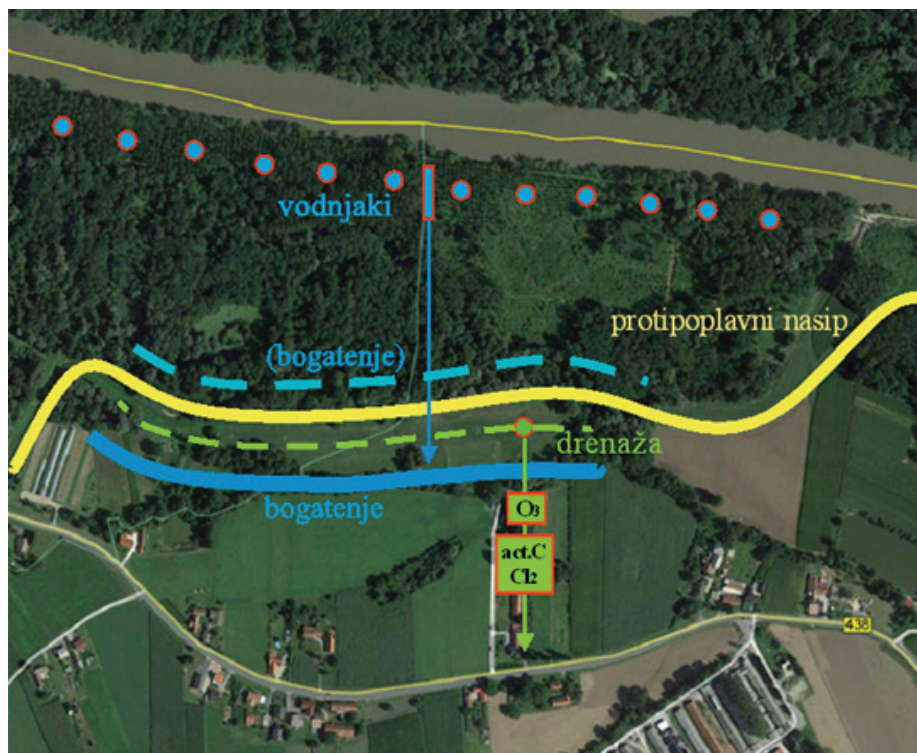
Slika 25 • Shema bogatjenja podtalnice za vodovod Ormož. Na sliki predvideni grobi filtri pred bogatjenjem niso bili izvedeni (Rismal, 2008).



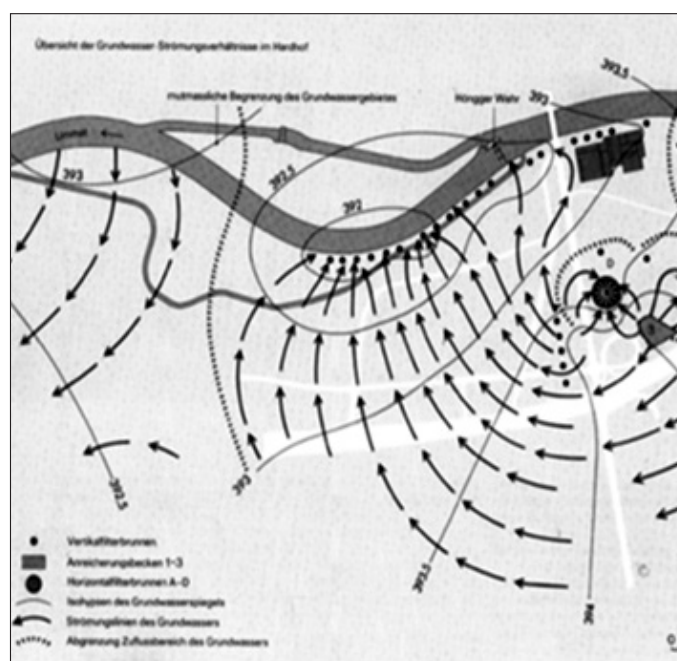
Slika 26 • Ozračevanje črpane podtalnice z injektorjem za načrtovano oksidacijo Fe in Mn v vodonosniku.



Slika 27 • Pogled na vodne bazene in ponikalna polja za bogatenje podtalnice vodovoda Ormož pri Mihovcih.



Slika 28 • Aktivna zaščita z bogatenjem podtalnice na črpališču v Podgradu na Apaškem polju.



Slika 29 • Tokovnice iz obrežnega filtrata in iz reke Limmat obogatene podtalnice.



Slika 30 • Shema bogatenja podtalnice na črpališču Hardhoff pri Zürichu.



Slika 31 • Pogled na zaščiteno območje vodarne Hardhof v trikotniku med dvema prometnicama in reko Limmat.

5 • SKLEP

Zaščita virov pitne vode je prva naloge upravljanja in gospodarjenja z vodami in je del celostnega integralnega naravovarstveno skladnega urejanja in gospodarjenja z okoljem in prostorom.

Gre za usklajevanje nasprotujočih si potreb in za ohranitev zdravega okolja z dovolj dobre vode, čisto ozračje in dovolj hrane, na drugi strani pa za potrebe družbe, ki s svojim razvojem sedaj v naravno okolje še vedno preveč posega.

Naloga urejanja in gospodarjenja z vodami je, da za uporabo vode, v tem primeru pitne vode, skupaj z načrtovalci prostora izbere načine, ki v največji meri ščitijo kakovost in količino podzemnih in površinskih voda, obenem pa varujejo za prehrano potrebne kmetijske površine in plodna tla pred urbanizacijo s prometnicami in industrijo.

V članku je obravnavana »aktivna zaščita« pitne podtalnice. Tako jo poimenujem, ker lahko z bogatenjem podtalnice iz rek in potokov, v nasprotju z obsežnimi varnostnimi pasovi »pasivne zaščite«, na znatno manjših zaščiteneh površinah pridobimo dovolj po kakovosti in po količini neoporečne in varne pitne vode.

Obravnavana aktivna zaščita je primer integralnega načrtovanja in upravljanja voda in prostora. Namesto v preteklosti načrtovane uporabe podtalnice na Sorškem polju, načrtovane akumulacije na Radovni, iz bližnje sofeske Iške, ki bi pomenile velike posege v naravno okolje, aktivna zaščita podtalnice omogoča ohranitev velikega rezervoarja pitne vode za Ljubljano z njenim širokim zaledjem in trajno preskrbo z zdravo pitno vodo. Samo za ceno velike akumulacije na Radovni je mogoče zgraditi do Ljubljane večino čistilnih naprav in s tem pridobiti čisto Savo.

Na slovenskih prodnih vodonosnikih s pitno podtalnico je mogoče ob spoštovanju predpisov za zaščito podtalnice in površinskih voda z opisano aktivno zaščito zagotoviti dovolj zdrave pitne vode tudi za namakanje v kmetijstvu v najbolj sušnih letih.

Z manjšimi zaščitnimi pasovi, kot jih zahteva »pasivna« zaščita po obstoječih predpisih, pa je mogoče tako pridobljene površine sprostiti za kmetijstvo.

Rezultati več kot 30-letne aktivne zaščite podtalnice vodovodov v Mariboru, Ormožu, na vodarni Pomurskega vodovoda v Podgradu in

Segovcih ter opisani primer vodarne Hardhof za Zürich to potrjujejo.

Opisana ogroženost pitne vode v vodarni ljubljanskega vodovoda Hrastje in podobno v Klečah, ki sta glavni vir pitne vode za Ljubljano, potrebuje takojšnje ukrepe za trajno izboljšanje kakovosti in varnosti pitne podtalnice. Pri tem ne gre le za varnost podtalnice v obeh vodarnah, ampak nič manj za ohranitev tega velikega, verjetno največjega naravnega rezervoarja pitne vode v državi.

Za vodarno v Hrastju sta po opisanih dolgoletnih izkušnjah stroke doma in v tujini potrebni in mogoči le obnovitev zmogljivosti in varnost pitne vode s preizkušeno metodo aktivne zaščite podtalnice.

V sedanjih razmerah in pogojih onesnaženja podtalnice zaradi inertnosti za zdaj neizogibnega kemičnega onesnaženja (pesticidi in drugo kemično onesnaževanje okolja) v doglednem času ni mogoče v celoti preprečiti, tudi v primeru, ko bo obnovljena vsa kanalizacija mesta in naselij. Ostaneta prometna mreža in kmetijstvo. Bogatenje podtalnice pa ostane trajna naloga preventivne zaščite in gladine podtalnice, saj bo zaradi zaježitve Save v primeru izgradnje HE naravna infiltracija manjša.

Opisani način varovanja pitne podtalnice bi bilo treba v povodju Save obravnavati v okviru integralnega upravljanja in gospodarjenja z vodami, plodno zemljo in prostorom.

6 • LITERATURA

- Breznik, M., Hidrogeološke in hidrološke osnove za zaščito podtalnice Ljubljanskega polja, Ljubljanski ekološki dnevi, 1988, Naše okolje 1-2, Ljubljana, str. 22–25, 1988.
- Breznik, M., Podtalnica Ljubljanskega polja in možnosti njenega povečanega izkoriščanja, Geologija letnik 12, 1969.
- GPoll, Groundwater Pollution, European Science Foundation, oktober 1998.
- Horvat, B., Aktivna zaščita vodarne Hrastje, diplomska naloga, UL FGG, 2005.
- Pleskovič, M., Podtalnica črpališč Ljubljanskega polja in možnosti dodatnega napajanja, Gradbeni vestnik, 2, stran 32, 1974.
- Prestor, J., Jamnik, B., Pestotnik, S., Meglič, P., Cerar, S., Janža, M., Auersperger, P., Železnik, B., Upravljanje onesnaženj podzemne vode na ravni funkcionalnega mestnega območja, Vodni dnevi 2017, Portorož, 5. in 6. oktober 2017.
- Rejcek Brancelj, I., Smrekar, A., Kladnik, D., Podtalnica Ljubljanskega polja, ZRC SAZU, 2005.
- Rismal, M., Aktivna zaščita pitne podtalnice za vodovod Ormož, Gradbeni vestnik, 3, 2008.
- Rismal, M., Izbira in zaščita vodnih virov za Vodovod Maribor, Gradbeni vestnik, 12, 1967.
- Rismal, M., Poročilo za DARS, Analiza projekta D kanalizacije severne obvoznice, 1999/R18 pdf, 1990.
- Rismal, M., Problematika odvodnje z AC in zaščita podtalnice Vodarne ljubljanskega vodovoda v Hrastju, Mišičev vodarski dan, 1999.
- Rismal, M., River bank filtration as pre-treatment of river water for artificial recharge of groundwater for drinking water supply of the city of Maribor, Univerza Dresden, Workshop, jun. 2000.
- Rismal, M., Tehnološki projekt bogatenja in aktivne zaščite podtalnice na Vrbanskem platoju, Ljubljana, 12. 8. 2007.
- Rismal, M., Vodna preskrba Maribora v zvezi z urbanističnim načrtom mesta, Gradbeni vestnik, 1-2, 1978.

MINLP-OPTIMIRANJE SOVPREŽNEGA STROPNEGA SISTEMA Z ELASTIČNO ODPORNOSTJO NOSILCA

MINLP OPTIMIZATION OF A COMPOSITE I BEAM FLOOR SYSTEM WITH THE ELASTIC RESISTANCE OF THE BEAM

doc. dr. Tomaž Žula, univ. dipl. inž. grad.

tomaz.zula@um.si

prof. dr. Stojan Kravanja, univ. dipl. inž. grad.

stojan.kravanja@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
prometno inženirstvo in arhitekturo

Znanstveni članek

UDK 624.07:657.471

Povzetek | V prispevku predstavljamo stroškovno optimiranje sovprežnega stropnega sistema z elastično upogibno odpornostjo prereza nosilca. Strop je sestavljen iz jeklenih I-nosilcev in armiranobetonske plošče. Za optimiranje smo uporabili metodo mešanega celoštevilskega nelinearnega programiranja (MINLP). Optimizacijski model vsebuje podrobno namensko funkcijo lastnih izdelavnih stroškov, ki je podvržena pogojem iz statike konstrukcij in dimenzioniranja. Pogoje enačbe dimenzioniranja so določene v skladu z Evrokodom 4. Za reševanje nekonveksnega, nelinearnega in kombiniranega diskretno-zveznega optimizacijskega problema sovprežnega stropnega sistema smo uporabili modificirani algoritem zunanje aproksimacije s sprostitvijo enačb (Modified OA/ER). Z optimiranjem so izračunani minimalni lastni izdelavni stroški konstrukcije, optimalna trdnost materiala betona in jekla ter dimenzije prečnega prereza stropnega sistema. Na koncu članka je predstavljen računski primer optimizacije. Narejena je tudi primerjava rezultatov med elastično in plastično odpornostjo prereza nosilca sovprežnega stropnega sistema.

Ključne besede: sovprežne konstrukcije, stroškovno optimiranje, optimiranje standardnih materialov, optimiranje diskretnih dimenzij, mešano celoštevilsko nelinearno programiranje, MINLP

Summary | This paper presents the cost optimization of a composite I beam floor system. The elastic bending moment resistance of the composite cross-section is considered. The I beam floor system is designed to be made from a steel I sections and a reinforced concrete slab. The optimization was calculated by the mixed-integer non-linear programming (MINLP) approach. An accurate economic objective function of the self-manufacturing costs was applied and subjected to design, resistance and deflection (in)equality constraints. Dimensioning constraints were determined in accordance with Eurocode 4. The Modified Outer-Approximation/Equality-Relaxation (OA/ER) algorithm was applied for the solution of the non-convex, non-linear combined discrete-continuous optimization problem of the composite structure. The optimal result includes the minimal production costs of the structure, the optimal concrete and steel strengths, and the dimensions of the structure. A numerical example of the optimization of the composite I beam floor system, together with the comparison between results of the elastic and plastic resistances of the composite cross-section, is presented at the end of the paper.

Key words: composite structures, cost optimization, standard material optimization, discrete sizing optimization, mixed-integer non-linear programming, MINLP

1 • UVOD

Sovprežni stropni sistemi predstavljajo učinkovito vrsto konstrukcijskih elementov predvsem zaradi kompatibilnosti med dvema različnima materialoma, betonom v tlačni coni in jeklom v natezni coni. Zato inženirji sovprežne konstrukcije načrtujejo za različne tipe objektov, kot so trgovski objekti, industrijski objekti, večetažni objekti, športni objekti itd. Posledično je optimizacija sovprežnih konstrukcij postala priljubljeno področje tudi med raziskovalci.

V preteklosti se je kar nekaj avtorjev ukvarjalo z optimizacijo različnih sovprežnih stropnih sistemov, pri čemer so uporabljali različne optimizacijske metode in algoritme. Na primer, Klanšek in Kravanja ((Klanšek, 2006a), (Klanšek, 2006b)) sta za raziskavo konkurenčnosti različnih sovprežnih stropnih sistemov uporabila metodo nelinearnega programiranja (NLP). V nadaljevanju so naštetih raziskovalci za optimalno obliko sovprežnih konstrukcij uporabili različne algoritme: Poitras s sodelavci (Poitras, 2011) roj delcev (particle swarm optimization), Omkar s sodelavci (Omkar, 2011) algoritem kolonije čebel (artificial bee colony), Kaveh in Massoudi (Kaveh, 2012) sta uporabila algoritem kolonije mravelj (ant colony system), Kravanja s sodelavci (Kravanja, 2017) metodo mešanega celoštevilskega nelinearnega programiranja.

V referenci Žula in Kravanja (Žula, 2017) smo za dimenzioniranje uporabili plas-

tično upogibno odpornost prereza nosilca. V prispevku predstavljamo stroškovno optimiranje sovprežnega stropnega sistema, kjer so pogoji upogibne odpornosti prereza nosilca definirani z elastično odpornostjo. Slednjo uporabimo, kadar imamo opravka s 3. in 4. razredom kompaktnosti. V tem članku definirano konservativno elastično odpornost prereza prvenstveno uporabimo z namenom, da prikažemo razliko rezultatov med elastično in plastično odpornostjo. Za optimiranje smo uporabili metodo mešanega celoštevilskega nelinearnega programiranja (MINLP). Z MINLP se sočasno izvajajo diskretno optimiranje standardnih dimenzij (standardnih jeklenih prerezov nosilcev in armaturnih mrež), diskretno optimiranje materiala (trdnostnega razreda betona in jekla), diskretno optimiranje zaokroženih dimenzij (debeline armiranobetonske plošče) in optimiranje zveznih parametrov (stroškov, mase).

Diskretno/zvezni optimizacijski problem MINLP sovprežnega stropnega sistema je obsežen, nekonvexen in nelinearen. Zato optimiranje poteka v treh korakih. V prvem koraku se generira mehanska superstruktura različnih alternativ standardnih dimenzij, materiala in zaokroženih dimenzij. V drugem koraku se razvije optimizacijski model MINLP. V tretjem, zadnjem koraku pa se izvede opti-

miranje. Optimiranje konstrukcije je izvedeno z modificiranim algoritmom zunanje aproksimacije s sprostitvijo enačb (Modified OA/ER algoritem), ((Kravanja, 1994), (Kravanja, 1998a), (Kravanja, 1998b)). Pri tem je uporabljena dvofazna MINLP-strategija, kjer se izvede optimiranje v dveh zaporednih fazah, kar pospeši konvergenco OA-/ER-algoritma oz. omogoči izračun rezultata, Žula in Kravanja (Žula, 2017).

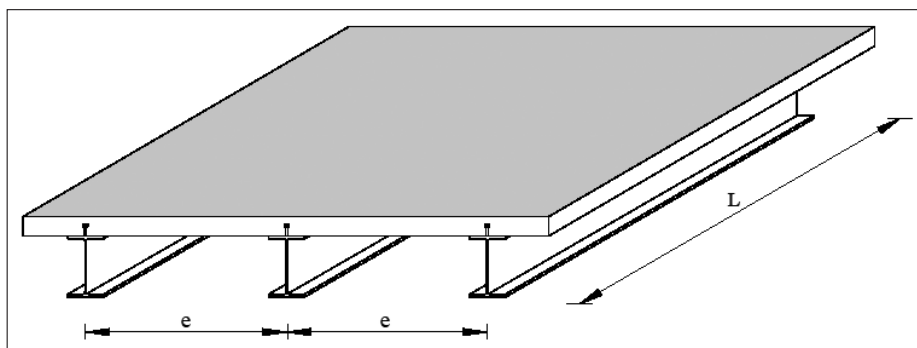
Namen optimiranja je določiti minimalne lastne izdelavne stroške sovprežne konstrukcije. Namenska stroškovna funkcija je podvržena pogojnim (ne)enačbam, poznanih iz analize in dimenzioniranja sovprežnih konstrukcij. Pogoji dimenzioniranja so definirani v skladu z Evrokodi 1, 2, 3 in 4 ((Eurocode 1, 2002), (Eurocode 2, 2004a), (Eurocode 3, 2005), (Eurocode 4, 2004b)), po katerih je konstrukcija preverjena z določili mejnih stanj nosilnosti (MSN) in uporabnosti (MSU).

Sovprežno konstrukcijo sestavljajo armiranobetonska plošča in jekleni I-nosilci. Za jeklene I-nosilce lahko uporabimo varjene I-prereze, standardne vročevaljane IPE-profile ali standardne vročevaljane HEA-profile. Elastična odpornost sovprežnega prereza je odvisna od lege nevtralne osi, ki lahko leži v armiranobetonski plošči, v zgornji pasnici I-prereza ali v stojini I-prereza. V ta namen smo razvili različne optimizacijske modele, ki vključujejo vse kombinacije omenjenih različnih jeklenih prerezov in leg elastičnih nevtralnih osi.

2 • SOVPREŽNI STROPNI SISTEM

Sovprežno konstrukcijo obravnavamo kot prostoležeči sovprežni nosilni sistem, glej sliko 1. Obravnavani sovprežni stropni sistem je sestavljen iz množice sovprežnih nosilcev z

medsebojnimi vodoravnimi razmiki e . Vsak sovprežni nosilec je nadalje sestavljen iz sodelujoče širine armiranobetonske plošče b_{eff} in enega jeklenega dvojno simetričnega I-prereza.



Slika 1 • Sovprežni stropni sistem.

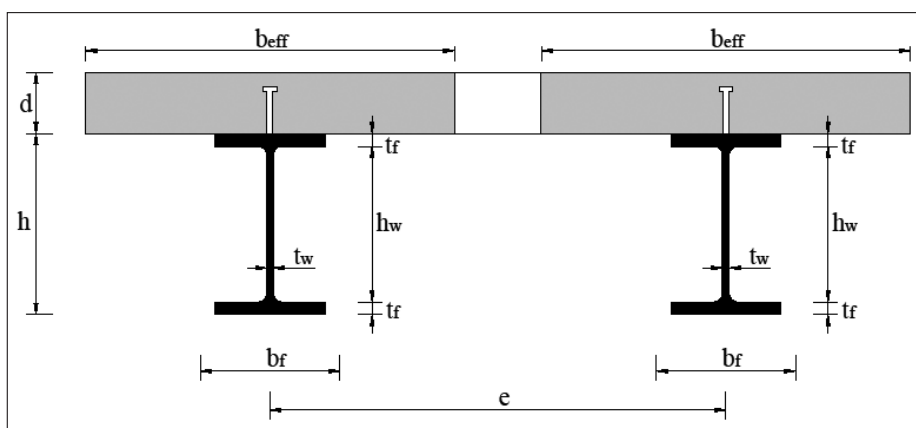
Valjni mozniki, ki so privarjeni na zgornjo pasnico I-nosilca, povezujejo armiranobetonsko ploščo in jekleni I-nosilec (slika 2). Med betoniranjem so nosilci podprti z vmesnimi podporami tako, da se po strditvi betona lastna in spremenljiva obtežba v celoti preneseta na sovprežni prerez.

Sovprežni I-nosilci so dimenzionirani v skladu z Evrokodom 4 (Eurocode 4, 2004b), po katerem so upoštevane še dodatne zahteve za jekleni del prereza v skladu z Evrokodom 3 (Eurocode 3, 2005), za armiranobetonsko ploščo pa dodatne zahteve po Evrokodu 2 (Eurocode 2, 2004a). Obtežbe na sovprežnih nosilcih so kombinirane v skladu z Evrokodom 1 (Eurocode 1, 2002).

Po MSN so zadoščeni pogoji za elastično upogibno nosilnost sovprežnega prereza, strižno nosilnost sovprežnega prereza, lokalno izbočenje stojine nosilca zaradi striga, strižno odpornost moznikov (strig in bočni pritisk na beton) in elastično upogibno nosilnost armiranobetonske

plošče. Armiranobetonska plošča je dimenzionirana kot kontinuirna plošča, nosilna v eni smeri. Pri dimenzioniranju sovprežnega stropnega sistema smo upoštevali, da lahko nevtralna os leži v betonu, v zgornji pasnici jeklenega I-prereza ali v stojini I-prereza.

Pri MSU so navpični upogibki sovprežnih nosilcev računani po elastični metodi z upoštevanjem lezenja in krčenja betona pod vplivom stalne obtežbe. Pri tem največji upogibki zaradi stalnih obtežb in spremenljivih obtežb niso presegli predpisanih mejnih navpičnih upogibkov. Prav tako smo kontrolirali končne navpične upogibke in razpoke armiranobetonske plošče in jih omejili z mejnimi vrednostmi.



Slika 2 • Prečni prerez sovprežnega stropnega sistema z I-nosilci.

3 • OPTIMIZACIJSKI MODELI COMBOPTE

Ker je optimizacijski problem sovprežnega stropnega sistema nelinearen, nekonveksen in diskretno/zvezen, smo za reševanje optimizacije uporabili mešano celoštevilsko nelinearno programiranje MINLP.

3.1 Splošna modelna formulacija MINLP

Sovprežni stropni sistem je nelinearni, nekonveksni in kombinirani diskretno/zvezni optimizacijski problem, ki ga izračunamo s pomočjo mešanega celoštevilskega nelinearnega programiranja (MINLP). Splošno modelno formulacijo MINLP lahko zapišemo v obliki:

$$\min z = f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

pri pogojih $g_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \leq 0 \quad k \in K$

$$\mathbf{x} \in X = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n: \mathbf{x}^{LO} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{UP}\}$$

$$\mathbf{y} \in Y = \{0, 1\}^m,$$

pri čemer je funkcija $f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ namenska funkcija z in $g_k(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ je množica pogojnih enačb in neenačb. Vse funkcije so nelinearne, zvezne in zvezno odvedljive. Vektor $\mathbf{x}$ je vektor zveznih spremenljivk, definiran na definicijskem območju X , in $\mathbf{y}$ je vektor diskretnih binarnih 0-1 spremenljivk, ki lahko zavzamejo vrednost 0 ali 1.

3.2 Optimizacijski modeli

Za elastično odpornost sovprežnega prereza smo razvili 18 različnih optimizacijskih MINLP-modelov COMBOPTE (COMposite Beam OPTimization Elastic). Z modeli dobimo različne optimalne rešitve s kombinacijo med:

- 3 različnimi I-prerezi sovprežnega stropnega sistema:

- jekleni varjeni I-prerez
- standardni IPE-prerez
- standardni HEA-prerez
- 3 različnimi legami nevtralnih osi:
 - v betonski plošči
 - v zgornji pasnici jeklenega I-prereza
 - v stojini jeklenega I-prereza
- 2 različni legi težiščnih osi idealiziranega

sovprežnega prereza:

- v betonski plošči
- v jeklenem I-nosilcu.

Optimizacijske modele sovprežnega stropnega sistema smo zapisali v višjem algebrskem modelnem jeziku GAMS (General Algebraic Modeling System) (Brooke, 1988). Vsak model vsebuje stroškovno namensko funkcijo, pogojne (ne)enačbe, celoštevilске in mešane celoštevilске pogojne (ne)enačbe, vhodne podatke (konstante) in spremenljivke, glej sliko 3.

OPTIMIZACIJSKI MODELI COMBOPTE

Stroškovna namenska funkcija $\min z = f(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

pri pogojih
 $g_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \leq 0$

Pogojne (ne)enačbe statične analize in dimenzioniranja

mejno stanje nosilnosti:

- elastična upogibna odpornost sovprežnega prereza
 - odpornost na strig
 - strižna odpornost moznikov
- plastična upogibna odpornost armiranobetonske plošče

mejno stanje uporabnosti:

- kontrola navpičnih upogibkov sovprežnega nosilca
- kontrola navpičnih upogibkov armiranobetonske plošče
 - kontrola razpok armiranobetonske plošče

Logične pogojne (ne)enačbe za

- standardni material (trdnost betona in jekla)
- standardne dimenzije jeklenih prerezov
- zaokrožene debeline armiranobetonske plošče

Spremenljivke $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$ in vhodni podatki

Slika 3 • Struktura modelov (programa) COMBOPTE.

3.3 Stroškovna namenska funkcija

Optimizacijski modeli COMBOPT vsebujejo namensko funkcijo lastnih izdelavnih stroškov, ki predstavlja obsežni sistem stroškovnih postavk, zapisanih v obliki nelinearnih funkcij, ki so jih razvili Klanšek in Kravanja ((Klanšek, 2006a), (Klanšek, 2006b)) ter Žula s sodelavci ((Žula, 2016), (Žula, 2017)). Namenska funkcija obsega stroške materiala, energije in dela, potrebne za izdelavo obravnavanega sovprežnega stropnega sistema, glej enačbo (1):

min:

$$Cost = \{C_{M,s} + C_{M,c} + C_{M,r} + C_{M,sc} + C_{M,e} + C_{M,ac,fp,tc} + C_{M,f} + C_{M,c,ng} + C_{M,c,oxy} + C_{P,c,gm} + C_{P,w} + C_{P,sw} + C_{P,v} + C_{L,c,oxy-ng} + C_{L,g} + C_{L,p,at} + C_{L,w} + C_{L,sw} + C_{L,spp} + C_{L,f} + C_{L,r} + C_{L,c} + C_{L,v} + C_{L,cc}\} / (e \cdot L) \quad (1)$$

Spremenljivka $Cost$ (€/m²) predstavlja lastne izdelavne stroške na enoto uporabne površine sovprežnega stropnega sistema (€/m²); $C_{M,\dots}$, $C_{P,\dots}$ in $C_{L,\dots}$ označujejo posamezne stroškovne postavke materiala, električne energije in dela, izračunane v €, glej preglednico 1; L (m) je razpon sovprežnega stropnega sistema in e (m) je medsebojna razdalja dveh sosednjih I-nosilcev. Stroški materiala so: konstrukcijsko jeklo $C_{M,s}$, beton $C_{M,c}$, rebrasta mrežna armatura $C_{M,r}$, valjni mozniki $C_{M,sc}$, elektrode $C_{M,e}$, antikorozijska zaščita, protipožarna zaščita

ta in končni premaz $C_{M,ac,fp,tc}$, prefabricirane opažne plošče $C_{M,f}$, naravni plin $C_{M,c,ng}$ in kisik $C_{M,c,oxy}$. Stroški električne energije vključujejo: proces brušenja robov pločevin $C_{P,gm}$, proces obločnega varjenja pločevin $C_{P,w}$, proces obločnega varjenja valjčnih moznikov $C_{P,sw}$ in proces vibriranja betona $C_{P,v}$. Stroški dela zajemajo: plinsko rezanje jeklenih pločevin s tehnologijo kisik-naravni plin $C_{L,c,oxy-ng}$, brušenje robov pločevin $C_{L,g}$, priprava, sestavljanje in pritrdjevanje elementov za varjenje $C_{L,p,at}$, ročno obločno varjenje $C_{L,SMAW}$, polavtomatsko obločno varjenje valjčnih moznikov $C_{L,sw}$, peskanje pločevine in nanos antikorozijskega, protipožarnega ter končnega premaza $C_{L,spp}$, montaža, niveliranje, demontaža in čiščenje opažnega sistema $C_{L,f}$, rezanje, postavitev in vezanje mrežne armature $C_{L,r}$, betoniranje plošče $C_{L,v}$, konsolidacija betona $C_{L,c}$ in nega betona $C_{L,cc}$. Podrobno je stroškovna namenska funkcija predstavljena v člankih Klanšek in Kravanja ((Klanšek, 2006a), (Klanšek, 2006b)), Kravanja s sodelavci (Kravanja, 2017) in Žula s sodelavci (Žula, 2016).

3.4 Pogojne (ne)enačbe

Namenska stroškovna funkcija je podvržena pogojnim (ne)enačbam, poznanim iz analize

in dimenzioniranja sovprežnih konstrukcij. Pogojne (ne)enačbe dimenzioniranja sovprežnega stropnega sistema so definirane skladno s standardom Evrokod 4. Razdeljene so v dve skupini: pogojne (ne)enačbe mejnega stanja nosilnosti (MSN) in pogojne (ne)enačbe mejnega stanja uporabnosti (MSU).

Enačbi (2)–(3) obravnavata odpornost sovprežnega prereza na upogibni moment, kjer $M_{Ed,cb}$ predstavlja projektni upogibni moment, $M_{El,Rd,cb}$ pa označuje projektno elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza. Enačba (4) definira projektno zvezno obtežbo $q_{Ed,cb}$. Preostali členi v enačbi so: delni faktor za stalno obtežbo γ_g , delni faktor za spremenljivo obtežbo γ_q , stalna obtežba g in spremenljiva obtežba q .

kjer je:

$$M_{Ed,cb} \leq M_{El,Rd,cb} \quad (2)$$

kjer je:

$$M_{Ed,cb} = q_{Ed,cb} \cdot L^2 / 8 \quad (3)$$

$$q_{Ed,cb} = (\gamma_g \cdot g + \gamma_q \cdot q \cdot e) \quad (4)$$

V nadaljevanju enačbe (5)–(14) predstavljajo pogojne (ne)enačbe elastične upogibne odpornosti sovprežnega prereza v primeru, ko nevtralna os leži v betonski plošči, slika 4. Enačbe (15)–(26) definirajo elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza z lego nevtralne osi v zgornji pasnici jeklenega I-prereza, slika 5. Na koncu enačbe (27)–(38) predstavljajo elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza z nevtralno osjo v stojini jeklenega I-prereza, slika 6.

Elastična upogibna odpornost sovprežnega prereza $M_{El,Rd,cb}$ z lego nevtralne osi v betonski plošči je podana s pogojno enačbo (6) in zajema notranje natezne sile v jeklenem prerezu N_{t1} , N_{t2} in N_{t3} (enačbe (7)–(9)), notranjo tlačno silo v betonski plošči N_c (enačba (10)) ter razdalje med nevtralno osjo in ustrezno notranjo silo a_1 , a_2 , a_3 in a_4 (enačbe (11)–(14)). Drugi členi v enačbah so: h je višina jeklenega profila, b_f je širina pasnice, t_f je debelina pasnice, t_w je debelina stojine, b_{eff} skupna sodelujoča širina betonske pasnice (velja $b_e \leq L/8$ oziroma $e/2$), d je debelina armiranobetonske plošče, n je razmerje elastičnih modulov, σ_e je največja natezna napetost v jeklenem prerezu, x_e je razdalja med elastično nevtralno osjo in zgornjim robom betonske plošče.

$$x_e \leq d \quad (5)$$

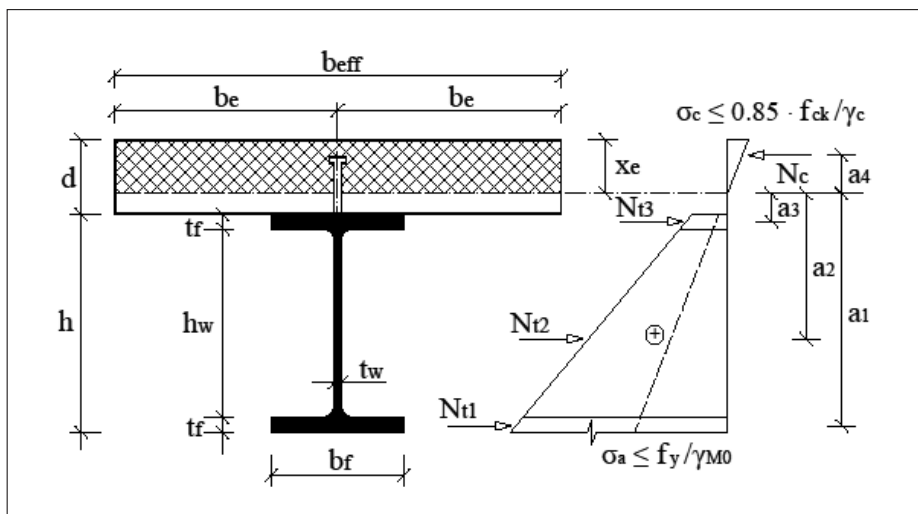
$$M_{El,Rd,cb} = N_{t1} \cdot a_1 + N_{t2} \cdot a_2 + N_{t3} \cdot a_3 + N_c \cdot a_4 \quad (6)$$

kjer je

$C_{M,s}$	Cena konstrukcijskega jekla S 235 za 8 mm debelo jekleno pločevino: $c_s = 1,25$ €/kg
	$C_{M,s} = c_s \cdot (a_1 \cdot f_y^2 + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot f_y \cdot t + a_4 \cdot f_y + a_5 \cdot t + a_6)$ (€/kg); $a_1 = -3,7313 \times 10^{-4}$; $a_2 = -1,7170 \times 10^{-2}$; $a_3 = -4,9858 \times 10^{-4}$; $a_4 = 2,8962 \times 10^{-2}$ $a_5 = 1,2934 \times 10^{-1}$; $a_6 = 4,4147 \times 10^{-1}$ f_y (kN/cm ²)*; t (cm) debelina pločevine
$C_{M,s}$	Cena konstrukcijskega jekla S 235 za standardni IPE 80 prerez: $c_s = 1,25$ €/kg
	$C_{M,s} = c_s \cdot (a_1 \cdot f_y^2 + a_2 \cdot h^2 + a_3 \cdot f_y \cdot h + a_4 \cdot f_y + a_5 \cdot h + a_6)$ (€/kg); $a_1 = 1,8783 \times 10^{-4}$; $a_2 = 3,0707 \times 10^{-4}$; $a_3 = 1,6530 \times 10^{-5}$; $a_4 = -3,3288 \times 10^{-3}$ $a_5 = -1,3915 \times 10^{-2}$; $a_6 = 1,0630 \times 10^0$ f_y (kN/cm ²)*; h (cm) višina profila
$C_{M,s}$	Cena konstrukcijskega jekla S 235 za standardni prerez HEA 100: $c_s = 1,25$ €/kg
	$C_{M,s} = c_s \cdot (a_1 \cdot f_y^2 + a_2 \cdot h^2 + a_3 \cdot f_y \cdot h + a_4 \cdot f_y + a_5 \cdot h + a_6)$ (€/kg); $a_1 = 2,1982 \times 10^{-4}$; $a_2 = 6,2266 \times 10^{-5}$; $a_3 = 4,1031 \times 10^{-5}$; $a_4 = -5,3682 \times 10^{-3}$ $a_5 = 4,9888 \times 10^{-4}$; $a_6 = 9,8361 \times 10^{-1}$ f_y (kN/cm ²)*; h (cm) višina profila
$C_{M,c}$	Cena betona C 20/25: $c_c = 85,00$ €/m ³
	$C_{M,c} = c_c \cdot (k_1 \cdot f_{ck}^2 + k_2 \cdot f_{ck} + k_3)$ (€/kg); $k_1 = -3,2220 \times 10^{-2}$; $k_2 = 4,0571 \times 10^{-1}$; $k_3 = 1,8829 \times 10^{-1}$ f_{ck} (kN/cm ²)**
$C_{M,f}$	Materialni strošek prefabriciranih opažnih plošč:
	$C_{M,f} = c_{M,f} \cdot 1/n_{uc} \cdot A_{cs}$ $c_{M,f}$ cena prefabriciranih opažnih plošč; $c_{M,f} = 30,00$ €/m ² n_{uc} število ciklov uporabe opažnih plošč, od 10 do 100; $n_{uc} = 30$ A_{cs} površina opaža na sovprežni nosilec; $A_{cs} = e \cdot L$ (m ²)
$C_{M,r}$	Cena armaturnega jekla B 500 0,70 €/kg
$C_{M,sc}$	Cena valjčnih moznikov 0,50 €/moznik
$C_{M,e}$	Cena elektrod 1,70 €/kg
$C_{M,ac}$	Cena antikorozijskega zaščitnega premaza 0,85 €/m ²
$C_{M,fp}$	Cena protipožarnega zaščitnega premaza R 30 9,00 €/m ²
$C_{M,tc}$	Cena končnega zaščitnega premaza 0,65 €/m ²
$C_{M,ng}$	Cena naravnega plina 0,50 €/m ³
$C_{M,oxy}$	Cena kisika 1,60 €/m ³
C_P	Cena električne energije 0,10 €/kWh
C_L	Stroškovna urna postavka delavca 20,00 €/h

*napetost tečenja jekla, **tlačna trdnost betona

Preglednica 1 • Stroškovni parametri materiala, energije in dela v optimizacijskih modelih COMBOPT.



Slika 4 • Elastična nevtralna os v betonski plošči.

$$N_{t1} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(1 + \frac{d + h - x_e - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot t_f \cdot b_f \quad (7)$$

$$N_{t2} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot d + h - 2 \cdot x_e}{d + h - x_e}\right) \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w \quad (8)$$

$$N_{t3} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot d + t_f - 2 \cdot x_e}{d + h - x_e}\right) \cdot t_f \cdot b_f \quad (9)$$

$$N_c = \frac{\sigma_a}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{x_e}{d + h - x_e}\right) \cdot x_e \cdot b_{eff} \quad (10)$$

$$a_1 = d + h - x_e - \left[\frac{3 \cdot d + 3 \cdot h - 3 \cdot x_e - 2 \cdot t_f}{2 \cdot d + 2 \cdot h - 2 \cdot x_e - t_f} \cdot \frac{t_f}{3} \right] \quad (11)$$

$$a_2 = d + h - x_e - t_f - \left[\frac{3 \cdot d + h + t_f - 3 \cdot x_e}{2 \cdot d + h - 2 \cdot x_e} \cdot \frac{(h - 2 \cdot t_f)}{3} \right] \quad (12)$$

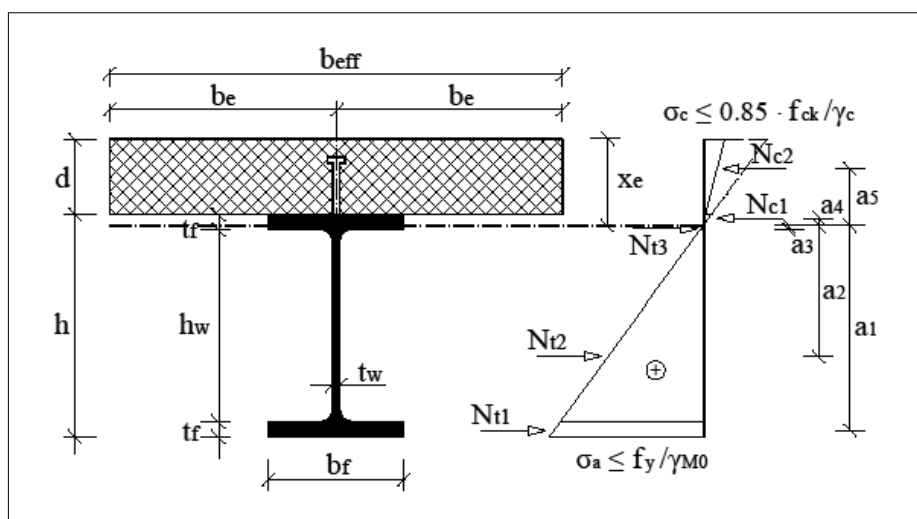
$$a_3 = d + t_f - x_e - \left[\frac{3 \cdot d + t_f - 3 \cdot x_e}{2 \cdot d + t_f - 2 \cdot x_e} \cdot \frac{t_f}{3} \right] \quad (13)$$

$$a_4 = 2/3 \cdot x_e \quad (14)$$

Neenačba (15) definira lego elastične nevtralne osi v zgornji pasnici jeklenega prereza. Elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza $M_{El,Rd,cb}$ prikazuje pogojna enačba (16). Enačbe (17)–(19) predstavljajo notranje natezne sile v jeklenem prerezu N_{t1} , N_{t2} in N_{t3} , medtem ko enačbi (20)–(21) označujeta notranji tlačni sili v betonski plošči N_{c1} in N_{c2} . Razdalje med nevtralno osjo in ustrezno notranjo silo a_1 , a_2 , a_3 , a_4 in a_5 pa so opisane z enačbami (22)–(26).

$$d \leq x_e \leq (d + t_f) \quad (15)$$

$$M_{El,Rd,cb} = N_{t1} \cdot a_1 + N_{t2} \cdot a_2 + N_{t3} \cdot a_3 + N_{c1} \cdot a_4 + N_{c2} \cdot a_5 \quad (16)$$



Slika 5 • Elastična nevtralna os v zgornji pasnici jeklenega prereza.

kjer je:

$$N_{t1} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(1 + \frac{d + h - x_e - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot t_f \cdot b_f \quad (17)$$

$$N_{t2} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot d + h - 2 \cdot x_e}{d + h - x_e}\right) \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w \quad (18)$$

$$N_{t3} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{d + t_f - x_e}{d + h - x_e}\right) \cdot (d + t_f - x_e) \cdot b_f \quad (19)$$

$$N_{c1} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{x_e - d}{d + h - x_e}\right) \cdot (x_e - d) \cdot b_f \quad (20)$$

$$N_{c2} = \frac{\sigma_a}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{2 \cdot x_e - d}{d + h - x_e}\right) \cdot d \cdot b_{eff} \quad (21)$$

$$a_1 = d + h - x_e - \left[\frac{3 \cdot d + 3 \cdot h - 3 \cdot x_e - 2 \cdot t_f}{2 \cdot d + 2 \cdot h - 2 \cdot x_e - t_f} \cdot \frac{t_f}{3} \right] \quad (22)$$

$$a_2 = d + h - x_e - t_f - \left[\frac{3 \cdot d + h + t_f - 3 \cdot x_e}{2 \cdot d + h - 2 \cdot x_e} \cdot \frac{(h - 2 \cdot t_f)}{3} \right] \quad (23)$$

$$a_3 = 2/3 \cdot (d + t_f - x_e) \quad (24)$$

$$a_4 = 2/3 \cdot (x_e - d) \quad (25)$$

$$a_5 = x_e - \left[\frac{3 \cdot x_e - 2 \cdot d - t_f}{2 \cdot x_e - d} \cdot \frac{d}{3} \right] \quad (26)$$

Kadar leži elastična nevtralna os v stojini jeklenega prereza, uporabimo enačbe (27)–(38). Pogojna enačba (28) predstavlja elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza $M_{El,Rd,cb}$. Enačbi (29) in (30) opisujeta notranji natezni sili v jeklenem prerezu N_{t1} in N_{t2} , medtem ko enačbe (31)–(33) definirajo notranje tlačne sile v betonski plošči N_{c1} , N_{c2} in N_{c3} . Razdalje med nevtralno osjo in ustrezno notranjo silo a_1 , a_2 , a_3 , a_4 in a_5 so opisane z enačbami (34)–(38).

$$x_e \geq (d + t_f) \quad (27)$$

$$M_{El,Rd,cb} = N_{t1} \cdot a_1 + N_{t2} \cdot a_2 + N_{c1} \cdot a_3 + N_{c2} \cdot a_4 + N_{c3} \cdot a_5 \quad (28)$$

kjer je:

$$N_{t1} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(1 + \frac{d + h - x_e - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot t_f \cdot b_f \quad (29)$$

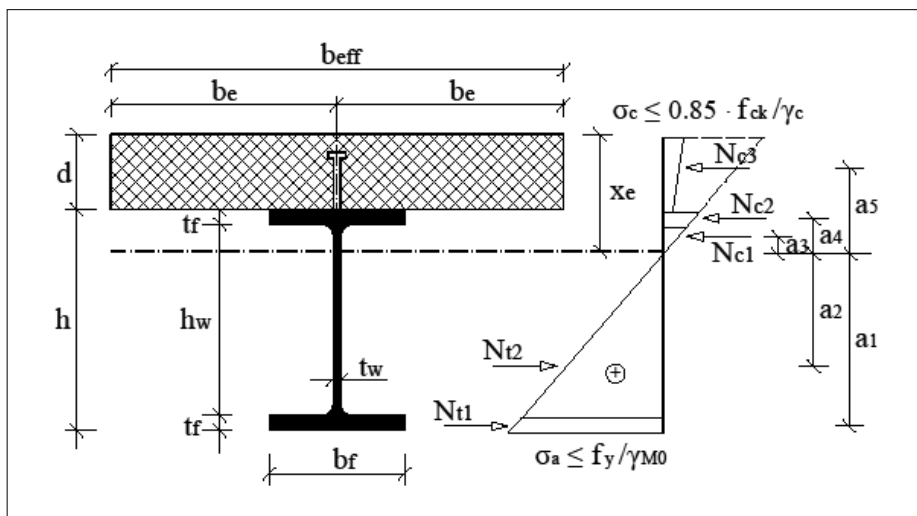
$$N_{t2} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{d + h - x_e - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot (d + h - x_e - t_f) \cdot t_w \quad (30)$$

$$N_{c1} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{x_e - d - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot (x_e - d - t_f) \cdot t_w \quad (31)$$

$$N_{c2} = \frac{\sigma_a}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot x_e - 2 \cdot d - t_f}{d + h - x_e}\right) \cdot t_f \cdot b_f \quad (32)$$

$$N_{c3} = \frac{\sigma_a}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{2 \cdot x_e - d}{d + h - x_e}\right) \cdot d \cdot b_{eff} \quad (33)$$

$$a_1 = d + h - x_e - \left[\frac{3 \cdot d + 3 \cdot h - 3 \cdot x_e - 2 \cdot t_f}{2 \cdot d + 2 \cdot h - 2 \cdot x_e - t_f} \cdot \frac{t_f}{3} \right] \quad (34)$$



Slika 6 • Elastična nevtralna os v stojini jeklenega prereza.

$$a_2 = 2/3 \cdot (d + h - x_e - t_f) \quad (35)$$

$$a_3 = 2/3 \cdot (x_e - d - t_f) \quad (36)$$

$$a_4 = x_e - d - \left[\frac{3 \cdot x_e - 3 \cdot d - 2 \cdot t_f}{2 \cdot x_e - 2 \cdot d - t_f} \cdot \frac{t_f}{3} \right] \quad (37)$$

$$a_5 = x_e - \left[\frac{3 \cdot x_e - 2 \cdot d}{2 \cdot x_e - d} \cdot \frac{d}{3} \right] \quad (38)$$

Enačbe (39)–(41) opisujejo odpornost sovprežnega prereza na strig. Strižno silo prenaša stojina jeklenega nosilca, kjer je upoštevana nevarnost lokalnega izbočenja zaradi striga. $V_{Ed,cb}$ predstavlja projektno strizno silo, $V_{b,Rd,cb}$ je projektna strizna odpornost z upoštevanjem lokalnega izbočenja stojine, χ_w je zmanjševalni koeficient striznega izbočenja, t_f je debelina pasnice, t_w je debelina stojine in γ_{M1} je delni faktor odpornosti jeklenega prereza.

$$V_{Ed,cb} \leq V_{b,Rd,cb} \quad (39)$$

kjer je:

$$V_{Ed,cb} = \frac{q_{Ed,cb} \cdot L}{2} \quad (40)$$

$$V_{b,Rd,cb} = \frac{\chi_w \cdot f_y \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (41)$$

Strižno odpornost moznikov računamo s pomočjo enačb od (42) do (44), kjer je V_l vzdolžna strizna sila, n_{sc} je število moznikov, P_{rd} je projektna strizna nosilnost moznika, A_a je prečni prerez jeklenega profila, f_y je napetost tečenja, f_{ck} je karakteristična tlačna trdnost betona, γ_a je delni varnostni faktor za jeklo, γ_c je delni varnostni faktor za beton, α je koeficient, odvisen od vihkosti moznika, d_{sc} je premer valjčnega moznika, E_{cm} je sekantni modul elastičnosti betona, f_u natezna trdnost jekla in γ_v je delni faktor za projektno strizno nosilnost moznika.

$$V_l = 1/2 \cdot n_{sc} \cdot P_{rd} \quad (42)$$

kjer je:

$$V_l = \min \left\{ \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a}; \frac{b_{eff} \cdot d \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \right\} \quad (43)$$

$$P_{rd} = \min \left\{ \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d_{sc}^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v}; \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d_{sc}^2}{4 \cdot \gamma_v} \right\} \quad (44)$$

Upogibno plastično odpornost armiranobetonske plošče obravnavajo pogojne (ne)enačbe od (45) do (52), kjer $M_{Ed,cs}$ in $M_{ult,cs}$ označujeta projektni upogibni moment in plastično upogibno odpornost prereza armiranobetonske plošče. ρ_c je prostorninska teža betona, b_{cu} je enotska širina betonske plošče (1m), c je debelina krovnega sloja betona, x_{ac} je oddaljenost nevtralne osi od zgornjega roba betonske plošče, f_{sk} je karakteristična vrednost napetosti tečenja armaturnega jekla, γ_s je delni varnostni faktor za armaturno jeklo, $A_{s,min}$ je najmanjši potreben prerez armature, $A_{s,max}$ je največji potreben prerez armature, σ_s je absolutna vrednost največje dovoljene napetosti armature takoj po nastanku razpoke, k_c je koeficient, ki upošteva razporeditev napetosti prereza neposredno pred nastankom razpok in vpliv spremembe ročice notranjih sil, k_t je koeficient, ki omogoča upoštevanje učinkov neenakomernih samouravnateženih napetosti, ki zmanjšujejo sile zaradi preprečenih ali vsiljenih deformacij, $f_{ct,eff}$ je povprečna vrednost natezne trdnosti sodelujočega betona v času, ko je pričakovan nastanek prvih razpok in f_{ctm} je srednja vrednost osne natezne trdnosti betona.

$$M_{Ed,cs} \leq M_{ult,cs} \quad (45)$$

kjer je:

$$M_{Ed,cs,el} = q_{Ed,cs} \cdot e^2 / 11,67 \quad (46)$$

$$q_{Ed,cs} = (\gamma_g \cdot \rho_c \cdot b_{cu} \cdot d + \gamma_q \cdot q \cdot b_{cu}) \quad (47)$$

$$M_{ult,cs} = \frac{0,48 \cdot 0,85 \cdot f_{ck} \cdot b_{cu} \cdot x_{ec}^2}{\gamma_c} + \frac{A_s \cdot b_{cu} \cdot (d - c - x_{ec}) \cdot f_{sk}}{\gamma_s} \quad (48)$$

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k_t \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \quad (49)$$

$$A_{s,min} \geq 0,26 \cdot f_{ctm} / f_{sk} \cdot b_{cu} \cdot (d - c) \quad (50)$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_{cu} \cdot (d - c) \quad (51)$$

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot b_{cu} \cdot d \quad (52)$$

Enačbe od (53) do (63) definirajo pogoje mejnega stanja uporabnosti. Navpični upogibki sovprežnega nosilca so preverjeni z enačbami (53)–(58), kjer je δ_2 upogibek sovprežnega nosilca zaradi projektne spremenljive obtežbe, q_{Ed} je upogibek sovprežnega nosilca zaradi celotne obtežbe, δ_{cr} je upogibek sovprežnega nosilca zaradi lezenja betona in δ_{sh} je upogibek sovprežnega nosilca zaradi krčenja betona. M_{sh} je upogibni moment zaradi krčenja betona, E_a je elastični modul konstrukcijskega jekla, I je idealizirani vztrajnostni moment transformiranega sovprežnega prereza (betonski del prereza je transformiran/spremenjen v jeklenega), I_{cr} je idealizirani vztrajnostni moment zaradi krčenja betona in I_{sh} je idealizirani vztrajnostni moment transformiranega sovprežnega prereza (betonski del prereza je transformiran/spremenjen v jeklenega) zaradi lezenja betona.

$$\delta_2 \leq L/300 \quad (53)$$

$$\delta_2 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot e \cdot L^4}{384 \cdot E_a \cdot I_l} \quad (54)$$

$$\delta_{max} \leq L/250 \quad (55)$$

$$\delta_{max} = \delta_2 + \delta_{cr} + \delta_{sh} \quad (56)$$

$$\delta_{cr} = \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{384 \cdot E_a \cdot I_{cr}} \quad (57)$$

$$\delta_{sh} = \frac{M_{sh} \cdot L^2}{8 \cdot E_a \cdot I_{sh}} \quad (58)$$

Navpični upogibek armiranobetonske plošče določajo pogojne (ne)enačbe od (59) do (63), kjer je δ upogibek armiranobetonske plošče zaradi celotne obtežbe, δ_l je upogibek armiranobetonske plošče zaradi celotne obtežbe pri upoštevanju nerazpokanega prereza in δ_{ll} je upogibek armiranobetonske plošče zaradi celotne obtežbe pri upoštevanju razpokanega prereza. ζ je koeficient porazdelitve, σ_{sr} je napetost v natezni armaturi razpokanega prereza pri obtežnih pogojih nastanka prvih razpok, σ_s je napetost v natezni armaturi pri razpokanem prerezu, k je koeficient, ki je odvisen od števila polj kontinuirane

armiranobetonske plošče, $E_{c,eff}$ je učinkoviti modul elastičnosti betona, E_{cm} je sekantni modul elastičnosti betona, I_u je vztrajnostni moment nerazpokane betonske plošče (širine 1 m), I_c je vztrajnostni moment razpokane betonske plošče (širine 1 m).

$$\delta \leq L/250 \quad (59)$$

$$\delta = \zeta \cdot \delta_{II} + (1 - \zeta) \cdot \delta_I \quad (60)$$

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot (\sigma_{sr}/\sigma_s)^2 \quad (61)$$

$$\delta_I = k \cdot \left(\frac{\rho_c \cdot b_{cu} \cdot d \cdot e^4}{E_{c,eff} \cdot I_u} + \frac{q \cdot b_{cu} \cdot e^4}{E_{cm} \cdot I_u} \right) \quad (62)$$

$$\delta_{II} = k \cdot \left(\frac{\rho_c \cdot b_{cu} \cdot d \cdot e^4}{E_{c,eff} \cdot I_c} + \frac{q \cdot b_{cu} \cdot e^4}{E_{cm} \cdot I_c} \right) \quad (63)$$

3.5 Logične pogoje (ne)enačbe

Z logičnima pogojnima enačbama (64)–(65) računamo diskretne vrednosti materialov d^{mat} (trdnosti betona in jekla), z enačbama (66)–(67) standardne dimenzije d^{st} (debeline pločevin in prerez armaturne mreže) ter z enačbama (68)–(69) zaokrožene dimenzije d^{rd} (debelino betonske plošče). Posamezne diskretne vrednosti so definirane kot skalarni produkt med vektorjem diskretnih številskih vrednosti alternativ in vektorjem pridruženih binarnih spremenljivk.

$$d^{mat} = \sum_{i \in I} q_i y_i^{mat} \quad (64)$$

$$\sum_{i \in I} y_i^{mat} = 1 \quad (65)$$

$$d^{st} = \sum_{k \in K} q_k y_k^{st} \quad (66)$$

$$\sum_{k \in K} y_k^{st} = 1 \quad (67)$$

$$d^{rd} = \sum_{m \in M} q_m y_m^{rd} \quad (68)$$

$$\sum_{m \in M} y_m^{rd} = 1 \quad (69)$$

4 • RAČUNSKI PRIMER

V računskem primeru predstavljamo sočasno optimiranje stroškov, standardnih dimenzij, standardnih materialov in zaokroženih dimenzij prostoležečega sovprežnega stropnega sistema. Stropni sistem obravnavamo z elastično odpornostjo sovprežnega nosilca. Obravnavani sovprežni stropni sistem ima razpon 15 m in je obtežen z lastno težo in enakomerno zvezno spremenljivo obtežbo 4 kN/m², glej sliko 7. Sovprežni stropni sistem sestavlja armiranobetonska plošča, ki je preko moznikov povezana z jeklenimi l-nosilci. Premer moznikov z glavo je 19 mm.

Za optimizacijo sovprežnega stropnega sistema smo uporabili omenjene optimizacijske MINLP-modele COMBOPTE. Modeli vsebujejo podrobno stroškovno namensko funkcijo, ki zajema lastne izdelavne stroške konstrukcije (stroške materiala, energije in stroške dela). Superstruktura sovprežnega sistema, sestavljenega ali iz varjenih jeklenih l-prerezov, IPE-profilov ali HEA-profilov, je podrobneje opisana v referenci Žula in Kravanja (Žula, 2017). Obravnavane so tudi tri različne lege nevtralnih osi: v armiranobetonski plošči, v zgornji pasnici jeklenega l-prereza in v

stojini jeklenega l-prereza. Rezultat optimiranja je optimalni trdnostni razred betona, optimalno konstrukcijsko jeklo, standardni prerez jeklenih l-nosilcev, standardni prerez armaturnih mrež, razmik med l-nosilci in debelina armiranobetonske plošče pri minimalnih lastnih izdelavnih stroških sovprežnega sistema.

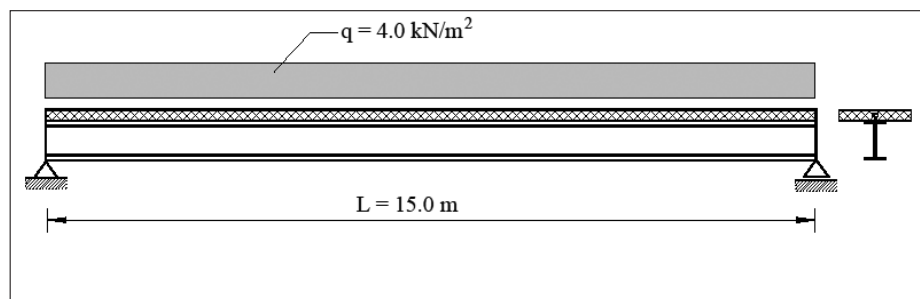
Optimiranje je bilo izvedeno s programskim paketom MIPSYN ((Kravanja, 2003), (Kravanja, 2010)), ki je bil izpeljan iz programa PROSYN (Kravanja, 1994). Reševanje MINLP-problema sovprežnega stropnega sistema je bilo izvedeno z dvofaznim optimiranjem (Žula, 2017) in z modificiranim OA-/ER-algoritmom zunanje aproksimacije s sprostitvijo enačb. Za reševanje NLP-problemov je bil uporabljen program GAMS/CONOPT2 (Druid, 1994) (splošna metoda reduciranih gradientov), za reševanje glavnih MILP-problemov pa GAMS/Cplex 7.0 (Cplex, 2016) (metoda vejavanja in omejevanja).

Preglednica 2 prikazuje najboljše rezultate sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz varjenih l-prerezov, standardnih vroče

valjanih IPE-profilov ali standardnih vroče valjanih HEA-profilov. Za sovprežni stropni sistem iz varjenih l-prerezov so bili dobjeni optimalni lastni izdelavni stroški 74,87 €/m² pri legi nevtralne osi v zgornji pasnici l-prereza. Poleg optimalnih lastnih izdelavnih stroškov so pridobljeni še: optimalni trdnostni razred betona C 35/45, optimalni trdnostni razred konstrukcijskega jekla S 355, optimalni medsebojni razmik med nosilci 3491 mm, optimalna višina jeklenega l-prereza 799 mm, debelina stojine 8 mm, širina pasnic 120 mm, debelina pasnic 8 mm, optimalna debelina armiranobetonske plošče 11 cm in optimalna armaturna mreža R335. Optimalni rezultati so prikazani na sliki 8.

Pri optimizaciji stropnega sistema, sestavljenega iz IPE-profilov, je dobljen najboljši rezultat, ko leži nevtralna os v stojini jeklenega IPE-profila, glej preglednico 2. Optimalni lastni izdelavni stroški so 94,52 € na m² površine stropnega sistema. Najboljši rezultat še vsebuje: optimalni trdnostni razred betona C 50/60, optimalni trdnostni razred konstrukcijskega jekla S 275, optimalni medsebojni razmak med nosilci 3397 mm, optimalni prerez IPE 550, optimalno debelino armiranobetonske plošče 9 cm in optimalno armaturno mrežo R424, glej sliko 9.

Najnižji lastni izdelavni stroški sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz HEA-profilov, 107,45 €/m², so dobjeni v primeru, kadar nevtralna os leži v zgornji pasnici jeklenega HEA-profila. V tem primeru je optimalni trdnostni razred betona C 50/60, optimalni trdnostni razred konstrukcijskega jekla S 275, optimalni medsebojni razmik med nosilci 4058 mm, optimalni prerez HEA 500, optimalna debelina armiranobetonske plošče 12 cm in optimalna armaturna mreža R424, glej sliko 10.

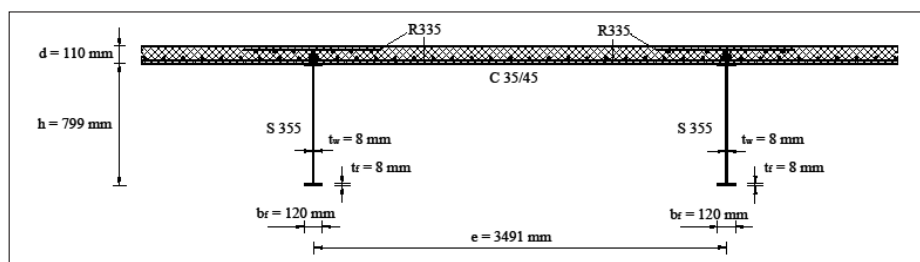


Slika 7 • Obravnavani sovprežni stropni sistem.

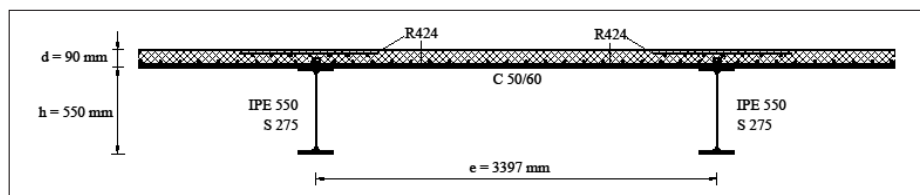
	a)	b)	c)	opis vrednosti
Varjen I-prerez	77,86 14 C20/25 1014/8 120/8 3747 S275	74,87 11 C35/45 799/8 120/8 3491 S355	79,57 11 C50/60 1041/8 120/8 4161 S275	cena (€/m ²) d (cm) beton (MPa) hw (mm) / t _w (mm) bf (mm) / t _f (mm) e (mm) jeklo (MPa)
IPE	95,29 12 C20/25 550 S275 3459	95,08 10 C50/60 550 S275 3347	94,52 9 C50/60 550 S275 3397	cena (€/m ²) d (cm) beton (MPa) IPE jeklo (MPa) e (mm)
HEA	108,29 13 C30/37 500 S235 3190	107,45 12 C50/60 500 S275 4058	112,45 10 C40/50 500 S235 3624	cena (€/m ²) d (cm) beton (MPa) HEA jeklo (MPa) e (mm)

Nevtralna os leži v: a) armiranobetonski plošči, b) zgornji pasnici jeklenega prereza c) stojini jeklenega prereza

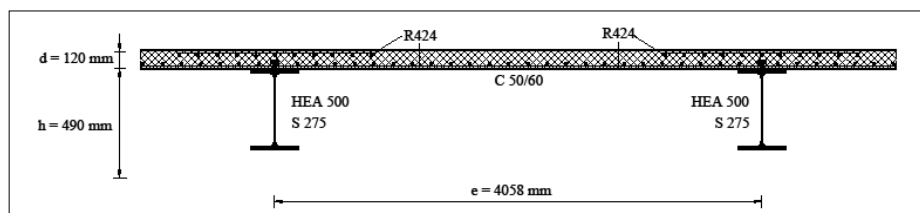
Preglednica 2 • Optimalni rezultati sovprežnega stropnega sistema z I-nosilci z elastično metodo.



Slika 8 • Optimalni presek sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz varjenih I-prerezov.



Slika 9 • Optimalni presek sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz IPE-prerezov.



Slika 10 • Optimalni presek sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz HEA-prerezov.

5 • SKLEP

V prispevku smo predstavili stroškovno optimiranje sovprežnega stropnega sistema, sestavljenega iz armiranobetonske plošče in jeklenih I-nosilcev. Optimiranje je bilo izvedeno z mešanim celoštevilskim nelinearnim programiranjem (MINLP). Raz-

vili smo različne optimizacijske modele za ugotavljanje konkurenčnosti sovprežnih stropnih sistemov, pri čemer so jekleni nosilci lahko izdelani iz varjenih I-prerezov, standardnih vročevaljanih IPE-profilov ali HEA-profilov. Optimizacijski modeli

Z elastično odpornostjo lahko sicer računamo sovprežne nosilce v vseh primerih, obvezno pa v primeru 3. razreda kompaktnosti. Ta sovprežni stropni sistem smo že optimirali s plastično upogibno odpornostjo, glej računski primer v referenci Žula in Kravanja (Žula, 2017). Primerjava najboljših rezultatov med plastično upogibno odpornostjo (69,20 €/m²) in elastično odpornostjo (74,87 €/m²) pokaže, da je ta sovprežni stropni sistem cenejši za 7,5%, če ga obravnavamo s plastično odpornostjo. To se sklada tudi s splošnim dejstvom, da so plastične upogibne odpornosti prereзов večje od elastičnih. V večparametrični študiji sovprežnih stropnih sistemov, glej Kravanja s sodelavci (Kravanja, 2017), smo za različne razpone in obtežbe dokazali, da so sovprežni nosilci, dimenzionirani z elastično upogibno odpornostjo, v povprečju za 15 % do 20 % dražji od sovprežnih nosilcev s plastično upogibno odpornostjo.

obravnavajo elastično upogibno odpornost sovprežnega prereza in tri različne lege nevtralnih osi: v armiranobetonski plošči, v zgornji pasnici jeklenega I-prereza in v stojini jeklenega I-prereza. Na koncu prispevka smo z računskimi primeri pokazali, da je z MINLP mogoče izračunati optimalni dizajn stroškovno najugodnejšega sovprežnega stropnega sistema za podana razpon in obtežbo.

7 • LITERATURA

- Brooke A., Kendrick D. and Meeraus A., GAMS - A User's Guide, Scientific Press, Redwood City, CA, 1988.
- CPLEX User Notes, ILOG inc, 2016.
- Drudd, A.S., CONOPT – A Large-Scale GRG Code, ORSA J. Comput., 6(2), 207–216, 1994.
- Eurocode 1, Actions on structures, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- Eurocode 2, Design of concrete structures, European Committee for Standardization, Brussels, 2004a.
- Eurocode 3, Design of steel structures, European Committee for Standardization, Brussels, 2005.
- Eurocode 4, Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 2004b.
- Kaveh, A., Massoudi, M.S., Cost optimization of a composite floor system using ant colony system, Iranian journal of science and technology-transactions of civil engineering, 36(C2), 139–148, 2012.
- Klanšek, U., Kravanja, S., Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems—Part 1: Self-manufacturing cost estimation of composite and steel structures, J Construct Steel Res., 62(5), 434–448, 2006a.
- Klanšek, U., Kravanja, S., Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems—Part 2: Optimization based competitiveness between the composite I beams, channel-section and hollow-section trusses, J Construct Steel Res., 62(5), 449–462, 2006b.
- Kravanja, S., Kravanja, Z., Bedenik, B. S., The MINLP optimization approach to structural synthesis. Part I: A general view on simultaneous topology and parameter optimization, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 43(2), 263–292, 1998a.
- Kravanja, S., Kravanja, Z., Bedenik, B. S., The MINLP optimization approach to structural synthesis. Part II: Simultaneous topology, parameter and standard dimension optimization by the use of the Linked two-phase MINLP strategy, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 43(2), 293–328, 1998b.
- Kravanja, S., Soršak, A., Kravanja, Z., Efficient multilevel MINLP strategies for solving large combinatorial problems in engineering, Optimization and engineering, 4(1), 97–151, 2003.
- Kravanja, S., Žula, T., Klanšek, U., Multi-parametric MINLP optimization study of a composite I beam floor system, Engineering structures, 130, 316–335, 2017.
- Kravanja, Z., Grossmann, I.E., New Developments and Capabilities in PROSYN - An Automated Topology and Parameter Process Synthesizer, Computers & Chemical Engineering, 18(11-12), 1097–1114, 1994.
- Kravanja, Z., Challenges in sustainable integrated process synthesis and the capabilities of an MINLP process synthesizer MipSyn, Comput. chem. eng., 34(11), 1831–1848, 2010.
- Omkar, S.N., Senthilnath, J., Khandelwal, R., Naik, G.N., Gopalakrishnan, S., Artificial Bee Colony (ABC) for multi-objective design optimization of composite structures, Appl Soft Comput, 11, 489–499, 2011.
- Poitras, G., Lefrançois, G., Cormier, G., Optimization of steel floor systems using particle swarm optimization, J Construct Steel Res., 67(8), 1225–1231, 2011.
- Senouci A.B., Al-Ansari M.S., Cost optimization of composite beams using genetic algorithms, Advances in Engineering Software, 40, 1112–1118, 2009.
- Žula, T., Kravanja, S., Klanšek, U., MINLP optimization of a composite I beam floor system, Steel and composite structures, 22(5), 1163–1192, 2016.
- Žula, T., Kravanja, S., MINLP optimiranje sovprežnega stropnega sistema z I-nosilci, Gradbeni vestnik, 66, 194–203, 2017.

MODELIRANJE ŠTEVILA SMRTNIH ŽRTEV PRI PORUŠITVI STAVBE

MODELLING THE NUMBER OF FATALITIES GIVEN THE COLLAPSE OF A BUILDING

asist. dr. Nuša Lazar Sinkovič, univ. dipl. inž. grad.

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

matjaz.dolsek@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 614.8.069:624.042.7

Povzetek | Močnih potresov ne moremo preprečiti, vendar lahko njihove posledice ublažimo z ustreznimi ukrepi, kot je na primer potresno odporna gradnja. Zato je smiselno, da se pri potresno odpornem projektiranju kot tudi pri potresno odpornem utrjevanju obstoječih stavb upošteva vpliv kategorije pomembnosti stavbe, saj so posledice zaradi poškodovanosti ali porušitve od stavbe do stavbe različne. V splošnem je več kazalnikov, s katerimi bi lahko definirali pomembnost stavbe. V tem članku se osredotočimo na modeliranje števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. Ta kazalnik bi lahko v prihodnosti predstavljala enega izmed kazalnikov za določitev kategorije pomembnosti stavbe, saj je zaščita človeških življenj osnovni cilj standardov za potresno odporno projektiranje stavb. Predstavljeni model za oceno števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe upošteva tip stavbe oziroma konstrukcijski sistem in časovno odvisni model zasedenosti stavbe. Uporabo modela za oceno števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe prikažemo na primeru stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Za model zasedenosti stavbe smo privzeli model po FEMA P-58-1, na osnovi katerega smo predvideli 467 uporabnikov stavbe v dnevnem času pri največji zasedenosti stavbe. V primeru, da stavbo poruši potres, ki se zgodi med tednom v delovnem času, se število smrtnih žrtev ocenjuje na 117. Smrtnih žrtev ne pričakujemo, če bi se porušitev zgodila ponoči, 4 smrtne žrtve pa so predvidene, če bi potres porušil stavbo v dnevnem času med vikendom. Povprečno število smrtnih žrtev pri pogoju porušitve na letni ravni znaša 24.

Ključne besede: smrtne žrtve, posledice potresa, porušitev stavbe, potresno tveganje, grajeno okolje, potresno inženirstvo

Summary | The consequences of earthquakes cannot be completely prevented, but they can be effectively mitigated by appropriate measures, such as earthquake-resistant construction. Therefore, it is reasonable to consider the building importance category in earthquake-resistant design, as well as in seismic retrofit of existing buildings, since the consequences of damage or collapse of buildings are different from one building to another. In general, several indicators could define the building importance category. In this article, we focus on a model for the estimation of the number of fatalities given the collapse of a building, which could be used in the future as one of the indicators for determining the building importance category, since the protection of human lives is a basic objective of standards for earthquake-resistant design of buildings. The introduced fatality model takes into account the type of the building, i.e. the structural system, and a time variant population model of people present in the building during the earthquake. The use of the model for the estimation of the number of fatalities is demonstrated by means of an example of the building of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering. In the example we adopted the population model proposed by FEMA P-58-1, based on which

we predicted a peak building occupancy of 467 during the day. If an earthquake causes the collapse of the building on a weekday during working hours, the expected number of fatalities is 117. No fatalities are expected if collapse occurs during the night and 4 if the building collapses during the weekend in the daytime. The average number of expected fatalities on an annual basis is 24.

Key words: fatalities, earthquake consequences, building collapse, seismic risk, built environment, earthquake engineering

1 • UVOD

Standard Evrokod 8, ki se uporablja za projektiranje stavb na potresnih območjih, ima tri osnovne cilje: zaščititi človeška življenja, omejiti škodo in zagotoviti uporabnost stavb, ki so pomembne za civilno zaščito (SIST EN 1998-1, 2005). Naključna narava potresa onemogoča natančno napovedovanje potresnih dogodkov. Čeprav je verjetnost pojava močnega potresa nizka, zelo močnih potresov, ki povzročijo ekonomsko škodo ali celo porušitev stavbe, ne moremo izključiti pri napovedovanju posledic potresov v prihodnosti. Zato lahko posledice prihodnjih potresov merimo z verjetnostnimi kazalniki v smislu potresnega tveganja, ki pa uporabnikom stavb ali drugim interesnim skupinam pogosto niso na voljo. Kupci oz. lastniki nepremičnin ali zavarovalnice nimajo informacij o potresnem tveganju, kar onemogoča vrednotenje potresnega tveganja in njegovo upoštevanje pri določitvi cene stavbe in zavarovalne premije. Ta problem rešujemo v okviru projekta Seizmični stresni test grajenega okolja (2017–2020).

Potresno tveganje lahko izrazimo z različnimi kazalniki (na primer (Snoj, 2014), (Babič, 2017)). V sodobnem potresnem inženirstvu se za mero potresnega tveganja najpogosteje uporablja verjetnost prekoračitve izbrane

stopnje poškodovanosti ali porušitve stavbe za določeno časovno obdobje, na primer za eno leto ali življenjsko dobo stavbe. Z ekonomskega vidika so kot kazalnik najbolj zanimive pričakovane ekonomske izgube zaradi potresov ali verjetnost, da izgube prekoračijo neko vrednost v določenem časovnem obdobju (Sutley, 2017). Kazalniki potresnega tveganja lahko izražajo tudi čas prekinitve opravljanja dejavnosti v stavbi kot posledica poškodb ali porušitve stavbe. Izgube pa so lahko izražene tudi s sociološkega vidika, na primer s številom smrtnih žrtev oziroma poškodovancev ali številom začasnih ali trajnih selitev prebivalcev (Sutley, 2017). Za splošen opis posledic potresov se najpogosteje uporabljata ekonomska škoda in število smrtnih žrtev, saj sta ta dva kazalnika najbolj razumljiva širši javnosti. Na primer, potres leta 1994 na območju Northridgea v Kaliforniji je povzročil 40 milijard dolarjev ekonomske škode in 57 smrtnih žrtev; potres leta 2011 v Christchurchu v Novi Zelandiji je terjal 18 milijard dolarjev in 185 smrtnih žrtev; potres in cunami leta 2011 v regiji Tohoku na Japonskem pa sta zahtevala kar 360 milijard dolarjev in 28.000 smrtnih žrtev (Sutley, 2017). Iz navedenih primerov je razvidno, da ekonomska škoda

in število smrtnih žrtev nista proporcionalno povezana. Samo en kazalnik torej ne prikaže celotnega obsega izgub zaradi potresov. Zato so nekateri avtorji poskušali smrt osebe oceniti tudi z ekonomskega vidika in tako povezati ta dva kazalnika tveganja. Na primer Sutley in sodelavci (Sutley, 2017) za smrt osebe navajajo vrednost okoli 4 milijone dolarjev, za kritične poškodbe pa okoli 3 milijone dolarjev. Ti dve vrednosti obsegata izgubo življenja in kvalitete življenja, ceno zdravljenja, izgubljene prihodke in drugo.

Pri projektiranju je zato pomembno, da se omeji škoda in prepreči smrtne žrtve zaradi potresov. Ker se potencial za posledice pri porušitvi stavbe spreminja od stavbe do stavbe, se postavlja vprašanje, na kakšen način naj se pri projektiranju upoštevajo posledice porušitve. Ta problem standard Evrokod 8 reši z vpeljavo kategorije pomembnosti stavbe, vendar je kazalnikov za definicijo kategorije pomembnosti stavbe lahko več, kot jih predvideva Evrokod 8. Ena izmed možnosti, ki bi jo lahko vpeljali v prihodnosti, je tudi upoštevanje pričakovanega števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe, saj je zaščita človeških življenj osnovni cilj standardov za potresno odporno projektiranje stavb. Zato v prvem delu članka predstavimo model za oceno števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. Model nato uporabimo na primeru stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

2 • SMRTNE ŽRTVE PRI POTRESIH

Smrtne žrtve pri potresih so posledica treh glavnih vzrokov: delne ali celotne porušitve stavb, vzrokov, ki niso povezani s stavbami samimi, na primer infarkt, in nesreč, kot so cunamiji, plazovi in požari. V članku nas zanimajo predvsem smrtne žrtve kot posledica poškodb ali porušitve stavbe, saj porušitev stavb v povprečju povzroči kar okoli 75 % vseh žrtev med potresi (Coburn, 1992). Pri potresih nižje intenzitete je lahko delež smrti zaradi vzrokov, ki niso direktno povezani s poškodbami

stavbe, primerljiv z deležem zaradi porušitve stavb. Občasno pa se zgodi, da nesreče, ki sledijo potresu, povzročijo večje število žrtev kot potres. Takšen primer je potres Fukushima (2011), pri čemer je cunami povzročil večino smrtnih žrtev.

Očitno je, da bo število žrtev pri nekem potresu odvisno od kvalitete gradnje, jakosti potresa in od gostote poseljenosti območja, ki ga prizadene potres. Število žrtev pa je odvisno tudi od časa pojava potresa, saj se

razporeditev prebivalstva čez dan, teden in leto v splošnem spreminja. Ponoči je denimo večina prebivalcev v lastnih domovih, čez dan pa na delovnih mestih ali v šolah. Razporeditev prebivalstva je različna tudi med delavnikom in med vikendom, nanjo pa vplivajo tudi prazniki in šolske počitnice. Na število smrtnih žrtev torej vpliva tudi čas dogodka, ki ga ne moremo vnaprej napovedati. Število smrtnih žrtev v primeru delne ali celotne porušitve stavbe je odvisno tudi od tega, kje se v primeru dogodka osebe nahajajo (na odprtem ali v notranjosti stavbe), ter od lastnosti stavbe. Število žrtev med uporabniki stavbe v času porušitve je različno v

primeru nizke ali visoke stavbe. Polega tega pa na število žrtev vplivata tudi material in tip konstrukcijskega sistema, saj je od slednjega odvisen način porušitve stavbe, od konstrukcijskega materiala pa možne poškodbe ljudi

((Coburn, 1992), (FEMA, 2012b), (So, 2013), (Tsang, 2016)). Na število smrtnih žrtev vpliva veliko parametrov, zaradi česar je ocena števila žrtev pri porušitvi stavbe zahteven proces, ki je povezan s številnimi negotovost-

mi in predpostavkami. V nadaljevanju članka predstavimo poenostavljen model za oceno števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe, ki ne upošteva vplivov negotovosti pri določitvi vhodnih parametrov modela.

3 • MODEL ZA OCENO ŠTEVILA SMRTNIH ŽRTEV PRI PORUŠITVI STAVBE

3.1 Kratek pregled metod za oceno števila smrtnih žrtev

Metode za oceno števila smrtnih žrtev so lahko verjetnostne (na primer (Yeo, 2002), (Tsang, 2016)) ali deterministične (na primer (Coburn, 1992), (Jaiswal, 2010)). Z verjetnostnimi metodami ocenimo pričakovano število žrtev v nekem časovnem obdobju, na primer za dobo enega leta, pri čemer upoštevamo vse možne potrese na neki lokaciji. Za posamezno osebo lahko ocenimo tudi verjetnost smrti, ki temelji na verjetnosti dosežene stopnje poškodovanosti (porušitve) stavbe, in verjetnosti smrti za neko stopnjo poškodovanosti (porušitev) v odvisnosti od intenzitete potresa. Verjetnostne metode omogočajo upoštevanje vpliva naključne narave potresa, kar zajamemo pri definiciji potresne obtežbe, in vpliva modelnih negotovosti, povezanih z računskim modelom stavbe, modelom zasedenosti stavbe in drugimi negotovimi parametri obravnavanega problema. Pri determinističnih metodah se pričakovano število žrtev določi na osnovi enega potresnega scenarija pri izbranem času dogodka in predpostavljeni porazdelitvi prebivalstva. Pri determinističnem pristopu vpliva negotovosti ni možno direktno upoštevati, lahko pa ga upoštevamo približno, in sicer tako, da račun ponovimo z različnimi vhodnimi parametri, na primer spreminjamo čas dogodka ali potresni scenarij (FEMA, 2012b). Pri uporabi tako verjetnostnih kot determinističnih metod za oceno števila smrtnih žrtev se običajno uporabljajo modeli zasedenosti stavbe, s katerimi lahko ocenimo število oseb, prisotnih v stavbi v času potresa. Tak model je predlagan na primer v (FEMA, 2012b) in je podrobneje opisan v poglavju 3.3, nihanje zasedenosti za nekaj tipičnih stavb čez dan pa je predlagal tudi Coburn s sodelavci (Coburn, 1992). Deterministične metode temeljijo na kar nekaj predpostavkah in poenostavitvah, vendar so rezultati bolj intuitivni kot pri verjetnostnih metodah. V članku smo se zato omejili na deterministične metode. Metode se lahko nadalje delijo na empirične (na primer (Jaiswal, 2010)), polempirične (na

primer (So, 2013)) ali analitične (na primer (Yeo, 2002), (Porter, 2008), (FEMA, 2012b)). Empirične metode temeljijo zgolj na opazovanjih pri predhodnih potresih, analitične metode pa združujejo analizo stavbe in eksperimentalne podatke.

Jaiswal in Wald (Jaiswal, 2010) sta predlagala empirično metodo, ki omogoča hitro oceno žrtev in ekonomskih izgub po večjih potresih po svetu. Z metodo se za posamezno območje oz. državo določi stopnja smrtnih žrtev oz. razmerje med številom žrtev in številom izpostavljenih ljudi v odvisnosti od intenzitete po modificirani Mercallijevi lestvici (MMI) na osnovi opazovanj preteklih potresov. Za območja, kjer ti podatki niso na voljo, sta stopnjo smrtnih žrtev določila na osnovi drugih območij z upoštevanjem geografskih, klimatskih in socioloških karakteristik ter lastnosti grajenega okolja. Klimatske karakteristike se v načinu gradnje odražajo na primer v velikih odprtinah, usmerjenih proti soncu, in nizkih etažah v hladnih področjih ter v debelejših strehah in zunanjih stenah v vročih območjih, kar vpliva tudi na potresno varnost stavbe. Sociološke karakteristike sta avtorja upoštevala z indeksom HDI (angl. Human Development Index), ki zajema pričakovano življenjsko dobo, pismenost, izobrazbo in bruto družbeni proizvod na prebivalca. Model je vgrajen v sistem PAGER (angl. Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response). Uporaben je na nivoju grajenega okolja in potrebuje ažurne podatke o populaciji ljudi na obravnavanem območju grajenega okolja. Model ne zajema vpliva tipa konstrukcije, ki pa ga lahko zajamemo s polempiričnimi in analitičnimi modeli.

Pri polempiričnih metodah se za vsak tip stavbe na podlagi podatkov iz preteklih potresov določi delež porušenih stavb in delež stavb z močnimi poškodbami v odvisnosti od intenzitete potresa (na primer (So, 2013)), pri analitičnih metodah pa se poškodovanost stavbe oz. vseh stavb grajenega okolja določi z analizo stavb pri izbrani potresni obtežbi (na primer (Yeo, 2002), (Porter, 2008), (FEMA, 2012b)). Potresna obtežba je za analizo pri

determinističnem pristopu določena s spektrom odziva ali z izbranim potresnim scenarijem, ki je določen z izvorom potresa, oddaljenostjo in magnitudo. Metode, ki poškodbe stavbe določajo na nivoju elementov stavbe, so mdr. predlagali Yeo in Cornell (Yeo, 2002) ter (FEMA, 2012b), ki za posamezne elemente stavbe določijo stopnjo poškodovanosti in delež ljudi v stavbi, ki je ogrožen zaradi posameznega elementa.

Za ocenjeno stopnjo poškodovanosti lahko nato na osnovi predhodnih opažanj med potresi ocenimo število smrtnih žrtev ali poškodovancev kot delež oseb, ki so v stavbi v času potresa, slednjega pa ocenimo iz stopnje zasedenosti stavbe. V nadaljevanju se bomo omejili zgolj na oceno števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. Nekateri avtorji obravnavajo tudi druge stopnje poškodovanosti in s tem povezane poškodbe ljudi. So in Spence (So, 2013) sta delež smrtnih žrtev na osnovi empiričnih podatkov predlagala tako za porušitev stavbe kot za močno poškodovane stavbe. Spence (Spence, 2007) je predlagal metodologijo, s katero se na osnovi empiričnih podatkov določi delež smrtnih žrtev in delež poškodovancev za šest stopenj poškodovanosti stavbe in pet kategorij poškodovanosti oseb, kjer peta kategorija predstavlja smrt. V aplikacijah HAZUS (FEMA, 2012a) in PAGER (Porter, 2008), ki služita za oceno posledic potresov, se upošteva pet stopenj poškodovanosti stavbe, za katere se posamično določi število pričakovanih žrtev. Šest stopenj poškodovanosti oz. tri stopnje uporabnosti stavbe upošteva tudi spletna aplikacija Oce na posledic potresa (POTROG, 2017), ki je bila nedavno pripravljena v sklopu projekta POTROG – Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite.

3.2 Kratek pregled metod za modeliranje porušitve stavbe

Z modelom za oceno števila smrtnih žrtev ocenimo število smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. Predpostavljeno je, da se obravnavane stavbe pri potresu porušijo. Za hitro oceno števila smrtnih žrtev po potresu je zato treba oceniti, katere stavbe se pri potresu porušijo. V ta namen se lahko uporabi empirični pristop, kjer se število porušenih stavb in posledično izpostavljenih ljudi določi

v odvisnosti od intenzitete potresa na podlagi opazovanj pri predhodnih potresih (na primer Jaiswal in Wald (Jaiswal, 2010)). Za natančnejšo oceno porušitve stavbe in s tem povezanega števila smrtnih žrtev pa lahko poškodovanost stavbe napovemo z analizo odziva posamezne stavbe za izbrani potresni scenarij. Z nelinearno analizo stavbe lahko določimo tudi mehanizem porušitve in stopnjo poškodovanosti posameznih elementov, kar omogoča oceno števila smrtnih žrtev zaradi poškodb stavbe tudi v primeru, ko se stavba pri potresu ne poruši (na primer (Yeo, 2002)). Nadalje lahko z oceno potresnega tveganja določimo tudi verjetnost prekoračitve izbrane stanja poškodovanosti ali porušitve stavbe za določeno časovno obdobje, na primer eno leto, ali življenjsko dobo stavbe. Pri tem lahko zajamemo negotovosti, povezane z analizo, in naključnost potresa. Verjetnost porušitve je dober kazalnik potresnega tveganja oz. varnosti stavbe. Večja verjetnost porušitve pomeni tudi večjo verjetnost za izgubo življenja, ki je enaka produktu verjetnosti porušitve in verjetnosti izgube življenja pri porušitvi stavbe. Modeliranje porušitve stavbe je zunaj obsega tega članka. V članku se omejimo le na modeliranje števila smrtnih žrtev pri pogoju porušitve stavbe. Takšen parameter predstavlja le potencial za izgube, vendar se ga lahko smiselno uporabi kot kazalnik za definicijo pomembnosti stavbe.

3.3 Predstaviteljski splošnega determinističnega modela za določitev števila žrtev pri porušitvi stavbe

Splošni deterministični model za določitev števila žrtev zaradi porušitve stavb je predlagal Coburn s sodelavci (Coburn, 1992). Po tem modelu se število smrtnih žrtev K_s zaradi porušitve stavb na nekem območju izračuna po naslednji enačbi:

$$K_s = \sum_b K_{s_b} = \sum_b D_{5_b} \cdot [M_{1_b} \cdot M_{2_b} \cdot M_{3_b} \cdot (M_{4_b} + M_{5_b})], \quad (1)$$

kjer je b tip stavbe, K_{s_b} število žrtev zaradi porušitve stavb tipa b , D_{5_b} število porušenih stavb tipa b (stopnja poškodovanosti 5, ki je enaka porušitvi), M_{1_b} do M_{5_b} pa faktorji, ki vplivajo na število smrtnih žrtev. Tip stavbe b je lahko določen tako s konstrukcijskim sistemom kot z namembnostjo stavbe. Stavbe s podobnimi karakteristikami lahko združimo tudi v skupine, za katere posamezne faktorje določimo le enkrat. D_{5_b} lahko za izbrani potresni scenarij določimo empirično, to je na osnovi zapisov preteklih potresov, ali z analizo stavb grajenega okolja. Model omogoča

oceno števila žrtev za celotno grajeno okolje ali zgolj za posamezno stavbo, pri čemer upoštevamo le del enačbe (1) v oglatem oklepaju. M_{1_b} je število ljudi v stavbi za posamezen tip stavbe, kjer je tip določen predvsem glede na namembnost stavbe. Na primer, Coburn in sodelavci (Coburn, 1992) navajajo povprečno vrednost M_{1_b} za enostanovanjske stavbe v Evropi med 2 in 3, v državah, kot sta Iran in Turčija, pa v povprečju 8. M_{1_b} lahko v Sloveniji za stanovanjske stavbe določimo s pomočjo Centralnega registra prebivalcev, priporočljive vrednosti za polno zasedene stavbe različnih namembnosti pa podaja, na primer, (FEMA, 2012b) (glej preglednico 1).

Namembnost	Največje število uporabnikov (na 100 m ²)	Čas v dnevu s presežkom uporabnikov
Pisarne	4,3	Dan (15:00)
Osnovne šole	15,1	Dan
Srednje šole	15,1	Dan
Fakultete	12,9	Dan
Bolnišnice	5,4	Dan (15:00)
Hoteli in moteli	2,7	Noč (3:00)
Večstanovanjske stavbe	3,3	Noč (3:00)
Raziskovalni laboratoriji	3,2	Dan (15:00)
Trgovine	6,5	Dan (17:00)
Skladišča	1,1	Dan (15:00)

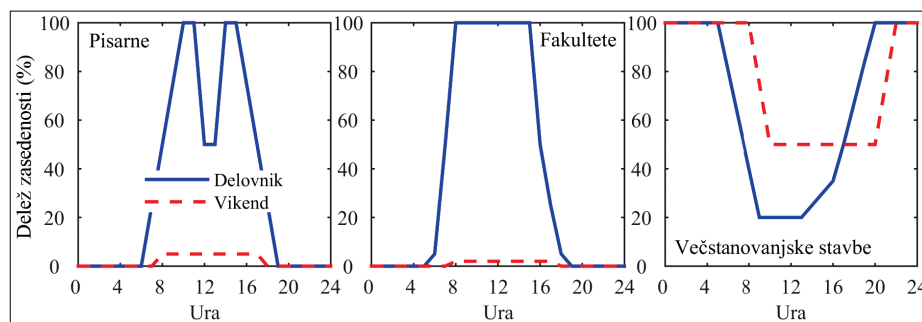
Preglednica 1 • Največje število uporabnikov na 100 m² in pripadajoči čas dneva za različne namembnosti stavb v skladu s (FEMA, 2012b).

Faktor M_{2_b} predstavlja delež zasedenosti v času potresa, ki ga lahko določimo na osnovi modelov prebivalstva, ki zajamejo razpore-

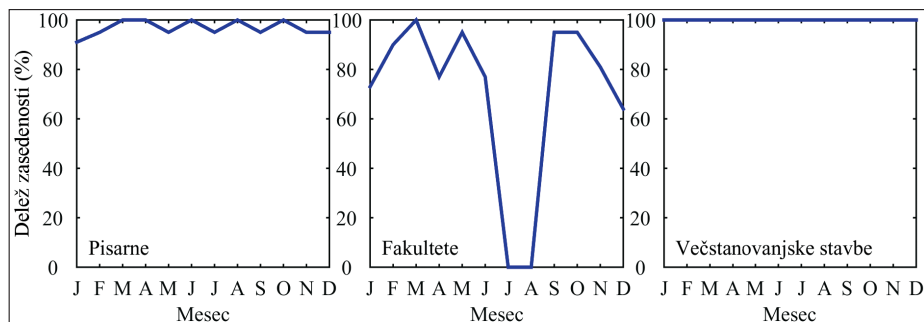
ditev prebivalcev čez dan, teden ali leto. Na sliki 1 je prikazan primer modelov zasedenosti pisarn, fakultet in večstanovanjskih stavb v času med delovnikom in vikendom, ki jih predlaga (FEMA, 2012b). Razvidne so razlike med pričakovanim deležem zasedenosti stavb v nočnem času, ki je 0 % za pisarne in fakultete ter 100 % za večstanovanjske stavbe. Za določitev najhujšega možnega scenarija lahko upoštevamo, da so v stavbi v času potresa prisotni vsi uporabniki stavbe hkrati. V tem primeru je M_{2_b} enak 1.

Če nas zanima povprečno število smrtnih žrtev za dogodek, ki se zgodi kadarkoli v letu, pa potrebujemo ekvivalenten delež ljudi, ki je v teoriji vedno prisoten v stavbi, $M_{2_{b,ekv}}$. Za določitev te vrednosti moramo poznati tudi nihanje zasedenosti stavbe med letom, na katerega vplivajo predvsem šolske počitnice in prazniki. (FEMA, 2012b) predlaga nihanje zasedenosti stavbe glede na mesece v letu, pri čemer je za vsak mesec zajeto povprečno število delovnih dni in praznikov. Zasedenost stavbe med vikendom ostaja za vsak mesec enaka, prav tako pa je enaka zasedenost stavbe tudi med tednom za bolnišnice, hotele in večstanovanjske stavbe. Na sliki 2 so prikazane razlike v modelih zasedenosti pisarn, fakultet in večstanovanjskih stavb v odvisnosti od meseca (FEMA, 2012b). Zaradi praznikov in dopustov nekoliko niha zasedenost pisarn. Poleg slednjih pa na zasedenost fakultet bistveno vplivajo poletne počitnice. V večstanovanjskih stavbah se upošteva enak model zasedenosti stavbe vse leto. V posamezni državi se število praznikov in njihovi datumi razlikujejo, zato se lahko tudi modeli zasedenosti stavbe med letom razlikujejo od modelov, ki jih predlaga FEMA.

Z upoštevanjem modelov zasedenosti stavbe za delovne dni in vikende (slika 1) ter nihanjem zasedenosti stavbe med letom (slika 2) lahko ekvivalentni delež ljudi, ki je v teoriji vedno prisoten v stavbi, $M_{2_{b,ekv}}$ določimo z naslednjo enačbo:



Slika 1 • Modeli zasedenosti pisarn, fakultet in večstanovanjskih stavb v času med delovnikom in vikendom (FEMA, 2012b).



Slika 2 • Nihanje zasedenosti pisarn, fakultet in večstanovanjskih stavb v mesecih v letu (FEMA, 2012b).

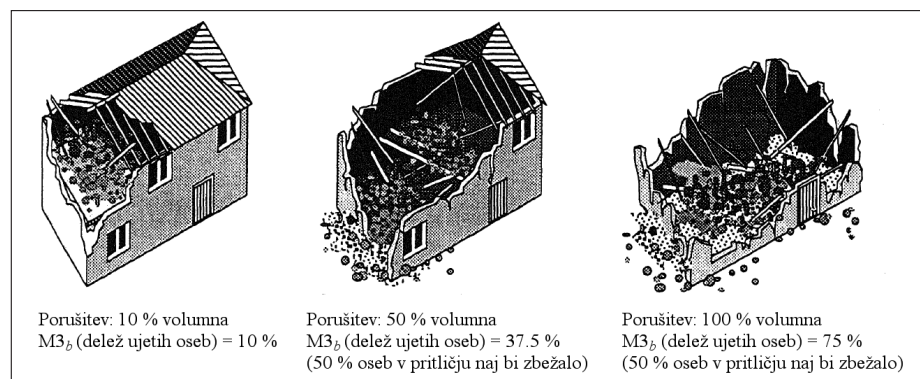
$$M2_{b,ekv} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \frac{p_{m,D,b} d_{m,D}}{24} \sum_{h=1}^{24} \frac{p_{h,D,b} + d_{m,V}}{24} \sum_{h=1}^{24} p_{h,V,b} \quad (2)$$

kjer je m posamezni mesec, d_m število dni m -tega meseca, $d_{m,D}$ in $d_{m,V}$ pa sta števili delovnih dni in dni med vikendom za m -ti mesec. $p_{m,D,b}$ je delež zasedenosti stavbe, ki je prisoten med delovnikom za posamezni mesec m in tip stavbe b in zajema vpliv praznikov in počitnic na nihanje zasedenosti stavbe (slika 2). Parameter $p_{h,D,b}$ predstavlja delež zasedenosti stavbe med delavnikom v stavbi določene namembnosti (slika 1). Odvisen je od ure h in je izražen relativno glede na zasedenost stavbe med delavnikom za posamezni mesec. Po analogiji $p_{h,V,b}$ predstavlja delež zasedenosti stavbe določene namembnosti med vikendom. Ta parameter je prav tako odvisen od ure, vendar gre za absolutni, in ne relativni delež zasedenosti stavb, saj je predpostavljeno, da prazniki in počitnice ne vplivajo na zasedenost med vikendi.

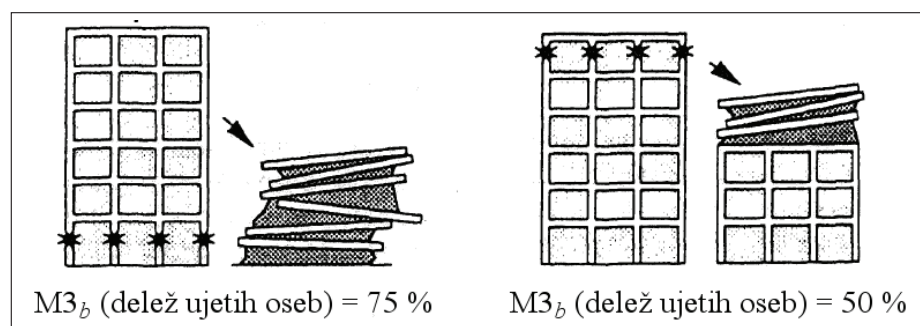
Z uporabo enačbe (2) lahko za podatke, ki so predstavljeni na slikah 1 in 2, izračunamo, da znaša $M2_{b,ekv}$ 23,4% za pisarne, 19,6% za fakultete in 68,3% za večstanovanjske stavbe, pri čemer smo za posamezni mesec predpostavili 9 dni med vikendi ($d_{m,V} = 9$) ter 21 delovnih dni za mesece s 30 dnevi ($d_{m,D} = 21$, $d_m = 30$) in 22 delovnih dni za mesece z 31 dnevi ($d_{m,D} = 22$, $d_m = 31$).

V primeru porušitve stavbe število smrtnih žrtev ni nujno enako številu ljudi, ki v času dogodka zaseda stavbo, saj nekatere osebe iz stavbe zbežijo brez posledic, čeprav zapuščenje stavbe med potresom ni priporočljivo (URS, 2013). $M3_b$ zato določa delež oseb, ki so ujele v porušeni stavbi in je odvisen od stopnje in tipa porušitve stavbe ter od tipa in geometrije stavbe. Na sliki 3 je prikazan

vpliv stopnje porušitve na faktor $M3_b$, kjer se vsi trije primeri smatrajo za porušeno stavbo, razlikuje pa se delež porušenega volumna. Na sliki 4 je za armiranobetonski okvir prikazan vpliv tipa porušitve na $M3_b$. Poleg tega avtorji navajajo vrednost $M3_b = 75\%$ pri prevrnitvi visokih stavb in 30% pri trkih s sosednjimi stavbami. Za zidane stavbe so Coburn in sodelavci (Coburn, 1992) predlagali vrednosti



Slika 3 • Vpliv stopnje porušitve na faktor $M3_b$ (Coburn, 1992).



Slika 4 • Vpliv stopnje porušitve na faktor $M3_b$ (Coburn, 1992).

$M3_b$ glede na potresno intenziteto v skladu z 12-stopenjsko potresno lestvico MSK oz. EMS. Takšen model temelji na predpostavljene pozitivni korelaciji med potresno intenziteto in stopnjo (volumnom) porušenega objekta. Za zidane stavbe do treh etaž avtorji podajajo povprečne vrednosti $M3_b$ od 5% pri intenziteti VII do 70% pri intenziteti X na lestvici MSK.

Za armiranobetonske stavbe s tremi do petimi etažami je predlagan $M3_b$ v povprečju 50% za oddaljene potrese in 70% v bližini prelomov. Vrednost $M3_b$ se lahko v mestih s primernimi sistemi za javljanje potresov in izobraževanjem uporabnikov o evakuacijskih poteh bistveno zmanjša, vendar verjetno ne na manj kot za 10%.

Stopnja in tip porušitve stavbe se upoštevata tudi v modelu (FEMA, 2012b), kjer je treba določiti tudi verjetnost posameznega tipa porušitve pri porušitvi stavbe, vsota teh pa mora biti enaka 1. Oceniti se tudi delež porušene površine pri vsakem tipu porušitve ter verjetnost smrti v primeru, da se oseba nahaja na tej površini. Slednje se lahko določi na osnovi preteklih opazovanj ali na podlagi inženirske presoje.

Faktor $M4_b$ predstavlja delež žrtev med ljudmi, ujetimi v stavbi ob porušitvi, in sicer kot delež ljudi, ujetih v stavbi, ki niso izgubili življenja med potresom. Faktor $M4_b$ je

Faktor $M5_b$ določa delež žrtev med ljudmi, ujetimi v stavbi po porušitvi. To so osebe, ki so porušitev stavbe preživele, vendar so življenje izgubile po porušitvi. $M5_b$ je odvisen od tipa poškodb oseb v stavbi in hitrosti odziva reševalcev. Osebe z manjšimi poškodbami bodo namreč lažje počakale na odziv reševalcev kot tiste s hujšimi poškodbami. V primerih, ko je veliko ljudi ujetih v porušeni stavbah, se vrednost $M5_b$ poveča, saj bo odziv po potresu počasnejši in manjši. Avtorji navajajo vrednosti $M5_b$ med 45 % in 95 % za zidane stavbe in med 70 % in 90 % za armiranobetonske stavbe, kjer najmanjše vrednosti pripadajo najboljšemu odzivu reševalnih ekip. Vrednosti tudi nakazujejo na lažje reševanje iz zidanih stavb v primerjavi z armiranobetonskimi stavbami.

Pri oceni števila žrtev z uporabo enačbe (1) lahko vrednosti faktorjev $M1_b$ in $M2_b$ določimo glede na model razporeditve prebivalcev, $M3_b$, pa na osnovi analize stavbe ali empiričnih podatkov. $M4_b$ in $M5_b$ bi lahko ocenili na osnovi predhodnih potresov, vendar so tako podrobni podatki redko na voljo. Alternativno lahko faktorje $M3_b$ do $M5_b$ nadomestimo z enim samim faktorjem, in sicer z deležem smrtnih žrtev (Murakami, 1992) med uporabniki stavbe v primeru porušitve, ki jo lahko ocenimo na osnovi podatkov iz predhodnih potresov. Delež smrtnih žrtev pri porušitvi različnih tipov stavb sta na osnovi empiričnih podatkov predlagala na primer So in Spence (So, 2013) (preglednica 2). Delež smrtnih žrtev znaša med 1,3 % (leseni okvirji) in 27,8 % (jekleni okvirji). Glede na vrednosti v preglednici 2 bi lahko napačno sklepali, da je varnost sodobnih AB-stavb manjša kot za šibke in neutrjene zidane stavbe, saj je delež smrtnih žrtev pri porušitvi slednjih manjša. Vendar pa je tveganje za porušitev sodobnih AB-okvirjev seveda manjše kot tveganje za porušitev starih zidanih stavb, zaradi česar je tudi tveganje za izgubo življenja v sodobnih AB-okvirjih zaradi potresov manjše. Tsang in Wenzel (Tsang, 2016) sta delež smrtnih žrtev določila s pomočjo aplikacije HAZUS (preglednica 3). Poleg deleža

smrtnih žrtev za ljudi prisotne v stavbi avtorja podajata tudi delež smrtnih žrtev za ljudi zunaj stavbe. Delež smrtnih žrtev se zunaj stavbe veča s številom etaž, v stavbi pa je delež smrtnih žrtev 8 % za manjše lesene stavbe in lahke jeklene okvirje ter 15 % za preostale stavbe.

Vrednosti deleža smrtnih žrtev so tako So in Spence kot tudi Tsang in Wenzel določili empirično, to je na osnovi podatkov predhodnih potresov, vendar se vrednosti med posameznimi avtorji precej razlikujejo. Tsang in Wenzel (Tsang, 2016) sta delež smrtnih žrtev določila z aplikacijo HAZUS, ki zajema podatke s celega sveta, medtem ko sta So in Spence (So, 2013) delež smrtnih žrtev določila le na osnovi opazovanj pri treh evropskih mestih (Istanbul, Lizbona in Solun). Poleg tega se nekoliko razlikujejo tudi definicije posameznih tipov stavb. Aplikacija HAZUS razlikuje med AB- ali jeklenimi okvirji s polnili in brez njih, kjer se v splošnem pričakuje večje število poškodovancev ali tudi smrtnih žrtev pri okvirjih s polnili (Tsang, 2016), medtem ko So in Spence te delitve ne upoštevata.

Tip stavbe	Delež smrtnih žrtev (%)
Šibke zidane	20,0
Nearmirane, neutrjene zidane	7,8
Zidane z AB-stropi, potresno utrjene zidane, starejši AB-okvirji	25,0
Sodobni AB-okvirji in stene	25,0
Leseni okvirji	1,3
Jekleni okvirji, AB-stavbe, projektirane po strožjih zahtevah standardov	27,8

Preglednica 2 • Delež smrtnih žrtev glede na tip stavbe (So, 2013).

Tip stavbe	Velikost	Delež smrtnih žrtev zunaj stavbe (%)	Delež smrtnih žrtev v stavbi (%)
Lesene stavbe	≤ 465 m ²	0,15	8
	> 465 m ²	0,15	15
Lahki jekleni okvirji	Vse	0,011	8
Jeklene stavbe brez polnil	1 – 3 etaže	0,2	15
	4 – 7 etaž	0,4	15
	≥ 8 etaž	0,6	15
Jeklene stavbe s polnili	1 – 3 etaže	0,5	15
	4 – 7 etaž	0,7	15
	≥ 8 etaž	1,0	15
Betonske stavbe brez polnil	1 – 3 etaže	0,2	15
	4 – 7 etaž	0,4	15
	≥ 8 etaž	0,6	15
Betonske stavbe s polnili	1 – 3 etaže	0,5	15
	4 – 7 etaž	0,7	15
	≥ 8 etaž	1,0	15

Preglednica 3 • Delež smrtnih žrtev zunaj stavbe in v stavbi glede na velikost florisa ali število etaž in tip stavbe (Tsang, 2016)

4 • UPORABA MODELA ZA OCENO ŠTEVILA SMRTNIH ŽRTEV NA PRIMERU ARMIRANOBETONSKE STAVBE

Metodo iz poglavja 3 (enačba (1)) smo uporabili za razvoj modela za oceno števila smrtnih žrtev v primeru porušitve stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo (slika 5) zaradi potresa. Stavba je v Ljubljani.

Model zasedenosti stavbe med delavnikom in vikendom ter nihanje zasedenosti stavbe po mesecih sta namenoma približna. Število ljudi v stavbi smo zato določili v skladu s priporočili (FEMA, 2012b) (preglednica 1 in slika 1), pri čemer smo velikost površin

glede na namembnost prostorov določili v skladu z (Žveglič, 2006) (slika 6). Pri tem smo ločeno upoštevali pisarne, učilnice in laboratorije, kjer smo v sklopu pisarn zajeli kabinete iz vseh šestih etaž (glej sliko 6c) ter pisarne, knjižnico in delovne prostore v pritličju (slika 6b). Učilnice in laboratoriji se ponavljajo v vseh 4 etažah na severni strani stavbe, kabineti pa v šestih etažah na južni strani stavbe (glej sliko 6a). V računu smo zanemarili avlo, hodnike, stop-



Slika 5 • Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (UL FGG, 2018).

nišča, arhive in sanitarne prostore ter kletne prostore.

V preglednici 4 so prikazane skupne površine prostorov glede na namembnost in pričakovano število ljudi (M_{1b} , M_{2b} , v enačbi (1)) v dnevnem času, ko se pričakuje 100% zasedenost stavbe, v nočnem času (3:00), ko se v pisarnah in učilnicah pričakuje 0% in v laboratorijih 10% zasedenost,

ter v dnevnem času med vikendom, ko se pričakuje 2% zasedenost v šolah oz. učilnicah, 5% v pisarnah in 25% v laboratorijih. Za obravnavani primer, kjer raziskave v laboratorijih običajno potekajo v delovnem času, smo delež zasedenosti v laboratorijih predpostavili enak kot za pisarne, in sicer 0% ponoči in 5% med vikendom. Pričakovano število ljudi je zaokroženo na celo

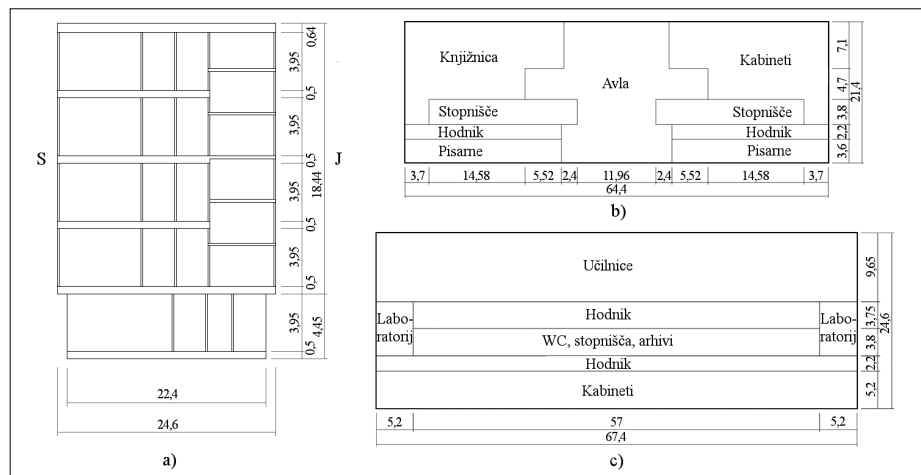
Namembnost površine	Površina (m ²)	Največje pričakovano število ljudi		
		Dan (15:00)	Noč (3:00)	Vikend (15:00)
Pisarne	2812	121	0	6
Učilnice	2602	336	0	7
Laboratoriji	314	10	0	1
Skupaj		467	0	14

Preglednica 4 • Največje pričakovano število ljudi v dnevnem in nočnem času ter med vikendom glede na namembnost prostorov.

število. Največje skupno pričakovano število ljudi v dnevnem času je 467. V nočnem času se ne pričakuje ljudi v stavbi, med vikendi v dnevnem času pa je ta številka enaka 16.

Vrednosti M_{3b} ($M_{4b} + M_{5b}$) smo zajeli v enem koeficientu, in sicer v skladu s preglednico 2 (So, 2013). Ker gre za AB-stavbo, se delež smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe glede na podatke iz preglednice 2 ocenjuje na 25%. Pričakovano število žrtev pri porušitvi stavbe zaradi potresa je v dnevnem času med delavnikom $467 \cdot 0.25 = 117$, v nočnem času ni pričakovati žrtev ($0 \cdot 0.25 = 0$), med vikendom v dnevnem času pa se predvideva $14 \cdot 0.25 = 4$ žrtve. Če bi upoštevali ekvivalentno število ljudi, ki je v teoriji vedno prisotno v stavbi (enačba (2)), bi znašalo pričakovano število smrtnih žrtev na letni ravni 24. Pri tem smo upoštevali, da je v pisarnah in laboratorijih vedno prisotnih 23,4% uporabnikov (31), v učilnicah pa 19,6% uporabnikov (66).

Rezultati iz prikazanega primera so informativni. Na podlagi ažurnih podatkov o številu študentov in zaposlenih bi lahko število ljudi, ki je prisotnih v stavbi, bolj natančno ocenili, kar pa presega namen tega prispevka. Za določitev deleža žrtev smo v primeru uporabili empirično vrednost, ki bi jo lahko bolj natančno ocenili z analitičnimi metodami, s katerimi bi z analizo stavbe določili tip porušitve in poškodovane elemente.



Slika 6 • a) Prečni prerez, b) tloris pritličja in c) tloris preostalih etaž (Žvegljč, 2006).

5 • SKLEP

V članku smo predstavili problem ocene števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. V splošnem je problem zelo kompleksen, saj je število smrtnih žrtev odvisno od veliko dejavnikov, večine pa ni mogoče natančno določiti. Zato smo problem obravnavali poenostavljeno z upoštevanjem več predpostavk. Model je determinističen in temelji pretežno na izkustvenih podatkih. Na število smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe vplivata zasedenost stavbe v času potresa in delež smrtnih žrtev v ruševinah porušene stavbe. Obstaja več možnosti za modeliranje za-

sedenosti stavbe v času potresa kot tudi za oceno deleža smrtnih žrtev v ruševinah stavbe. Od teh modelov je precej odvisno ocenjeno število smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe. Eno izmed možnosti smo uporabili na primeru stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Na osnovi privzetega modela zasedenosti stavbe in deleža smrtnih žrtev se izkaže, da pričakovano število smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe znaša 117, če bi se stavba porušila v delovnem času med tednom. Smrtnih žrtev ne pričakujemo za porušitev v nočnem času, predvidene pa so štiri smrtne

žrtve, če bi potres porušil stavbo v dnevnem času med vikendom. Povprečno število smrtnih žrtev pri pogoju porušitve za dobo enega leta znaša 24. Čeprav je rezultat negotov in precej odvisen od modela za določitev deleža smrtnih žrtev v ruševinah stavbe, ocenjujemo, da je to negotovost v prihodnosti možno zmanjšati. Zato bi lahko informacija o povprečnem številu smrtnih žrtev pri porušitvi objekta predstavljala enega izmed kazalnikov za bolj natančno opredelitev faktorja pomembnosti stavbe, saj je varovanje človeških življenj osnovni cilj standardov za projektiranje potresno odpornih stavb. Predstavljeni model števila smrtnih žrtev pri porušitvi stavbe bomo uporabili v okviru temeljnega raziskovalnega projekta Stresni test grajenega okolja.

6 • ZAHVALA

Predstavljeno delo je bilo pripravljeno v okviru raziskovalnega projekta Seizmični stresni test

grajenega okolja (J2-8159), ki ga financirata ARRS in Avstrijski raziskovalni sklad FWF.

Podpori se iskreno zahvaljujemo. Avtorja se zahvaljujeta A. Babiču za koristne komentarje pri pripravi članka.

7 • LITERATURA

- Babič, A., Potresni obremenitveni test za montažne armiranobetonske hale, Doktorska disertacija, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2017.
- Coburn, A. W., Spence R. J. S., Pomonis, A., Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse, Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, July 19-24, 1992.
- FEMA, Federal Emergency Management Agency, HAZUS Multi-hazard loss estimation, <https://www.fema.gov/hazus>, 2012a.
- FEMA, Federal Emergency Management Agency, Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1 – Methodology, Applied Technology Council, Washington, D.C., FEMA Publication P-58-1, 2012b.
- Jaiswal, K., Wald, D., An empirical model for global earthquake fatality estimation, Earthquake Spectra 26(4), 1017-1037, 2010.
- Murakami, H. O., A simulation model to estimate human loss for occupants of collapsed buildings in an earthquake, Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, July 19-24, 1992.
- Porter, K. A., Jaiswal, K. S., Wald, D. J., Earle, P. S., Hearne, M., Fatality models for the U.S. geological survey's prompt assessment of global earthquakes for response (PAGER) system, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008.
- POTROG, Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite, RS Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, 2013.
- POTROG, Ocena posledic potresa, RS Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, <http://potrog.vokas.si/>, 2017.
- SIST EN 1998-1, Evrokod 8, Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij, 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, SIST EN 1998-1:2005, maj 2005.
- Snoj, J., Ocena potresnega tveganja zidanih stavb, Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2014.
- So, E., Spence, R., Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events: a proposed modelling approach, Bulletin of Earthquake Engineering, 11(1): 347-363, 2013.
- Spence, R., Human losses, Spence, R. (ur.), Earthquake disaster scenario prediction and loss modeling for urban areas, LessLoss report no. 2007/07, pp 51-58, 2007.
- Sutley, E. J., van de Lindt, J. W., Peek, L., The costs of not retrofitting from a combined engineering, socioeconomic and demographic perspective, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering 16WCEE, Santiago, Chile, January 9-13, 2017.
- Tsang, H-H, Wenzel, F., Setting structural safety requirement for controlling earthquake mortality risk, Safety Science 86: 174-183, 2016.
- UL FGG. Fotografija Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. <https://www.fgg.uni-lj.si/o-fakulteti/rektorji-in-dekani/>, 2018.
- URSZR, Potres – priporočila in navodila za prebivalce, Urad Republike Slovenije za zaščito in reševanje, <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=np41.htm>, 2013.
- Yeo, G. L., Cornell, C. A., Building-Specific Seismic Fatality Estimation Methodology, The Fourth U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Earthquake Engineering Research Center, Toba, Japan, October 22-24, 2002.
- Žveglič, L., Primerjalna analiza ukrepov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje v stavbi FGG, Diplomski nalogi, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2006.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Filipo Damjanov, Pritrjevanje jeklenih konstrukcij na AB podlago z naknadno vgrajenimi sidri, mentor viš. pred. dr. Leon Hladnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103729>

Ana Hekič, Razvoj obstojnih materialov za mozaike, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Aleksander Mikuš; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103591>

Egzona Kabashi, Razvoj obstojnih materialov za mozaike, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor Aleksander Mikuš; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103626>

Tilen Erjavec, Potresna analiza armiranobetonskega okvira s polnili in vpliv opečnih polnil na prečno armaturo, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor asist. dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103728>

Nandino Koščak, Stroškovna in časovna analiza poteka rušenja poslovnega objekta, mentorica prof. dr. Jana Šelih; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=102994>

Samo Rajković, Določitev velikosti vpliva toplotnih mostov na ogrevanje tipične enodružinske hiše, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103347>

Jernej Gortnar, Planiranje gradnje v okolju BIM, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor asist. dr. Robert Klinc; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103337>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Dora Kovač, Vpliv pospešil vezanja in lahkega polnila na lastnosti apnenih injekcijskih mešanic, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentorica mag. Andreja Padovnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=100215>

Andraž Vožič, Kolesarska pot Dravograd - Muta na južni strani Drave, mentor doc. dr. Peter Lipar; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=102791>

Jerneja Čehovin, Dimenzioniranje skalometov v obalnem inženirstvu, mentor izr. prof. dr. Dušan Žagar; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103612>

Urška Brišar, Vpliv različnih vrst cementa na lastnosti apne-cementnih injekcijskih mešanic, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentorica asist. dr. Andreja Padovnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103609>

Marko Justin, Analiza prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope na primeru vakuumsko izolacijskih panelov, mentor izr. prof. dr. Roman Kunič, somentor mag. Marko Meglič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103578>

Maša Rebernik, Okoljsko vrednotenje ravnih in poševnih streh, mentor izr. prof. dr. Roman Kunič, somentor asist. David Božiček; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103630>

Marko Guštin, Tehnologije priprave pitne vode z razsoljevanjem kot dopolnilni vodni vir za vodooskrbo na Obali, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski, somentor dr. Matej Čehovin; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103621>

David Zajec, Analiza zrnivosti pobočnih odkladnin s pomočjo analize slik, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor doc. dr. Dušan Petrovič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103628>

Špela Žagar, Morfologija kot izhodišče za energijsko učinkovito gradnjo, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103352>

Amel Emkić, Preiskave strižne nosilnosti zidovine iz sodobnih opečnih votlakov, mentor prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. Martin Klun; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103588>

Žiga Poltrini, Ocena potresne odpornosti zidane stavbe z uporabo poenostavljene nelinearne analize, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor asist. dr. Anže Babič; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103642>

Matic Možina, Analiza bioklimatskih danosti izbranih lokacij v Srednji Evropi ter njihov vpliv na načrtovanje energijsko učinkovitih stavb, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103734>

Nick Bratina, Vpliv mejnega stanja uporabnosti na projektiranje jeklenih konstrukcij, mentor doc. dr. Primož Može; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103583>

Jernej Prevolnik, Analiza cestnega omrežja znotraj Nakupovalnega središča Rudnik, mentor doc. dr. Tomaž Maher; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103699>

Mario Farič, Prometno tehnična in prometno varnostna analiza odseka regionalne ceste R1 232/1315 s predlogi za izboljšanje, mentor doc. dr. Tomaž Maher; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=104038&lang=slv>

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Matevž Strbad, Preučevanje površinskega odtoka s fizičnim hidrološkim modelom, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor asist. dr. Nejc Bezak; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103757>

David Krznar, Analiza poplavnih dogodkov v Sloveniji 2005-2017, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor Andrej Golob; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103754>

Gabrijel Jelinič, Račun vala vsled morebitne porušitve jezovne zgradbe načrtovane hidroelektrarne Mokrice, mentor prof. dr. Matjaž Četina; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103758>

Anja Pšeničnik, Rastlinska čistilna naprava za enodružinsko hišo, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=103571>

Vasja Hodnik, Analiza hidravličnih razmer na suhem zadrževalniku Logatec, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor

doc. dr. Gašper Rak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103571>

Ana Marija Ločan, Hidravlične razmere na prečni zgradbi na Dreti, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Gašper Rak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103761>

Matej Mešl, Izračun površinskega odтока z zgornjega dela porečja Dravinje, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj, somentor asist. dr. Nejc Bezak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103762>

Špela Kne, Izvedba vodovoda in odvodnje v naselju Stočje v Kropi, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor asist. Matej Radinja; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103760>

Anamarija Plestenjak, Načrtovanje zadrževalnih sistemov na objektih za hranjenje nevarnih odpadkov s poudarkom na obvladovanju požarnih voda, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor prof. dr. Mihael Jožef Toman; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103632>

Gal Perhaj, Pomen selektorjev pri SBR reaktorjih, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103756>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Mihael Blaž, Generacija prometa glede na dejavnost, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentor mag. Gregor Pretner; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=102266>

Dejan Bolarič, Dimenzioniranje cevnega štita pri projektiranju predorov, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor dr. Jure Klopčič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103025>

Urška Bačar, Vpliv faktorja zazidanosti zemljišča na ceno enostanovanjske hiše, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103030>

Tilen Lovše, Analiza uporabe sheme IFC za izmenjavo informacijskih modelov zgradb pri pristopu Open BIM, mentor doc. dr. Tomo Cerovšek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103759>

Domen Logar, Predlog rekonstrukcije dvopasovnega krožišča s kapacitetno in prometno-varnostno analizo, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. dr. Rok Marsetič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103755>

Andraž Vožič, Integriran model rabe tal in prometa Tranus, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=102791>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

Aljaž Petrič, Celostna energijska sanacija stavbe Srednje šole Veno Pilon Ajdovščina, mentor izr. prof. dr. Roman Kunič, somentor mag. Boštjan Furlan; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103827>

Sabina Magyar, Optimizacija rabe energije enodružinske hiše z upoštevanjem globalnega segrevanja, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103820>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Mateja Ribnikar, Uporaba modela Brook90 za ugotavljanje vodne bilance urbanih gozdov, mentorica izr. prof. dr. Mojca Šraj; somentorica dr. Urša Vilhar; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103731&lang=eng>

Barbara Dominović, Komunalna ureditev rekreacijske cone gramoznice Pleterje, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103733>

Sabina Koplan, Idejna rešitev odvajanja in čiščenja odpadne vode naselij v bližini vodnega vira Dobličica, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103732>

Urban Kristan, Modeliranje večnamenskega vtoka iz stranskega kanala za Enajstmilinski potok, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Gašper Rak; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103837>

Jelko Gomboc, Idejna rešitev odvajanja in čiščenja odpadne vode naselij Fikšinci in Gerlinci, mentor doc. dr. Mario Krzyk; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103730>

Miha Tallarini, Ocenjevanje tehničnega stanja cevodvodov v vodovodnem sistemu, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor asist. dr. Daniel Kozelj; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=103835>

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

World
Construction
Forum
2019

www.wcf2019.org

Svetovni gradbeni forum ODPORNOST STAVB IN INFRASTRUKTURE Ljubljana, 8. do 11. april 2019

Forum bo potekal pod častnim pokroviteljstvom Predsednika Republike Slovenije, gospoda Boruta Pahorja.

Teme foruma

- energija v 21. stoletju
- izobraževanje in usposabljanje inženirjev in vloga inženirjev v družbi
- gradbeništvo 4.0
- kulturna dediščina v digitalnem svetu
- upravljanje s tveganji zaradi nesreč in odpornejše skupnosti
- upravljanje z nepremičninami in premoženjem, informacijsko modeliranje stavb (BIM)

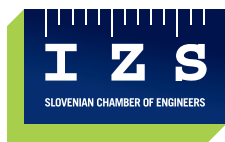
WCF 2019 in SDG

WCF 2019 podpira izmenjavo znanj, izkušenj, praks in vizij v gradbeništvu, ki vodijo do izpolnjevanja več ciljev trajnostnega razvoja (t.i. SDG):



Povzetke referatov zbiramo do 15. 11. 2018 na povezavi: <https://www.wcf2019.org/call-for-abstracts/>

Organizatorji



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za gradbeništvo*
in geodezijo

Pod pokroviteljstvom



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

Under the patronage of
UNESCO

KOLEDAR PRIREDITEV

9.-15.11.2018

International Seminar on Roads, Bridges & Tunnels; Challenges and Innovation

Solun, Grčija
<http://isrbt.civil.auth.gr/>

16.11.2018

19. Šukljeto dan »Numerično modeliranje v geotehnični praksi«

Maribor, Slovenija
www.sloged.si

19.-20.11.2018

40. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Bled, Slovenija
www.sdgtk.si/

22.11.2018

4. strokovna konferenca SIBIM 2018

Kranj, Slovenija
<http://bim.si/event/sibim-2018/>

3.-6.12.2018

SGEM Vienna GREEN 2018 - 18th International Conference on EARTH & GEOSCIENCES

Dunaj, Avstrija
www.sgemviennagreen.org/

10.-12.12.2018

ICCAEE 2018 - International Conference on Civil, Architectural and Environmental Engineering

Wellington, Nova Zelandija
www.iccaee.net/

8.-11.4. 2019

Svetovni gradbeni forum 2019 - Odpornost stavb in infrastrukture

Ljubljana, Slovenija
<https://www.wcf2019.org/wcf-intro-slo/>

10.-14.6. 2019

ICOLD 2019 - 87th Annual Meeting: International Commission on Large Dams

Ottawa, Kanada
www.icold-cigb2019.ca/

17.-20.6. 2019

7 ICEGE 2019 - International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering

Rim, Italija
www.7icege.com/

17.-20.6. 2019

8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis - Rail Norrköping 2019

Norrköping, Švedska
www.railnorrkoping2019.org/

24.-26.6. 2019

COMPDYN 2019 - 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Kreta, Grčija
<https://2019.compdyn.org/>

1.-6.7. 2019

16WCSI-16th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures

Sankt Peterburg, Rusija
www.16wcsi.org/

10.-12.7. 2019

International Conference on Road and Airfield Pavement Technology 2019

Kuala Lumpur, Malezija
<http://conference.upm.edu.my/ICPT?>

21.-23.8. 2019

14th International Workshop for Micropiles

Gold Coast, Queensland, Avstralija
www.ismicropiles.org/

11.-14.5.2020

14th Congress INTERPRAEVENT 2020

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

2.-6.11.2020

5th World Landslide Forum

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

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