

NARAVNE NESREČE 4



TRAJNOSTNI RAZVOJ MEST IN NARAVNE NESREČE

MATIJA ZORN
BLAŽ KOMAC
ROK CIGLIČ
JURE TIČAR

NARAVNE NESREČE 4
TRAJNOSTNI RAZVOJ MEST IN NARAVNE NESREČE



NARAVNE NESREČE 4

TRAJNOSTNI RAZVOJ MEST IN NARAVNE NESREČE

Uredili:

Matija Zorn

Blaž Komac

Rok Ciglič

Jure Tičar

LJUBLJANA 2017

NARAVNE NESREČE 4

TRAJNOSTNI RAZVOJ MEST IN NARAVNE NESREČE

Matija Zorn, Blaž Komac, Rok Ciglič, Jure Tičar

© 2017, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Matija Zorn, Blaž Komac, Rok Ciglič, Jure Tičar

Uredniški odbor: Rok Ciglič, Branko Dervodel, Mateja Ferk, Blaž Komac, Miha Pavšek, Milica Slokar, Jure Tičar, Manca Volk Bahun, Matija Zorn

Recenzenti: Miloš Bavec, Rok Ciglič, Blažo Đurovič, Mateja Ferk, Andrej Gosar, Blaž Komac, Matjaž Mikoš, Karel Natek, Miha Pavšek, Janez Polajnar, Jure Tičar, Matija Zorn

Izdajatelj: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Za izdajatelja: Drago Perko

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

Glavni urednik: Aleš Pogačnik

Oblikovanje naslovnice: Aleksander Kelnerič, s. p., Ptuj

Računalniški prelom: NEBIA d. o. o.

Tisk: Present d. o. o.

Naklada: 250 izvodov

Prva izdaja, prvi natis. / Prva e-izdaja.

Ljubljana 2017

Fotografija na naslovnici:

Poplave oktobra 2014 so zajele južni del Ljubljane. Poplavljen je bil tudi del Tržaške ceste pri Dolgem mostu (fotografija: Matija Zorn).

Knjiga je prosto dostopna tudi v elektronski obliki (pdf), ISBN 978-961-254-994-7

COBISS.SI ID=289118464: <http://zalozba.zrc-sazu.si/p/1437>



Izid publikacije je podprla Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

911.375(082)

502.131.1:911(082)

504.4:911(082)

TRAJNOSTNI razvoj mest in naravne nesreče / uredili Matija Zorn ... [et al.]. -
1. izd., 1. natis. - Ljubljana : Založba ZRC, 2017. - (Knjižna zbirka Naravne nesreče /
Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, ISSN 1855-8879 ; 4)

ISBN 978-961-254-993-0

1. Zorn, Matija

289118208

VSEBINA

<i>Blaž Komac</i>	
Prožna mesta – trajnostni razvoj in naravne nesreče	11
<i>Matjaž Mikoš</i>	
Krepitev odpornosti družbe na naravne in druge nesreče in prehod v nizkoogljico družbo v Sloveniji	23
<i>Katja Banovec Juroš</i>	
Implementacija Sendajskega okvira na lokalni ravni – zmanjšanje tveganj zaradi nesreč v lokalnih skupnostih	33
<i>Mateja Zalar, Tjaša Pogačar, Zalika Črepinšek, Lučka Kajfež Bogataj</i>	
Vročinski valovi kot naravna nesreča v mestih	41
<i>Blaž Komac, Rok Ciglič, Miha Pavšek, Žiga Kokalj</i>	
Naravne nesreče v mestih – primer mestnega toplotnega otoka	51
<i>Nejc Pogačnik</i>	
Pomen hidrološke napovedi za učinkovit odziv ob mestnih poplavih	69
<i>Andrej Gosar</i>	
Raziskave nevarnosti seizmičnih resonančnih učinkov med sedimenti in stavbami v petih slovenskih mestih z metodo mikrotremorjev	83
<i>Marjana Lutman, Primož Banovec, Matej Cerk, Maja Kreslin</i>	
Razširitev strokovnih podlag in orodij za oceno potresne ogroženosti v Sloveniji	93
<i>Mateja Jemec Auflič, Marko Komac, Blaž Milanič, Jernej Jež</i>	
Določanje stabilnosti tal s pomočjo radarske interferometrije v naseljenih območjih	107
<i>Špela Kumelj, Jasna Šinigoj</i>	
e-Plaz – spletna aplikacija za popis in pregledovanje plazov in erozije	117
<i>Maruša Goluža, Matija Zorn</i>	
Spremembe škodnega potenciala na poplavnih območjih Ljubljanskega barja med letoma 2003 in 2015	125
<i>Stanislav Lenart, Rudolf Rajar, Andrej Širca</i>	
Prispevek projekta VODPREG 2 k oceni posledic porušitev vodnih pregrad	133
<i>Manca Volk Bahun</i>	
Modeliranje in prikazovanje nevarnosti zaradi snežnih plazov	145

<i>Tajan Trobec</i>	
Prostorska in časovna analiza pojavljanja hudourniških poplav v Sloveniji	155
<i>Gregor Kovačič</i>	
Poplavi na Zgornji Pivki v letu 2014	165
<i>Mojca Šraj, Matevž Menih, Nejc Bezak, Matjaž Mikoš</i>	
Poplavno tveganje v Sloveniji in podnebna spremenljivost	177
<i>Blaž Barborič, Mihaela Triglav Čekada, Vasja Bric, Primož Kete, Vesna Dežman Kete</i>	
Nove podatkovne podlage za boljše upravljanje z vodami	185

Posvećeno 30. obletnici revije Ujma

PROŽNA MESTA – TRAJNOSTNI RAZVOJ IN NARAVNE NESREČE

dr. Blaž Komac

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

blaz.komac@zrc-sazu.si

IZVLEČEK

Prožna mesta – trajnostni razvoj in naravne nesreče

Naravne nesreče pogosto prizadenejo mesta. Najpogostejše mestne naravne nesreče so poplave, potresi, neurja in požari ter zemeljski plazovi, vročinski valovi in suše. V prispevku ugotavljamo, zakaj so mesta posebej ranljivi deli pokrajine in na primeru nekaterih naravnih nesreč predstavljamo mestne naravne nesreče. Poseben poudarek je na trajnostnem razvoju mest, ki obsega tudi povečevanje prožnosti mest zaradi naravnih nesreč.

KLJUČNE BESEDE

geografija, naravne nesreče, urbane naravne nesreče, prožnost, mesta

ABSTRACT

Resilient cities – sustainable development and natural disasters

Natural hazards often hit urban areas. The most common urban natural hazards are floods, earthquakes, storms, fires, landslides, heat waves, and droughts. In this paper we discuss why cities are particularly vulnerable parts of landscape and present urban natural hazards on the example of certain natural hazards. Particular emphasis is placed on sustainable urban development, which also includes increasing urban resilience due to natural disasters.

KEY WORDS

geography, natural disasters, urban natural disasters, resilience, cities

1 Uvod

Četrtri posvet *Dan Bojana Ušeničnika – Naravne nesreče v Sloveniji* smo posvetili trajnostnemu razvoju mest in naravnim nesrečam. Temi na prvi pogled nista povezani, podrobnejši razmislek pa pokaže, da so tudi mesta prostor številnih naravnih nesreč (EM-DAT 2016). Mesta so namreč sestavni del pokrajine in na več ravneh neločljivo povezana z njenimi drugimi prvinami. Skladno z dosedanjim široko pomenskim razumevanjem naravnih nesreč v govorimo geografiji o urbanih ali mestnih naravnih nesrečah. To je logična izpeljava dejstva, da so naravne nesreče strukturni element (slovenskih) pokrajin (Natek 2002).

Če so naravne nesreče v 19. in 20. stoletju prizadele predvsem prebivalce podeželja, je danes ravno obratno. Največje naravne nesreče so tiste, ki prizadenejo mesta ali celo somestja z velikim številom prebivalcev. To je navidezen paradoks, saj mesta pogosto dojemamo kot del pokrajine, ki je ločen od preostale »narave«. Ta razkorak se sčasoma povečuje zaradi naraščajoče tehnizacije, digitalizacije, informacijske prenasičenosti in posledične individualizacije družbe (Kuhlicke s sodelavci 2011) in posledične neprilagojenosti družbe na naravne nesreče (Komac in Zorn 2014). Urbanizacija namreč vpliva na nesreče prav tako, kot nesreče vplivajo na urbanizacijo (Wamsler 2004). Naravne nesreče v mestih so tesno povezane z družbenimi razmerami, na primer z revščino, in zahtevajo posebno obravnavo prizadetih ljudi, stavb, infrastrukture ter modro prostorsko načrtovanje in upravljanje mest (Disaster reduction ... 1995).

Naravne nesreče v mestih povzročajo izgubo človeških življenj, stanovanj in škodo ter motnje v dobavi denarnih sredstev, hrane, vode, energije in goriv. So tudi motnja za komunikacije (po potresu 1998 so mobilni telefoni v Posočju delovali še 15 minut po potresu, leta 2004 pa le še 5 minut) ter za transport in zdravstvene storitve (Keeping ... 2011). To je odsev spreminjajočih se značilnosti naravnih procesov in sprememb v mestnem okolju, ki obsegajo:

- spremembe naravnega okolja zaradi večje vloge človeka in novih nevarnosti,
- spremembe v upravljanju z nesrečami, kar pomeni novosti na področju pravnih opredelitev naravnih nesreč, nezadovoljstvo z dosedanjim upravljanjem, premik odgovornosti in sredstev k zasebnemu sektorju in posameznikom in krizo globalnega pozavarovalniškega sistema ter
- spremembe v konceptualizaciji naravnih nesreč, kar je izziv za nekatere temeljne teoretične postulate, redefinicijo pojmov varnosti, odgovornosti in zaupanja, kontekstualizaciji naravnih pojavov in postmodernistični pristop. Pričakujemo lahko, da bodo stroški zaradi naravnih nesreč v mestih narasli do te mere, da bodo primerljivi z ostalimi problemi mest. Z vplivom na prometne razmere povzročijo pomanjkanje dobrin, vode in energije ter pripadnikov reševalnih in zdravstvenih služb. Povzročijo lahko onesnaženje ter neposredno in posredno gospodarsko škodo (Mitchell 1995). Naravne nesreče so skupaj z drugimi naravnogeografskimi prvinami pokrajine, začenši z reliefom (Gams 2001), pomemben omejitveni dejavnik urbanega razvoja (Zorn, Komac in Natek 2009; Gencer 2013).

Prebivalcem mest je zaradi njihove mobilnosti oziroma nedostopnosti pogosto težko posredovati prave informacije in znanje o naravnih nevarnostih, ali je njihovo znanje še pomanjkljivo. Pogosto namreč ne poznamo pogostosti in magnitude različnih naravnih procesov, ki so med seboj povezani ali pa tudi ne. Različni naravni procesi imajo lahko enake posledice in obratno (preglednica 1).

Večina škode zaradi naravnih nesreč nastane na obrobju mest oziroma na stiku poseljenih območij z nevarnimi območji (Godschalk 2003). Ranljivost mest povečajo zgostitve poselitve in dejavnosti ter stalno širjenje mest na nevarna ali pogojno varna območja (Smyth in Royle 2000). Takšna območja so obale, kjer ležijo tri četrtine velikih mest na svetu, ki prispevajo 80 % globalnega BDP (Broome 2013).

Na stičnih območjih se nevarnost po navadi še poveča zaradi odstranitve naravnih preprek z izsekavanjem gozda, degradacijo mokrišč in poplavnih ravnic, gradnjo otokov, odstranjevanjem sipin in mangrov (Komac in Zorn 2011). Te prvine so območje vsaj delno varovale pred naravnimi nesrečami,

kot so hudourniške in nižinske poplave ter snežni plazovi. V Indiji se je letno število naravnih nesreč, povezanih s poplavami, od 50. let 20. stoletja povečalo kar za devetkrat, na 180 letno, in to predvsem zaradi deforestacije. Supernevihta Sandy leta 2012 ni prizadela le tistih nekdanjih močvirnih predelov otoka Staten island (ZDA), ki jih je varoval obsežen park. Poleg tega je na območju poplav s stoletno povratno dobo živelo 83 % več prebivalcev kot 30 let pred tem (Broome 2013).

Preglednica 1: Razmerje med različnimi naravnimi pojavi (Keeping ... 2011, 25).

vir	začetne posledice	kasnejše posledice
neurje	močan veter, plimski val, sneženje, strela, nalive, tornado, toča	poplava rek in morja, nestabilnost tal, gozdni požari
daljše obdobje vročega vremena (nad 5 dni)	vročina	neurja, suša, prah, smog, megla, nestabilnost tal, gozdni požari, vplivi na zdravje
daljše obdobje sušnega vremena (nad 3 leta)	manjša količina padavin	prah, smog, megla, zmanjšani rečni pretoki, vpliv na kakovost vode, nestabilnost tal, suša, gozdni požari
mrzlo vreme s snegom	mraz, sneg	led, žled, megla, poplave rek in potokov

Naravne nesreče bolj prizadenejo države, za katere je značilna hitra rast mest. To so predvsem države v razvoju. Mesta prizadenejo predvsem neurja, obilne padavine ter s tem povezane poplave in zemeljski plazovi, pomembni so potresi. Zaradi podnebnih sprememb med mestne naravne nesreče štejemo tudi vročinske valove in s tem povezan pojav mestnega toplotnega otoka, ki med drugim vpliva na porabo energije in zdravje prebivalcev (Komac s sodelavci 2016).

Trendi

2.1 Urbanizacija

Mesta so kraj gospodarskih, izobraževalnih in številnih drugih družbenih funkcij, kar priteguje prebivalce od drugod in povzroča dnevne migracije. Za 20. stoletje je značilen globalni trend selitev s podeželja v mesta, zato od leta 2007 že več kot polovica svetovnega prebivalstva živi v urbanih območjih. Na svetovni ravni je delež mestnega prebivalstva narasel s 30 % leta 1950 na 38 % leta 1990 in 47 % leta 2000, leta 2050 pa bo predvidoma dosegel dve tretjini. V Evropi v mestih živijo skoraj tri četrtine prebivalcev (73 %). Večina mestnega prebivalstva živi v majhnih in srednje velikih mestih, a prevladuje centralizacija: v obdobju 2000–2020 naj bi se delež prebivalcev v mestih z več kot desetimi milijoni ljudi povečal z 8,2 % na 10,4 % (Cohen 1990; World urbanization ... 2016).

Tudi v Sloveniji v zadnjih desetletjih opazujemo jasne trende centralizacije gospodarskih dejavnosti in poselitve (Ravbar 2009). Uradni status mesta ima 67 naselij, funkcijsko pa je takšnih naselij več, in sicer 360. V njih živi 1,3 milijona prebivalcev, kar je 64 % prebivalcev Slovenije. Dve središči sta mednarodnega (Ljubljana, Maribor), pet nacionalnega (Celje, Nova Gorica, Koper, Novo mesto, Kranj) in dvanajst regionalnega pomena (Domžale-Kamnik, Ptuj, Velenje, Jesenice, Murska Sobota, Trbovlje, Piran, Slovenj Gradec, Izola, Škofja Loka, Brežice, Krško). 38 središč je medobčinskega in 55 lokalnega pomena (Nared s sodelavci 2017). Z vidika naravnih nesreč je poleg velikosti naselja pomembna predvsem gostota poselitve, po kateri izstopata Ljubljana in Maribor, saj posredno vpliva na osredotočenje dejavnosti in zgostitev infrastrukture.

Življenje v mestih je povezano z višjo ravno pismenosti in izobrazbe, boljšim zdravjem in večjo dostopnostjo do socialnih služb ter večjimi možnostmi kulturnega in političnega sodelovanja. Toda velika gostota poselitve s prepletom naravnih, družbeno-kulturnih, socialnih, gospodarskih in institucionalnih prvin poveča izpostavljenost prebivalstva, premoženja, različnih ustanov, infrastrukture in dejavnosti ter gospodarstva. Zato krizni dogodki pustijo v mestih večje posledice kot v neposeljeni pokrajini. Mesta so ranljiva za naravne in druge nesreče, hitra in nenadzorovana urbanizacija pa njihove učinke še poveča (Mitchell 1999; Velasquez s sodelavci 1999), zato naravna nesreča v mestu povzroči nekajkrat večjo škodo kot drugje. Zaradi prostorske bližine in pogostih križanj infrastrukture lahko pride tudi do vzporednih ali zaporednih, kaskadnih naravnih nesreč.

Naravne nesreče v mestih vplivajo na življenje prebivalcev neposredno, bolj kot na podeželju pa so pomembne posredne posledice, ki jih zaznamo prek zmanjšane možnosti oskrbe s hrano in drugimi dobrinami. Mestno prebivalstvo se zanaša skoraj izključno na kratkoročne nakupe blaga v trgovinah, kar pomeni, da imajo doma majhne zaloge dobrin. V izjemnih okoliščinah se poveča cena hrane, vode in blaga. Ob porušitvi oskrbovalnih verig je v mestih zaradi zapletenih vzorcev gospodarstva in kompleksnih razmerij med različnimi družbenimi deležniki težko ponovno hitro vzpostaviti prvotno ali vsaj zadovoljivo delujoče stanje (Bankoff 2003).

Zaradi velike zgostitve prebivalstva in različnih funkcij ter infrastrukture so mesta občutljiv sistem, ki potrebuje posebno pozornost pri načrtovanju vseh dejavnosti, posebej pa urejanja prostora (Siegel 1996). Urejanje prostora je najpomembnejši, a pogosto spregledan dolgoročni preventivni ukrep na področju naravnih nesreč. Zakonodaja sicer omogoča varno sobivanje med ljudmi in ogrožajočimi naravnimi procesi, a se je prepogosto ne držimo. Poleg tega današnji prebivalci stavb na nevarnih območjih plačujejo za nepremišljene posege njihovih prednikov (Komac, Natek in Zorn 2008a; 2008b).

2.2 Naraščajoče število naravnih nesreč

Naravne nesreče so v zadnjih desetletjih vedno pogostejše, posledično narašča povprečna letna škoda, ki je na svetovni ravni že preseгла 120 milijonov dolarjev (Zorn in Hrvatin 2015). Narašča tudi število naravnih nesreč regionalne velikosti, ki obsegajo ozemlje celotnih držav – leta 1975 je bilo takšnih naravnih nesreč 60, 25 let kasneje pa že 440. Podobno je število prizadetih ljudi v tem obdobju naraslo s 50 na 200 milijonov letno, število žrtev pa je upadlo s 120.000 na 20.000, kar kaže na izboljšanje razmer na številnih področjih (EM-DAT 2016).

Naraščajoče posledice naravnih nesreč na globalni, regionalni in krajevni ravni pogosto povezujemo z globalnimi spremembami podnebja. Podnebne spremembe namreč s spreminjanjem temperature zraka ter količine in intenzitete padavin vplivajo na pogostost, razporeditev in moč hidro-geomorfnih procesov, kot so na primer izginjanje permafrosta ter posledični skalni podori in zemeljski plazovi, poplavljanje obal zaradi dviga morske gladine ali naraščanje števila poplav zaradi ekstremnih vremenskih dogodkov. Domnevajo, da je kar 40 % povečanja vremensko pogojenih naravnih nesreč po letu 1980 posledica sprememb podnebja (Goudie 2010; Keiler, Knight in Harrison 2010; Broome 2013).

2.3 Gospodarski vpliv naravnih nesreč v mestih

Podnebne spremembe so v tesni zvezi z naraščanjem škode zaradi naravnih nesreč. V petdesetih letih preteklega stoletja je škoda zaradi naravnih nesreč na svetovni ravni obsegala okrog 3,9 milijarde ameriških dolarjev (Zorn in Komac 2011; Zorn in Hrvatin 2015).

Vse dražje naravne nesreče so posledica naraščajoče urbanizacije in tehnizacije. Velik del škod ob naravnih nesrečah nastane v mestih, kar je na prvi pogled presenetljivo. Podroben pogled pa razkrije, da se mesta pogosto nenadzorovano širijo na nevarna območja. Vse večji je tudi njihov gospodarski vpliv, saj so urbani centri gonilo gospodarstva držav. Zato so stroški in gospodarski vpliv nesreč v mestnem okolju za družbo zelo pomembni in vedno višji.

Gospodarska škoda je velika predvsem takrat, ko naravne nesreče prizadenejo velika mesta ali somestja. Tako so ocenjeni ekonomski stroški potresa in cunamija leta 2011 na Japonskem znašali 235 milijard dolarjev, potres v Christchurchu pa je samo zavarovalnicam povzročil za 17–25 milijard dolarjev stroškov (Zorn in Komac 2011).

Visoki stroški obnove in gospodarske izgube, povezane z naravnimi nesrečami v mestih so vodile številne vlade, da so priskrbeli dodatna sredstva za povečanje pripravljenosti na nesreče in za zmanjšanje njihovih učinkov ter obnovo. Iniciativa je že od devetdesetih let 20. stoletja dobila tudi mednarodni značaj v okviru Združenih narodov (Mikoš 2016). Tako na svetovni ravni skrbijo za obveščanje o ukrepih, predloge za izboljšave gradbenih predpisov, podporo državam pri prostorski zakonodaji, ki naj usmerja gradnjo zunaj poplavnih območij, ter za gradnjo infrastrukture za blažitev nesreč.

3 Poglavitni tipi naravnih nesreč v mestih

3.1 Poplave

Poplave so verjetno najpogostejše naravne nesreče v mestih. Mesta prizadenejo nižinske, obalne, mestne in tehnične poplave. Poplave v mestih so najpogostejše posledica dejstva, da je mesto nastalo ali se širilo na poplavna območja. Poleg tega urbanizacija prispeva k poplavni nevarnosti, saj zmanjšuje absorpcijo in povečuje vodni odtok (Smrekar 2004). Pomemben vzrok je tudi neprimerna zakonodaja oziroma njeno (ne)izvajanje. Tudi v Sloveniji poplave prizadenejo večja mesta. Na poplavnih območjih ležijo na primer središče Celja in južni del Ljubljane ter Kostanjevica na Krki. Poplave morja prizadenejo Piran (Komac, Natek in Zorn 2008b).

Primer dobre prakse je Tulsa na Floridi, kjer so s poplavnega območja odstranili 875 stavb, s komunalno takso pa zagotovili sistem financiranja, ki prinaša 8 milijonov dolarjev letno, za odvajanje padavinske vode, pripravili načrt razvoja in predpise na ravni porečja, pripravili agresiven program ozaveščanja javnosti, in prostorski načrt za območje rekreacije. S tem so se zmanjšale ponavljajoče se škode zaradi poplav, s širitvijo prostora rekreacije se je izboljšala kakovost življenja prebivalcev, z vrnitvijo mokrišč naravi pa so nastali habitati za divje živali (Godschalk 2003).

V primeru Ljubljane še ne moremo govoriti o primeru dobre prakse, kar so pokazale poplave v letih 2010 (Komac in Zorn 2011) in 2014. Ob poplavah je prišlo do izraza neustrezno prostorsko načrtovanje. Poplavno območje ob spodnjem toku Gradaščice in na severnem delu Barja namreč zaradi goste poseljenosti ne daje vtisa poplavne pokrajine. V preteklosti so se zavedali nevarnosti in Ljubljana je še na začetku šestdesetih let 20. stoletja segala le do severnega roba Ljubljanskega barja. Toda v nekaj desetletjih se je število prebivalcev na poplavno ogroženem območju povečalo z nekaj tisoč na več kot 30.000. Na nevarnih območjih je bilo zgrajene tudi veliko javne infrastrukture, za katero sedaj zahtevajo zaščito pred poplavami (Komac, Natek in Zorn 2008a; Zorn, Komac in Natek 2009). Širjenje južnega dela Ljubljane na poplavno območje ob Gradaščici in Ljubljanci je značilen primer neuresničevanja načela trajnostnega razvoja v praksi (Natek 2002; Gašperič 2004), saj nameravajo problem poplavne varnosti tega dela Ljubljane rešiti izključno z gradbenim pristopom – z izgradnjo protipoplavnih zadrževalnikov v dolinah Gradaščice in Šujice, izgradnjo razbremenilnika na Barju ter hidrotehnično ureditvijo Malega grabna. Zadrževalniki se ob močnih neurjih hitro zapolnijo s sedimenti, kar zmanjša njihovo protipoplavno funkcijo ter

skokovito poveča finančne in okoljske stroške njihovega vzdrževanja. Tovrstni posegi so problematični zaradi sedimentacije in dejstva, da gradnja vnaša lažni občutek varnosti pred poplavami, kar bo dolgoročno prineslo ravno nasproten učinek od pričakovanega (Komac, Natek in Zorn 2008b).

3.2 Potresi

Potresi so najbolj smrtonosna naravna nesreča v mestih, čeprav običajno povzročijo veliko škode tudi na podeželju, kjer so s potresi povezani skalni podori in zemeljski plazovi ter z njimi povezane zaježitve (Komac 2015; Komac in Zorn 2016). Večina žrtev ob potresih je zaradi porušitev zgradb (Disaster reduction ... 1995; Godec s sodelavci 2006).

V ZDA ugotavljajo, da se je število ljudi, ki so izpostavljeni potresom, povečalo predvsem zaradi migracij v mesta. Gostota prebivalstva zato v potresno ogroženih območjih nenehno narašča, čeprav ostaja število večjih dogodkov dokaj konstantno. Rezultat je vse večje število žrtev ob enako velikih dogodkih (Broome 2013). Ker potrese poleg podiranja stavb pogosto spremljajo požari in izlivi vode, so urbana območja po potresu pogosto težko dostopna. Zato so v mestih posredni ali zakasneli učinki potresa pogosto pomembnejši kot neposredni (Green in Miles 2011).

Potresi razgalijo vse nepravilnosti gradbene zakonodaje in njenega izvajanja – nepravilnosti gradnje. V zadnjih desetletjih je bil dosežen velik napredek v gradbeni zakonodaji, ki pa mu izvedba na terenu zaradi dolgoživosti stavb sledi z precejšnjim časovnim zamikom. Tako je v vsakem mestu, posebej pa mestnih središčih veliko starih stavb z nizko potresno odpornostjo. V državah v razvoju je ponekod liberalizacija gradbenih predpisov spodbudila hitro gradnjo stanovanj, kar pa pogosto poteka brez vladnega nadzora in gradbenih dovoljenj. Tako so nastala območja z novimi stavbami in nizko potresno odpornostjo. V Alžiru z okolico je bila na primer v obdobju 1990–2002 polovica domov zgrajena brez gradbenega dovoljenja. Povečanje potresne odpornosti starih stavb je zelo drago in se ga redko lotevajo, z izjemo pomembnih javnih stavb, kot so šole – primer dobre prakse v Sloveniji je obnova Osnovne šole Toma Brejca v Kamniku. Zanimiv je primer z Nove Zelandije, kjer so od 1960. let v urejanje prostora uspešno vključili izogibanje območju dejavnega preloma (Stevens 2005).

V Sloveniji je večina močnejših potresov prizadela mesta. Idrijski potres je leta 1511 prizadel omenjeno mesto tudi posredno, s povzročitvijo poplave zaradi skalnega podora. Poplava je vplivala tudi na gospodarstvo, saj naj bi zalila rudnik živega srebra (Cecić 2011). Ljubljanski potres je leta 1895 prizadel kranjsko prestolnico in močno vplival na njeno današnjo podobo. Potres je leta 1917 prizadel Brežice. Potres v Posočju leta 1976 je prizadel Tolmin, Kobarid in Bovec, predvsem pa Breginj, potresa v letih 1998 in 2004 pa sta prizadela Bovec (Ribarič 1994; Orožen Adamič in Hrvatin 2001).

3.3 Zemeljski plazovi

Čeprav se morda zdi presenetljivo, tudi zemeljski plazovi (Zorn in Komac 2008) oziroma pobočni procesi prizadenejo mesta, ne zgolj podeželskih območij. Govorimo o urbanem plazenju oziroma mestnih zemeljskih plazovih. Mestni zemeljski plazovi so pogosti v tropskih območjih, medtem ko plazovi na podeželju prevladujejo v srednjih in visokih zemljepisnih širinah. Plazenje se v tropskih razmerah običajno sproži v debelih slojih sedimentov, v drugem primeru pa v plitvih sedimentih ob sezonskih intenzivnih padavinskih dogodkih (Petley 2009).

V Sloveniji zemeljski plazovi prizadenejo predvsem manjše kraje. Plaz je leta 1990 posredno prizadel Luče, ko je zaježil Lučnico, ta pa je poplavela naselje. Skalni podori v Trenti so vplivali na prometnico in preselitev prebivalcev. Verjetno največja tovrstna naravna nesreča pri nas je drobirski

tok v Logu pod Mangartom leta 2000, po katerem so izdelali prvi načrt celovite sanacije po naravni nesreči pri nas. V istem času je plaz Slano blato ogrozil Lokavec v Vipavski dolini (Komac in Zorn 2007).

4 Razprava in sklep

Na globalni ravni lahko zaradi naraščajoče urbanizacije in centralizacije pričakujemo, da bo ranljivost mest zaradi naravnih nesreč vse večja. To velja tudi za Slovenijo. Urbanizacija lahko ustvari ali poveča intenzivnost nevarnosti (kot so podnebne spremembe ali degradacija tal), poleg tega pa poveča občutljivost za nevarnosti (na primer z globalizacijo).

Preglednica 2: Vpliv nevarnosti na različne kapitale in sisteme (Broome 2013, 35).

kapital	sistem	potres	ognjenik	zemeljski plaz	neurje	poplava	vročinski val	suša	požar
družbeni	izobraževanje	.	.	.	.	.	.	.	.
	zdravje	.	.	.	.	.	.	.	.
humani	hrana	.	.	.	.	.	.	.	.
	komunikacije	.	.		.	.			
ekonomski	posli	.	.		.	.			.
naravni	varstvo pred poplavami	.		.	.	.			
	habitati in biodiverziteta	.				.	.	.	.
fizični	energija	.			.	.	.		.
	voda	.			.	.	.	.	.
	transport	.	.	.	.	.			.
	stavbe	.	.	.	.	.	.	.	.
	kanalizacija	.	.		.	.			
politični	odlaganje odpadkov	.	.		.	.	.		
	varnost in zaščita	.	.	.	.	.			.
	vlada	.	.	.	.	.			.

Glede na veliko raznolikost naravnih procesov, pokrajin in družb oziroma kultur je skoraj nemogoče podati skupne ugotovitve za vsa svetovna mesta, ki jih prizadenejo naravne nesreče. To kaže na nujnost krajevnega pristopa, ki upošteva vse specifičnosti določenega mesta, vključno z njegovim specifičnim zgodovinskim razvojem. Prožna mesta je zato mogoče graditi z upoštevanjem krajevnih posebnosti. Prožnost je namreč funkcija geografskih stalnic in spremenljivk, kot je vedenje prebivalcev (Gams 1992). Na krajevni ravni je mogoče skoraj v vseh okoljih odkriti prilagoditve ter tehnična in upravljalvska orodja za ublažitev naravnih nesreč in njihovih posledic. Mesta naj s programi ozaveščanja in izobraževanja podpirajo prizadevanja za poznavanje domače pokrajine in geografskih procesov v njej pri vseh njihovih prebivalcih, s posebnim poudarkom na ranljivih skupinah (otroci, stari, invalidi) in drugih posebnih skupinah, kot so turisti in migranti. Da je to več kot nujno, kažejo ugotovitve raziskave v Ljubljani, kjer je 72 % anketiranih prebivalcev sicer

vedelo, da so na njihovem območju bivanja možne poplave, a jih kar 59 % ni vedelo, da je območje v preteklosti že bilo poplavljenno. Podobno velja za potrese: v prvem letu po potresu ugotavljajo veliko odločnost za zavarovanje pred potresom, ki se do pet let po potresu počasi zmanjšuje, kasneje (5–10 let po potresu) pa pride do zavestnega odklanjanja s tem povezanih stroškov (Gams in Cunder 1983).

V praksi razlikujemo obvladljive in neobvladljive vplivne dejavnike naravnih nesreč (Rashed in Weeks 2003). Zato dolgoročno dosežemo sobivanje z naravnimi nevarnostmi z gradbenimi ukrepi, ustrezno zakonodajo in izogibanjem nevarnim območjem, kar varstvo pred naravnimi nesrečami tesno povezuje z urejanjem prostora (Schwab 1998; Komac, Pavšek in Zorn 2007; Komac, Zorn in Pavšek 2010; Broome 2013). Napredek na tem področju je možen, kar dokazuje primer iz Vancouvra: leta 2006 bi potres enake jakosti kot tisti iz 1971 povzročil enako število žrtev, čeprav se je prebivalstvo medtem podvojilo; bi se pa za 60 % povečalo število ranjenih oseb (Chang s sodelavci 2012).

Prostorskemu načrtovanju sledijo gradbeni standardi in gradnja na varnih območjih. Na poseljenih nevarnih območjih je treba zagotoviti coniranje, predvsem pa dolgoročno poskrbeti za varnost z gradnjo primernih stavb in infrastrukture v primernih, varnih legah. Posebno pozornost je treba posvetiti gradbenim standardom, ki naj ne obsegajo le predpisov za gradnjo stavb, temveč tudi zahteve za varstvo pred poplavami in protipotresno gradnjo ter izogibanje nevarnim območjem, kot so obale, strma in erozijska območja in druga degradirana območja ter močvirja in sipine (Deininger 2003). Trajnostna obravnava nevarnosti zaradi naravni nesreč v mestih v nekaterih primerih pomeni tudi umik iz nevarnih območij. To posebej velja za javne objekte in objekte kritične infrastrukture (Keeping ... 2011), ki zagotavljajo oskrbo in delovanje družbe oziroma države (šole, gasilske postaje, bolnišnice, skladišča nevarnih snov ter energetske vodilnice in prometnice).

Podobno kot že velja za energetske sektor je smotno vlagati sredstva v obnovo stavb za povečanje njihove (potresne in druge) odpornosti ter s tem prožnosti mest. Ker je to povezano s stroški, je nujno javno sofinanciranje takšnih posegov. Država naj si prizadeva za pridobitev nevarnih zemljišč in nepremičnin v javno last, podobno kot velja za zavarovana območja in območja za

PRIMERA IZ PRAKSE

Hurikan Katrina je bil velik izziv za **Združene države Amerike**, čeprav ima ta država zadostna finančna sredstva in zmogljivosti za obnovo. Ta naravna nesreča je avgusta 2005 vzela najmanj 1,833 življenj in uničila 240.000 domov v New Orleansu. Škode je bilo za približno 170 milijard dolarjev. Več kot sedem let je trajalo, da so zgradili skoraj 75 milijard dolarjev vreden sistem nasipov, ki ščiti mesto, vendar večina načrtov za bolj prožno mesto ni bila izvedena. Številna območja še niso obnovljena. Na območju župnije sv. Bernard, ki je bilo eno od najbolj prizadetih, je praznih 14 % domov, 8 % pa je opuščениh. Porušena ali opuščena je petina poslovnih nepremičnin. V mestu primanjkuje stanovanj, porušene so bile šole in bolnišnice. Število prebivalcev je doseglo komaj tri četrte nekdanjega števila. Kritiki to pripisujejo stanju slabega upravljanja in birokracije, pomanjkanju jasnega vodstva in političnih agend ter neustreznemu načrtovanju s poudarkom na enostavnih rešitvah, pogodbenem delu in slabem komuniciranju.

Na **Haitiju** se je tri leta po uničujočem potresu januarja 2010 obnova komaj začela. Več kot 350.000 ljudi je še vedno živelo v 496 začasnih naseljih. Kljub približno 7,5 milijard dolarjev pomoči so obnovili zelo malo stavb. To je bilo v veliki meri posledica slabega lokalnega sodelovanja zaradi pomanjkanja lokalnih zmogljivosti. Pomembno je prispevalo tudi pomanjkanje kontinuitete in nedoslednosti odločanja, ki izhajajo iz kratkoročnih začasnih naporitev inženirjev in tehnikov iz tujine (običajno za tri mesece) (Broome 2003).

rekreacijo prebivalcev mest. Ta območja so namreč pomembna za ublažitev ali prestavitve obstoječe nevarnosti, kar posebej velja za poplave, pa tudi za nadaljnji razvoj območja. Ljudi se s primerno davčno in zavarovalniško politiko spodbuja, da živijo na varnih območjih, saj so dolgoročni realni stroški življenja na nevarnih območjih zelo visoki.

Pomembni so tudi (med)državni programi varstva pred naravnimi nesrečami, podpiranje temeljnih in aplikativnih raziskav, programi ozaveščanja in izobraževanja ter mednarodno sodelovanje. Vlaganja v preventivo in povečanje prožnosti se namreč s prihranki pri intervenciji in obnovi povrnejo vsaj štirikratno. Kljub temu je na svetovni ravni le 4 % sredstev na področju naravnih nesreč namenjenih povečanju prožnosti, čeprav Združeni narodi priporočajo desetodstotni delež (Broome 2013).

Sklenimo z ugotovitvijo, da so naravne nesreče vedno pogostejše pomemben urbani pojav. Ponekod gre za tako velike spremembe v vzrokih in posledicah sicer naravno povzročenih pojavov, da je termin »naravne« nesreče, s katerim opisujemo te pojave vsaj nepopoln, če že ne vprašljiv. To posebej velja, če privzamemo, da so vzrok za velik del hidroloških in atmosferskih naravnih nesreč od človeka povzročene podnebne spremembe ter urbanizacija in z njo povezani procesi, kot je deforestacija. Zato Združeni narodi v Novi urbani agendi (The new ... 2016) podpirajo trajnostno, povezovalno in prožno vlogo mest v sodobni družbi tudi z ozirom na naravne nesreče (Birkmann s sodelavci 2016).

5 Viri in literatura

- Bankoff, G. 2003: Constructing vulnerability: the historical, natural and social generation of flooding in metropolitan Manila. *Disasters* 27-3.
- Birkmann, J., Welle, T., Solecki, W., Lwasa, S., Garschagen, M. 2016: Boost resilience of small and mid-sized cities. *Nature* 7662.
- Broome, J. 2013: Natural disasters: saving lives today, building resilience for tomorrow. London. Medmrežje: <http://www.imeche.org/docs/default-source/knowledge/natural-disasters-saving-lives-today-building-resilience-for-tomorrow.pdf?sfvrsn=0> (15. 11. 2016).
- Cecić, I. 2011: Idrijski potres 1511 – kaj pravzaprav vemo o njem? *Geografski obzornik* 58-1.
- Chang, S. E., Gregorian, M., Pathman, K., Yumagulova, L., Tse, W. 2012: Urban growth and long-term changes in natural hazard risk. *Environment and Planning A* 44-4.
- Cohen, M. 1990: Urban growth and natural hazards. *Colloquium on the Environment and Natural Disaster Management*. Washington.
- Deininger, K. 2003: Land policies for growth and poverty reduction. Washington.
- Disaster reduction in urban areas. Ženeva, 1995. Medmrežje: http://www.unisdr.org/files/11000_urban.pdf (16. 11. 2016).
- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Bruselj, 2016.
- Gams, I. 1992: Geografske stalnice Slovenije in njeno mesto med makroregijami Evrope. *Geografija* v šoli 2.
- Gams, I. 2001: O Afganistancih in drugih gorjancih. *Geografski vestnik* 73-2.
- Gams, I., Cunder, T. 1983: Ljudska zaznava ogroženosti ter znanje o potresih in poplavah: na primeru južnega roba Ljubljanskega barja. *Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost*. Ljubljana.
- Gašperič, P. 2004: Širjenje Ljubljane na Ljubljansko barje. *Acta geographica Slovenica* 44-2.
- Gencer, E. A. 2013: Natural disasters, urban vulnerability, and risk management: a theoretical overview. *SpringerBriefs in environment, security, development and peace* 7. Cham.
- Godec, M., Šket-Motnikar, B., Vidrih, R., Zupančič, P. 2006: Pregled poškodb ob potresih leta 1998 in 2004 v Zgornjem Posočju. *Ujma* 20.

- Godschalk, D. R. 2003: Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Natural Hazards Review Technical Papers* 4-3.
- Goudie, A. 2010: Geomorphological hazards and global climate change. *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge.
- Green, R., Miles, S. 2011: Social impacts of the 12 January 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra* 27-S1.
- Keeping the country running: natural hazards and infrastructure. London, 2011. Medmrežje: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61342/natural-hazards-infrastructure.pdf (13. 11. 2016).
- Keiler, M., Knight, J., Harrison, S. 2010: Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 368-1919.
- Komac, B. 2015: Modeliranje obpotesnih pobočnih procesov v Sloveniji. *Geografski vestnik* 87-1.
- Komac, B., Ciglič, R., Loose, A., Pavšek, M., Čermelj, S., Oštir, K., Kokalj, Ž., Topole, M. 2016: Urban heat island in the Ljubljana city. Counteracting urban heat island effects in a global climate change scenario. Cham.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008a: Širjenja urbanizacije na poplavna območja. *Geografski vestnik* 80-1.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008b: Geografski vidik poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
- Komac, B., Pavšek, M., Zorn, M. 2007: Regionalni razvoj in naravne nesreče – preventiva in odpravljanje posledic. Veliki razvojni projekti in skladni regionalni razvoj, Regionalni razvoj 1. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2009: Geografija poplav v Sloveniji septembra 2010. Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2011: Vloga zavarovanih območij pri blažitvi naravnih nesreč. Razvoj zavarovanih območij v Sloveniji, Regionalni razvoj 3. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2014: (Ne)prilagojenost družbe na naravne nesreče. (Ne)prilagojeni, Naravne nesreče 3. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2016: Naravne in umetne pregrade ter z njimi povezani hidro-geomorfni procesi. *Geografski vestnik* 88-2.
- Komac, B., Zorn, M., Pavšek, M. 2010: Naravne nesreče – družbeni problem? Od razumevanja do upravljanja, Naravne nesreče 1. Ljubljana.
- Kuhlicke, C., Steinfuehrer, A., Chloe, B., Bianchizza, C., Bründl, M., Matthias, B., De Marchi, B., Di Masso Tarditti, M., Höppner, C., Komac, B., Lemkow, L., Luther, J., McCarthy, S., Pellizzoni, L., Renn, O., Scolobig, A., Supramaniam, M., Tapsell, S., Wachinger, G., Walker, G., Whittle, R., Zorn, M., Faulkner, H. 2011: Perspectives on social capacity building for natural hazards: Outlining an emerging field of research and practice in Europe. *Environment Science and Policy* 14-7.
- Mikoš, M. 2016: Slovenija in 3. svetovna konferenca Združenih narodov o zmanjšanju tveganja nesreč, Sendai, Japonska, 2015. Ujma 30.
- Mitchell, J. K. 1995: Coping with natural hazards and disasters in megacities: perspectives on the twenty-first century. *Geojournal* 37-3.
- Nared, J., Bole, D., Breg Valjavec, M., Ciglič, C., Goluža, M., Kozina, J., Razpotnik Visković, N., Repolusk, P., Rus, P., Tiran, J., Črnič Istenič, M. 2017: Centralna naselja v Sloveniji leta 2016. *Acta geographica Slovenica* 57-1.
- Natek, K. 2002: Ogroženost zaradi naravnih procesov kot strukturni element slovenskih pokrajin. *Dela* 18.

- Orožen Adamič, M., Hrvatin, M. 2001: Geografske značilnosti potresov v Posočju. Geografski zbornik 41.
- Petley, D. N. 2009: On the impact of urban landslides. Engineering Geology Special Publications 22.
- Stren, R. E., White, R., Whitney, J. 1992: Sustainable Cities: Urbanisation and the Environment in International Perspective. Boulder.
- Rashed, T., Weeks, J. 2003: Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multi-criteria analysis of urban areas. International Journal of Geographical Information Science 17.
- Ravbar, M. 2009: Ekonomsko geografsko vrednotenje naložb: razvojni dejavnik v regionalnem razvoju. Acta geographica Slovenica 49-1.
- Ribarič, V. 1994: Potresi v Sloveniji – ob stoti obletnici velikega ljubljanskega potresa. Ljubljana.
- Schwab, J. 1998: Planning for post disaster recovery and reconstruction. PAS Report 483/484. Chicago.
- Siegel, F. R. 1996: Natural and Anthropogenic Hazards in Development Planning. San Diego.
- Smyth, C. G., Royle, S. A. 2000: Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil. Applied Geography 20-2.
- Smrekar, A. 2004: Zmanjšano prenikanje padavinske vode v podtalnico na Ljubljanskem polju. Acta geographica Slovenica 44-2.
- Stevens, G. 2005: The Totara Park planning tribunal 1964: living with an active fault. Geological Society of New Zealand Newsletter 137.
- The new urban agenda. Habitat III – United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development. Medmrežje: <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda> (17. 12. 2016).
- Velasquez, G., Uitto, J., Wisner, B., Takahashi, S. 1999: A new approach to disaster mitigation and planning in mega-cities. Cities and the Environment. Tokyo.
- Wamsler, C. 2004: Managing urban risk: perceptions of housing and planning as a tool for reducing disaster risk. GBER 4-2.
- World urbanization prospects. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. New York, 2014. Medmrežje: <https://www.compassion.com/multimedia/world-urbanization-prospects.pdf> (13. 10. 2016).
- Zorn, M., Komac, B. 2008: Zemeljski plazovi v Sloveniji. Georitem 8. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B., Natek, K. 2009: Naravne nesreče kot omejitveni dejavnik razvoja. Razvojni izzivi Slovenije, Regionalni razvoj 2. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2011: Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji in svetu med letoma 1995 in 2010. Acta geographica Slovenica 51-1.
- Zorn, M., Hrvatin, M. 2015: Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji med letoma 1991 in 2008. Ujma 29.

KREPITEV ODPORNOSTI DRUŽBE NA NARAVNE IN DRUGE NESREČE IN PREHOD V NIZKOOGLJIČNO DRUŽBO V SLOVENIJI

dr. Matjaž Mikoš

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Raziskovalni inštitut za geo in hidro tveganja in Univerza v Ljubljani, UNESCO Katedra za zmanjševanje tveganj ob vodnih ujmah, Jamova cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

IZVLEČEK

Krepitev odpornosti družbe na naravne in druge nesreče in prehod v nizkoogljično družbo v Sloveniji

Prispevek obravnava izzive prehoda Slovenije v nizkoogljično družbo z vidika zmanjševanja tveganja zaradi naravnih in drugih nesreč ter z njimi povezano krepitev odpornosti slovenske družbe na njih. Prispevek povezuje ključne izzive bližnje prihodnosti, kot so energetska in prehranska preskrba ter zagotavljanje (pitne) vode v luči nastopajočih podnebnih sprememb in mednarodnih obveznosti Slovenije. Ti izzivi in njihove rešitve lahko vodijo v povečanje odpornosti Slovenije in zmanjševanje tveganja zaradi nesreč v okviru Sendajskega okvirnega načrta 2015–2030.

KLJUČNE BESEDE

naravne nesreče, podnebne spremembe, odpornost, nizkoogljična družba, energetska preskrba, prehranska preskrba, Slovenija

ABSTRACT

Building society resilience to natural and other disasters and transition to a low carbon society in Slovenia

This paper addresses the challenges of a transition in Slovenia to a low carbon society in terms of natural and other disaster risk reduction, and the related building of Slovenian society resilience to them. The paper connects the key near future challenges such as energy and food security with (drinking) water security in the light of the advancing climate change and the international obligations of Slovenia. These challenges and their possible solutions are closely linked and lead to a rise in resilience of Slovenia and to risk reduction of various disasters in the spirit of the Sendai framework 2015–2030.

KEY WORDS

natural hazards, climate change, resilience, low carbon society, energy security, food security, Slovenia

1 Uvod

Tretja svetovna konferenca Združenih narodov o zmanjševanju tveganj zaradi nesreč (14.–18. 3. 2015, Sendai, Japonska) je predstavljala prelomni dogodek, saj naj bi pomenila preskok v miselnosti in usmeritvi prizadevanj na področju globalnega zmanjšanja tveganja zaradi nesreč (Mikoš 2015). Konferenca je kot glavni strateški dokument sprejela Sendajski okvirni načrt 2015–2030 za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč, ki je določil štiri prioriteta področja delovanja (Mikoš 2016):

- 1) razumevanje tveganja;
- 2) krepitev družbe za uspešnejše obvladovanje tveganja zaradi nesreč z namenom boljšega upravljanja tveganja;
- 3) vlaganje v zmanjšanje tveganj zaradi nesreč za krepitev odpornosti nanje;
- 4) izboljšanje pripravljenosti na nesreče za potrebe uspešnega ukrepanja ter sanacije pri okrevanju in povrnitvi v prvotno stanje.

Izzivi v današnjem globalnem svetu, povezani z naraščanjem števila prebivalstva (30. oktobra 2011 smo dosegli število 7 milijard, do naslednje milijarde pa naj bi minilo največ 12 let; McKevitt in Ryan 2014) in zaznavnimi vplivi podnebnih sprememb na človeštvo v celoti in na vsakega posameznika, se prenašajo v Slovenijo v obliki prizadevanj Evropske unije za konkurenčno nizko-ogljeno družbo do leta 2050 (medmrežje 1). Omenjeni prehod in dejavnosti za njegovo uresničitev, morajo posamezne izzive obravnavati s skupnim pogledom in ne vsakega posebej.

V prispevku na kratko obravnavamo izzive prehoda v nizkoogljeno družbo, kot so preskrba z vodo, hrano in energijo v luči prilagajanja podnebnim spremembam in prizadevanjem za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč.

2 Voda

V Državnem zboru Republike Slovenije so 17. novembra 2016 z ustavnim zakonom vpisali pravico do varne pitne vode v Ustavo Republike Slovenije, s čimer je država prevzela skrb za varno pitno vodo. Viri pitne vode in oskrba prebivalstva z njo bosta imeli prednost pred gospodarsko izrabo, na primer za stekleničenje in prodajo pijač. Voda namesto nafte postaja »kritična« surovina 21. stoletja, saj se bo poraba vode po svetu povečevala zaradi naraščanja števila prebivalcev ter zaradi dviga življenjskega standarda v državah v razvoju, obenem pa bo njena razpoložljivost v času in prostoru postala bolj nepredvidljiva zaradi vpliva podnebnih sprememb. S tega vidika se zapis omenjene pravice v Ustavo zdi nujen korak, ki ga (še) ni naredilo veliko držav.

Zapis pravice do varne pitne vode v Ustavo bistveno vpliva na ostalo zakonodajo, predvsem s področja upravljanja z vodami, ki ga ureja Zakon o vodah (2002; medmrežje 2). Pri pravici do pitne vode ne gre za enako pravico, kot je pravica do čistega okolja ali zraka. Če je voda javna dobrina kot del hidrološkega kroga, je stvar manj problematična, toda varna pitna voda nujno zahteva urejeno in vzdrževano vodnogospodarsko infrastrukturo za njen zajem, pripravo in razdelitev. Varna pitna voda mora imeti svojo ceno, sicer se nam lahko zgodi, da bomo zaradi zapisane ustavne pravice do vode prej povečali porabo te strateške surovine, kot pa jo varovali in porabljali skladno z možnostmi, upoštevajoč pri tem vplive podnebne spremenljivosti.

Z omenjenim zapisom v Ustavo se odpirajo tudi vprašanja. Ali lahko posamezniki, ki živijo v naseljih brez urejene preskrbe s pitno vodo (vodovoda), zahtevajo ustavno presojo zaradi neenakosti s tistimi, ki imajo dostop do pitne vode? Ali bo vloga enakosti pred zakonom (ustavo) prevzela uporaba kapnice, ki jo lahko v skladu z Zakonom o vodah že danes uporabljamo za lastno porabo, namesto varne pitne vode iz vodovoda? Prav je, da ima pitna voda prednost pred njenimi drugimi (gospodarskimi) rabami, toda v Sloveniji nujno potrebujemo celovito prestrukturiranje področja, ne le preskrbe s pitno vodo, temveč celotnega vodarstva kot strokovne dejavnosti.



Slika 1: Vtok z rešetko v obzidano kineto in levi bočni preliv za visoke vode kot gradbeni protipoplavni ukrep na hudourniku v kraju Weggis v kantonu Luzern (Švica).

Kako vidimo prestrukturiranje področja vodarstva? Danes je vodarstvo omejeno predvsem na upravljanje z vodami, področje preskrbe s pitno vodo in čiščenje odpadnih voda (zdravstvena hidrotehnika) pa ni našla prostora v Zakonu o vodah (2002). Tudi zato je nujna drugačna ureditev organizacije in zagotavljanje ustreznega (stabilnega) financiranja vodarstva kot strokovne dejavnosti z gospodarsko vlogo, ne le upravljavsko, ki bo izboljšala na primer poplavno varnost, ki v mnogih delih Slovenije postaja vse bolj kritična zaradi premajhnih vlaganj v preteklem desetletju (Sodnik in Mikoš 2014) (slika 1).

Nujni korak po vpisu pravice do varne pitne vode v ustavo mora biti »prevetritev« Zakona o vodah (2002) in modernizacija vodarstva. Po osamosvojitvi Slovenije smo s spremembo družbenega sistema vodno gospodarstvo v zakonodaji nadomestili z upravljanjem (Zakon o vodah 2002) in zato danes pretežno govorimo o vodarstvu kot upravljanju z vodami, ki zanemarya gospodarsko funkcijo. Prvi korak je bila ustanovitev Direkcije Republike Slovenije za vode v začetku leta 2016 (medmrežje 3). Potrebujemo koncentracijo stroke na tem področju ter regionalizacijo upravljanja v Sloveniji (uvredba regij kot ravni nad razdrobljenimi občinami), ki lahko rešuje regionalne izzive na področju upravljanja, urejanja in gospodarjenja z vodami (na primer regionalni vodovodi za preskrbo z vodo, umeščanje vodnogospodarske infrastrukture v prostor z namenom varstva pred poplavami). Upeljati moramo sodelovanje družbe pri upravljanju voda, pomemben element pa je lahko prav problematika upravljanja virov pitne vode, ko država to skrb prenese na lokalno skupnost.

V Sloveniji moramo tudi pospešeno zadrževati več vode (Steinman in Mikoš 1995), kar lahko storimo na stabilnih tleh z majhnimi in razpršenimi ukrepi zadrževanja voda (Natural ... 2015) ali z večjimi objekti, kot so na primer zadrževalniki voda v Pomurju. Namen zadrževati več vode je varstvo pred poplavami (s tem, da namenimo vodam več prostora), ohranjanje biotske pestrosti kot tudi blaženje vpliva suš, ki bodo zaradi podnebnih sprememb še bolj izrazite (Loukas in ostali 2008). Nekatere najnovejše raziskave sicer kažejo, da rastline pri povečani vsebnosti CO₂ potrebujejo za

rast manj vode, kar bi lahko zmanjšalo vpliv podnebnih sprememb na zaostrovanje sušnih razmer po svetu (Swann in ostali 2016)

Za bolj stabilno preskrbo z električno energijo lahko s črpalnimi hidroelektrarnami sezonsko hranimo vodo in pridobivamo električno energijo v času večje porabe (sušni pretoki v rekah in manjša proizvodnja v pretočnih hidroelektrarnah v sušnih delih leta).

3 Hrana

V Zvezni republiki Nemčiji so po večletnih razpravah konec poletja 2016 prebivalcem svetovali, da se vsaj deloma pripravijo na nepredvidljive dogodke in si doma ustvarijo zaloge hrane za deset in vode za pet dni (medmrežje 4). Tudi v Sloveniji Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) nudi napotke prebivalcem ob nesrečah, med drugim kot preventivni ukrep navaja nujne zaloge hrane (živil in pijače) za optimalno prehranjevanje za odraslega človeka za dva tedna oziroma ob racionalni porabi za preživetje do 30 dni (Nujna ... 2016). Ponudba hrane z daljšim rokom trajanja do 25 let (!) je obsežna.

Po podatkih Svetovne organizacije za hrano (FAO) se globalno zavrže okoli ena tretjina pridelane hrane (medmrežje 5), kar posledično pomeni tudi velike izgube pitne vode, ki se porabi pri njeni proizvodnji. Na drugi strani so svetovne zaloge hrane (medmrežje 6) za ekstremne dogodke majhne in zadoščajo zgolj nekaj mesecev (brez vmesne žetve). Kot primer navajamo ognjeniški izbruh Tambore v Indoneziji 10. aprila 1815 (medmrežje 7), ko je ognjenik izbruhal okoli 160 km³ lave in pepela. Sledili so ekstremni naravni pojavi (mráz, poplave). Leto 1816 je znano kot leto brez poletja; sledili so lakota in številne nalezljive bolezni. V svetovnem merilu je prišlo do globalnih socialnih in političnih sprememb, kot je zaton Kitajske, Indije in Arabskega sveta ter vzpon Evrope, ZDA in Rusije (Behringer 2015).

Tudi Slovenija ima lahko svoje majhne »Tambore«. Spomnimo se le žleda februarja 2014, ki je okoval obsežne dele Slovenije, ohromil promet in ustavil preskrbo z (električno) energijo (Dobnik Jeraj 2015), kar je vodilo k oteženi preskrbi s hrano in težavam z ogrevanjem. Treba je nujno prepoznati potencialne nevarnosti, se nanje pripraviti in sprejemati sistemske rešitve za preventivno delovanje (na primer potresno varna gradnja objektov, ustrezna zakonodaja, usposobljeni strokovnjaki za njeno izvajanje) ter usklajeno in usmerjeno ukrepanje ob nevarnih dogodkih. Nikoli ne moremo biti na nesrečo dovolj pripravljeni (sliki 2 in 3), da bi lahko nanjo mirno čakali.

Za Slovenijo je pomembno, da zagotovi optimalno samopreskrbo s hrano (ne vsega, gotovo pa bistvene surovine), kar je na primer utemeljeval Plut (2012). Pomemben del strategije preskrbe s hrano mora temeljiti na naravnih virih (zemlja, voda, biosfera), ki jih moramo varovati za pridelavo hrane; plodno zemljo nameniti za gradnjo infrastrukture in potem hrano uvažati ni pametno. O usklajenosti posegov v prostor zaradi razvoja in zahtev po sonaravnem regionalnem razvoju v Sloveniji je pisal Plut (2014; 2015). Uvoz poceni ali cenovno sprejemljive hrane iz oddaljenih delov sveta je problematičen iz vsaj dveh vidikov: nizka končna cena proizvoda je lahko takšna zaradi nizke cene surovin in cene prevoza, katerega ogljični odtis se ne upošteva, ne v državi proizvajalki ne v državi porabnici. Odgovore na tovrstne izzive je Slovenija zapisala v Resoluciji o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020 z naslovom »Zagotovimo si hrano za jutri« (Resolucija 2011) in v strategiji za njeno izvedbo (Strategija 2014). Strateški cilji razvoja kmetijstva in živilstva so: a) zagotavljanje prehranske varnosti s stabilno pridelavo varne, kakovostne in potrošniku dostopne hrane; b) povečanje konkurenčne sposobnosti kmetijstva in živilstva; c) trajnostna raba proizvodnih potencialov in zagotavljanje s kmetijstvom povezanih javnih dobrin; d) zagotavljanje skladnega in socialno vzdržnega razvoja podeželja (Strategija 2015, 5). Tak pristop lahko nedvomno ocenimo kot prispevek h krepitvi odpornosti slovenske družbe na naravne in druge nesreče.



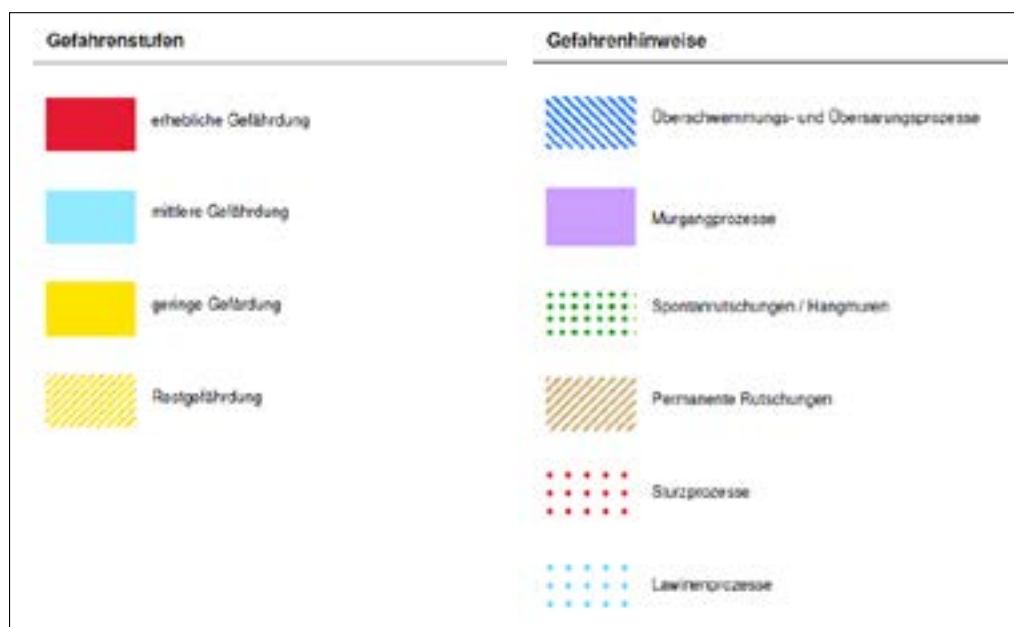
Slika 2: Navodila članom Civilne zaštite v kraju Weggis v kantonu Luzern (Švica) za konkretni ukrep na terenu v primeru intervencije ob poplavih: preusmeritev poplavne vode in preprečevanje vdora vode v objekte (levo); podrobno slikovno navodilo za izvedbo ukrepa, kjer sodeluje 12 članov civilne zaštite (desno).



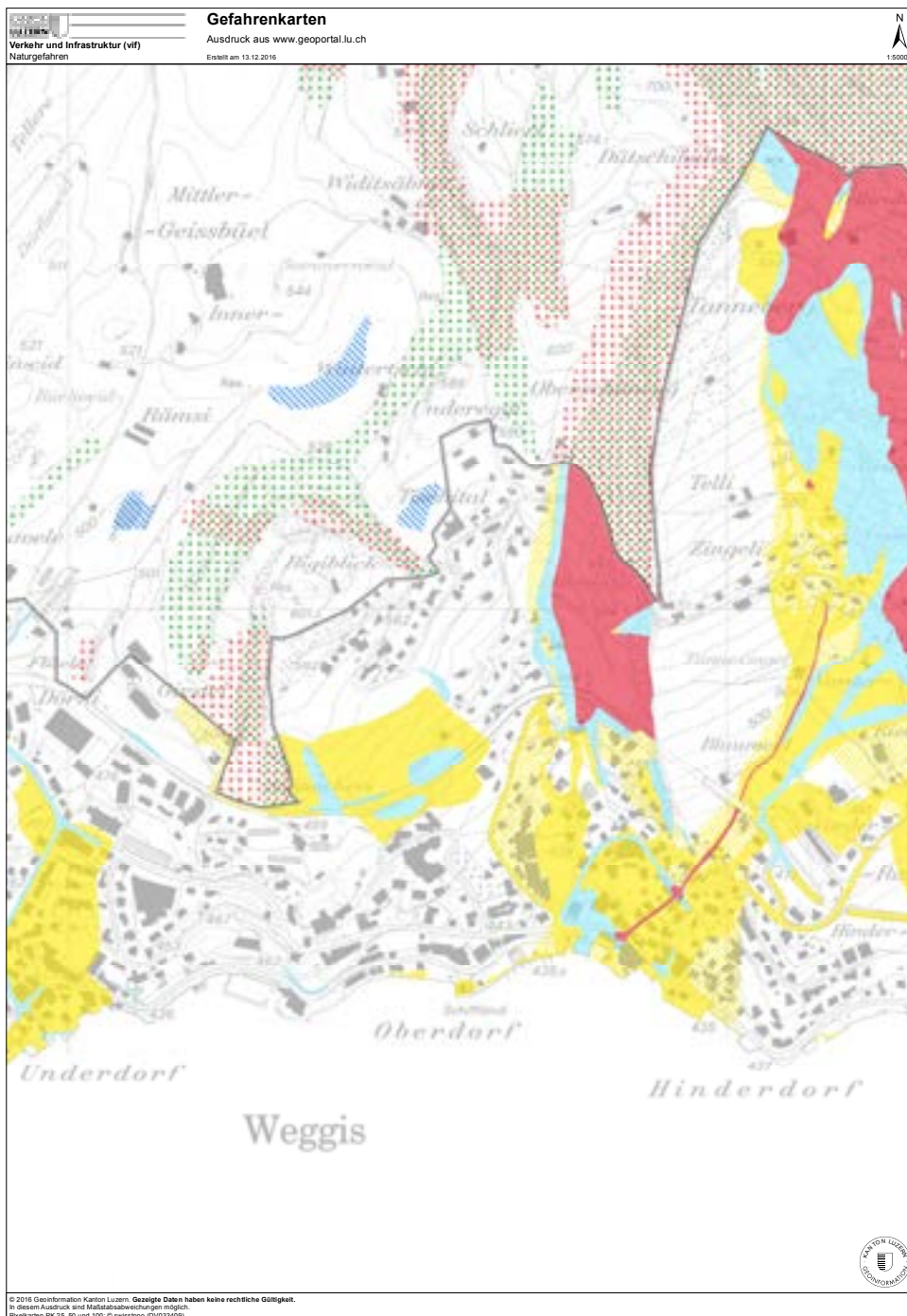
Slika 3: Izvedba ukrepa na terenu (preusmeritev poplavne vode na cestišču stran od stanovanjskih objektov) v kraju Weggis v kantonu Luzern (Švica) v okviru vaje in v skladu z navodili s slike 2.

4 Energija

V Sloveniji je že več kot leto dni v pripravi Energetski koncept Slovenije (medmrežje 8) za prihodnjih 20 let, okvirno celo za 40 let. Z njim bomo potrdili usmeritev Slovenije v nizkoogljično družbo in zmanjšali naše vplive na podnebne spremembe ter hkrati zagotovili zanesljivo preskrbo z energijo. V Sloveniji moramo krepiti obnovljive vire energije (voda, sonce, veter) in odločno uvajati energetske učinkovitost. Zanesljivo preskrbo z energijo lahko zagotovimo z razpršenimi lastnimi energetske viri, ob možnosti uvoza iz drugih omrežij v Evropi ter uvedbo pametnih omrežij za prilaganje porabe proizvodnji električne energije kot najpomembnejši obliki energije v moderni družbi. Razmisliti moramo o podaljšanju uporabe jedrske energije, kljub zadržkom zaradi odlaganja radioaktivnih odpadkov in velikemu začetnemu vložku v infrastrukturo – biogoriva, sintetična goriva in druge oblike fosilnih goriv (z delno izjemo večje uporabe naravnega plina – bistveno manjši izpusti CO₂ kot pri premogu), bodo v naslednjih desetletjih na globalni ravni težko povsem rešili problem stabilne preskrbe z energijo (Muller 2013). Za Slovenijo je zanesljivost preskrbe z energijo gotovo povezana z uravnoteženjem javnih financ, saj trenutno namenjamo prek dve milijardi evrov letno za uvoz fosilnih goriv. Prednost morajo dobiti domači energetski viri, tudi z vidika zagotavljanje preskrbe z energenti v primeru izrednih razmer zaradi naravnih in drugih nesreč. Sprejetje v prihodnost usmerjene energetske strategije Slovenije za obdobje 40 let je zato nujno.



Slika 4: Legenda celotne karte nevarnosti kraja Weggis v kantonu Luzern (Švica) s štirimi razredi nevarnosti (rdeča barva – velika nevarnost, modra barva – srednja nevarnost, rumena barva – majhna nevarnost, rumena šrafura – preostalo), ki na istem zemljevidu prikazuje več nevarnih naravnih procesov (Überschwemmungs- und Übersarungsprozesse – preplavitev in zablatenje površin; Murgangsprozesse – drobirski tokovi; Spontanrutschungen / Hangmuren – nenadne splazitve/pobočni blatni in drobirski tokovi; Permanente Rutschungen – stalno plazenje tal; Sturzprozesse – padajoče kamenje in kamninski/skalnati podori; Lawinenprozesse – snežni plazovi) (medmrežje 9).



Slika 5: Izsek iz celotne karte nevarnosti kraja Weggis v kantonu Luzern (Švica) (medmrežje 9).

Zanesljivost obratovanja energetskega sistema moramo zagotoviti z rezervami goriva (utekočilen plin, a ne v tujini, saj takih rezerv v primeru vojne, stiske ali večje nesreče ne bomo dobili v Slovenijo) ter proizvodnimi enotami (na primer plinska elektrarna) za podporo v primeru izpada pomembne enote in preprečevanje kolapsa sistema. Pri vseh odločitvah o energetskega konceptu ima država pomembno vlogo, saj s subvencioniranjem določene oblike energije (mHE, fotovoltaika) vpliva na proizvodno ceno elektrike in oblike njene proizvodnje.

Dodajmo še problematiko prometa kot porabnika energije in obenem pomembnega dejavnika izpustov ogljikovega dioksida. Slovenijo čaka preusmeritev javne razsvetljave na LED tehnologijo, zamenjava energetske neučinkovitih naprav in predvsem energetska prenova stavb za zmanjšanje porabe energije. Tovrstna prenova pa mora iti z roko v roki s protipotresno (tudi protipoplavno) prenovo (konstrukcije stavbe), ob upoštevanju lokacije objekta glede na karte nevarnosti (sliki 4 in 5). Žal velja ugotovitev, da v Sloveniji nimamo izdelanih kart nevarnosti za vse vrste pojavov, kot to predvideva Zakon o vodah (2002). Pri tem velja opomniti, da ne smemo zamenjevati kart nevarnosti in ogroženosti po Zakonu o vodah (2002; 83. člen), ki naj bi bile strokovne podlage za prostorske akte (61. člen), z ocenami ogroženosti in načrti zaščite in reševanja po Zakonu o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Zakon o varstvu ... 1994; 44. in 45. člen).

5 Sklep

Da bomo pri krepitevi odpornosti družbe na naravne in druge nesreče v Sloveniji uspešni, bodo morali tako odločevalci (politika) kot državljani dobro razumeti pomen in nujnost krepite. Posebno vlogo pri krepitevi odpornosti družbe ima izobraževanje na vseh ravneh, od predšolske vzgoje in šolskih vsebin, do vseživljenjskega izobraževanja posameznikov in družbe kot celote. Poglobljen in trezen socialni dialog vseh deležnikov o pomenu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, ki naj poteka v smeri razvijanja kulture sobivanja z naravnimi in drugimi nesrečami ter krepitevi odpornosti nanje, je vse pomembnejši gradnik njihovega obvladovanja.

Možne rešitve na področju zagotavljanja energentov najdemo v delu Mullerja (2013). Kako bi prehranili in z energijo preskrbeli 10 milijard prebivalcev Zemlje pišeta McKevitt in Ryan (2014), o fiziki in njenem razvoju pri napredku človeštva na lestvici civilizacijskih oblik v vesolju, ob stalnem povečevanju entropije pa piše Kaku (2011).

Poznavanje strokovne literature nas še ne bo obvarovalo pred poplavo, plazom ali potresom, nas pa lahko osvesti o odgovornosti za obstoj človeštva in poda drugačen pogled na sistem varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. S svojim delovanjem lahko krepimo lastno odgovornost za zmanjševanje tveganj zaradi nesreč. Za velike spremembe v slovenski družbi, predvsem v smislu večje vloge preventive, potrebujemo diskurz, konsenz in odločno ukrepanje v skupno dobro.

6 Viri in literatura

- Behringer, W. 2015: Tambora und das Jahr ohne Sommer – Wie ein Vulkan die Welt in die Krise stürzte. München.
- Dobnik Jeraj, M. 2015: Mednarodna pomoč ob žledu v Sloveniji leta 2014. Ujma 29.
- Kaku, M. 2011: Physics of the future: how science will shape human destiny and our daily lives by the year 2100. New York.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Tzabiras, J. 2008: Climate change effects on drought severity. Advances in Geosciences 17. Medmrežje: <http://adv-geosci.net/17/23/2008/adgeo-17-23-2008.pdf> (9. 9. 2016).
- McKevitt, S., Ryan, T. 2014: The solar revolution - One world. One solution. Providing the energy and food for 10 billion people. London.

- Medmrežje 1: http://ec.europa.eu/slovenija/hp/2011-0309-evropa2050_sl.htm (9. 9. 2016).
- Medmrežje 2: <https://zakonodaja.com/zakon/zv-1> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 3: <http://www.dv.gov.si/si/> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 4: <http://www.telegraph.co.uk/news/2016/08/22/german-defence-plan-tells-citizens-to-hoard-food-and-water/> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 5: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 6: <http://www.foodreserves.org/> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 7: https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Tambora (9. 9. 2016).
- Medmrežje 8: <http://www.energetika-portal.si/nc/dokumenti/strateski-razvojni-dokumenti/energetski-koncept-slovenije/> (9. 9. 2016).
- Medmrežje 9: <http://www.geo.lu.ch/map/gefahrenkarte/> (14. 12. 2016).
- Mikoš, M. 2015: Zmanjšajmo tveganje naravnih nesreč. Delo, 30. marec 2015. Ljubljana.
- Mikoš, M. 2016: Slovenija in 3. Svetovna konferenca Združenih narodov o zmanjšanju tveganja nesreč, Sendai, Japonska, 2015. Ujma 30.
- Muller, R. A. 2013: Energy for future presidents: the science behind the headlines. New York.
- Natural Small Water Retention Measures – Combining Drought Mitigation, Flood Protection, and Biodiversity Conservation: Guidelines. 2015. Medmrežje: http://www.gwp.org/Global/GWP-CEE_Files/IDMP-CEE/NSWRM-Guidelines-final.pdf (9. 9. 2016).
- Nujna zaloga hrane. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje. Medmrežje: <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=np11.htm> (9. 9. 2016).
- Plut, D. 2012: Prehranska varnost sveta in Slovenije. Dela 38.
- Plut, D. 2014: Geografske zasnove sonaravnega razvoja in samooskrbe Slovenije. Dela 41.
- Plut, D. 2015: Globalni okoljski izzivi in sonaravni regionalni razvoj Slovenije. Globalni izzivi in regionalni razvoj, Regionalni razvoj 5. Ljubljana.
- Resolucija o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020 – »Zagotovimo si hrano za jutri«. Uradni list Republike Slovenije 25/2011. Ljubljana.
- Sodnik, J., Mikoš, M. 2014: Vodarstvo in vzdrževanje vodne infrastrukture v Sloveniji. Gradbeni vestnik 62-8.
- Steinman, F., Mikoš, M. 1993: Zadrževanje voda v Sloveniji. Mišičev vodarski dan 1993. Maribor.
- Strategija za izvajanje resolucije o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije. Ljubljana, 2014. Medmrežje: http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/Kmetijstvo/strategija_razvoj_slo_kmetijstva_2020.pdf (9. 9. 2016).
- Swann, A. L. S., Hoffman, F. M., Koven, C. D., Randerson, J. T. 2016: Plant responses to increasing CO₂ reduce estimates of climate impacts on drought severity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113-36.
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami. Uradni list Republike Slovenije 64/1994. Ljubljana.
- Zakon o vodah. Uradni list Republike Slovenija 67/2002. Ljubljana.

IMPLEMENTACIJA SENDAJSKEGA OKVIRA NA LOKALNI RAVNI – ZMANJŠANJE TVEGANJ ZARADI NESREČ V LOKALNIH SKUPNOSTIH

Katja Banovec Juroš

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Vojkova ulica 61, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
katja.banovec.juros@urszr.si

IZVLEČEK

Implementacija Sendajskega okvira na lokalni ravni – zmanjšanje tveganj zaradi nesreč v lokalnih skupnostih

Na tretji svetovni konferenci Združenih narodov v Sendaju na Japonskem je bil marca 2015 sprejet nov akcijski okvir na področju zmanjševanja tveganja nesreč. Sendajski okvir za zmanjšanje tveganja nesreč za obdobje 2015–2030 določa sedem globalnih ciljev, ki naj bi jih dosegli v naslednjih petnajstih letih ter štiri prednostne naloge za doseganje teh ciljev. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje kot nacionalna točka za Sendajski okvir v Sloveniji aktivno seznanja deležnike, s poudarkom na lokalnih skupnostih, ter jih spodbuja k aktivnemu delovanju na področju zmanjševanja tveganj zaradi nesreč v tesni povezavi s prilagajanjem podnebnim spremembam in trajnostnemu razvoju.

KLJUČNE BESEDE

Sendajski okvir, Hjoški akcijski okvir, naravne nesreč, zmanjšanje tveganja, lokalne skupnosti, trajnostni razvoj

ABSTRACT

Implementation of the Sendai framework at the local level – Disaster risk reduction at local level

At the third World Conference of the United Nations in Sendai, Japan in March 2015, a new framework for action in the field of disaster risk reduction was adopted. The Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030 sets out seven global objectives to be achieved in the next 15 years and four priorities for achieving these goals. The Administration of the Republic of Slovenia for Civil Protection and Disaster Relief as Sendai Framework National Focal Point in Slovenia is actively involved in raising the stakeholders' awareness on the importance of disaster risk reduction with a strong focus on local communities which are encouraged to actively participate in disaster risk reduction in a conjunction with a climate change adaptation and sustainable development.

KEY WORDS

Sendai framework, Hyogo Framework for Action, natural disasters, risk reduction, local communities, sustainable development

1 Uvod

Delegacija Republike Slovenije se je med 14. in 18. marcem 2015 v Sendaju na Japonskem udeležila Tretje svetovne konference o zmanjšanju tveganja zaradi nesreč (*Third World Conference on Disaster Risk Reduction*). Na konferenci je bil sprejet nov akcijski okvir na področju zmanjšanja tveganj zaradi nesreč – Sendajski okvir za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč v obdobju 2015–2030 (medmrežje 1), ki je nasledil Hjoški akcijski okvir za obdobje 2005–2015. Svetovne konference se je udeležilo prek 6500 udeležencev, od tega okoli 2800 predstavnikov vlad iz 187 držav članic Združenih narodov, med njimi tudi 4-članska slovenska delegacija pod vodstvom Miloša Bizjaka, državnega sekretarja na Ministrstvu za obrambo.

2 Sendajski okvir za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč 2015–2030

V primerjavi s predhodnim Hjoškim akcijskim okvirom je Sendajski okvir bolj daljnosežen, celosten in vključujoč ter poudarja nujnost po obvladovanju tveganj, po zmanjševanju obstoječih ranljivosti in preprečevanju novih tveganj. Večja pozornost je namenjena rešitvam na področju sociale in zdravstva. Okvir poudarja odgovornost celotne družbe in zadeva vse njene deležnike. Posebna pozornost je namenjena aktivnemu vključevanju žensk, ljudi s posebnimi potrebami, mladine in otrok, starostnikov, avtohtonih prebivalcev, zasebnega sektorja in civilne družbe. Primarno odgovornost za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč ima država, medtem ko so lokalne skupnosti osrednje nosilke aktivnosti na tem področju.

Sendajski okvir določa sedem globalnih ciljev, ki jih bo treba doseči v naslednjih petnajstih letih, in sicer:

- 1) znatno zmanjšanje smrtnosti,
- 2) znatno zmanjšanje števila prizadetih ljudi,
- 3) zmanjšanje neposredne gospodarske škode,
- 4) zmanjšanje škode na kritični infrastrukturi in motnje v osnovnih storitvah, na primer zdravstvenih in izobraževalnih objektih/infrastrukturi, med drugim tudi s krepitvijo njihove odpornosti,
- 5) povečanje števila držav z nacionalnimi in lokalnimi strategijami za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč,
- 6) okrepitev mednarodnega sodelovanja držav v razvoju z ustrezno in trajnostno podporo, za dopolnitev njihovega delovanja na nacionalni ravni pri izvajanju tega okvira,
- 7) povečanje razpoložljivosti in dostopnosti sistemov za zgodnje opozarjanje na več vrst nevarnosti ter informacij in ocenah tveganja zaradi nesreč.

Ban Ki-moon, generalni sekretar Združenih narodov, je ob otvoritvi konference izpostavil pomembnost investiranja v zmanjšanje tveganj zaradi nesreč. Po ocenah Združenih narodov lahko ustrezno uporabljena finančna sredstva v višini 6 milijard ameriških dolarjev na letni ravni privedejo do skupnega prihranka več kot 360 milijard ameriških dolarjev do leta 2030, kolikor bi jih sicer letno namenili za odstranjevanje posledic naravnih nesreč po svetu.

Margareta Wahlström, tedanja posebna predstavnica generalnega sekretarja za zmanjšanje tveganja nesreč in vodja Urada Združenih narodov za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč, je na konferenci poudarila: »Sprejetje novega okvira za zmanjšanje tveganja nesreč odpira novo pomembno poglavje v trajnostnem razvoju, saj opredeljuje jasne cilje in prednostne naloge za ukrepanje, ki bodo vodile do znatnega zmanjšanja tveganja nesreč ter izgub življenj in zdravja ljudi.«

Vodja slovenske delegacije Miloš Bizjak, je na plenarnem zasedanju konference poudaril, da je Slovenija tudi zaradi raznolikosti pokrajine izpostavljena številnim tveganjem in je zato razvila učinkovit sistem varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, ki temelji na velikem številu prosto-

voljcev in učinkovito povezuje različne deležnike. Kljub dolgoletnim izkušnjam pa novi večplastni izzivi zahtevajo vedno nove pristope in visoko stopnjo zavedanja, da je zmanjševanje tveganj za nesreče in njihovo obvladovanje naša skupna odgovornost. Za doseg ciljev Sendajskega okvira je po besedah Bizjaka (2016) treba vzpostaviti učinkovitejši sistem vlaganja v odpornost na nesreče in obvladovanje tveganj ter nameniti posebno pozornost trajnostnemu razvoju. Poudaril je, da Slovenija podpira prizadevanja Evropske unije in njeno aktivno vlogo pri implementaciji novega akcijskega okvira ter pripravljenost na odprt dialog z vsemi partnerji in deležniki, prav tako pa tudi sodelovanje držav v okviru različnih regionalnih pobud in mehanizmov, ki spodbujajo souporabo zmogljivosti pri obvladovanju nesreč.

3 Firenška pot naprej – implementacija Sendajskega okvira na lokalni ravni

V Firencah je junija 2016 ob 50-letnici katastrofalnih poplav, ki so leta 1966 prizadele mesto, v organizaciji Urada Združenih narodov za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč, italijanske civilne zaščite in mesta Firenze potekal dvodnevni visoki forum o izvajanju Sendajskega okvira na lokalni ravni (medmrežje 2).

Na forumu je bila ponovno poudarjena povezanost ciljev Sendajskega okvira s cilji trajnostnega razvoja in prilagajanja podnebnim spremembam v okviru Razvojne agende po letu 2015. Sendajski okvir med drugim poudarja pomembno vlogo lokalnih skupnosti pri zmanjšanju tveganja nesreč. Mesto Firenze ob tem predstavlja zgled in primer dobre prakse pri povečanju poplavne varnosti. Dario Nardella, župan mesta Firenze, je ob tem poudaril, da predstavljajo lokalne strategije zmanjševanja tveganj zaradi nesreč osrednji gradnik prizadevanj za izgradnjo družbe, odporne na nesreče.

Posebna pozornost udeležencev foruma je bila namenjena bližnjemu svetovnemu vrhu Združenih narodov na temo trajnostnega razvoja mest in naselij (*Habitat III*), ki je potekal v Quiotu (Ekvador), od 17. do 20. oktobra 2016. Cilj konference je bil okrepiti politično zavezanost k trajnostnemu razvoju mest in naselij, s sprejetjem dokumenta Nova mestna agenda (*New Urban Agenda*), ki bo postavila novo globalno strategijo urbanizacije za prihodnji desetletji.

Forum se je končal s sprejetjem dokumenta z naslovom Firenška pot o nadaljnjem izvajanju Sendajskega okvira na lokalni ravni (*The Florence Way Forward on the Implementation of the Sendai Framework at the Local Level*). V dokumentu je poudarjena pomembnost investiranja v preventivo in pripravljenost na nesreče, s posebnim poudarkom na izboljšanju poplavne varnosti mest. Zaradi poplav naj bi bilo po ocenah Organizacije združenih narodov ogroženih okoli 665 milijonov svetovnega prebivalstva. Ponovno je bila izpostavljena pomembnost koordinacije med prizadevanji za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč, prilagajanju podnebnim spremembam in skrbjo za trajnostni razvoj na lokalni ravni. Pri podpori udeležanja aktivnosti v okviru Razvojne agende po letu 2015 na lokalni ravni, se dokument naslanja na principe pobude »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja«.

4 Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje – nacionalna kontaktna točka za implementacijo Sendajskega okvira

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje pri Ministrstvu za obrambo je nacionalna kontaktna točka za implementacijo Sendajskega okvira za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč. Zadolžena je za obveščanje resornih ministrstev in lokalnih skupnosti o aktivnostih v okviru Sendajskega okvira in v sodelovanju z ostalimi resorji za poročanje o izvajanju določil Sendajskega okvira v Sloveniji pristojni regionalni organizaciji Združenih narodov za zmanjšanje tveganja nesreč s sedežem v Bruslju.

S sklepom Vlade Republike Slovenije je bil 24. junija 2014 kot posvetovalno telo vlade za področje varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami ustanovljen Svet za varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami, ki deluje kot nacionalna platforma za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč in njihovih posledic ter predstavlja institucionalizacijo medresorskega sodelovanja na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Svet je namenjen vzpostavljanju dialoga med Vlado Republike Slovenije in civilno družbo ter nevladnimi strokovnimi in znanstvenoraziskovalnimi ter drugimi organizacijami in združenji, za krepitev odpornosti proti nesrečam in doseganje trajnostnega razvoja skladno s cilji Hjoškega okvirnega akcijskega načrta in Sendajskega okvira. Osnovno poslanstvo Sveta je strateška presoja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami v Sloveniji, spodbujanje družbenega dialoga o tveganjih zaradi nesreč ter razvijanje odpornosti nanje.

5 Pobuda »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja«

V okviru globalnih in regionalnih mehanizmov ozaveščanja javnosti in izobraževanja, se v okviru Sendajskega okvira nadaljujeta pobudi »Milijon varnih šol in bolnic« (*One Million Safe Schools and Hospitals*) in »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja« (*Making Cities Resilient: My City is Getting Ready*).

Zavedajoč se dejstva, da že več kot polovica svetovnega prebivalstva živi v urbanih okoljih, od leta 2010 v okviru Urada Združenih narodov za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč poteka pobuda »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja«. Njen namen je spodbuditi aktivno vključevanje lokalne ravni (mesta, občine) kot glavne nosilke izvajanja aktivnosti zmanjševanja tveganj zaradi naravnih in drugih nesreč. Pobuda temelji na Hjoškem okvirnem akcijskem načrtu, a se nadaljuje tudi v obdobju Sendajskega okvira in se opira na dejstvo, da več kot polovica svetovnega prebivalstva živi v mestih, katerih odpornost na nesreče je zaradi mnogih dejavnikov velikokrat nizka. Slednje ne velja zgolj za mesta v manj razvitem svetu, temveč tudi za številna evropska in slovenska mesta. Nedavni potresi (avgusta in oktobra 2016) v osrednji Italiji so na primer ponovno opozorili na vrzeli pri potresni varnosti v mestih.

Da so lokalne skupnosti glavni nosilci aktivnosti in dejavnosti za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč se zavedamo tudi na Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje, zato smo konec leta 2014 začeli z aktivnim spodbujanjem mest in lokalnih skupnosti k sodelovanju.

S sodelovanjem mesta in lokalne skupnosti pridobijo možnost medsebojne izmenjave izkušenj in primerov dobrih praks na področju zmanjševanja tveganj zaradi nesreč. S periodičnim samocenjevanjem prek enotnega spletnega vprašalnika lahko spremljajo svoj napredek in tako hitreje stopajo v smeri sistematičnega dvigovanja odpornosti proti nesrečam v svoji lokalni skupnosti.

6 Slovenska mesta v okviru pobude »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja«

6.1 Občina Kamnik

Decembra 2014 je Marjan Šarec, župan občine Kamnik, iz rok predstavnice Urada Združenih narodov za zmanjšanje tveganj zaradi nesreč kot župan prvega slovenskega mesta prejel certifikat Organizacije združenih narodov »Mesto, odporno proti nesrečam«. S tem je postavil Kamnik in Slovenijo na zemljevid držav, ki se zavedajo pomembnosti vloge lokalnih skupnosti pri zmanjševanju tveganj nesreč. Takrat je bilo na svetu okoli 2200 takih mest, slabi dve leti kasneje pa že več kot 3300.

JOŽE PAPEŽ, HIDROTEHNIK D. D.



Slika 1: Prečni ustalitveni objekt – dvostenska lesena kašta (kranjska stena) na Blatnici v Klemenčevem, zgrajena poleti leta 2015. Lesena kašta je tehnika, ki se uporablja pri urejanju vodotokov ter tudi širše pri sanaciji erozijskih žarišč in zavarovanju nestabilnih pobočij.

JOŽE PAPEŽ, HIDROTEHNIK D. D.



Slika 2: Vzdožna lesena kašta na levem bregu Blatnice.



Slika 3: Certifikat Organizacije združenih narodov »Mesto, odporno proti nesrečam«.

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje je spodbudila in pomagala Občini Kamnik pri prijavi, izpolnjevanju potrebnih vprašalnikov in zavez za pridobitev certifikata. Občina je s svojimi aktivnostmi na področju zmanjšanja tveganj zaradi nesreč lahko zgled in spodbuda drugim slovenskim mestom in občinam, kako strokovno in organizirano pristopiti k izgradnji družbe, odpornejše na nesreče.

V Občini Kamnik kot dobre prakse izpostavljamo sodelovanje strokovnjakov različnih strok na področju urejanja voda in erozijskih pojavov, ki je privedlo do tega, da je bilo na hudourniku Blatnica v Klemenčevem leta 2015 zgrajenih več stabilizacijskih hudourniških pregrad oziroma lesenih kašt (sliki 1 in 2). Zgrajene so iz naravnimi materialov, kot sta macesnov les in kamen ter bodo bregove vodotoka ob rednem vzdrževanju varovale več desetletij (Banovec Juroš in Vavpetič 2016; medmrežje 3).

Z izgradnjo lesenih kašt so v Občini Kamnik obudili urejanje vodotokov s »zeleno infrastrukturo«, ki upošteva značilnosti lokalnega okolja in ne posega pretirano v vodni habitat ter ga celo bogati. Obenem gre za nizkoogljeno tehniko, ki ob pravilni vgradnji ne zahteva visokih stroškov za vzdrževanje. Izgradnja lesenih kašt ima tudi kulturni pomen, saj ima slovensko geografsko poreklo in je od leta 2013 vpisana v Register žive kulture dediščine pri Ministrstvu za kulturo v skladu s Konvencijo UNESCO o varovanju nesnovne kulturne dediščine.

6.2 Mestna občina Murska Sobota

Mestna občina Murska Sobota je leta 2016, ob podpori Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje, pristopila k sodelovanju v pobudi ter izpolnila vse obveznosti za pridobitev certifikata »Mesto, odporno proti nesrečam« (slika 3). S prejemanjem certifikata se je tudi Mestna občina Murska

Sobota zavežala k nadaljevanju organiziranega in strukturiranega dela na področju zmanjševanja tveganj zaradi nesreč.

V preteklem obdobju je bila Mestna občina Murska Sobota aktivna na področju zmanjševanja tveganj zaradi nesreč tako v sami občini, kot v širši regiji in čezmejno. Aktivno je sodelovala pri izvedbi čezmejnega evropskega projekta Slovenija–Madžarska »Rešujmo skupaj«, kjer je bil poudarek na povezovanju in sodelovanju sil zaščite in reševanja na čezmejnem območju.

Na področju varstva pred požari in ivilne zaščite izvaja občina preventivne ukrepe, vlaga v posodabljanje hidrantnega omrežja, usposablja gasilce in pripadnike civilne zaščite, zagotavlja osebno zaščitno opremo gasilcev ter enot in služb civilne zaščite, sofinancira nakupe gasilskih reševalnih vozil za potrebe prostovoljnih gasilskih društev, skrbi za namestitve defibrilatorjev in usposabljanje za delo z njimi, za potrebe širše regije pa je kupila tehnično reševalno vozilo za reševanje v prometnih nesrečah.

Prav tako je občina aktivna na področju zagotavljanja protipoplavne zaščite in povečevanja poplavne varnosti. Urejanje pogodbenih razmerij s podjetji, pristojnimi za zagotavljanje protipoplavne zaščite, izvedba skupnih slovensko-madžarskih reševalnih vaj ob poplavah, čiščenje vodotokov ter nakup opreme za protipoplavno zaščito, so samo nekatere izmed njih.

Da je Mestna občina Murska Sobota organizirano pristopila k zmanjševanju poplavnih tveganj priča načrtovana vzpostavitev in izgradnja Regijskega centra za protipoplavno zaščito. Center bo namenjen usposabljanju za poplavno varnost in protipoplavno zaščito v regiji, državi in tudi čezmejno (Madžarska, Avstrija in Hrvaška). Vključeval bo tudi sodobni center za usposabljanje enot požarne zaščite ter zaščite in reševanja širše regije.

7 Sklep

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje aktivno spodbuja lokalne skupnosti k sistematičnemu pristopu k zmanjševanju tveganj zaradi nesreč. Te poleg preventivnih ukrepov in dobre pripravljenosti na nesreče, obsegajo tudi trajnostni razvoj in prilagajanje podnebnim spremembam. V ta namen bosta Občina Kamnik in Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje leta 2017 organizirali srečanje slovenskih občin z naslovom »Zmanjšanje tveganja zaradi naravnih in drugih nesreč na lokalni ravni«. Namen srečanja je predstaviti rešitve in primere dobrih praks iz Občine Kamnik pri zmanjševanju tveganj zaradi nesreč na lokalni ravni.

S srečanjem želimo spodbuditi medobčinsko sodelovanje na področju zmanjševanja tveganj zaradi nesreč, povečati vključevanje stroke, dvigniti raven razumevanja v povezavo med zmanjšanjem tveganj in trajnostnim razvojem, povečati prepoznavnost ter poznavanje Sendajskega okvira in pobude »Odporni proti nesrečam – moje mesto se pripravlja« ter spodbuditi mreženje akterjev na lokalni ravni za izmenjavo dobrih praks. Cilj je krepitev družbe odporne na nesreče.

8 Viri in literatura

Banovec Juroš, K., Vavpetič, B. 2016: Zmanjševanje tveganj nesreč v lokalnih skupnostih – Implementacija Sendajskega okvira na lokalni ravni. Slovenska vojska 14-8.

Bizjak, M. 2016: Govor na Tretji svetovni konferenci o zmanjševanju tveganj zaradi nesreč. Ustni vir. Sendai.

Medmrežje 1: http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf (1. 9. 2016).

Medmrežje 2: http://www.preventionweb.net/files/48631_florencewayforward.pdf (1. 9. 2016).

Medmrežje 3: <http://www.hidrotehnik.si/zadnji-izvedeni-projekti/hidrotehnik-zgradil-kranjski-steni-na-blatnici-v-klemencevem> (1. 9. 2016).

VROČINSKI VALOVI KOT NARAVNA NESREČA V MESTIH

Mateja Zalar, dr. Tjaša Pogačar, dr. Zalika Črepinšek, dr. Lučka Kajfež Bogataj

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

mateja.zalar@bf.uni-lj.si, tjas.pogacar@bf.uni-lj.si, zalika.crepinsek@bf.uni-lj.si,

lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Vročinski valovi kot naravna nesreča v mestih

Podnebne spremembe in z njimi povezana večja pojavnost ekstremnih temperatur zraka so pripomogle k vedno pogostejšim in intenzivnejšim vročinskim valovom. V Sloveniji vročinskih valov še ne obravnavamo kot naravne nesreče, medtem ko jih v tujini že. Vročinski valovi vplivajo na zdravje, počutje in produktivnost ljudi. Na njihove vplive se lahko prilagajamo in jih blažimo, primer so zelene strehe. V prispevku analiziramo pojavnost in pogostost vročinskih valov v Ljubljani v obdobju 1878–2015 in grafično predstavljamo dve različni opredelitvi vročinskega valu.

KLJUČNE BESEDE

vročinski valovi, podnebne spremembe, mesto, toplotni otok, prilagajanje

ABSTRACT

Heat waves as natural disaster in cities

Climate change linked with higher occurrence of extreme air temperatures are the reason for more often and more intense heat waves. In Slovenia, heat waves are not defined as a natural disaster, but in some countries they already are. Heat waves have a big impact on human health, well-being, and productivity. However, it is possible to adapt and to mitigate them, for example with green roofs. We analyzed heat waves occurrence and intensity for Ljubljana for the period 1878–2015 and graphically present two various heat wave definitions.

KEY WORDS

heat waves, climate change, city, heat island, adaptation

1 Uvod

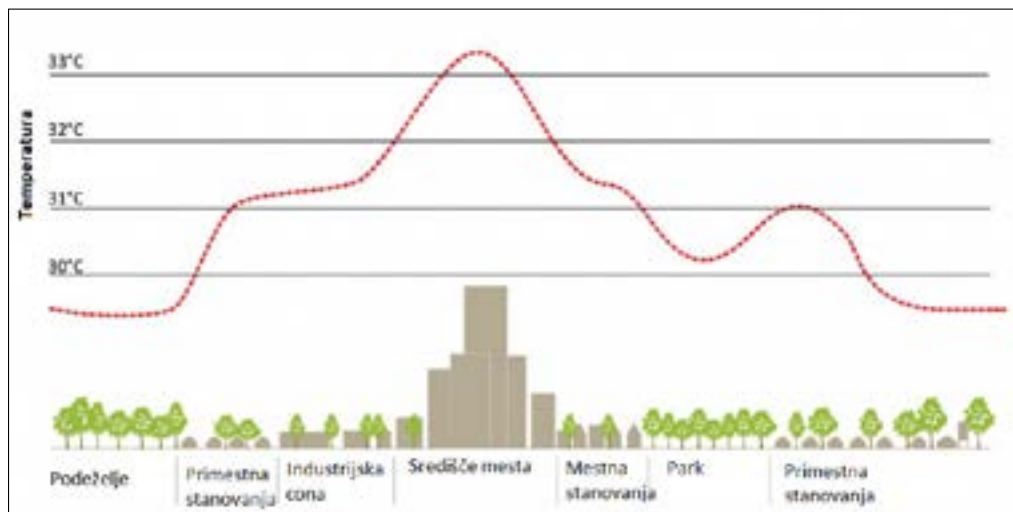
Zemlja se segreva, saj beležimo rekordne dnevne, mesečne ter letne povprečne in ekstremne temperature zraka. Vročinski valovi so vse daljši in intenzivnejši, jakosti in pogostosti izrednih vremenskih razmer pa so vse izrazitejše. Kot kaže globalni trend temperatur zraka, bo tudi leto 2016 najtoplejše v zgodovini meritev; avgust 2016 je bil globalno najtoplejši v zadnjih 136 letih (McCarthy in Cabbage 2016).

Posledice segrevanja bodo najbolj občutili prebivalci urbanih območij. Nekatera mesta so s prilagajanjem na spremenjene podnebne razmere že pričela, uspešnost pa je seveda odvisna od hitrosti prilagajanja in osveščenosti prebivalstva. Veliko mestnih površin je asfaltnih ali betonskih in se v vročini pregreva. V času vročinskih valov so klimatske naprave v stanovanjih in poslovnih prostorih nuja, kar pa ustvarja povratno zanko, saj to še dodatno pripomore k ustvarjanju mestnega toplotnega otoka. Mesta so lahko na vroč dan tudi za več kot 5 °C toplejša kot njihovo zaledje (slika 1), zato v takšnih primerih govorimo mestnih toplotnih otokih (UHI). Nanje se bodo morala mesta prilagoditi.

V Sloveniji je potekal projekt UHI v okviru kooperativnega programa Srednja Evropa. Projekt se je osredotočal na izobraževanje ljudi o pojavu mestnega toplotnega otoka ter vzpostaviti nacionalne mreže za spremljanje pojava in njegovega razvoja. Kot pilotno mesto je sodelovala Ljubljana (medmrežje 1).

Povečana urbanizacija in vedno bolj obsežne površine, pokrite z asfaltom in betonom, vplivajo na pretoke vode in v mestih povzročajo vedno višje temperature zraka, njihovim prebivalcem pa vročinski stres. Ta učinek se je še povečal zaradi posledic podnebnih sprememb (Duyzer s sodelavci 2011). Višje temperature zraka povzročajo višjo stopnjo umrljivosti in vplivajo na zdravje, počutje ter produktivnost ljudi, rastlin in živali. Prav tako so višje temperature zraka neposreden vzrok za višjo porabo energije in vode, potrebne za ohlajanje, zalivanje in namakanje. Temperature zraka vplivajo tudi na kakovost vode.

S pravilnim urejanjem mest in okolice lahko v mestih ustvarimo prijetnejšo klimo z nižjimi temperaturami zraka. Primeri dobrih prostorskih rešitev so večje število zelenih površin, zelene



Slika 1: Mestni toplotni otok (Reducing ... 2008).

strehe (Wilkinson in Feitosa 2015), manj neprepustnih materialov in uporaba materialov z visokim albedom. Dobra rešitev so tudi zračni koridorji, ki lahko zavirajo ali spodbujajo gibanje zraka. Pri vročinskem stresu igrajo pomembno vlogo tudi delež vidnega neba in območja toplotne izmenjave z okolico (Duyzer s sodelavci 2011).

Na temperaturo zraka v mestih vpliva kakovost materiala, s katero so prekrte mestne površine, ki vpliva na kapaciteto odboja sončnega sevanja, emisivnosti (sposobnost sevanja energije) in sposobnostjo vpijanja toplote. Svetlejši materiali bolje odbijajo svetlobo (odbojnost materiala imenujemo albedo), zato jih pri gradnji in urejanju okolice v mestih (preglednica 1) raje izbiramo.

Preglednica 1: Vrednosti albeda za različne materiale (Reducing ... 2008).

material	albedo
črna streha	0,04–0,05
bela streha	0,30–0,50
asfalt	0,04–0,15
svetlo siv asfalt	0,25–0,27
temne betonske plošče	0,05–0,35
bele betonske plošče	0,70
kovinska ne-barvana streha	0,30–0,50

Večina gradbenih materialov v mestih ima praviloma nižji albedo kot naravna okolica, prekrita z rastjem. To pomeni večjo kapaciteto absorpcije toplote, kar še dodatno zvišuje temperaturo zraka v mestih. V splošnem mestno okolje absorbira dvakrat toliko toplote kot podeželska okolica (Reducing ... 2008). Večina gradbenih materialov, z izjemo kovin, ima visoke emisivne vrednosti (preglednica 2), kar pomeni, da ti materiali dobro oddajajo toploto, kar se zgodi že pri nekoliko višjih temperaturah površja. Kovine ne začno oddajati toplote, dokler ne dosežejo zelo visokih temperatur. Pobarvane kovine imajo emisivno vrednost barve in ne emisivne vrednosti materiala (Reducing ... 2008).

Preglednica 2: Emisivne vrednosti za različne materiale (Hübler in Klepper 2007).

material	emisivnost
aluminij, svetleč	0,05
aluminij, oksidiran	0,25
opeke	0,85
betonska plošča	0,54
steklo	0,92
srebrna barva	0,31
voda	0,98
cink	0,20

Načrtovanje stavb, njihova postavitev in geometrija prav tako vplivajo na pojavnost in intenziteto mestnega toplotnega otoka. Stavbe, grajene blizu skupaj, ustvarijo »mestni kanjon«, ki sicer čez dan ponuja senco, toda ne dopušča ohladike preko noči. Opišemo ga s pomočjo deleža vidnega neba (angleško *sky view factor*, SVF), ki nam določa, kolikšen delež neba lahko vidimo na izbrani

točki. Na primer, visok delež vidnega neba pomeni odprto območje, ki omogočajo odboj sončnega sevanja. V mestnih kanjonih povezujemo nizek delež vidnega neba z nočnim sevanjem segrelih okoliških stavb (Reducing ... 2008). Prav tako tudi antropogene dejavnosti, kot so promet, uporaba klimatskih naprav in proizvodnja, prispevajo k pojavnosti in intenzivnosti mestnega toplotnega otoka, vendar je njihov prispevek težko oceniti (Duyzer s sodelavci 2011).

Vročinski valovi vplivajo na količino poleti porabljene energije za ohlajanje. Na Nizozemskem so izračunali, da stanovanjske stavbe že zdaj porabijo več energije za ohlajanje poleti kot za ogrevanje pozimi (Reducing ... 2008). Posledično se v teh obdobjih poveča tudi koncentracija ogljikovega dioksida. Kot posledica obojega se med vročinskimi valovi v mestih pogosto pojavlja smog. Pojav smoga je tako neposredno povezan s temperaturo zraka. Ogret zrak nosi polutante in majhne delce v višje dele atmosfere, kjer nastane »balon« smoga. Hladnejši zrak v okolici mesta se segreva in prodira v mestno jedro. Ponoči del vročega zraka povzroči inverzijo, ki prepreči mestu, da bi se ohladilo, saj ustavi mešanje onesaženega zraka s čistim zrakom iz okolice (Krusche s sodelavci 1982).

Segrevanje mesta vpliva na kakovost vode. Deževnica z vročih streh, pločnikov in cest ima na vroč poletni dan temperaturo med 3 in 17 °C. Vodotok, v katerega se steka ogreta deževnica, se prav tako segreje. Temperatura vode pa vpliva na vse procese, ki se dogajajo v njej. Višja temperatura pomeni razmnoževanje nezaželenih alg in pogin rib. Vse to pa vpliva tudi na zdravje ljudi (Reducing ... 2008).

Povečano število vročih dni z najvišjo dnevno temperaturo nad 30 °C povzroči padec produktivnosti in številne zdravstvene težave. Produktivnost se ob vročini zmanjša za 3 do 50 % (The Wet-Bulb ... 2011). Za vsako stopinjo nad 25 °C naj bi se produktivnost delavcev zmanjšala za 2 % (Franchetti in Komaki 2012). Nemška raziskava je pokazala, da zaposleni v pisarnah delajo s 100 % produktivnostjo pri 23 °C, pri 30 °C pa le še s 70 %. Ugotovljeno je bilo, da se pri 30 °C hitrost tipkanja zmanjša za polovico v primerjavi s hitrostjo pri 20 °C. Pri težkem fizičnem delu se produktivnost pri temperaturah zraka nad 30 °C zmanjša za polovico. Te številke predstavljajo okvirne vrednosti, saj ni povsem jasno, ali gre za znižanje najvišje možne produktivnosti posameznika ali za znižanje dnevne delovne uspešnosti (Hübler in Klepper 2007). Vrednosti so še posebej visoke za težko fizično delo. Pri tem se poveča tudi nevarnost nesreč pri delu. Ta se povečuje linearno s pozitivnim in negativnim odstopanjem temperature zraka delovnega okolja od 20 °C (Parson 2002). Raziskave vplivov podnebnih sprememb na človekovo zdravje in produktivnost v povezavi s temperaturo zraka v 16 nemških mestih so pokazale, da je več kot 24.000 ljudi dodatno letno hospitaliziranih zaradi težav z zdravjem, povezanih z vročino. Na Nizozemskem je ta številka približno 5000 (The Wet-Bulb ... 2011). Med vročinskim valom 2003 se je stopnja bolnišničnih odsotnosti povečala s 3,4 na 11,5 % (Drunen s sodelavci 2007).

Vročinski valovi in spremenjeno podnebje pomenijo tudi povečano smrtnost, predvsem v mestih, kjer je gostota ljudi največja. Upoštevač današnjo občutljivost na vročino lahko v prihodnosti pričakujemo še večje število prezgodnjih smrti kot posledico prevelike toplotne obremenitve oziroma mestnega toplotnega otoka. Kljub vsemu pa se ljudje prilagajamo na vedno višje temperature. Prilagajanja so povezana s povečano in pravilno uporabo klimatskih naprav in fiziološko aklimatizacijo. Navkljub prilagajanju pa imamo še vedno in bomo imeli tudi v prihodnje, bolj ogrožene skupine kot so: starejši, otroci, zunanji delavci, kronični bolniki, socialno izolirani in socialno šibkejši (Sarafim s sodelavci, 2016).

Leta 2003 in 2010 so vročinski valovi v različnih delih Evrope povzročili več deset tisoč smrti (Urban ... 2016). V Franciji je vročinski val v avgustu 2003 terjal dodatnih 15.000 smrti. Obласти sicer niso dokončno ocenile skupnega števila umrlih zaradi posledic vročinskega valu. Ocene se gibljejo med 27.000 in 70.000. Robine in sodelavci (2008) so ugotovili, da je glede na podatke iz 16 evropskih držav poleti 2003 dodatno umrlo več kot 70.000 ljudi.

2 Metode

Vročinski val še nima enotne definicije, saj ga je glede na različne podnebne razmere po svetu težko enoznačno opredeliti. Šelb Šemerl in Tomšič (2008) predlagata definicijo najmanj pet zaporednih dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka vsaj 30 °C. S to mejo so določeni tudi meteorološki vroči dnevi. V naši analizi smo za prag najvišje dnevne temperature zraka izbrali 29,5 °C. Izbran je bil zaradi zaokroževanja in posledične lažje obdelave podatkov. Uporabili smo najvišje dnevne temperature zraka na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad v obdobju 1878–2015, ki smo jih pridobili iz arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje.

Vročinski val smo opredelili na dva načina. Pri prvem smo vročinski val definirali kot najmanj pet zaporednih dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 29,5 °C. To je na grafih (slike 2–4) predstavljeno z rdečimi krogi. Pri drugem pa se nismo omejili s številom zaporednih dni, pač pa z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 29,5 °C. Na grafih (slike 2–4) so ta obdobja označena z oranžno barvo. Za lažje razumevanje bomo pri obravnavi rezultatov govorili o **vročinskem valu** (prva opredelitev) in **obdobju s temperaturo nad 29,5 °C** (druga opredelitev).

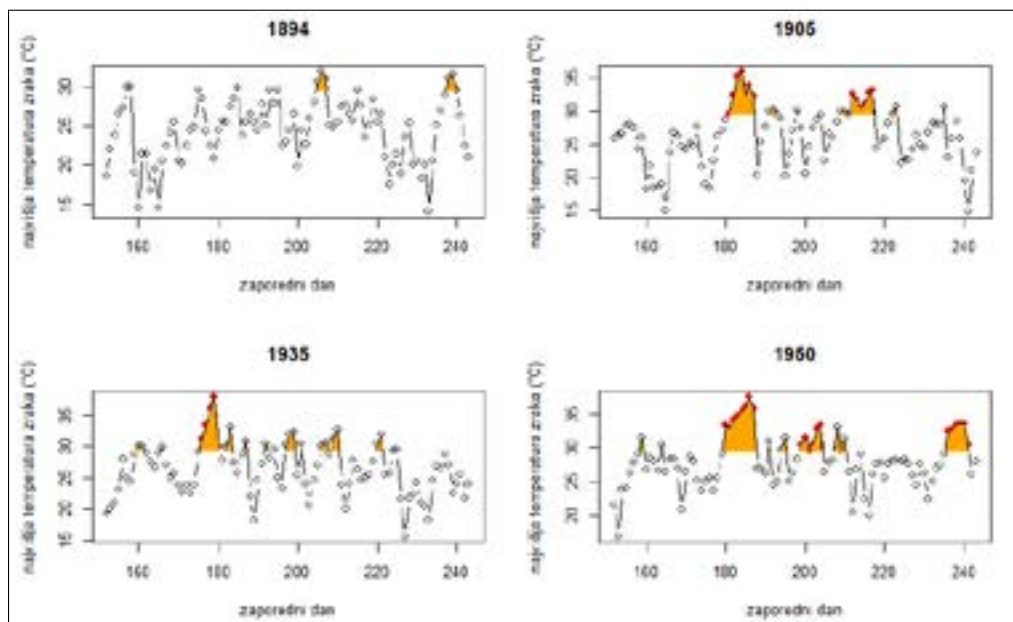
3 Rezultati

Vročinski valovi so se v Sloveniji, natančneje v Ljubljani, pojavljali že v preteklosti. Večinoma so bili krajši (5 ali 6 dnevni), v posameznem letu pa se praviloma nista pojavila več kot dva. Praviloma so vročinski valovi nastopali v prvi polovici avgusta, a ne vsako leto.

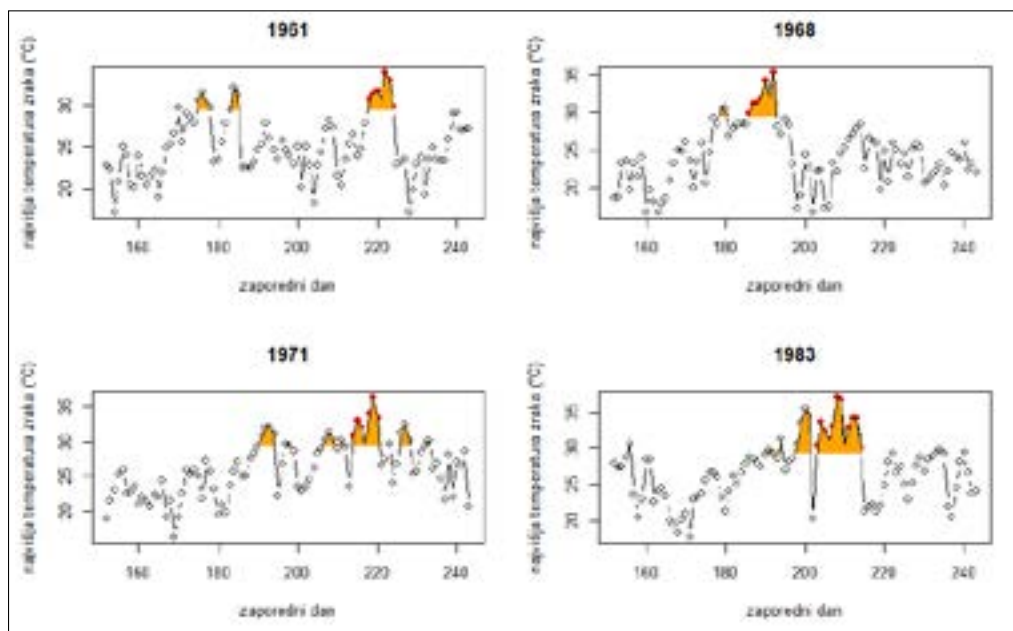
Na sliki 2 (levo zgoraj) vidimo, da leta 1894 ni bilo vročinskega vala. Pojavili pa sta se dve krajši obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. Obe obdobji sta se pojavili avgusta. Leta 1905, 1935 in 1950 so bila med toplejšimi v prvi polovici 20. stoletja. Leta 1905 (slika 2, desno zgoraj) sta se pojavila dva vročinska vala, prvi v začetku julija in drugi v začetku avgusta. Med vročinskima valoma sta se pojavili še dve krajši obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. Leta 1935 (slika 2, levo spodaj) se je v Ljubljani pojavil le en vročinski val, ki je nastopil v juliju. Celotno meteorološko poletje (junij, julij, avgust) pa so se pojavljala krajša obdobja s temperaturo nad 29,5 °C. Poleti 1950 (slika 2, desno spodaj) je doživela Ljubljana kar tri vročinske valove (sredina julija, začetek in konec avgusta) in vrsto krajših obdobji s temperaturo nad 29,5 °C.

Leta 1961 (slika 3, zgoraj levo) se je poleti pojavil le en vročinski val. Pojavil se je v drugi polovici poletja, v začetku avgusta. V začetku julija sta se v Ljubljani pojavili dve krajši obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. Leto 1968 (slika 3, zgoraj desno) je imelo en vročinski val in eno krajše obdobje s temperaturo nad 29,5 °C (dva dni). Najvišje dnevne temperature zraka so v vročinskem valu dosegle 35 °C. Vročinski val se je v avgustu pojavil tudi leta 1971 (slika 3, spodaj levo). Pojavilo se je še nekaj obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. V vročinskem valu so najvišje dnevne temperature zraka ponovno dosegle 35 °C. Za Ljubljano je bilo poletje 1983 (slika 3, spodaj desno) z meteorološkega vidika zanimivo, saj so najvišje poletne dnevne temperature zraka močno nihale. Konec julija se je pojavil vročinski val, ki je trajal kar 11 dni. Pred pojavom vročinskega vala sta nastopili dve obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. Vročinski val bi lahko bil še daljši, a je vmes nastopila enodnevna ohladitev.

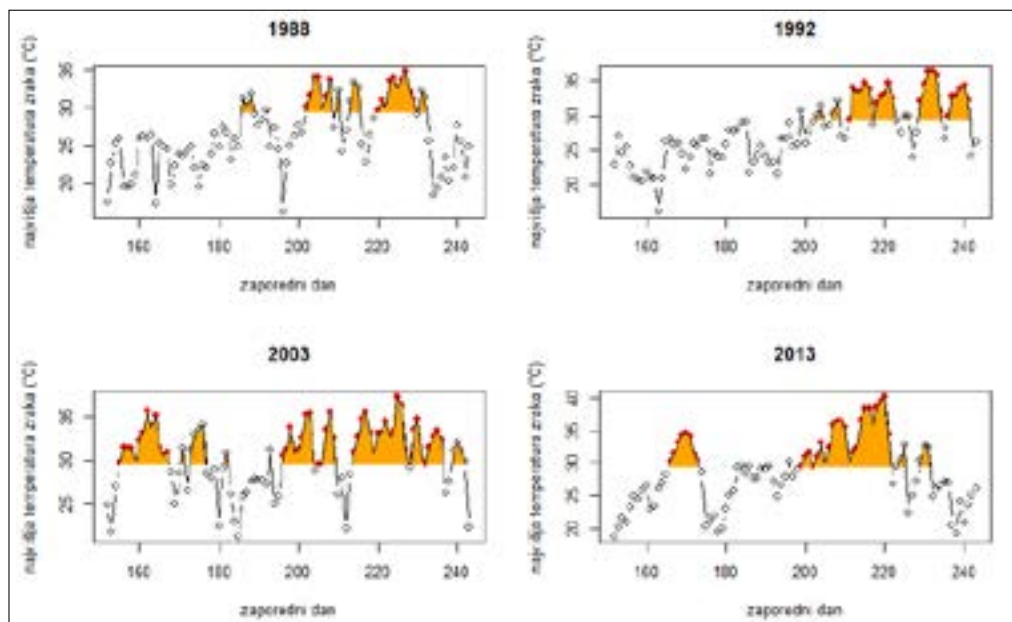
Po letu 1980 so postale posledice podnebnih sprememb bolj vidne tudi v Sloveniji. To opazimo pri poteku najvišjih dnevnih temperatur zraka poleti leta 1988 (slika 4, zgoraj levo), ko sta bila v Ljubljani dva vročinska vala. Tekom obeh so najvišje dnevne temperature zraka segle do 35 °C. Prvi vročinski val se je pojavil v drugi polovici julija, drugi pa v začetku avgusta. Pred, med in po vročinskih valovih so bila tri obdobja s temperaturo nad 29,5 °C. Poletje 1992 (slika 4, zgoraj desno) je bilo prvi odraz današnjih poletnih temperatur; za tedanje razmere je bilo namreč zelo



Slika 2: Vročinski valovi v Ljubljani v letih 1894, 1905, 1935 in 1950 po dveh opredelitvah (160. dan je 9. junij, 240. dan pa 28. avgust).



Slika 3: Vročinski valovi v Ljubljani v letih 1961, 1968, 1971 in 1983 po dveh opredelitvah (160. dan je 9. junij, 240. dan pa 28. avgust).



Slika 4: Vročinski valovi v Ljubljani v letih 1988, 1992, 2003 in 2013 po dveh opredelitvah (160. dan je 9. junij, 240. dan pa 28. avgust).

vroče. Pojavili so se kar štirje vročinski valovi, vsi v avgustu. Že pred tem sta nastopili dve krajši (dvodnevni) obdobji s temperaturo nad 29,5 °C.

Pri analizi in obravnavi vročinskih valov ne moremo mimo poletja 2003, ki še vedno velja za eno najbolj vročih in sušnih. Poletje 2003 (slika 4, spodaj levo) smo v Ljubljani doživeli tri vročinske valove, ki pa so bili dolgotrajni. Prvi se je pojavil že junija in je trajal 13 dni. Sledilo je nekaj krajših obdobji s temperaturo nad 29,5 °C. V drugi polovici julija se je začel drugi vročinski val, ki je vztrajal 14 dni. Sledila je nekaj dnevna ohladitev. Po njej se je začel še zadnji vročinski val. Ta je trajal kar 23 dni. Poletje 2013 (slika 4, spodaj desno) je bilo izjemno po višini najvišjih dnevnih temperatur zraka, ki so dosegale in celo presegale 40 °C. Poletje sta zaznamovala dva vročinska vala. Prvi se je pojavil že junija in je trajal 8 dni. Do sredine julija nato najvišje dnevne temperature zraka niso presegle pragu 29,5 °C. V drugi polovici julija se je začel drugi vročinski val, ki je poskrbel za temperaturne rekorde. V Ljubljani je najvišja dnevna temperatura zraka dosegla 40,2 °C. Vročinski val je trajal 23 dni. Sledili sta mu še dve krajši obdobji s temperaturami nad 29,5 °C.

4 Sklep

Vročinski valovi v mestih predstavljajo vedno večji problem. Za Ljubljano lahko v obdobju 1878–2015 opazimo povečano pojavnost in intenzivnost vročinskih valov ter števila dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 29,5 °C. Pričujoča analiza opozarja, da bo treba začeti vročinske valove obravnavati kot naravno nesrečo in poiskati možne načine prilagajanja ter blaženja vplivov na počutje, zdravje in produktivnost ljudi. V okviru projekta Evropske unije *Heat-Shield*, razvijajo na primer sistem obveščanja in opozarjanja na vročino za delodajalce in delavce v najbolj ogroženih petih sektorjih gospodarstva (industrija, transport, turizem, kmetijstvo in gradbeni-

štvo). Sistem bo deloval za celotno Evropsko unijo, pri čemer bodo upoštevali krajevne značilnosti in lokalne opredelitve vročinskih valov. Združeval bo modelsko napoved, v okviru katere bo na voljo sprotni prikaz območij z različnimi biometeorološkimi indeksi toplotne obremenitve. Prav tako bo sistem delodajalcem in delavcem glede na njihovo dejavnost izdajal opozorila v obliki e-pošte. Opozorila bi podajala napoved za lažje, zmerno in težje fizično delo. Podoben sistem že imajo v Toskani, kjer izdajajo biometeorološko napoved in opozorila s poudarkom na zdravju in počutju starejših. Glede na naraščajoč trend deleža starejših od 65 let (leta 2008 dobrih 16 %, leta 2016 pa več kot 18,5 %), bi to bilo primerno tudi v Sloveniji. Razmisliti veljalo tudi o podobnih spletiščih s seznamom možnih ukrepov prilagajanja in blaženja ter sistemih alarmov in opozoril. Poleg sistema opozoril bodo prilagoditve potrebne tudi v ostalih sektorjih, predvsem v zdravstvu. Potrebno je in bo, načrtovati dodatne bolnišnične postelje v času vročinskih valov, povečati število kontrolnih obiskov zdravstvenega osebja pri kroničnih bolnikih. Prebivalci in obiskovalci mest se morajo poučiti o možnih ukrepih prilagajanja. Dodaten ukrep bi bil prilagojeno prostorsko načrtovanje z uporabo zelene infrastrukture. Nizozemska krajinska arhitektka Geertje Wijten je povzela dejstvo, ki se ga premalo zavedamo: »Če se ne bomo prilagodili na vplive vročinskih valov, se bodo mesta srečala z višjo stopnjo smrtnosti, predvsem ranljivih skupin kot so starejši in/ali kronični bolniki.«

Zahvala: Raziskava je bila finančno podprta s strani okvirnega programa Evropske unije za razvoj in inovacije Obzorje 2020 s pogodbo št. 668786.

5 Viri in literatura

- Drunen, M., van Lasage, R. 2007: Klimaatverandering in stedelijke gebieden - Een inventarisatie van bestaande kennis en openstaande kennisvragen over effecten en adaptatiemogelijkheden. Medmrežje: <http://edepot.wur.nl/62119> (19. 9. 2016).
- Duyzer, J., Klok, L., Verhagen, H. 2011: Hoge temperaturen ten gevolge van het stedelijk hitte eiland effect nu en in de toekomst - Een verkenning in de noordelijke stadsregio van Rotterdam en het zuidelijke deel van het stadsgewest Haaglanden.
- Franchetti, M., Komaki, G. 2012: Quantification methods for employee health and productivity rates. International Journal of Environmental Engineering Research 1-3.
- Hübler, M., Klepper, G. 2007: Kosten des Klimawandels: Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Frankfurt.
- Krusche, P., Krusche, M., Althaus, D., Gabriel, I. 1982: Ökologisches Bauen. Wiesbaden, Berlin.
- McCarthy, L., Cabbage, M. 2016: Visualizing the warmest august in 136 year. Medmrežje: <http://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters/2016/09/12/heres-how-the-warmest-august-in-136-years-looks-in-chart-form/> (19. 9. 2016).
- Medmrežje 1: <http://www.eu-uh.eu/> (20. 11. 2016).
- Parsons, K. 2002: Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. New York.
- Reducing Urban Heat Islands – Compendium of Strategies. Washington, 2008. Medmrežje: <https://www.epa.gov/heat-islands/reducing-urban-heat-islands-compendium-strategies> (19. 9. 2016).
- Robine, J. M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., Herrmann, F. R. 2008: Death toll exceeded 70.000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies 331-2.
- Sarofim, M. C., Saha, S., Hawkins, M. D., Mills, D. M., Hess, J., Horton, R., Kinney, P., Schwartz, J., Juliana, St. A. 2016: Chapter 2: Temperature-related death and illness. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. Washington.

- Šelb Šemerl J., Tomšič S. 2008: Vpliv vročinskih valov na umrljivost – vročinski val avgusta 2003 v Sloveniji. Ljubljana. Medmrežje: http://ec.europa.eu/health/ph_information/dissemination/unexpected/docs/vpliv.pdf (18. 9. 2016).
- The Wet-Bulb Globe Temperature. Naval Air Systems Command. 2001. Medmrežje: www.navair.navy.mil/nawcawd/weather/chinalake/wbgt.html (18. 9. 2016).
- Urban adaptation to climate change in Europe 2016: Transforming cities in a changing climate. Luksemburg, 2016. Medmrežje: <http://dx.doi.org/10.2800/021466> (19. 9. 2016).
- Wilkinson, S., Feitosa, R. C. 2015: Retrofitting housing with lightweight green roof technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil. Sustainability 7-1.

NARAVNE NESREČE V MESTIH – PRIMER MESTNEGA TOPLOTNEGA OTOKA

dr. Blaž Komac, dr. Rok Ciglič, mag. Miha Pavšek

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

blaz.komac@zrc-sazu.si, rok.ciglic@zrc-sazu.si, miha.pavsek@zrc-sazu.si

dr. Žiga Kokalj

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

ziga.kokalj@zrc-sazu.si

IZVLEČEK

Naravne nesreče v mestih – primer mestnega toplotnega otoka

V prispevku opisujemo nekaj značilnosti toplotnega otoka in predstavljamo dejavnosti, ki smo jih skupaj z Mestno občino Ljubljana izvedli v projektu Razvoj in uporaba blažilnih in prilagoditvenih strategij in ukrepov za preprečevanje globalnega urbanega pojava mestnega toplotnega otoka (MTO). Opisali smo značilnosti mestnih toplotnih otokov, vzroke in posledice njihovega nastanka ter možnosti blaženja njihovih vplivov. Preučili smo oblikovanje mestnega toplotnega otoka v Ljubljani na primeru izbranega vročega poletnega obdobja. S pomočjo modeliranja vremenskih razmer smo preučili vpliv sprememb rabe zemljišč v mestu na toplotni otok. Za območje Srednje Evrope smo pripravili spletni atlas.

KLJUČNE BESEDE

geografija, mikroklima, mestni toplotni otok, Ljubljana

ABSTRACT

Natural hazards in cities – the case of urban heat island

This chapter describes some characteristics of heat island and presents activities we carried out in the project Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for the prevention of global urban phenomenon of urban heat island (UHI) together with the Municipality of Ljubljana. We described the characteristics of urban heat islands, their causes and consequences and the possibilities of mitigating their effects. We studied the behaviour of the urban heat island in Ljubljana in the specific case of hot summer season. With the help of modelling weather conditions we examined the impact of land use changes on heat island in the city. For the territory of Central Europe, we prepared an online atlas.

KEY WORDS

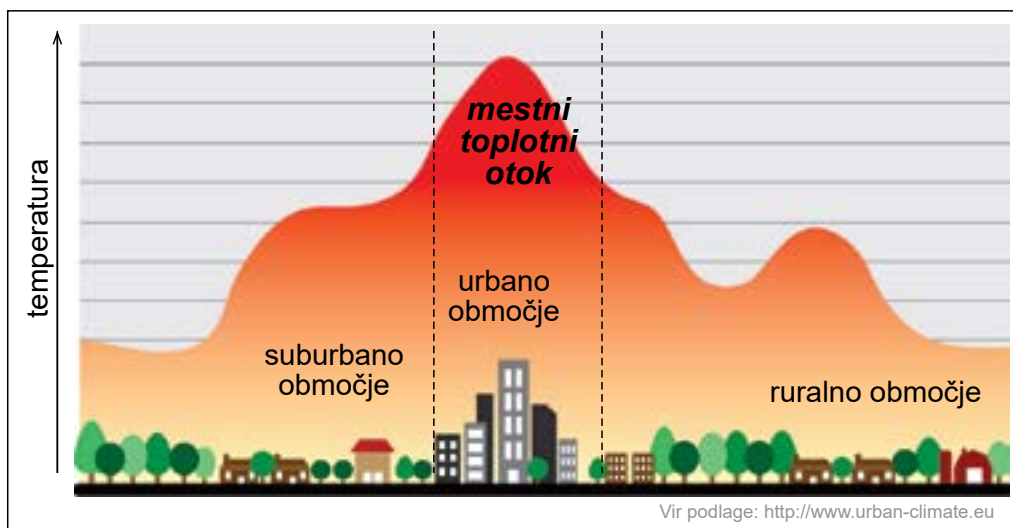
geography, micro-climate, urban heat island, Ljubljana

1 Kaj je mestni toplotni otok?

V urbanih območjih so povprečne temperature višje kot v okolici. Območje relativno višjih temperatur imenujemo »mestni toplotni otok« (MTO; angleško *urban heat island* – UHI; slika 1). Ime izhaja iz oblike temperaturnega polja nad mesti, ki se zdi kot otok sredi območja nižje temperature. Mestni toplotni otoki se pojavljajo, kjer stavbe in pozidana zemljišča absorbirajo sončno energijo in nato segrevajo okoliško ozračje. Opeka, asfalt, beton in podobni materiali imajo višjo toplotno kapaciteto kot naravni elementi pokrajine, poleg tega toploto ustvarja tudi človek s svojimi dejavnostmi. Najvišje temperature so po navadi na slabo prevetrenih neporaščenih urbanih območjih. Na takšnih območjih se temperatura tal in ozračja razlikuje od temperature ozračja v okolici za 1 do 3 °C (Golden 2004). Pojav so prvič zaznali v Londonu na začetku 19. stoletja, kmalu nato pa tudi v Parizu, Münchnu in na Dunaju (Kratzer 1937).

Temperaturna razlika oziroma intenzivnost mestnega toplotnega otoka je najvišja 3–5 ur po sončnem zahodu (Haeger-Eugensson in Holmer 1999; Chow in Roth 2006) ali celo v zgodnjih jutranjih urah (Wilby 2003). Odvisna je od velikosti oziroma posredno od števila prebivalcev, zato velja približno razmerje: $UHI = 0,73 \cdot \log_{10} N$, kjer je N število prebivalcev. To pomeni, da so naselja z 10 prebivalci za 0,73 °C, naselja s 100 prebivalci za 1,5 °C, naselja s 1000 prebivalci pa že za 2,2 °C toplejša od naravne okolice. Pri milijonskem mestu je razlika v temperaturi že 4,4 °C (Oke 1973; Torok s sodelavci 2001).

Toplotni otok je intenzivnejši ob anticiklonalnem vremenu ter poleti in pozimi. Posebno močno je odvisen od značilnosti poselitve, zlasti gostote stavb, njihovega medsebojnega razmika in uporabljenih materialov. Nanj torej posredno vpliva intenzivnost in oblika urbanizacije. Zaradi pester prostorske sestave mest, predvsem glede prevladujoče rabe zemljišč, so zelo velike razlike tudi v toplotni obremenitvi različnih mestnih predelov (slika 2). Posebej so izpostavljeni »ulični koridorji« (*street canyon*) in mestni trgi, ugodnejše razmere pa so v parkih in ob vodi. Meritve v Varšavi so na primer pokazale, da je univerzalni toplotni podnebni indeks (*universal thermal climate index* – UTCI; več o tem v nadaljevanju) čez dan največji v »uličnih koridorjih« v središču mesta, na trgih pa je bil nižji zaradi skupin dreves in primerljiv tistemu v manjših naseljih na podeželju. Sicer pa so



Slika 1: Posplošen prerez značilnega mestnega toplotnega otoka.



Slika 2: Primer neposrednega sosredstva urbanih površin s popolnoma različnim indeksom MTO v Ljubljani so soseska na Mesarski ulici v Gornjih Poljanah in sosednje zelene površine ob Gruberjevem prekopu. Blokovski niz ima podolžno smer sever–jug, kar zmanjšuje toplotno kapaciteto posameznih stavb, kar je ugodno za znižanje indeksa MTO.

najnižje vrednosti na vodnih zemljiščih in v gozdu, najvišje pa v mestnem središču in v industrijskih conah (Blažejczyk 2002).

Med drugim na intenzivnost toplotnega otoka vplivajo antropogena toplota, posebej iz slabo izoliranih in položnih streh, dimnikov ter sten stavb. Oddana toplota je odvisna od usmerjenosti, velikosti, sestavljenosti (število kapi, čop) in značilnosti gradbenih materialov stavb, kot sta toplotna kapaciteta in toplotna prevodnost. Vplivajo pa tudi albedo, toplota prometa, kratkovalovni sevalni tok onesnaženega zraka oziroma delcev ter geometrija ulic in gostota dreves. Pomembni so tudi znižana evapotranspiracija in zmanjšano prevajanje toplote s turbulentnimi procesi oziroma nepreventrenost (Coutts s sodelavci 2009).

Intenzivnost toplotnega otoka merimo s primerjavo mestnih in primestnih ali podeželskih meteoroloških postaj ali posebno mrežo na območju mesta, lahko pa tudi z linijskimi meritvami in s pomočjo satelitskih podatkov in modeliranja, kar smo prikazali tudi v Atlasu mestnega toplotnega otoka za območje Srednje Evrope.

2 Posledice in učinki toplotnega otoka

Višje temperature vplivajo na živa bitja in povzročajo vročinski stres ter številne posredne učinke, kot so slabša kakovost zraka, omejeni vodni viri in težave z energetsko oskrbo. Toplotni otok namreč zaradi povečane potrebe po hlajenju močno vpliva na porabo energije in povečuje onesnaževanje (Khan in Simpson 2001; Gartland 2008).

Toplotni otoki so v splošnem posledica vremenskih vročinskih valov na območju gosteje pozidanih zemljišč. Že vreme samo vpliva na človeka, njegovo razpoloženje, počutje, delovno sposobnost in spanje (Pavšek 2011). Zanimarjiv ni niti njegov vpliv na zdravje in potrebe po zdravljenju. Z vidika učinkov na človeka je torej vreme zelo kompleksen in vpliven dejavnik, še posebej v primeru povečanega toplotnega delovanja, najvplivnejšega prav v primeru pojava MTO.

Toplotni otok namreč prek temperature zraka, vlažnosti, hitrosti vetra in dolgovalovnega sevanja ter onesnaženosti zraka vpliva na termofiziološko udobje in zdravje prebivalcev. Počutje je najudobnejše med 17 in 31 °C (WHO 1990), med vročinskimi valovi, ki jih učinek toplotnega otoka še okrepi, pa se povečajo zdravstvene težave ranljivih skupin prebivalcev, kot so ostareli, revni, otroci, nosečnice, kronični bolniki in ljudje z drugimi fizičnimi ali socialnimi omejitvami (Flynn, McGreevy in Mulkerrin 2005; Vandentorren s sodelavci 2006; Fouillet s sodelavci 2006). Posledica je povečana smrtnost (Donoghue s sodelavci 1997). Za Sredozemlje so ugotovili, da povečanje temperature zraka za 1 °C nad 29,4 °C pomeni 3,12 % povečanje smrtnosti, na severu Evrope pa povečanje za 1 °C nad 23,3 °C pomeni 1,84 % povečanje smrtnosti. Predvsem pride do poslabšanja kardiovaskularnih in cerebrovaskularnih ter dihalnih bolezenskih stanj (Ebi s sodelavci 2004).

Zelene površine in temperatura okolja vplivata na kakovost življenja prebivalcev v mestih (Smrekar, Šmid Hribar in Erhartič 2016; Tiran 2016). Ker so s toplotnimi otoki povezani vplivi na zdravje, si marsikje prizadevajo ta pojav raziskati ter ublažiti negativne učinke. Njegov vpliv ocenjujemo z različnimi biotermalnimi indeksi, ki upoštevajo zaznano temperaturo

Preglednica 1: Vrednosti UTCI za značilne pokrajinske tipe ter vremenske razmere (Kunert 2010).

raba zemljišč	UTCI			
	sončno	oblačno	sončno	oblačno
	temperatura: 10 °C, relativna vlažnost: 80 %, hitrost vetra: 8 m/s		temperatura: 30 °C, relativna vlažnost: 80 %, hitrost vetra: 2 m/s	
podeželje	-4,7	-4,6	37,0	32,6
travnik	-0,8	-0,8	35,1	30,4
gozd	5,9	11,7	30,7	29,5
prometnice	1,0	1,1	38,2	33,9
suburbano naselje	4,1	4,1	42,1	38,2
naselje sredi gozda	0,0	4,3	32,8	30,7
središče mesta	6,3	8,7	48,1	45,6
industrijsko območje	6,9	9,4	52,2	49,9
rečni breg	-3,0	-3,2	32,6	27,6

Legenda: kategorije stresa.

zmeren mrzlotni stres	zmeren vročinski stres
mrzlotni stres	močan vročinski stres
ni toplotnega stresa	zelo močan vročinski stres
	ekstremen vročinski stres

(Staiger, Laschewski in Grätz 2012) oziroma bolj uveljavljeni fiziološki temperaturni ekvivalent (*physiological equivalent temperature* – PET; Matzarakis, Rutz in Mayer 2010), poleg teh pa še toplotno obremenitev (*heat load* – HL), indeks subjektivne temperature (*subjective temperature index* – STI), subjektivna fiziološka temperatura (*physiological subjective temperature* – PST) in univerzalni toplotni podnebni indeks (*universal thermal climate index* – UTCI).

Kunert (2010; preglednica 1) je na temelju topoklimatskih podatkov za različne pokrajinske tipe izračunal UTCI za različna vremenska stanja. Tudi njegovi izračuni kažejo vpliv rabe zemljišč na toplotno obremenitev. V vročem in mirnem vremenu je bil UTCI v gozdu 30–31 °C (zmeren vročinski stres), v mestnem središču 46–48 °C in v industrijski coni kar 50–52 °C (ekstremen vročinski stres). V hladnem in vlažnem vremenu pa je bil UTCI –5 °C (zmeren mrzlotni stres) na podežlju in 7–9 °C v industrijskih območjih ter 6–12 °C v gozdu.

Na toplotni stres v mestih vplivajo tudi število, razmestitev in gostota dreves, skupine dreves in gozdnih zemljišč (Blažejczyk in Kunert 2006). PST je na golih zemljiščih v pozidanih bivalnih delih mest za 5–6 °C višja, v senčnih predelih pa 10 °C nižja kot je merjena na standardni meteorološki postaji. PET je veliko večji na asfaltu in betonu kot na drugih površinah, kot sta opeka in trave (Lin s sodelavci 2010).

3 Prilagoditve in obvladovanje

Mestni toplotni otok urejamo dolgoročno le s primernim prostorskim načrtovanjem, s katerim lahko tudi v mestu ustvarimo ugodnejše mikroklimatske razmere. Ti ukrepi zmanjšajo absorpcijo kratkovalovnega sevanja in s tem tudi zmanjšajo dolgovalovno sevanje tal ter omilijo antropogene vnose toplote zaradi industrije, prometa in stanovanjskih stavb.

Urbanizacija ustvarja veliko gostoto poselitve in stavb, vodi k zmanjševanju površine zelenih zemljišč in povezanosti med njimi ter posredno zmanjšuje biodiverzitetu in vpliva na vodni sistem, na primer poselitve na Ljubljanskem polju (Smrekar 2004) in Ljubljanskem barju (Gašperič 2004). Vse to povečuje toplotno kapaciteto oziroma sposobnost shranjevanja toplote čez dan in njenega oddajanja z dolgovalovnim sevanjem ponoči, zaradi česar se mestna območja tudi ponoči ne ohladijo.

Z nekaterimi ukrepi (preglednica 2) in prilagoditvami bivalnega okolja je mogoče omiliti negativen vpliv povečane temperature na kakovost življenja in zdravje prebivalcev v urbanih območjih. Ukrepi obsegajo predvsem vzpostavitev zelenih con, ureditev območij za pešce, uvedbo hladnih tlakov in gradnjo energetske varčnih stavb, ki imajo majhen toplotni vpliv na okolico, na primer stavbe z zelenimi strehami (Komac s sodelavci 2016).

Z ustreznim načrtovanjem lahko vplivamo na izbiro materialov, ozelenjevanje in usmerjanje zračnih tokov, ki so v mestih kanalizirani, vplivamo na količino absorbirane sončne energije ter s tem na temperaturo in vlažnost ozračja. Mikroklimatske razmere spreminjamo tudi z načrtovanjem ulične geometrije, orientacije stavb, različnimi gradbenimi materiali, skupinami in pasovi dreves, drugimi zelenimi površinami, kot tudi z barvo, strukturo in fizikalnimi lastnostmi umetnih materialov (preglednica 3; Erell, Pearlmuter in Williamson 2011).

Pogosta je tudi uvedba površin z nizko toplotno kapaciteto in visokim albedom, kot so vodne površine v podobi vodometov in vodnih zaves. Tovrstni posegi so dragi in dolgoročno izvedljivi le, če so ekonomsko sprejemljivi in ekološko vzdržni.

V mestnih središčih je problematika toplotnega otoka še večja zaradi manjših možnosti izmenjave zračnih gmot. Mestno središče mora biti zato povezano z obrobjem prek zelenih koridorjev, kot so parki in široke vpadnice. Tu je zelo pomembna vloga dolgoročnega prostorskega načrtovanja oziroma vzpostavitve ustreznih pravil glede gostote poselitve, njene usmerjenosti in opremljenosti mestnega prostora. Samodejna urbanizacija je namreč z vidika toplotnega otoka

Preglednica 2: Seznam ukrepov za obvladovanje in prilagajanje na učinke mestnega toplotnega otoka.

stavbe	
ukrep	pričakovani učinki
hladne strehe	visoka odbojnost (albedo) in znižanje toplotne emisivnosti/ zmanjševanje oddajanja toplote
zelene strehe	senčenje in povečanje evapotranspiracije
zelene fasade	zmanjšanje temperature okolja, senčenje, naravno hlajenje, zmanjšanje onesnaženosti zraka, energetska učinkovitost
ustrezen izbor fasadnih površin in konstrukcije fasad	zmanjšanje obremenitve zaradi hlajenja/ogrevanja, zmanjšanje temperature okolja, izboljšanje kakovosti fasade
geometrija ulice – urbanega koridorja	dovod svežega ali hladnega zraka v mesto
tlaki	
ukrep	pričakovani učinki
hladni tlaki	zmanjšanje temperature okolja
prepustni tlaki	urejanje hudourniških voda
zelena območja	
ukrep	pričakovani učinki
sajenje drevja v urbanem kanjonu parki, zelena območja	senčenje in višja evapotranspiracija, zmanjšanje poletnega viška temperature, zmanjšanje onesnaženosti zraka

Preglednica 3: Fizikalne značilnosti izbranih površin (Erell, Pearlmutter in Williamson 2011).

površina/material	albedo (α)	emisivnost (ϵ)
asfalt	0,05–0,20	0,95
beton	0,10–0,35	0,71–0,90
opeka	0,20–0,40	0,90–0,92
valovita pločevina	0,10–0,16	0,13–0,28
sveža bela barva	0,70–0,90	0,85–0,95
steklo	0,08	0,87–0,94
gozd	0,07–0,20	0,98
travnik	0,15–0,30	0,96
vlažna prst	0,10–0,25	0,98
suha prst	0,20–0,40	0,90–0,95

»grožnja« primestju, obenem pa tudi sama sebi. Ljubljana je lep primer zelenih »klinov« Rožnika in Grajskega hriba (slika 3).

V glavnem sta se uveljavila dva načina spopadanja z učinki mestnih toplotnih otokov, ki se v idealnih razmerah dopolnjujeta. Ponekod so ukrepi usmerjeni v prilagoditve urbanih struktur in spremembe v razmerju med pozidanimi in nepozidanimi zemljišči ter v prostorsko organizacijo prometnega omrežja. Drugje pa je poudarek na zelenih in vodnih zemljiščih znotraj mesta. Prostorski načrti bi zato morali spodbujati majhno število stavb z visoko toplotno kapaciteto, kot so trgovski centri (to se je pokazalo tudi na primeru Ljubljane), omejevati pozidavo zelenih zemljišč,



JURIJ SENEČAČNIK, ARHIV GIMNAZIJA SAZU

Slika 3: V Ljubljani so učinki MTO nižji tudi na račun zračnih koridorjev iz Rožnika prek parka Tivoli (v ospredju) proti središču mesta oziroma Stari Ljubljani pod vznožjem Grajskega hriba.

skrbeti za pestro prostorsko sestavo mest in nizke faktor poseljenosti (30–40 %), poudarjati oziroma spodbujati rabo zemljišč, ki so odporna na toplotni otok (zelena zemljišča in vodne površine), zmanjševati delež za vodo neprepustnih zemljišč in skrbeti za povezanost zelenih površin v mestu s tistimi na robu in izven njega (Stone in Norman 2006). V tem smislu je posebej pomembno sajenje dreves na »strateške« lege, kar dolgoročno vpliva na prostorsko organizacijo mesta s čimer znižujemo stroške ogrevanja in hlajenja za 10–20 % (Golden 2004).

Naslednji pomemben vidik možnih prilagoditev pa se osredotoča na vedenje prebivalcev. Pomembno je ozaveščanje prebivalcev (Smrekar s sodelavci 2016; EO Kids 2017) in dostopnost do osnovnih vremenskih informacij, ki pripomorejo k temu, da se ranljive skupine ljudi ne gibajo na območju MTO, kadar je zanje nevarno. Mestu toploto prispevajo številne človekove dejavnosti, med katerimi je pomemben tudi promet. Za obvladovanje toplotnega otoka je zato zelo pomembno ustrezno usmerjanje prometnih in migracijskih tokov v času povečane toplotne obremenitve.

4 Mestni toplotni otok v Ljubljani

Toplotni otok na območju Mestne občine Ljubljana so raziskali že leta 1997 v okviru projekta izdelave Karte klime (Jernej 2000). Hkrati so izdelali tudi smernice za prostorsko načrtovanje.

Za Ljubljano in Ljubljansko kotlino je na splošno značilna slaba prevetrenost. Ob anticiklonalnem tipu vremena so pogosti le krajevni vetrovi. Za Ljubljano je značilna največja pogostnost severovzhodnika (ob anticiklonalnem tipu vremena in po prehodu hladne fronte) ter jugozahodnika (pred prehodom hladne fronte). Vendar je severovzhodnik prisoten le v severnem in vzhodnem delu mesta, saj iz te smeri v mesto priteka hladnejši zrak iz okolice. Na južni strani mesta, na primer na Kolesiji in v Trnovem, pa piha v takem primeru veter južnih smeri, saj odteka iz ohlajenega Ljubljanskega barja zrak proti mestnemu središču (Jernej 2000).

Toplotni otok vpliva tudi na onesnaženost zraka, saj segrevanje mesta povzroča dviganje zraka nad mestom in zlasti mestnim središčem, spodbuja zračni dotok iz obrobja mesta, kar povečuje koncentracijo nečistih snovi v zraku v središču mesta. V mestih so dušikovi oksidi večinoma posledica prometnega onesnaževanja in proizvodnje toplote ter termoelektrarn. V svetu je približno 55 % celotnih izpustov NO_x posledica prometa, v Sloveniji je bil leta 2007 ta delež 56 %. Od tega prispeva tri četrtine (oziroma nekaj manj kot polovico vseh izpustov) cestni, četrtno pa ostali promet. Leta 2011 se je znižal delež celotnih izpustov NO_x zaradi prometa že na 54 % (Ogrin s sodelavci 2016).

V okviru projekta UHI smo ocenili intenzivnost mestnega toplotnega otoka za Ljubljano na temelju primerjave z zunajmestno meteorološko postajo Letališče Brnik (Komac s sodelavci 2016). Meteorološka postaja Ljubljana leži v mestu in je 1,5 km oddaljena od mestnega središča. Konec 20. stoletja so 70 m zahodno od nje zgradili stanovanjske bloke, kar je vplivalo na meritve temperature in vetra. Merilne naprave ležijo na 50 m × 70 m velikem travniku.

Meteorološka postaja Letališče Brnik leži na travnati ravnini 100 m severozahodno od letališke steze in je več kot kilometer oddaljena od najbližje stavbe in 500 m stran od najbližjega gozda. Zračna razdalja med obema postajama je 17 km, višinska razlika pa 65 m.

V obdobju 1980–2011 je bil učinek toplotnega otoka največji pri maksimalnih temperaturah (3,74 °C), nižji pa pri povprečni temperaturi (1,54 °C) in minimalnih temperaturah (0,79 °C). Opazili smo, da se razlike v tem obdobju povečujejo.

Podrobnejšo analizo za obdobje sedmih zaporednih vročih dni smo opravili poleti za obdobje 20.–26. avgusta 2011 (slika 4) z jasnim vremenom in nizko hitrostjo vetra (pod 5 m/s). V tem obdobju je bil severovzhodnik najpogostejši veter, skoraj enako pogostnost pa je imel v tem obdobju tudi severni veter. Skupaj s severozahodnim vetrom so vetrovi iz severnega kvadranta pihali 43 % časa. Vetrovi južnega kvadranta so pihali 39 % časa, vetrovi vzhodnega kvadranta 47 %, medtem ko z zahodnega le 25 % časa poletnega merilnega obdobja.

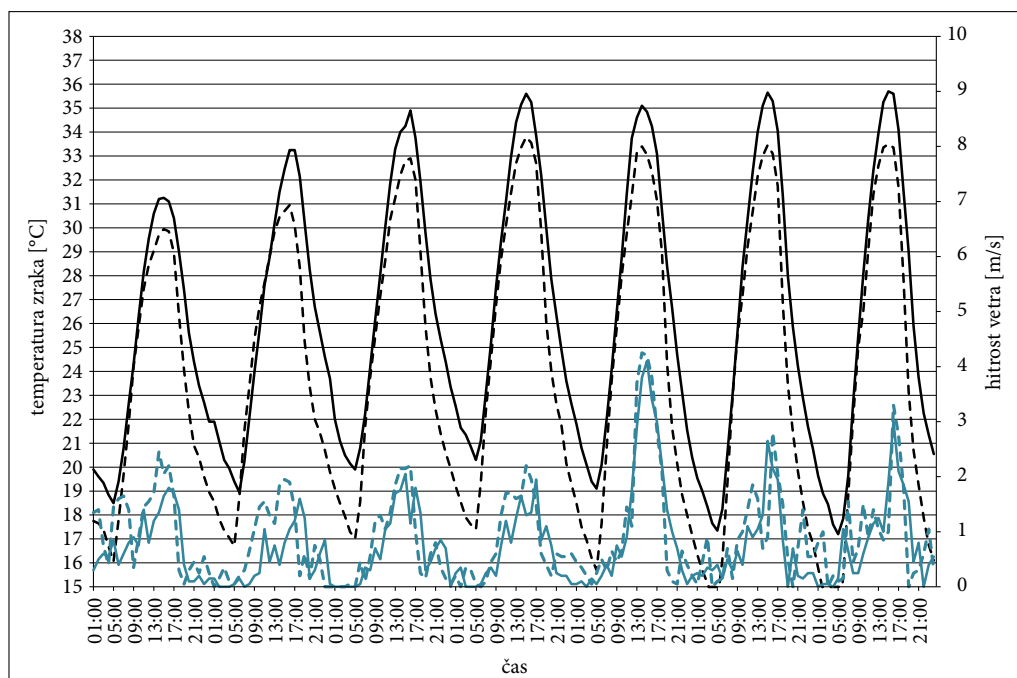
Intenzivnost mestnega toplotnega otoka je bila vsak dan podobna. Najnižja intenzivnost je bila zjutraj drugega dne (21. avgusta), ko se je segrevanje zraka na podeželski postaji začelo prej kot na urbani postaji in je bilo tudi precej hitrejše; vzrok je bila verjetno tanka plast megle, ki je bila zabeležena v okolici mestne postaje. Pred poldnevom je na območju mestne postaje postalo topleje, zvečer pa se je podeželska postaja bistveno hitreje ohladila. To je povzročilo, da je intenzivnost mestnega toplotnega otoka dosegla tretjo najvišjo vrednost v izbranem obdobju (4,95 K) (slika 5).

Nekoliko višja vlažnost zraka v primerjavi z naslednjimi dnevi v opazovanem obdobju je verjetno vzrok za nastanek tanke megle sredi noči, ki je zmanjšala hitrost ohlajanja zraka v urbanem okolju.

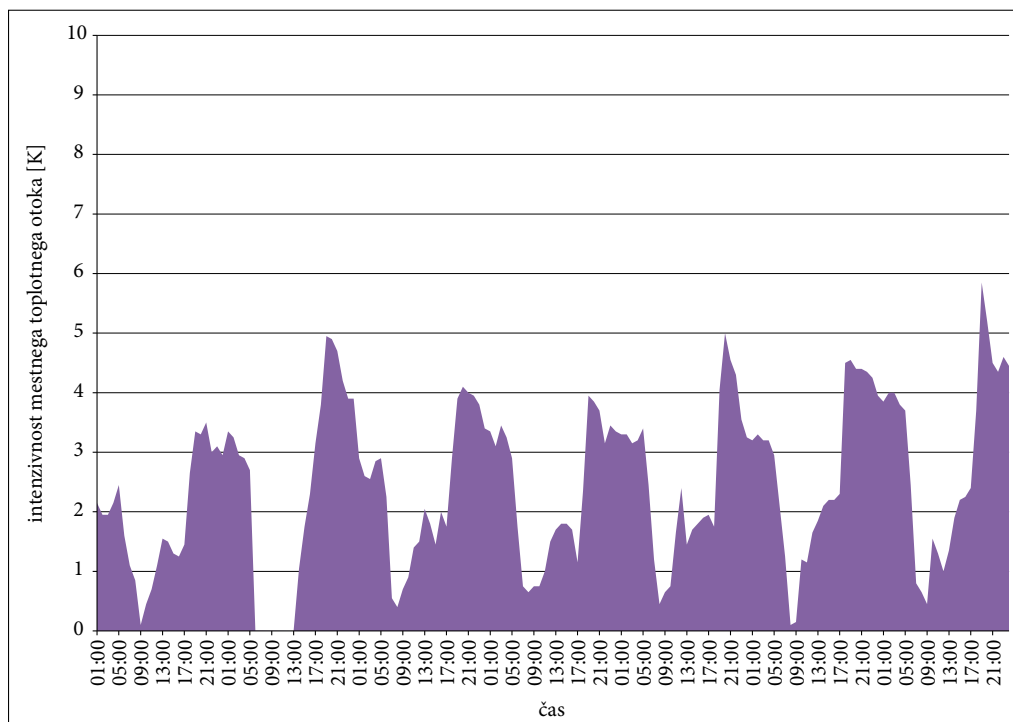
V celotnem obdobju so bile noči mirne in brez vetra, ob popoldnevih pa je veter na obeh postajah dosegel najvišjo hitrost okoli 2–3 m/s. V začetku izbranega obdobja je v višinah prevladoval šibek veter severovzhodne smeri, ki pa ni dosegel površja. Zato na nobeni od postaj nismo zabeležili stalnih severovzhodnih vetrov. Izmerjene razlike hitrosti vetra so bile tako posledica dnevnega ogrevanja in nočnega ohlajanja, ker je bilo v opazovanem obdobju nebo ves čas jasno.

Do največje anomalije vetra v izbranem obdobju je prišlo čez dan 24. avgusta, ko se je smer vetra v srednjih višinah spremenila v jugozahodno. Tudi vlažnost zraka je bila na obeh postajah v tem času najnižja. Šibek jugozahodni veter je pihal do konca izbranega obdobja in je poleg zelo nizke vlažnosti povzročil najnižje nočne temperature zlasti na podeželski postaji in je intenzivnost mestnega toplotnega otoka zrastle za 0,5–2 K (slika 4).

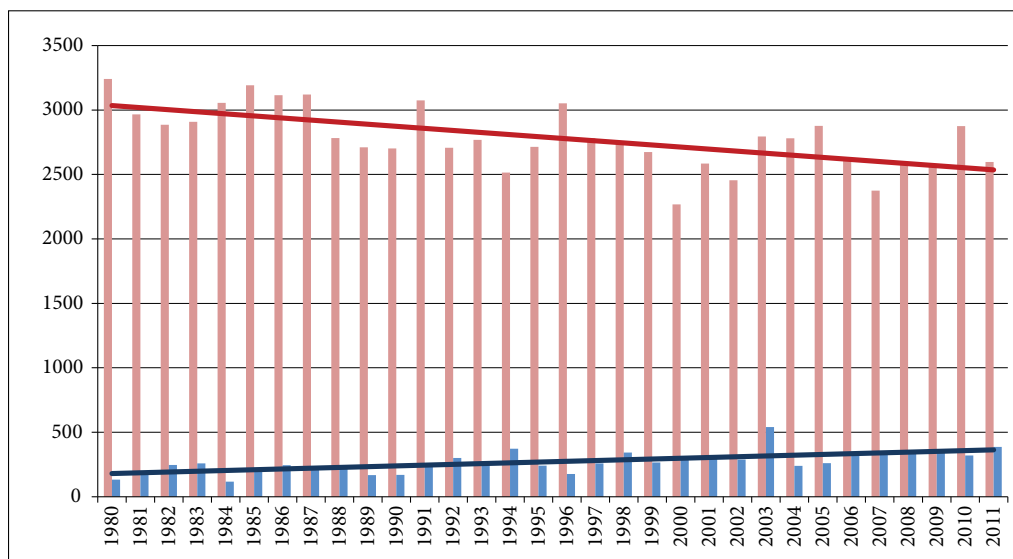
Energijo, ki jo porabimo za ogrevanje oziroma ohlajanje notranjih prostorov, lahko ocenimo s pomočjo temperaturnega primanjkljaja oziroma presežka s pomočjo stopinjskih dni. Temperaturni pri-



Slika 4: Potek temperature zraka in hitrost vetra na podeželski (Letališče Brnik) in mestni (Ljubljana Bežigrad) meteorološki postaji 20.–26. avgusta 2011. S črno barvo je označena temperatura, z modro barvo je označena hitrost vetra. Polna črta pomeni meritev v Ljubljani, prekinjena črta pa meritev na Brniku (Komac s sodelavci 2016).



Slika 5: Intenzivnost mestnega toplotnega otoka oziroma razlika med temperaturo zraka v mestu (Ljubljana Bežigrad) in na podeželju (Letališče Brnik) v dneh 20.–26. avgusta 2011 (Komac s sodelavci 2016).



Slika 6: Vsota stopinjskih dni ($^{\circ}\text{C}$) za ogrevanje (rdeča) in ohlajanje (modra) v Ljubljani (Komac s sodelavci 2016).

manjklaj/presežek ali vsota/razlika stopinjskih dni je vsota razlik zunanje temperature zraka (praviloma jo ponazarjamo s srednjo dnevno temperaturo zraka) in izbrane temperature v ogrevanem/hlajenem prostoru, in jo izračunamo za tiste dni, v katerih je povprečna dnevna temperatura zraka nižja ali višja od določene vrednosti. V okviru enega od delovnih sklopov projekta UHI smo za Ljubljano (Komac s sodelavci 2016) pripravili grafikon stopinjskih dni (slika 6) za ogrevanje (*heating degree days* – HDD) in ohlajanje (*cooling degree days* – CDD). Stopinjske dni izračunamo kot vsoto temperatur posameznih dni pod (ogrevalna sezona: srednja dnevna temperatura zraka 15 °C ali nižja) oziroma nad (hladilna sezona: srednja dnevna temperatura zraka 18,3 °C ali višja) določenim temperaturnim pragom (metodologija določanja pragov v projektu je povzeta po EUROSTAT-u (medmrežje 1)). Temperaturni primanjkljaj v ogrevalni sezoni in temperaturni presežek v hladilni sezoni v obdobju 1980–2011 kažeta vsakoletne energetske potrebe po ogrevanju oziroma hlajenju v Ljubljani. Trend energetskih potreb v zadnjih treh desetletjih po ogrevanju upada, po ohlajanju pa se povečuje, kar kaže na krepitev učinkov MTO.

5 Geografski informacijski sistemi in MTO

Napredek za razumevanje in možnosti obvladovanja mestnih toplotnih otokov in toplotnega stresa so prinesli geografski informacijski sistemi. Omogočajo analizo prihodnjega stanja in vpliva sprememb rabe zemljišč na podnebje mest. Spremljanje razvoja omogoča tudi uporaba cikličnih satelitskih podatkov o temperaturi tal, iz katerih je možno izračunati temperaturo ozračja (Zakšek in Oštir 2012).

Z geoinformacijskimi orodji lahko analiziramo aktualne razmere, dopolnimo pa jih s podnebnimi modeli, kot je odprtokodni program *ENVI-met* (medmrežje 2), ki smo ga uporabili na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU za analizo vpliva sprememb rabe zemljišč na delu Ljubljane. S programom *Envi-met* smo modelirali razvoj vremena na območju vzhodno od Gospodarskega razstavišča. Na preučevanem območju je pozidana petina zemljišč, prevladujejo 4-nadstropne stavbe, individualne hiše, nekaj pa je območij z višjimi stavbami. Povprečna višina stavb je 25–30 metrov, četrtina je nižja od 25 metrov. Prevladujejo stanovanjske stavbe, ki imajo v pritličju različne dejavnosti, kot so trgovine, restavracije in pisarne. Ob Dunajski cesti je glavno mestno razstavišče. Polovico območja prekrivata asfalt in beton, 28 % pa je zelenih zemljišč, med katerimi so tudi park Navje, park z otroškim igriščem in sadovnjak. V bližini je meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad. Za nekajdnevna obdobja februarja, maja, avgusta in novembra 2011 smo izvedli dve simulaciji višine toplotnega otoka za preučevano območje oziroma modelirali temperaturo zraka na višini 1,8 metra ob predpostavki uvedbe zelene in vodne površine.

V okviru projekta UHI so sodelavci Inštituta za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU za Mestno občino Ljubljana izvedli tudi satelitsko termično snemanje osrednjega dela mesta (Cedilnik, Oštir in Kokalj 2016; slika 7). Celoletne vroče točke so prepoznali predvsem na območju večjih skupin industrijskih obratov in nakupovalnih središč, izraziteje v severnem delu prestolnice, kot v južnem. Najbolj izstopajo trgovsko središče BTC ter okoliški industrijski obrati in skladišča, pas industrije in velikih prodajno skladiščnih poslopij za Bežigradom, območje Litostroja in Gorenja Tiki ter industrijski obrati in nakupovalno središče v Stegnah. Nekoliko manj pa nakupovalni središči na Rudniku in Viču ter vzhodni del industrijske cone Ježa. K temu prispevajo velike parkirne površine, ki absorbirajo ogromno toplote. V središču mesta so najtoplejši deli Pivovarna Union, Fakulteta za šport, okolica Nazorjeve ulice, Klinični center in železniški tiri ob glavni železniški postaji. Med »olajševalnimi okoliščinami«, ki zmanjšujejo toplotno kapaciteto omenjenih površin je dejstvo, da večinoma te niso ograjene z višjimi stavbami, kar omogoča njihovo boljšo prevetrenost in hitrejšo ohlajanje.

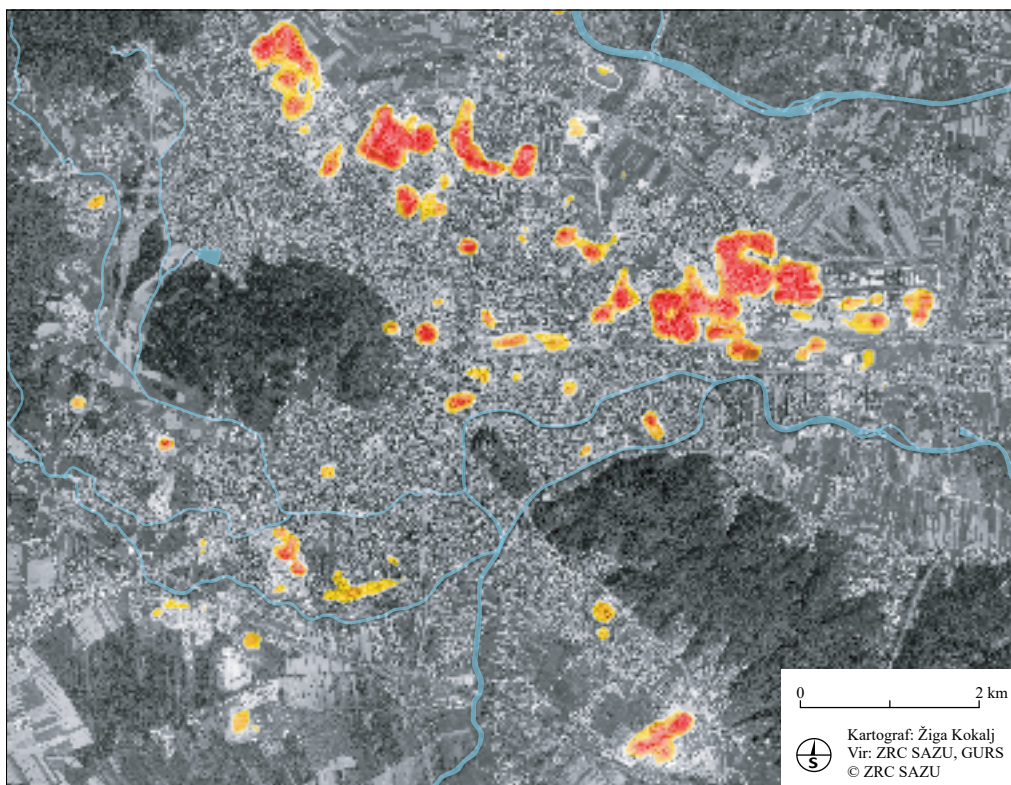
Za boljše obvladanje problema je ključno razumevanje vplivnih dejavnikov. V okviru projekta smo izdelali Atlas mestnega toplotnega otoka za Srednjo Evropo (*Central European Heat Island Atlas*), krajše poimenovan tudi Atlas UHI (Komac in Ciglič 2014; Ciglič in Komac 2015). To je orodje za predstavitev različnih dejavnikov, ki vplivajo na toplotni otok na območju Srednje Evrope.

Atlas UHI je dostopen na spletnem naslovu: <http://giam.zrc-sazu.si/sl/zbirka/uhi-atlas#v> oziroma <http://gismo.zrc-sazu.si/flexviewers/UHIAtlas/>. Atlas, ki pokriva območje Nemčije, Švice, Avstrije, Poljske, Češke, Slovaške, Madžarske, Slovenije, Hrvaške, Bosne in Hercegovine ter severne Italije, je namenjen pregledovanju različnih dejavnikov, ki vplivajo na nastanek in intenzivnost mestnega toplotnega otoka. Uporabnik lahko pregleduje različne podatkovne sloje, poizveduje za vrednostmi na posameznih lokacijah ter izriše graf s potekom povprečnih temperatur aprila in avgusta (ob 14. uri popoldne) na izbranem prerezu (slika 8).

Atlas vsebuje naslednje podatkovne sloje, ki pokrivajo celotno območje:

- nadmorska višina,
- vegetacijski indeks (normiran diferencialni vegetacijski indeks – NDVI),
- temperatura površja (tal),
- temperatura zraka na višini 2 metrov,
- pokrovnost tal,
- nočni satelitski posnetek.

Za vsa pilotna območja je na voljo tudi podatek o rabi tal.



Slika 7: Frekvenca pojavljanja zgornjih dveh odstotkov najvišjih temperatur na pozidanih območjih v Ljubljani. Pozidana zemljišča z veliko toplotno kapaciteto skozi celo leto presegajo povprečne temperaturne vrednosti in se v toplejšem delu leta pogosto pregrevaajo. To so tako imenovane vroče točke. Zemljevid je narejen na osnovi izračuna svetilne temperature tal iz šestih posnetkov termičnega senzorja TIRS na satelitu Landsat 8, ki so bili zajeti med aprilom 2013 in marcem 2014 (Cedilnik, Oštir in Kokalj 2016).

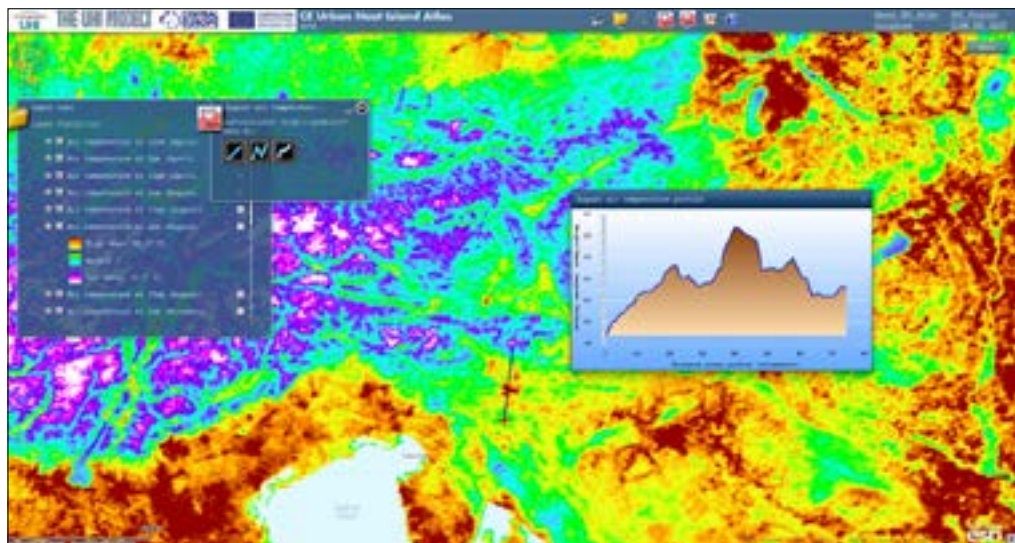
Nadmorska višina je eden izmed osnovnih dejavnikov za večino procesov in pojavov v naravi, zato smo podatkovni sloj digitalnega modela v višin vključili v Atlas UHI. Za predstavitev smo uporabili digitalni model višin, ki ga je pripravila vesoljska agencija NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) v okviru misije SRTM (*Shuttle radar topographic mission*). Podatkovni sloj ima na našem območju ločljivost približno 60×90 m. Podatke, iz katerih lahko nato izračunamo tudi druge spremenljivke, na primer naklon in ekspozicijo, lahko prenesemo s spletne strani CGIAR – *Consortium for Spatial Information* (Jarvis s sodelavci 2008).

Na mestni toplotni otok pomembno vpliva tudi prisotnost zelenih površin oziroma rastje. Ta dejavnik smo ponazorili s prikazom podatkovnih slojev **vegetacijskega indeksa (NDVI)**, ki prikazuje vitalnost rastja. V atlasu prikazujemo izbrana 16-dnevna povprečja indeksa, ki so jih pripravili na temelju satelitskih posnetkov senzorjev MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) za april, avgust in november. Ločljivost podatkov je 1 kilometer. Podatkovne sloje lahko prenesemo s spletne strani Ameriškega geološkega zavoda (*US Geological Survey*; Didan 2015a in 2015b).

Zemeljsko površje z dolgovalovnim sevanjem segreva ozračje, zato je **temperatura površja tal** neposredno povezana tudi z nastankom mestnega toplotnega otoka. V atlasu so zato predstavljeni podatkovni sloji, ki kažejo izbrana 8-dnevna povprečja temperature površja v različnih letnih časih (april, avgust, november). Ločljivost podatkov je 1 km. V atlasu so posebej prikazane vrednosti za nočni in dnevni čas. Povprečja smo pripravili na temelju satelitskih posnetkov senzorjev MODIS. Podatki jasno prikazujejo razlike v temperaturi med mestnimi in gozdnimi površinami. Podatkovne sloje lahko prenesemo s spletne strani Ameriškega geološkega zavoda (Wan, Hook in Hulley 2015a in 2015b).

Temeljni podatkovni sloj atlasa je **temperatura zraka na višini 2 m**. Temperatura je prikazana za izbrana 8-dnevna povprečja v aprilu, avgustu in novembru, in sicer ob 2., 10., 14. in 22. uri. Podatkovni sloji so bili pripravljene na temelju temperature površja tal, za izračun pa sta po metodi, ki jo je predstavil Colombi s sodelavci (2007), poskrbela Zakšek in Oštir (2012).

Glede na to, da se ozračje segreva prek temperature površja, ta pa je odvisna od **pokrovnosti** oziroma **rabe tal**, smo v atlas vključili tudi podatkovna sloja, ki kažeta pokrovnost tal in sicer



Slika 8: Atlas mestnega toplotnega otoka za Srednjo Evropo.

Corine (*Corine Land Cover*) za celotno obravnavano območje ter podrobnejši podatkovni sloj rabe tal mestnih območij *Urban Atlas* (Urban atlas 2010) za pilotna območja.

Pokrovnost tal *Corine* je na voljo kot rastrski podatkovni sloj v ločljivosti 100 m in je rezultat klasifikacije satelitskih slik SPOT 4 in 5 (francosko *Satellite Pour l'Observation de la Terre*) ter IRS P6 (*Indian Remote Sensing*). Podatek je na voljo na straneh Evropske okoljske agencije (*Corine ... 2012*). Podatke o rabi tal *Urban Atlas* so na voljo v merilu 1 : 10.000 in jih ponazarjamo v vektorskem zapisu. Podatki so na voljo za več kot 300 večjih evropskih mest. V atlasu smo ta podatek pripravili le za posamezna mestna pilotna območja. Podatki zbirke *Urban Atlas* so na voljo pri Evropski okoljski agenciji (Urban atlas 2010).

Nočni satelitski posnetek smo dodali v atlas, ker prikazuje, kje je večja zgostitev človekove dejavnosti. Posnetek ne podaja posameznih vrednosti kot drugi podatkovni sloji, temveč je prikazan zgolj kot poučna fotografija. S posnetka lahko razberemo večja mesta, prometno bolj obremenjena območja, večja industrijska območja in drugo. Posnetek so naredili s senzorjem VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) leta 2012 in ima ločljivost 750 metrov (Earth at night ... 2012).

Projektni partnerji so za svoja območja (Benetke, Bologna in Modena v Italiji, Budimpešta na Madžarskem, Stuttgart, Freiburg im Breisgau in Karlsruhe v Nemčiji, Ljubljana v Sloveniji, Praga na Češkem, Dunaj v Avstriji in Varšava na Poljskem) priskrbeli še dodatne, natančnejše podatkovne sloje, ki pa se med seboj vsebinsko precej razlikujejo in so uporabni predvsem kot posamezni študijski primeri za raziskovanje mestnega toplotnega otoka.

Za pilotni območji Bologna in Modena so tako na primer zbrane lokacije in podatki meteoroloških postaj ter postaj za spremljanje kakovosti zraka. Za območje Stuttgarta so predstavljeni fiziološki ekvivalenti temperature, za pilotno območje Varšave pa so na voljo različni indeksi (na primer indeks mestnega toplotnega otoka in univerzalni termalni klimatski indeks). Za Prago in Budimpešto so prikazani podrobni zemljevidi temperatur in padavin.

6 Sklep

Značilnosti mestnih toplotnih otokov, njihovi vzroki in posledice ter možnosti blaženja njihovih vplivov kažejo na to, da gre za zelo kompleksen pojav, ki prav zaradi svojih posebnosti marsikje še vedno ni prepoznan kot naravna nesreča. Morda tudi na račun nerednega pojavljanja pa tudi zaradi tega, ker je bolj kot materialna škoda izpostavljeno zdravje ljudi. Prav prek slednjega pa so že med vročinskimi valovi kot tudi po njih ogrožena človeška življenja, še posebej ranljivejših starostnih in socialnih skupin.

Preučevanje posameznih primerov mestnih toplotnih otokov kaže na to, da bodo morali na področju prostorskega načrtovanja ta pojav v prihodnje obravnavati enakovredno drugim naravnim nesrečam v mestih, pri čemer so nam lahko v veliko pomoč GIS-orodja, kot je na primer Atlas UHI. Pregledovalnik je namenjen najširšemu krogu zainteresiranih uporabnikov. Ne dvomimo, da je in bo med njimi tudi veliko takih, ki se pri svojem delu srečujejo s posledicami naravnih nesreč v mestih. MTO je tudi eden od številnih kazalnikov, ki potrjujejo obstoj podnebnih sprememb. S posodobitvijo podatkov in dodajanjem novejših vsebin, ki jih omogočajo čedalje bolj raznovrstne naprave in instrumenti za merjenje dejavnikov, ki vplivajo na pojav mestnih toplotnih otokov, bodo tovrstna načrtovalska orodja v prihodnje še pomembnejša. Prepoznavanje toplotnih otokov v posameznih mestih in določitev ukrepov za njihovo blaženje bi morali v prihodnje vključiti med obvezne sestavine lokalnih energetskih konceptov (LEK) mestnih in po potrebi tudi drugih občin, na območju katerih je prisoten toplotni otok.

Zahvala: Poglavje je nastalo v okviru projekta Evropskega teritorialnega sodelovanja Srednja Evropa: UHI – Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global urban heat islands/Razvoj in uporaba ublažitvenih ter prilagoditvenih strategij in ukrepov za lajšanje globalnega vpliva mestnih toplotnih otokov (1. 5. 2011–30. 4. 2014).

7 Viri in literatura

- Błażejczyk, K. 2002: Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej (Influence of air circulation and local factors on climate and bioclimate of Warsaw agglomeration). Dokumentacja Geograficzna 26.
- Błażejczyk, K., Kunert, A. 2006: Differentiation of bioclimatic conditions of urban areas (the case of Poland). 6th International Conference on Urban Climate. Göteborg.
- Cedilnik, R., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2016: Satelitsko termično snemanje Ljubljane. Digitalni podatki, GIS v Sloveniji 13. Ljubljana.
- Chow, W. T. L., Roth, M. 2006: Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. International Journal of Climatology 26.
- Ciglič, R., Komac, B. 2015: Central-European urban heat island atlas. Ljubljana. Medmrežje: <http://gismo.zrc-sazu.si/flexviewers/UHIAtlas/> (20. 1. 2017).
- Colombi, A., de Michele, C., Pepe, M., Rampini, A. 2007: Estimation of daily mean air temperature from MODIS LST in Alpine areas. EARSeL eProceedings 6. Medmrežje: http://eproceedings.org/static/vol06_1/06_1_colombi1.pdf (20. 1. 2017).
- Corine land cover 2006 raster data. The European Topic Centre on Spatial Information and Analysis, 2012. Medmrežje: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2> (7. 5. 2014).
- Coutts, A. M., Beringer, J., Jimi, S., Tapper, N. J. 2009: The urban heat island in Melbourne: drivers, spatial and temporal variability, and the vital role of stormwater. Albury-Wodonga.
- Didan, D. 2015a: MOD13A2 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Didan, D. 2015b: MYD13A2 MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Donoghue, E., Graham, M., Jentzen, J., Lifshultz, B., Luke, J., Mirchandani, H. 1997: Criteria for the diagnosis of heat related deaths. American Journal of Forensic Medicine and Pathology 18.
- Earth at night. NASA Earth observatory, 2012. Medmrežje: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/NightLights/page3.php> (2. 7. 2014).
- Ebi, K., Exuzides, K., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A. 2004: Weather changes associated with hospitalization for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. International Journal of Biometeorology 49.
- EO Kids. Urban Heat Islands. National Aeronautics and Space Administration, 2017. Medmrežje: http://earthobservatory.nasa.gov/eokids/pdf/EOKids_201701_UHI.pdf (20. 1. 2017).
- Erell, E., Pearlmuter, D., Williamson, T. 2011: Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings. London.
- Flynn, A., McGreevy, C., Mulkerrin, E. 2005: Why do older patients die in a heatwave? International Journal of Medicine 98.
- Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyaux, C., Clavel, J., Jougl, E., Hémon, D. 2006: Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. International Archives of Occupational and Environmental Health 80.
- Gartland, L. 2008: Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. London.
- Gašperič, P. 2004: Šritev Ljubljana na Ljubljansko barje. Acta geographica Slovenica 44-2.
- Golden, J. S. 2004: The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions – a sustainable urban engineering. Journal of Integrative Environmental Sciences 1-4.
- Haeger-Eugensson, M., Holmer, B. 1999: Advection caused by the urban heat island circulation as a regulating factor on the nocturnal urban heat island. International Journal of Climatology 19-9.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., Guevara, E. 2008: Hole-filled seamless SRTM data V4. International Centre for Tropical Agriculture. Medmrežje: <http://srtm.csi.cgiar.org> (20. 1. 2017).

- Jernej, S. 2000: Analiza klime mesta Ljubljane z dodatkom aplikacij za načrtovanje klimatskih izhodišč pri načrtovanju rabe prostora. Gradec.
- Khan, S., Simpson, R. 2001: Effect of a heat island on the meteorology of a complex urban airshed. *Boundary-Layer Meteorology* 100.
- Komac, B., Ciglič, R. 2014: Urban heat island atlas: a web tool for the determination and mitigation of Urban Heat Island effects. *Geographica Polonica* 874.
- Komac, B., Ciglič, R., Loose, A., Pavšek, M., Čermelj, S., Oštir, K., Kokalj, Ž., Topole, M. 2016: Urban heat island in the Ljubljana city. *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*. Cham.
- Kratzer, A. 1937: Das Stadtklima. *Die Wissenschaft* 90.
- Kunert, A. 2010: Modeling of UHCI index in various types of landscape. *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* 20.
- Lin, T. P., Matzarakis, A., Hwang, R. L., Huang, Y. C. 2010: Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort. *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* 20.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. 2010: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54-2.
- Medmrežje 1: http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_esdgr_esms.htm (13. 11. 2016).
- Medmrežje 2: <http://www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm> (13. 11. 2016).
- Ogrin, M., Vintar Mally, K., Planinšek, A., Gregorič, A., Drinovec, L., Močnik, G., Ogrin, D. 2016: Nitrogen dioxide and black carbon concentrations in Ljubljana. *GeograFF* 18. Ljubljana.
- Oke, T. R. 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7-8.
- Pavšek, M. 2011: Strokovne podlage za klimatsko zdravilišče v občini Kobarid. *Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana*.
- Smrekar, A. 2004: Reduced permeation of precipitation water into groundwater on Ljubljansko polje. *Acta geographica Slovenica* 44-2.
- Smrekar, A., Šmid Hribar, M., Erhartič, B. 2016: Stakeholder conflicts in the Tivoli, Rožnik Hill, and Šiška Hill Protected Landscape Area. *Acta geographica Slovenica* 56-2.
- Smrekar, A., Šmid Hribar, M., Tiran, J., Erhartič, B. 2016: A methodological basis for landscape interpretation: the case of the Ljubljana Marsh. *Acta geographica Slovenica* 56-2.
- Staiger, H., Laschewski, G., Grätz, A. 2012: The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology* 56-1.
- Stone, B., Norman, J. M. 2006: Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. *Atmospheric Environment* 40.
- Tiran, J. 2016: Merjenje kakovosti življenja v mestu: primer Ljubljane. *Acta geographica Slovenica* 56-1.
- Torok, S., Morris, C., Skinner, C., Plummer, N. 2001: Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine* 50-1.
- Urban atlas. Directorate-General Enterprise and Industry, 2010. Medmrežje: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas> (20. 1. 2017).
- Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., Riberon, J., Siberan, I., Declercq, B., Ledrans, M. 2006: August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *European Journal of Public Health* 16.
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. 2015a: MOD11A2 MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. 2015b: MYD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

- WHO – World Health Organization: United Nations Environment Programme. Indoor environment: health aspects of air quality, thermal environment, light and noise. Ženeva, 1990.
- Wilby, R. L. 2003: Past and projected trends in London's urban heat island. *Weather* 58.
- Zakšek, K., Oštir, K. 2012: Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis. *Remote Sensing of Environments* 117.

POMEN HIDROLOŠKE NAPOVEDI ZA UČINKOVIT ODZIV OB MESTNIH POPLAVAH

mag. Nejc Pogačnik

Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
nejc.pogacnik@gov.si

IZVLEČEK

Pomen hidrološke napovedi za učinkovit odziv ob mestnih poplavah

Kakovosten in operativen sistem za hidrološko napovedovanje (HPS) je eden od osnovnih negradbenih ukrepov za pripravo in odziv na poplavne dogodke. Doseganje učinka z napovedovanjem je pogojeno s spremljanjem in preverjanjem numeričnih rezultatov napovedovanja. Relativna operativna karakteristika (ROC) in diagram zanesljivosti so za prikaz zanesljivosti pravilne napovedi v operativnem smislu visokovodnih dogodkov bolj primerni kot klasični hidrološki kazalniki Nash-Sutcliffe ali Kling-Gubta. Izdelana in ovrednotena ocena kakovosti napovedovanja omogoča tudi zasnovo razvoja delovanja sistema zaščite in reševanja v smeri prognostično opozorilno odzivnega sistema (POOS). Poplavna ogroženost urbanih območij je še bolj podvržena pravočasnemu in ustreznemu ukrepanju v okvirih standardnih operativnih postopkov, ki so pogojeni z izhodiščno oceno pravočasne in kakovostne vodoslovske napovedi.

KLJUČNE BESEDE

hidrološko napovedovanje, opozarjanje, preverjanje kakovosti, zanesljivost napovedi, odziv

ABSTRACT

Value of flood forecasting for efficient response in urban flooding

Quality of operational flood forecasting system (FFS) is the essential component for efficient nonstructural response to the foreseen flood events. Achieving good forecasts is mostly connected to verification and quality control of the models' results. Relative operating characteristics (ROC) and reliability diagram show usefulness in operational services. Nash-Sutcliffe (NSE) or Kling-Gubta efficiency (KGE) are seen far more useful in calibration process. The estimation of forecast quality can have a huge impact also on the development of response system. The developed and quality of flood forecasting defines the conditions to improve current flood response system towards integration of flood forecasting, warning and response (FFWRS) structure. The response in urban flooding is at the end mostly influenced by the strength of the FFWRS structure and its standard operational procedures with sufficient warning time and forecast quality.

KEY WORDS

flood forecasting, warning, forecast quality, reliability of forecasts, response

1 Uvod

Klasična hidrološka znanja temeljijo na analizi in izbiri prevzetega tveganja. Z izbiro tega določimo projektni pretok na katerega urejamo varovanje določenih območij. Projektni pretok tako zagotavlja osnovo za dimenzionirane protipoplavne gradbene ukrepe. Z določitvijo privzetega tveganja se zavestno odločimo, kakšne so sprejemljive posledice v primeru prekoračitve pretoka ali nastopu višje sile. Takšen primer višje sile (ujme) smo v Sloveniji doživeli v letih 1990, 1998, 2007, 2009, 2010, 2012, 2014, pri čemer je škoda od leta 2007 dosegla že okrog 1,5 milijarde evrov. Različni avtorji opisujejo dogodke, ko posamezni izredni in redki dogodki presežejo projektni pretok. Takrat ni mogoče več pričakovati delovanja obstoječe poplavno zaščitne infrastrukture. Ob takšnih dogodkih pogosto ugotavljamo nepripravljenost prebivalstva in mnogo višjo škodo, saj se prebivalstvo zanaša na stalno delovanje vodnogospodarske infrastrukture. To je predvsem značilno za mestna okolja.

Različni avtorji priporočajo uporabo kombinacij različnih protipoplavnih ukrepov, tako gradbenih kot negradbenih. S spremembo razmišljanja in ovrednotenjem vseh dejavnosti v prostoru, za zagotavljanje trajnostnega pristopa, je treba preostalo tveganja reševati s pomočjo predhodne pripravljenosti in razvijanjem sistemov za predvidevanje.

Pri tem poudarjamo, da ima s področja negradbenih ukrepov morda najpomembnejšo vlogo sistem za napovedovanje visokih voda in opozarjanje, ki predvsem omogoča bistveno višjo stopnjo varovanja v primeru nastopa pogostih poplavnih dogodkov, kot tudi ob izrednih, redkih poplavnih dogodkih, ki v veliki meri sodijo v območje preostalega tveganja.

Mestne poplave se pojavljajo v mestih zaradi omejene zmožnosti sistemov za odvajanje vode, saj se pri projektiranju odvodne infrastrukture načrtno odloča o projektnem odtoku. Ta tip poplav se pojavi ob lokalnih neurjih, ko v kratkem času pade velika količina padavin. Voda lahko, zaradi hitrega odtekanja iz utrjenih površin, poplavi kanalizacijski in meteorni sistem, saj so odvodni (kanalizacijski, meteorni) sistemi dimenzionirani na pretoke z dvoletno (Q_2) in petletno povratno dobo (Q_5) ter večjih padavin ne zmorejo odvajati. V primeru mestnih poplav se obravnava predvsem dogodke, ki bi jih v okviru projektive razvrstili v območje preostale nevarnosti. Obenem so poplave v urbanih, mestnih območjih pogosto sestavljenega tipa, saj so največkrat povezane s hudourniški ali »klasičnimi« rečnimi poplavami. Izrazitejše primere sestavljenega tipa poplav smo v mestnem okolju videli na primer v Žireh in Ljubljani leta 2014 ter v Prevaljah in okolici Mežice leta 2016.

Obravnava visokovodnih ali hidroloških prognostičnih sistemov je pomembna zaradi zagotavljanja stalnega spremljanja stanja voda. Pri tem nam različni indikatorji kakovosti ali preverjanja delovanja omogočajo nadzor in spremljanje napredka.

V Sloveniji se je na Agenciji Republike Slovenije za okolje hidrološki prognostični sistem pričel razvijati leta 2006. Večji napredek je bil storjen v okviru projekta BOBER, ko je bilo v začetku leta 2015 v hidrološkem prognostičnem sistemu s hidrološko-hidravličnimi modeli vzpostavljeno operativno delovanje za celotno ozemlje države.

Dodatno bi lahko sistem za hidrološko napovedovanje uporabili tudi pri upravljanju z vodnimi viri, na primer pri namakanju, proizvodnji električne energije ali predvidenih potrebah pri upravljanju zadrževalnikov ob visokih vodah. Uporabimo ga lahko tudi za reševanje sporov med različnimi deležniki glede uporabe vode. Ne glede na to pa je temeljni cilj sistema, zaradi potencialno najvišjih stroškov in škod, zagotavljanje numeričnih hidroloških napovedi, kot izhodišče za opozarjanje pred škodljivim delovanjem voda.

2 Razvoj hidrološko prognostično opozorilno odzivnega sistema

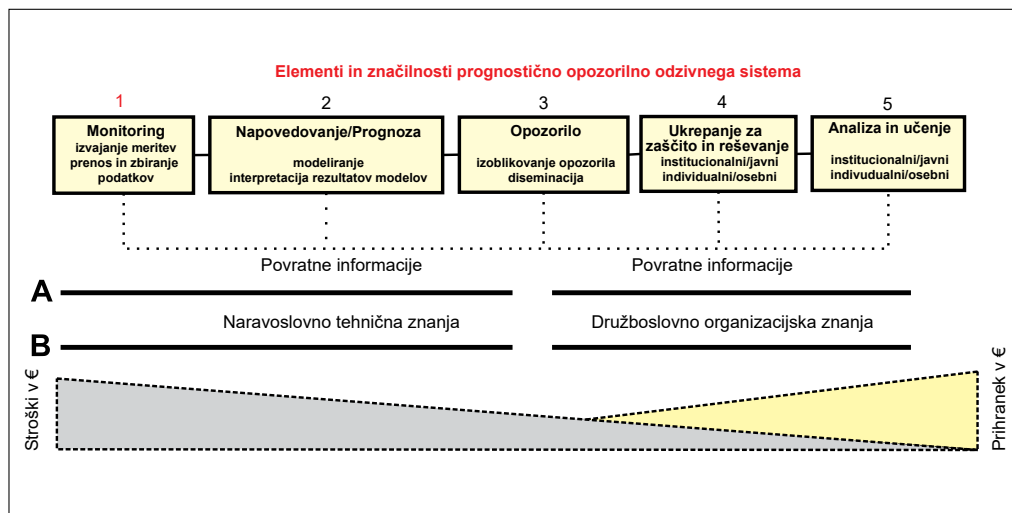
Vzpostavitev in ohranjanje uspešno delujočega sistema za hidrološko napovedovanje in opozarjanje zahteva monitoring ter zbiranje podatkov v realnem času, modelska numerična orodja in usposobljene strokovnjake za ohranjanje delovanja sistema ter izdajo opozoril. Cilj hidrološkega/meteorološkega napovedovanja je priprava opozoril z dovoljšnim opozorilnim časom, ki bo omogočil odziv in zaščito/reševanje ogroženih skupin. S tem, ko visokovodnim napovedim podaljšujemo opozorilni čas, se poveča potencial za omejevanje škodnega delovanja voda. Pogostejše, ko so napovedi točne, učinkovitejši postane odziv, saj prebivalci pričnejo napovedim zaupati.

Hidrološki prognostični in opozorilni sistem je le del širše organizacijske strukture javnih služb za varstvo pred škodljivim delovanjem voda in drugih naravnih nesreč. S pomočjo razvoja Prognostično opozorilno odzivnega sistema (v nadaljevanju POOS) (Parker 2003; Pogačnik 2009; 2016) bi lahko prešli na neposredno krizno upravljanje s poplavnimi dogodki, kar pa je deloma pogojeno tudi z oceno kakovosti numeričnega hidrološkega napovedovanja. V obstoječi zakonski ureditvi za vse naloge v okvirih predlaganega procesa POOS skrbita Agencija Republike Slovenije za okolje in Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje.

Predvsem pri dogodkih, kjer so poplavni dogodki kratki in povezani z izpostavljenostjo strnjenih/mestnih naselij, je še toliko bolj izpostavljena potreba po dobro organiziranem sistemu. Kakovost napovedi je lahko omejitveni dejavnik pri odločanju o sprožitvi.

Vzpostavitev in delovanje celotnega procesa hidrološkega napovedovanja in opozarjanja ter vključevanje odziva sestavljajo številni podprocesi, kjer mora vsak del iz sheme (slika 1) opraviiti svoje naloge, v kolikor želimo zagotoviti:

- izogibanje poškodbam, stresu, boleznim zaradi učinkov ujme in smrtnim žrtvam,
- zmanjševanje škode v zasebnem in javnem sektorju,
- zmanjševanje škode v industriji in kmetijstvu,
- zmanjševanje vpliva na sekundarni in terciarni sektor gospodarstva,
- povečano občinsko, regionalno in državno varnost,
- boljše meddržavno sodelovanje ob poplavah.



Slika 1: Prognostično opozorilno odzivni sistem (prirejeno po Parkerju 2003).

3 Kakovost hidrološke napovedi

Allan H. Murphy na več načinov obravnava kakovost, učinkovitost in ciljno usmerjenost napovedovanja vremena. V delu iz leta 1993 se sprašuje, kaj je dobra napoved. Opreдели tri vidike dobre napovedi:

- doslednost – stopnja ustreznosti napovedi v odvisnosti od najboljše presoje strokovnjaka, ki temelji na izkušnjah o preteklih dogodkih in znanju;
- kakovost – stopnja ustreznosti napovedi glede na dejanske izmerjene vrednosti oziroma zaznane dogodke;
- vrednost – pomen, ki ga ima napoved za odločevalca oziroma vodjo intervencije za organizacijo odziva in s tem povezanim zmanjševanjem škode.

Pri hidrološkem napovedovanju je takšno obliko izpostavil že Bernard (1939). Danes je postalo vprašanje koristnosti napovedi tudi pomemben vidik v dokumentih Združenih narodov, na primer Priporočila Združenih narodov za zmanjševanje tveganj pri naravnih nesrečah iz Sandai-a (Sendai ... 2015). Priporočila imajo danes vodilno vlogo pri umeščanju vsebin in opredeljevanju pogojev za doseganje učinkovitosti hidroloških napovedi.

Kakovost napovedi je predpogoj za učinkovitost. Pri analizi kakovosti lahko ocenjujemo ali je napoved kvalitativna (»Ali izgleda v redu?«) ali kvantitativna (»Kako točna je bila?«). V vsakem primeru lahko izluščimo informacijo o naravi netočne napovedi, kar je pomembno z vidika razvoja. Trije najpomembnejši razlogi za preverjanje hidrološke napovedi so (Jolliffe in Stephenson 2003):

- spremljanje kakovosti napovedi: kako natančne so napovedi in ali se izboljšujejo s časom;
- izboljšanje kakovosti napovedi: prvi korak k boljšim rešitvam je ugotovitev, kaj delamo narobe;
- primerjava kakovosti različnih napovedanih sistemov: koliko se sistemi razlikujejo, kateri sistem da boljše napovedi in na kakšen način oziroma zakaj je ta sistem boljši.

Pogosto je mogoče preiti iz ene vrste napovedi v drugo preprosto s preureditvijo, kategorizacijo ali spreminjanjem mejnih vrednosti. Tako lahko za ocenjevanje časovnih vrst uporabimo vizualne, binomne, frekvenčne, zvezne in verjetnostne metode preverjanja (verifikacije), v odvisnosti od potreb in ciljev. Pri tem moramo skrbeti za obravnavo vseh tipov poplav.

4 Metode ocenjevanja kakovosti napovedi

Najstarejša in še vedno ena izmed najboljših metod preverjanja je dobra vizualna presoja strokovnjaka (»ocena na palec«), pri čemer primerjamo izdelano napoved, meritve in poznavanje delovanja modelov. Med pravimi in napačnimi napovedmi ločimo na podlagi subjektivnosti, ki temelji na podlagi znanja in pridobljenih izkušenj. Najpogosteje predstavljamo rezultate z uporabo časovne serije in prostorsko v obliki zemljevidov. Metoda vizualne presoje je lahko zadovoljiva, če je na razpolago le nekaj napovedi ter dovolj časa. Kljub temu je treba za enotno oceno kakovosti opredeliti objektivno analizo, ki omogoča nepristransko razumevanje.

Uporabimo lahko klasične metode zveznega preverjanja: mediana, povprečje ali absolutna napaka, glede velikih pretokov nam največ pove kvadratni koren povprečne kvadratne napake, ki govori o odstopanju napovedane vrednosti od izmerjene. Poleg tega moramo upoštevati korelacijo, determinacijo in klasične hidrološke kazalnike, kot so vodna bilanca, delež pravilne napovedi volumna (VE), kazalnik Nash-Sutcliffe (NSE; Nash in Sutcliffe 1970) ali kazalnik Kling-Gupta (KGE; Gupta in ostali 2009). Predvsem zadnji kazalnik v Sloveniji ni pogosto uporabljen, omogoča pa podrobnejši vpogled v strukturo modela.

Zakovitosti merila so podane v naslednjih enačbah:

$$KGE = 1 - ED \quad (1),$$

$$ED = \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (2),$$

$$\alpha = \frac{\sigma_F}{\sigma_Q} \quad (3),$$

$$\beta = \frac{\bar{F}}{\bar{Q}} \quad (4),$$

kjer so:

- r - korelacijski koeficient,
- $\bar{Q}$ - povprečje opazovanega pretoka (m^3/s),
- $\bar{F}$ - povprečje napovedanega/simuliranega pretoka (m^3/s),
- α - razmerje standardne deviacije med simulacijo in opazovanji,
- β - razmerje med povprečnimi vrednostmi simulacije in opazovanji,
- σ_F - standardni odklon simuliranih/napovedanih vrednosti,
- σ_Q - standardni odklon opazovanih ali izmerjenih vrednosti,
- KGE - kazalnik Kling-Gupta,
- ED - Evklidska razdalja od idealne točke.

Ti podatki omogočajo osnovno razlago učinkovitosti delovanja posameznih sistemov na različnih prognozičnih točkah, v različnih obdobjih, v različnih modelskih postavitvah in za izbran časovni doseg. Kljub temu so merila zveznega preverjanja pravilnosti napovedi z vidika ocene napovedi nekoliko manj primerna kot enostavnejša in preglednejša binomska analiza kakovosti napovedi, s katero lahko kakovostno ocenjujemo učinkovitost delovanja numeričnih simulacij in izbrane napovedi glede na posamezne razrede. Preko deleža zadetkov ali verjetnosti pravilne napovedi (POD) in verjetnosti napačne (POFD) napovedi lahko oblikujemo ROC krivuljo (angleško *receiver operational characteristics*), s katero lahko grafično prikažemo ravnotežje med pozitivno in negativno stopnjo klasifikatorja:

$$\text{delež zadetkov (POD)} = \frac{\text{zadetki}}{\text{zadetki} + \text{nenapovedano}} \quad (5),$$

$$\text{verjetnost napačne napovedi (POFD)} = \frac{\text{napačne napovedi}}{\text{napačne napovedi} + \text{pravilna negacija}} \quad (6).$$

Podobno vlogo ima diagram zanesljivosti, kjer se prikazuje razmerje med relativno porazdelitvijo opazovanj v primerjavi z relativno porazdelitvijo modelske napovedi glede na opredeljene časovne dosege in/ali območje ter obdobje pretokov. Ciljno ali željeno stanje je, da se vse razredne točke približajo diagonali kvadrata na diagramu. Bolj, ko krivulje odstopajo, slabši so rezultati.

5 Testna analiza kakovosti delovanja hidrološkega prognozičnega sistema (HPS) na vodomerni postaji Sora Suha

V analizi so bili uporabljeni podatki za obdobje 30. 1. 2014–1. 4. 2016 za numerično točko napovedi in vodomerno postajo Suha na reki Sori. V tem obdobju smo analizirali štiri modelske zasnove (Sava1, Sava1n, Sava4 in Sava4n) sistema za hidrološko napovedovanje. Osnovna razlika

med modeli je: črka *n* v imenu modela opredeljuje izvzetost delovanja podatkovne asimilacije v hidrološkem modelu, pri čemer so meteorološki vhodni podatki popolnoma enaki. Modelska zasnova Sava1 kot podatkovne vire pridobi točkovne meritve padavin, temperature ter podatke modela *Aladin/SI* in *ECMWF*. Model Sava4 za napovedovanje uporabi napovedi modela *Aladin/ECDA*. Ključna razlika med meteorološkima modeloma je v povečanju števila računskih točk modela *Aladin/ECDA* ter v podatkovni asimilaciji izmerjenih podatkov iz meteorološke merilne mreže. Preostali elementi obravnavanih modelskih zasnov so enaki. V arhiv izračunanih simulacij se zapisujejo rezultati štirih izračunov dnevno in sicer ob: 1., 7., 13., in 19. uri dneva v času UTC+1 ali CET. Časovni doseg vseh shranjenih simulacij je 144 ur, od 0 do +72 ur *Aladin/SI* in od +72 do +144 *ECMWF*. Za sam prikaz analize nas zanimajo rezultati do največ +72 ur. V tem časovnem dosegu lahko pogledamo razliko med rezultati uporabljenih meteoroloških modelov *Aladin/SI* in *Aladin/ECDA*. Analiza napovedi je opredeljena na različne časovne dosege simulacije v razmiku 12 ur. Za lažje razumevanje podajmo opisni primer. Pri časovni simulaciji 1. 3. 2016 01:00 CET in časovnem dosegu simulacije +12 ur pomeni, da je to podatek v času CET 1. 3. 2016 13:00, ki ga lahko primerjamo z dejansko izmerjenim podatkom na vodomerni postaji ob CET času 1. 3. 2016 13:00.

V opazovanem obdobju se je večina visokih vod leta 2014 zgodila jeseni in zgodaj pozimi. Leta 2014 je bilo skupno 83 dni, ko so na vsaj enem porečju v Sloveniji veljale visokovodne hidrološke razmere. Avgusta so bile hudourniške poplave omejene na manjša območja, vendar so kljub temu na območju Polhograjskega in Škofjeloškega hribovja povzročile večjo škodo. Septembra je poplavljala reka Mura, katere pretok se je po letu 2005 ponovno približal najvišji izmerjeni vrednosti iz leta 1946; pretok je bil $1327 \text{ m}^3/\text{s}$. Konec oktobra so izdatne in močne padavine zajele pas od Cerkljanskega, prek Polhograjskega hribovja, do severnega roba Ljubljanskega polja. Močno so poplavljali Poljanska Sora in njeni hudourniški pritoki ter Gradaščica s pritoki. Škoda na območju Poljanske doline in širšega območja Polhovega Gradca je bila velika. Poplavljeno je bilo tudi strnjeno urbanizirano območje jugozahodnega dela Ljubljane (Golob in Polajnar 2015).

Na porečju reke Sore so bili dogodki leta 2014 zelo dinamični, medtem ko leta 2015 ni bilo visokih vod. Če podrobneje pogledamo podatke, sta bila le dva dogodka, kjer je pretok na vodomerni postaji Sora Suha presegel $200 \text{ m}^3/\text{s}$ in sicer 26. 6. 2015 ter 15. 10. 2015. Leta 2016 je bil do konca marca največji pretok $244 \text{ m}^3/\text{s}$ in sicer 12. 1. 2016.

Aritmetična sredina ali povprečje izmerjenih pretokov v obdobju 1953–2012 je $19,7 \text{ m}^3/\text{s}$, zato aritmetična sredina v opazovanem obdobju z vrednostjo $21,62 \text{ m}^3/\text{s}$ nekoliko pozitivno odstopa od letnega obdobjnega povprečja. Pomembno je ujemanje med povprečjem izmerjenih pretokov

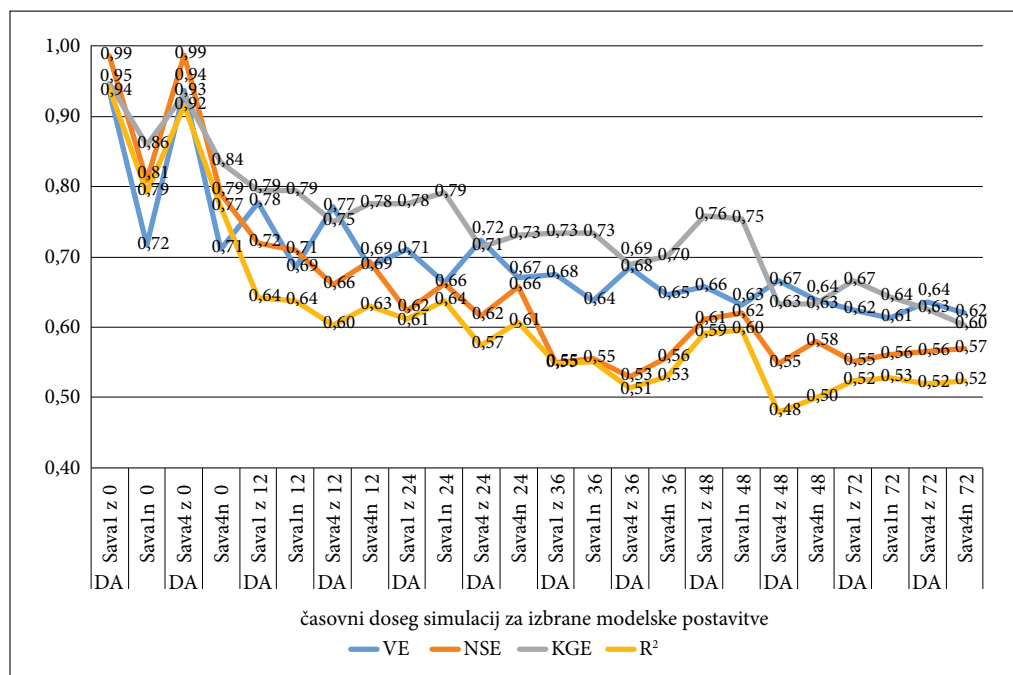


Slika 2: Razmere ob poplavah oktobra 2014 v porečju Sore (Poljane nad Škofjo Loko, Poljanska Sora v Zmincu) (medmrežje 1).

in različnimi časovnimi dosegmi preostalih modelskih zasnov. Pri tem nam mediana z majhnimi odstopanji kaže na ustrezno porazdelitev obravnavanih časovnih vrst. Če pogledamo standardni odklon, nam modelski rezultati nakazujejo zmanjševanje raztrosa s povečevanjem časovnega dosega simulacij in hkrati povečevanje absolutne povprečne napake, ki se zaradi hudourniškega značaja že po 12 urah močno poveča. Kvadratni koren povprečne kvadratne napake (RMSE), ki v hidrološkem smislu opredeljuje odstopanje velikih pretokov, kaže na ustrezne rezultate modela le z izmerjenimi podatki, medtem ko je odstopanje močnejše že takoj po 12 urah, kar se lahko pri hudourniškem značaju reke Sore tudi pričakuje.

Pomembno je tudi spremljanje največje negativne, pozitivne in absolutne napake, ki podaja največji možen razpon rešitev. Širok razpon napak nakazuje ločljivost modela, deloma tudi ostrino, a majhno zanesljivost, natančnost ter povečano negotovost modelskih rezultatov. Kvadratni koren povprečne kvadratne napake nam okvirno opredeljuje napako v območju večjih pretokov. Vsi predstavljeni podatki pa vsebujejo močan vpliv nizkih pretokov in le nakazujejo splošen trend modela. Pogosto uporabljena merila učinkovitosti delovanja modelov so prikazana na sliki 3.

V splošnem model lepo ponazori le simulirane vrednosti s podatkovno asimilacijo, pri čemer je učinkovitost veliko nižja brez podatkovne asimilacije v trenutnem času. S povečevanjem časovnega dosega učinkovitost glede na koeficient Nash-Sutcliffe (NSE) in koeficient Kling-Gubta (KGE) že v prvih 12 urah upade na 0,68 (NSE) in 0,79 (KGE) iz 0,81 (NSE) ter 0,86 (KGE) pri simulaciji brez podatkovne asimilacije. Ko primerjamo simulacijo s časovnim dosegom dveh dni v primerjavi z izmerjenimi vrednostmi, upadeta obe merili še za približno 10 %. Slika 3 vpliv podatkovne asimilacije in postopnega upada kakovosti oziroma učinkovitosti napovedi s podaljševanjem časovnega dosega simulacije.

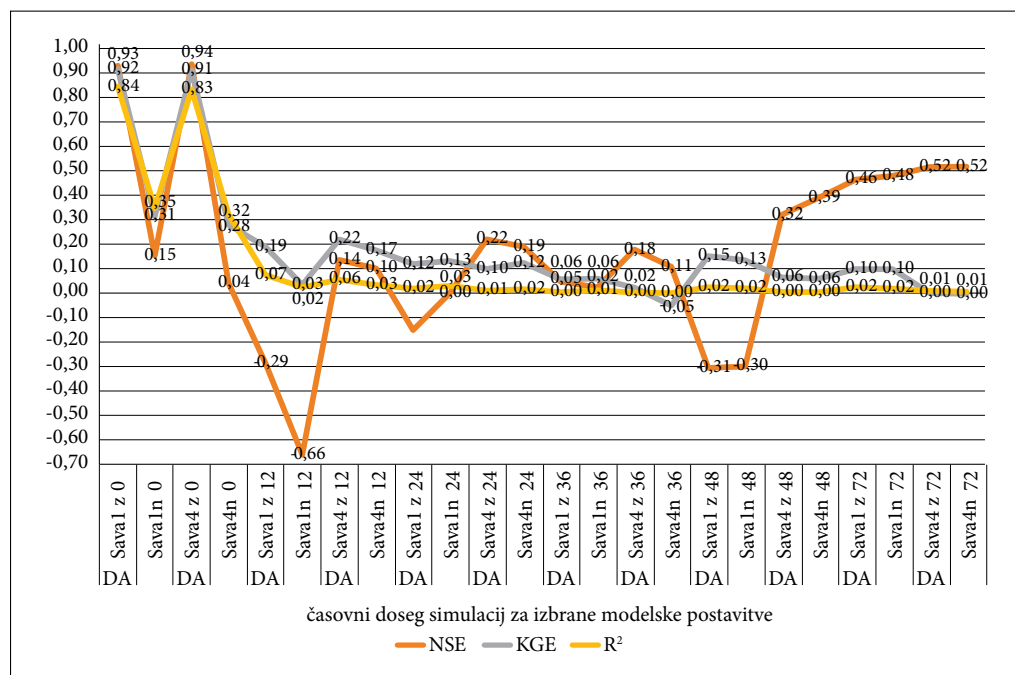


Slika 3: Merila (VE, NSE, KGE, R^2) kakovosti napovedi s povečevanjem časovnega dosega za izbrane modelske zasnove za obdobje 14. 1. 2014–29. 2. 2016, vodomerna postaja Sora Suha.

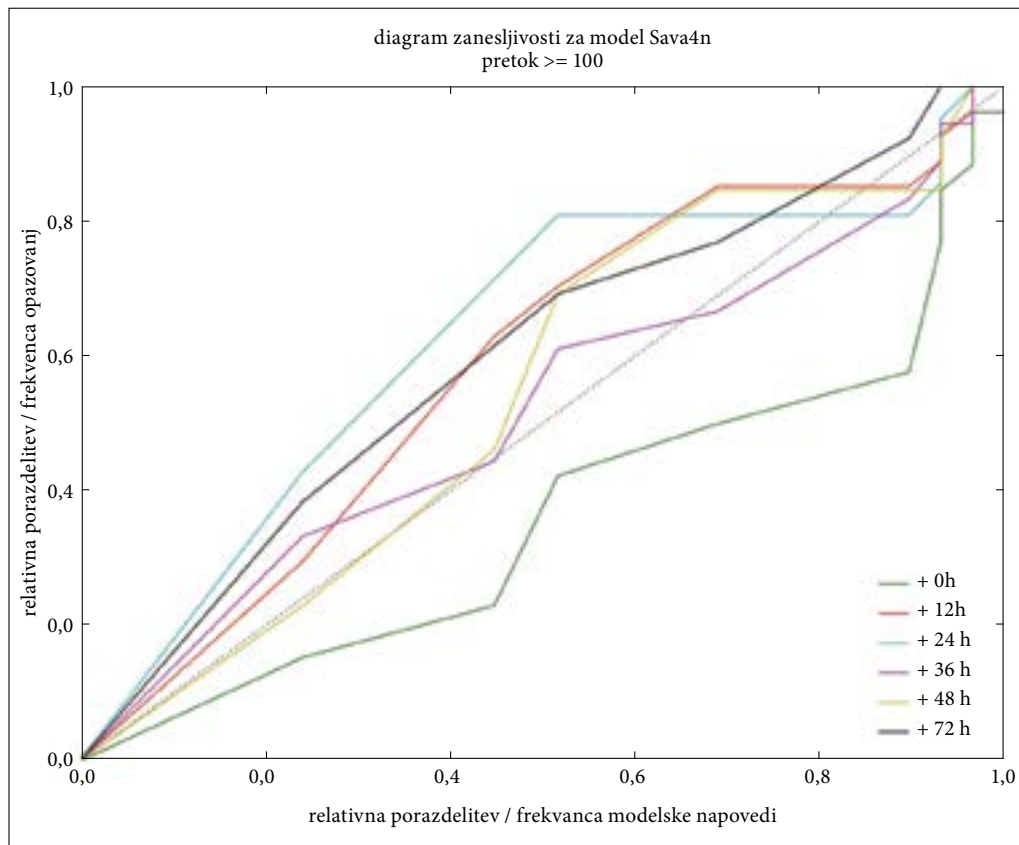
Ker nas zanima predvsem visokovodna časovna in količinska točnost numeričnih napovedi, so bili v nadaljnji analizi izpuščeni vsi pretoki pod $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Slika 4 prikazuje uspešnost modela pri napovedovanju višjih pretokov, ki bi ob hudourniškem značaju reke Sore lahko presegli opozorilne vrednosti in so pogojeni s preходом postavljene meje $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Na sliki je viden vpliv podatkovne asimilacije, ki vpliva na rezultat prikazan prognoztiku za modela Sava1 in Sava4. Rezultati samostojne simulacije so slabi, a je presenetljivo, da naraste kakovost oziroma učinkovitost napovedi v časovnem dosegu 72 ur pri kriteriju NSE. V tem časovnem dosegu lahko opazimo vpliv težnje merila NSE k srednjim vrednostim. V kolikor bi tudi koeficient KGE sledil temu porastu, bi lahko trdili, da je za napovedane/izračunane pretoke nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ smiselno upoštevati le tiste s časovnim dosegom tri dni. Zaradi nizkih vrednosti KGE tega ne moremo trditi. Prav tako se lahko ujemajo podatki zaradi izbranega časovnega obdobja in ne predstavljajo dejanske kakovosti izračunov v daljšem obdobju.

V tem primeru se pokaže pomembnost dodatne analize s koeficientom KGE. Prav tako nam determinacijski kazalnik (R^2) kaže na nepovezanost med napovedmi in izmerjenimi vrednostmi. Vsa statistika je vezana na diskretne spremenljivke, ki lahko delujejo močno pristransko, saj bi morali z modelom tako časovno kot količinsko skoraj popolnoma zadeti napoved za doseganje dobrih rezultatov. Kot primernejši prikaz uspešnosti, zanesljivosti in natančnosti za visoke pretoke se lahko uporabi različne oblike razredne predstavitve. V ta namen lahko uporabimo diagram zanesljivosti in krivuljo operativne karakteristike.

Diagram zanesljivosti prikazuje razmerje med relativno porazdelitvijo opazovanj v primerjavi z relativno porazdelitvijo modelske napovedi glede na opredeljene časovne dosege in/ali območje ter obdobje pretokov. Ciljno ali željeno stanje je, da se vse razredne točke približajo diagonali kvadrata



Slika 4: Merila (NSE, KGE, R^2) kakovosti napovedi pri pretokih nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ s povečevanjem časovnega dosega za izbrane modelske zasnove za obdobje 14. 1. 2014–29. 02. 2016, vodomerna postaja Sora Suha.

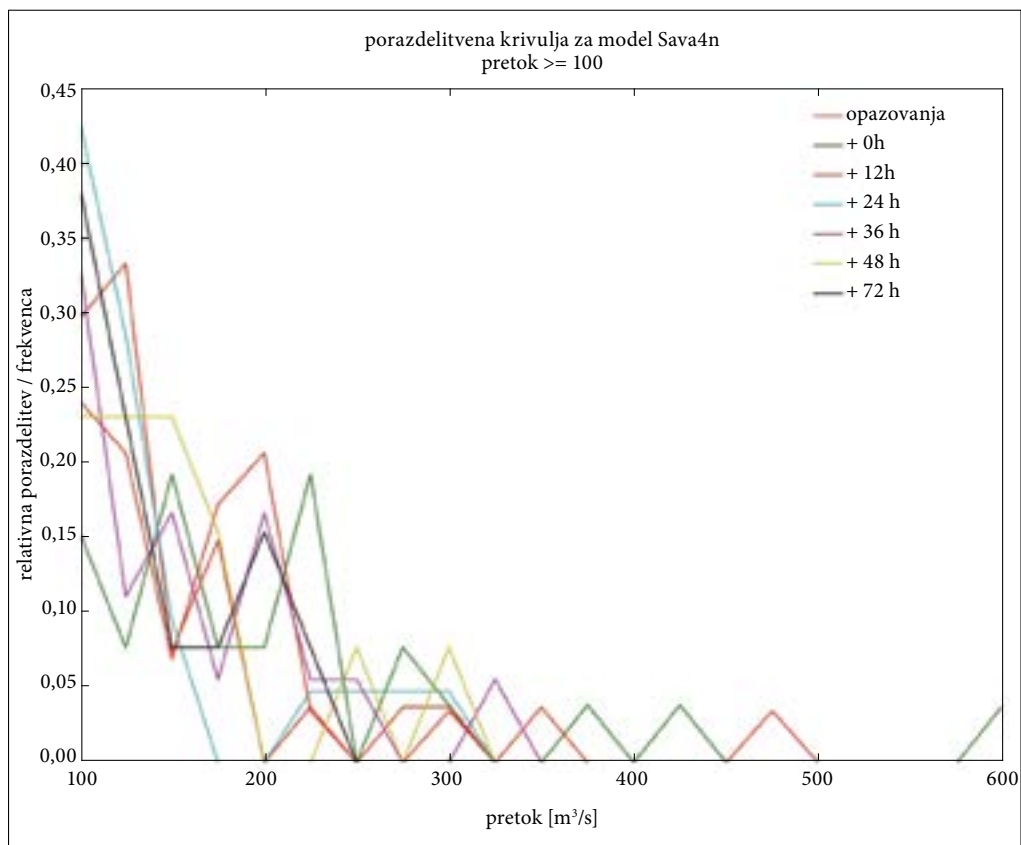


Slika 5: Diagram zanesljivosti za model Sava4n brez podatkovne asimilacije pri razredni porazdelitvi pretokov nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ za obdobje 14. 1. 2014–29. 2. 2016, vodomerna postaja Sora Suha.

na risbi. Bolj, ko krivulje odstopajo, slabši so rezultati. Na sliki 5 je prikazan primer diagrama zanesljivosti za celoten niz podatkov nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Vzorec je oblikovan v normalizirano diskretno porazdelitev z razredi velikosti $25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slika 5 prikazuje uspešnost numerične napovedi v različnih časovnih dosegih modelskih zasnov. Kot najuspešnejši časovni doseg se za modelsko zasnovo Sava4n kaže doseg +36 ur, vendar nam diagram ne podaja informacije o velikostnem razredu pretokov, kjer je zaupanje v rezultate visoko. Za pridobitev celovite informacije o območju, moramo diagramu zanesljivosti dodati še sliko relativne porazdelitve pretokov nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$, s katero lahko pogledamo opredelimo, kateri razredi pretokov se najbolje ujamejo. Na podlagi slike 6 vidimo, da se za prej omenjeno modelsko zasnovo to območje nahaja med $100 \text{ m}^3/\text{s}$ in $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

V nadaljevanju pogledimo uspešnosti za območje pretokov med $100 \text{ m}^3/\text{s}$ in $600 \text{ m}^3/\text{s}$, prikazano po metodi relativne operativne karakteristike (ROC). Krivulje so oblikovane na podlagi prilagojenih intervalov, ki omogočajo ustrezen prikaz relativne operativne karakteristike. Ponekod krivulje padejo pod diagonalno premico, kar pomeni, da je pri posameznih časovnih dosegih in predvsem v območju pogostejših velikih pretokov (nekoliko nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$) ter ob zelo velikih pretokih, modelska postavitev Sava 4 s podatkovno asimilacijo pretežno delovala neuspešno. Kljub izvedeni analizi je



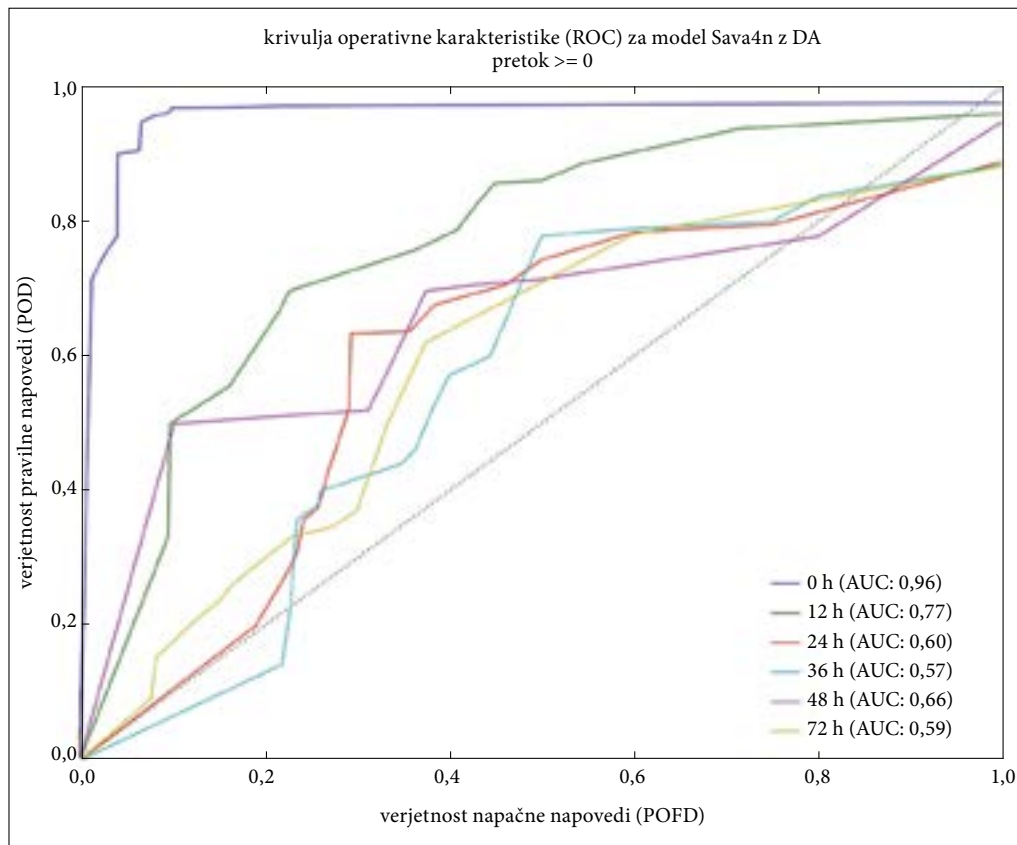
Slika 6: Porazdelitev pretokov za model Sava1 brez podatkovne asimilacije za pretoke nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ za obdobje 14. 1. 2014–29. 2. 2016, vodomerna postaja Sora Suha.

uporabljen vzorec verjetno prekratek, čeprav ima zaradi visokovodne dinamike nekaj več visokovodnih podatkov.

6 Ugotovitve analize kakovosti

Predstavljena analiza omogoča opredelitev zaupanja v rezultate modelskih zasnov. Pokazan je velik padec uspešnosti s podaljševanjem časovnega dosega, ki je pogojen z izrazito hudourniško dinamiko porečja. Deterministična merila uspešnosti podajajo zelo natančna izhodišča za celoten niz podatkov. V kolikor bi nam metode podale visoko stopnjo zaupanja, bi lahko trdili, da so sposobnosti modelske postavitve zelo visoke. Pogosto ni tako, zato je treba, predvsem pri analizi visokovodnih razmer, za obravnavo omejenega števila dogodkov, uporabiti tudi porazdelitve v obliki diagrama zanesljivosti in/ali krivulj operativne karakteristike.

Testna analiza je pokazala dovolj veliko ostrino in ločljivost modelskih zasnov, vendar pri večjih pretokih slabo uspešnost, natančnost in v nekaterih območjih porazdelitve tudi precejšnjo negotovost, ki je deloma pogojena že s samim uporabljenim kratkim časovnim nizom podatkov.



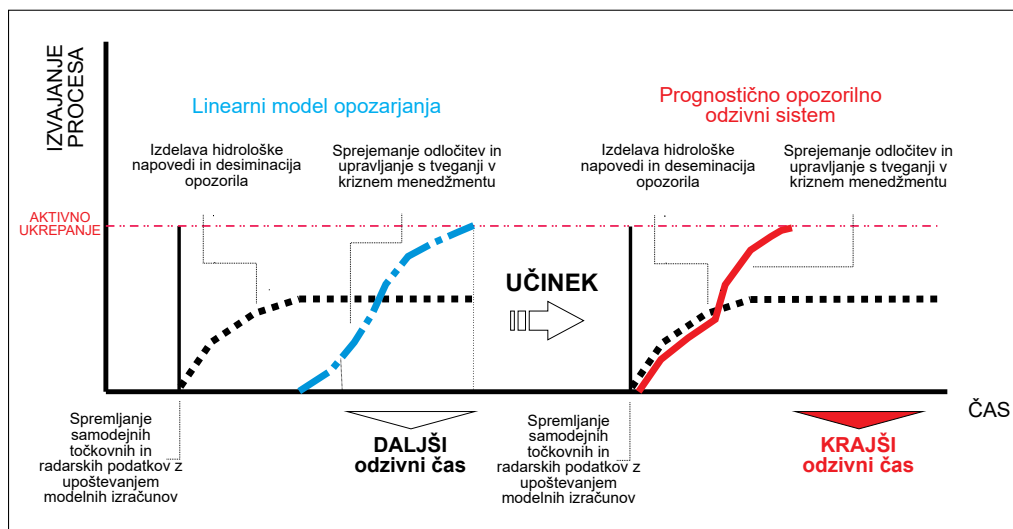
Slika 7: Relativna operativna karakteristika za modelsko zasnovo Sava4 s podatkovno asimilacijo za pretoke nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ za obdobje 14. 1. 2014–29. 2. 2016, vodomerna postaja Sora Suha.

Ostrina modela je v analizi opredeljena kot zmožnost napovedovanja ekstremnih dogodkov (na primer neostri izračuni bi se nanašali na klimatologijo), medtem ko ločljivost opredeljuje sposobnost modela za izračun različnih dogodkov.

V kolikor se omejimo le na pretoke nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$, so glede na krivuljo operativne karakteristike najboljši rezultati pri postavitvi Sava4 (slika 7). Modelska postavitev Sava 4n kaže veliko zanesljivost delovanja v diagramu zanesljivosti pri časovnem dosegu +36 ur za pretoke med $100 \text{ m}^3/\text{s}$ in $175 \text{ m}^3/\text{s}$; kriterija NSE in KGE sta za obravnavan celoten niz podatkov 0,5 in 0,7. Vpogled na izvedene analize poda uspešnost posamezne modelske zasnove, njeno uspešnost glede na časovni doseg, kar je osnova za sprejemanje odločitev o ukrepanju.

7 Kako lahko kakovostna napoved pripomore k odzivu?

Odzivnost in operativnost sistema je pri naravnih ujmah ključnega pomena, vendar je sistem odvisen predvsem od primerno usposobljenega osebja, ki lahko sprejema zahtevne odločitve ter s svojim delom pripomore k zaščiti ljudi in premoženja. Testna analiza zanesljivosti napovedi lahko



Slika 8: Razvoj linearnega sistema opozarjanja in odzivanja sistema zaščite pred škodljivim delovanjem voda (POOS) v prognostično opozorilno odzivni sistem v primeru mestnih in hudourniških poplav.

kot indikator pripomore pri sprejemu odločitev. Predvsem **povečevanje zaupanja v napovedi** lahko pripomore k prenosu opozorilne informacije v **prognostično opozorilno odzivni sistem**, prek katerega lahko izboljšamo odzivni čas. Njegova učinkovitost bi se pokazala v primeru **standardnih operativnih postopkov**, ki bi vsebovali preventivne aktivnosti glede na **predpostavljene scenarije**. V primeru napovedovanja vremenskih in hidroloških razmer, na primer v primeru mestnih (urbanih) poplav, se proces opozarjanja pogosto spremeni v zelo kratkoročno napovedovanje, ki temelji na neposredni izmenjavi informacij.

Skladno z veljavnim Načrtom zaščite in reševanja pred škodljivim delovanjem voda (v nadaljevanju Načrt) Agencija Republike Slovenije za okolje izda opozorilo o nevarnosti poplav, s čimer se pričnejo aktivnosti Uprave Republike Slovenije za zaščito in Reševanje. Zaporedje izmenjave informacij omogoča sistem, ki je primeren za večje vodotoke in klasične rečne poplave. V primeru mestnih in hudourniških poplavah se zdi primernejši prehod na prognostično opozorilno odzivni sistem, kjer se odziv načrtuje že v času med pripravo meteorološkega in hidrološkega stanja in napovedi. Takšno združeno delovanje omogoča zagotavljanje celovitega aktivnega odziva v najkrajšem možnem času.

Učinkovitost delovanja prognostično opozorilno odzivnega sistema (POOS) je na sliki 8 predstavljena kot območje med modro in rdečo krivuljo, kjer prehajamo od sedanje linearne strukture do optimalne izrabe združevanja procesa prognoze in vodenja odziva v okviru koncepta POOS. Učinkovitost delovanja POOS je kljub vsemu pogojena z vrsto naravne ujme, zmožnostjo njene napovedi in zaznavanja pojava z vsemi nepredvidljivimi elementi, ki jih lahko ekstremni dogodki nosijo s seboj.

Za vsak sistem velja, da kljub njegovi dovršenosti deluje le tako dobro, kakor je močan njegov najšibkejši člen. Uspešnost delovanja sistema v primeru poplav lahko merimo le z dejansko prisotnostjo na terenu, ki je odvisna predvsem od trajnega sodelovanja in aktivnega delovanja na vseh področjih upravljanja z vodami in varstva pred škodljivim delovanjem voda. V upravljanje z vodami morajo biti enakomerno vključeni aktivni in pasivni ukrepi, kjer mora v preventiv-

nem pomenu imeti prednostno vlogo prostorsko načrtovanje z izdelanimi in jasno oblikovanimi vodarskimi strokovnimi podlagami, ki so usklajene z možnostmi aktivne zaščite pred škodljivim delovanjem voda.

8 Sklep

Aktivna zaščita pred poplavami obsega pripravo protipoplavnih vreč, uporabo protipoplavnih lamel za zaščito domov, garaž, vrtov, kovinskih protipoplavnih ograj ali prenosljive vodne pregrade. Zelo pomemben predpogoj za takšno zaščito so natančni izračuni napovedi in predvidevanja, odločilno pa je, ali imajo ogroženci dovolj časa za postavitev zaščite. Ta je odvisna od hidrološkega zaledja in standardnih operativnih postopkov odziva. V Sloveniji bi lahko oblikovali ustrezen odziv predvsem v mestnih okoljih, kjer voda narašča razmeroma počasi. Ob tem bi bilo treba povezati in razviti sistem poplavne zaščite in reševanja ter se osredotočiti na pripravo scenarijev odziva, ki jih sistemi za napovedovanje lahko podprejo. To predvsem velja za poplave na kraških poljih in kraških rekah kot sta Krka in Ljubljana, ali na rekah Muri in Dravi, kjer je potovanje poplavnega vala daljše. Tudi v primeru drugih tipov poplav je treba razvijati sistem v smeri POOS, a se poplavno ogroženi lahko ustrezno zaščitijo predvsem s samostojnim spremljanjem okolja in s pomočjo izdanih opozoril ter izvedbo ustrezne individualne protipoplavne zaščite.

9 Viri in literatura

- Golob, A., Polajnar, J. 2015: Visoke vode v Sloveniji leta 2014. Ujma 29.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., Martinez, G. F. 2009: Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377.
- Jolliffe, I. T., Stephenson, D. B. 2003: Forecast verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. Chichester.
- Medmrežje 1: <http://www.rtv slo.si> (1. 12. 2016)
- Murphy, A. H. 1993: What is a good forecast? An essay on nature of goodness in weather forecasting. *Weather and Forecasting* 8-2.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. 1970: River flow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10-3.
- Parker, J. D. 2003: Designing flood forecasting, warning and response systems from societal perspective. International Conference on Alpine Meteorology and Meso-Alpine Programme. Medmrežje: http://www.map.meteoswiss.ch/map-doc/icam2003/Presentation/10.1/Brig_document.pdf (20. 4. 2009).
- Pogačnik, N. 2009: Nadgradnja opozorilnega sistema za zaščito pred škodljivim delovanjem voda. 20. Mišičev vodarski dan. Maribor.
- Pogačnik, N. 2016: Izgradnja visokovodnega prognostičnega in opozorilnega sistema in zagotavljanje njegove zanesljivosti in operativnosti. Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Sendai, 2015: Medmrežje: http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf Vir 2 (13. 9. 2016).

RAZISKAVE NEVARNOSTI SEIZMIČNIH REZONANČNIH UČINKOV MED SEDIMENTI IN STAVBAMI V PETIH SLOVENSKIH MESTIH Z METODO MIKROTREMORJEV

dr. Andrej Gosar

Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Vojkova 1b, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija in Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta
andrej.gosar@gos.si

IZVLEČEK

Raziskave nevarnosti seizmičnih resonančnih učinkov med sedimenti in stavbami v petih slovenskih mestih z metodo mikrotremorjev

Z metodo mikrotremorjev smo raziskovali resonančne učinke med tlemi in stavbami v primeru potresa v petih slovenskih mestih (Bovec, Kobarid, Ilirska Bistrica, Litija in Brežice), ki se nahajajo na območjih s povečano potresno nevarnostjo in so zgrajena na mehkejših kvartarnih sedimentih, v katerih pričakujemo ojačenje potresnega nihanja tal. Z metodo spektralnih razmerij smo določili resonančno frekvenco tal in izdelali zemljevide lastne frekvence sedimentov, z meritvami mikrotremorjev pa v 58 stavbah lastne frekvence objektov in jih za prevladujoči tip stavb primerjali med seboj, da bi ugotovili nevarnost resonančnih učinkov ob potresu. Ugotovili smo, da je za tipično geološko zgradbo, na kateri je zgrajena večina slovenskih mest, značilna dokaj velika nevarnost seizmične resonance med tlemi in objekti, kar je treba upoštevati pri projektiranju stavb in pri prostorskem načrtovanju.

KLJUČNE BESEDE

metoda mikrotremorjev, seizmični odziv, lokalni seizmični vplivi, resonanca

ABSTRACT

Investigation of the danger of seismic soil-structure resonance effects in five Slovenian towns using microtremors method

Microtremors method was applied to study soil-structure resonance effects in case of an earthquake in five Slovenian towns (Bovec, Kobarid, Ilirska Bistrica, Litija and Brežice) which are located in areas of increased seismic hazard and built on soft Quaternary sediments in which amplification of seismic ground motion is expected. Spectral ratio method was used to determine sediments frequency and maps of their fundamental frequencies prepared. In addition microtremors measurements were performed in 58 buildings to derive their fundamental frequencies, which were for typical buildings compared with sediments frequencies to assess the danger of resonance. It was found that for typical geological situation in which Slovenian towns are located, the soil-structure resonance danger is in general great and should be therefore considered in buildings design and in spatial planning.

KEY WORDS

microtremors method, seismic response, site effects, resonance

1 Uvod

Vpliv resonančnih učinkov med mehкими sedimenti in stavbami, ki lahko znatno poveča poškodbe objektov v primeru potresa, pogosto ni dovolj upoštevan v analizah potresne ogroženosti. Številni primeri močnih potresov v zadnjih desetletjih so pokazali, da lahko v primeru neugodnih krajevnih geoloških razmer, resonanca med tlemi in objekti močno poveča škodo na določenih objektih katerih lastna frekvenca nihanja je blizu lastne frekvence sedimentov, na katerih so zgrajeni. Najbolj izrazit je bil primer močnega potresa v Mehiki leta 1985, ki je sicer nastal na njeni zahodni obali, vendar je v 400 km oddaljenemu Ciudad de México, kljub temu zahteval kar 10.000 žrtev. Večina žrtev je živela v stanovanjskih blokih visokih med 5 in 15 nadstropij v predelu mesta, ki je zgrajeno na sedimentih nekdanjega jezera, v katerih je prišlo do izrazitega ojačenja določenih frekvenc potresnega valovanja, ki so se ujemale z lastnimi frekvencami stavb te višine (Reiter 1990).

Metoda mikrotremorjev se je v zadnjih dveh desetletjih zaradi svojih številnih prednosti že dobro uveljavila pri določanju lastne frekvence mehkih sedimentov, ki temelji na analizi spektralnega razmerja trikomponentnih seizmičnih registracij in sicer med povprečjem obeh vodoravnih komponent in navpične komponente, ki v primeru izrazitega kontrasta v akustični impedanci poda izrazit vrh pri resonančni frekvenci. Kasneje se je metoda mikrotremorjev pričela uporabljati tudi za določanje glavnih lastnih frekvenc stavb, saj računsko določanje dinamičnega odziva objektov ni enostavno niti za novejšje objekte, ki imajo dobro projektno dokumentacijo, še posebej pa ne za starejše gradnje, za katere je takšna dokumentacija praviloma pomanjkljiva. *In-situ* določitev dveh glavnih frekvenc nihanja (vzdolžne in prečne) z razmeroma kratkotrajnimi meritvami mikrotremorjev v različnih nadstropjih stavbe je zato velika prednost (Gosar 2007a).

V prispevku so podrobneje opisane raziskave za določitev glavnih lastnih frekvenc stavb, podatki o lastnih frekvencah sedimentov v petih slovenskih mestih (Bovec, Kobarid, Ilirska Bistrica, Litija in Brežice) pa so povzeti po že objavljenih delih (na primer Gosar 2007a ter Gosar in sodelavci 2010). S primerjavo obeh vrst podatkov smo opredelili območja nevarnosti resonance med tlemi in objekti v primeru potresa.

2 Metoda mikrotremorjev

Teorija in interpretacija meritev mikrotremorjev v stavbah še nista tako razviti in strukturirani, kot so meritve na prostem površju. Glavne smernice so opisane v delih: Gallipoli in sodelavci (2004; 2010), Parolai in sodelavci (2005) ter Gosar in sodelavci (2010). Na splošno je mogoče z njimi pridobiti vsaj dve glavni lastni frekvenci v vzdolžni in prečni smeri stavbe. Vse meritve v različnih nadstropjih praviloma odražajo iste lastnosti, le amplitude spektrov se v stavbi z višino povečujejo. Vzdolžna frekvenca je praviloma višja od prečne. Če temu ni tako, je verjetno masno središče stavbe drugod kot geometrijsko ali pa je zgradba zgrajena heterogeno. Kadar izvajamo meritve v strnjem naselju, je eden glavnih problemov, kako odstraniti vplive drugih stavb v bližini. Če meritev ne izvajamo v masnem središču tlorisa, lahko tudi torzijska frekvenca vpliva na rezultat.

Meritve mikrotremorjev v stavbah so pomembne še z drugega vidika. Z njimi namreč pripravimo bazo podatkov, ki je zelo koristna, če mesto prizadene močnejši potres, ki povzroči večje poškodbe objektov. V tem primeru je nujno, da v vseh merjenih stavbah po potresu meritve ponovimo in primerjamo lastne frekvence pred in po poškodbah. Morebiten premik resonančne frekvence je namreč lahko pomemben indikator strukturnih poškodb, ki morda niso vidne, so pa zelo nevarne. S tem ugotovimo ali se je ranljivost stavbe spremenila, to pa je pomembno tako zaradi popotresnih sunkov, kakor tudi za načrtovanje sanacije.

3 Izvedba meritev

Meritve mikrotremorjev smo izvedli s prenosnimi seizmografi *Tromino* (Micromed), ki imajo tri pravokotne elektrodinamične hitrostne senzorje, digitalizator in zajemalno enoto združene v enem ohišju, s čimer se izognemo elektronskim in mehanskim motnjam.

Meritve na prostem površju za določitev lastnih frekvenc sedimentov smo izvedli v mrežah točk, ki so bile med seboj oddaljene med 100 in 250 m. V Bovški kotlini smo merili na 124 lokacijah, v Kobaridu na 106 točkah, v Ilirski Bistrici na 196 točkah, v Brežicah na 113 točkah in v Litiji na 66 točkah. Meritve na prostem površju in analiza podatkov so podrobneje opisane v delih Gosarja (2007a; 2007b) ter Gosarja in sodelavcev (2010) in so zato tu le povzete.

Za določitev glavnih lastnih frekvenc objektov smo v nižjih stavbah meritve izvedli v vseh nadstropjih, v višjih stavbah pa v vsakem drugem nadstropju in sicer čim bliže masnemu središču in ob notranji steni. Vzorčna frekvenca je bila 128 MHz in dolžina vsake meritve 10 minut. Za primerjavo smo zunaj stavbe na primerno veliki oddaljenosti izvedli tudi meritve na prostem površju.

Skupno smo meritve izvedli v 66 stavbah. S spektralno analizo smo lahko določili vzdolžno in prečno frekvenco 58 stavbam: 20 v Bovcu, 14 v Kobaridu, 10 v Ilirski Bistrici, 10 v Brežicah in 4 v Litiji. Med temi prevladujejo stanovanjske hiše, ki imajo dve ali tri etaže (45 stavb). Poleg tega je še nekaj večstanovanjskih stavb z do šest etažami. Vse izmerjene stavbe so zgrajene iz opeke in imajo armiranobetonske plošče. Glavni razlog, da v 8 stavbah nismo mogli določiti glavnih lastnih frekvenc, so bile motnje ali odsotnost izrazitega vrha v spektrih.

4 Obdelava podatkov in razlaga

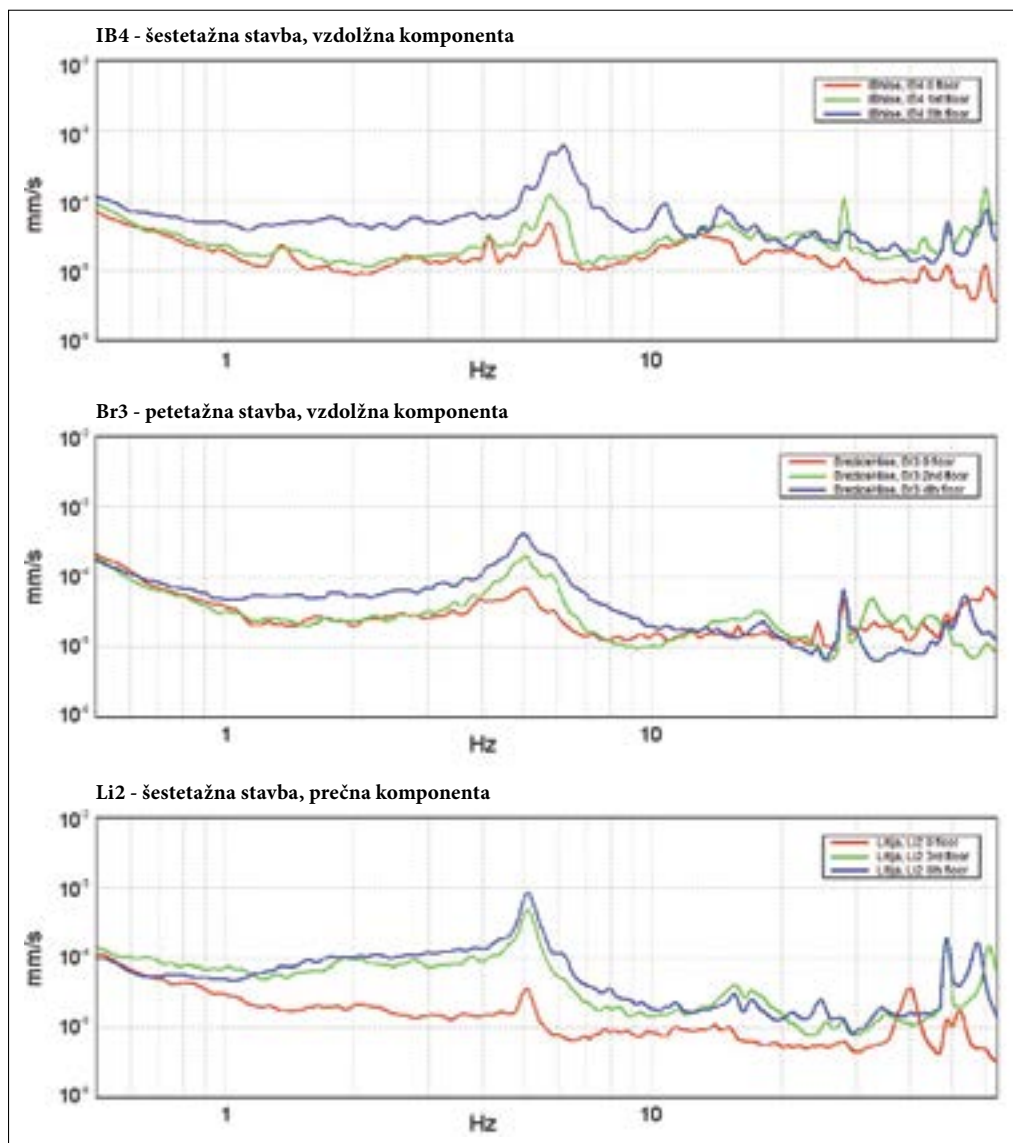
Podatke smo obdelali in analizirali s programom *Grilla* (Micromed). Vsako zapisano sled (seizmogram) smo najprej razdelili v 10-sekundna okna, za katera smo izračunali amplitudni spekter s trikotnim oknom in 3 % glajenjem. Okna, ki so vsebovale močnejše prehodne motnje, smo izključili iz nadaljnje obdelave, iz podatkov preostalih oken pa izračunali povprečni amplitudni spekter.

Analiza podatkov je pokazala dobro ujemanje v frekvenci vrhov za meritve v različnih nadstropjih iste stavbe. Nekaj primerov za pet ali šest-etažne stavbe je na sliki 1. V pritličju je odziv stavbe pogosto zakrit s frekvenco na prostem površju, višja nadstropja pa jasno odražajo glavno lastno frekvenco in povečanje amplitude z višino v stavbi.

Ker ni bil namen študije podrobno preučevati dinamični odziv stavb, smo za vse preostale stavbe uporabili le rezultate meritev na najvišji etaži, kjer je odziv najbolj jasno viden. Primeri amplitudnih spektrov za 14 analiziranih hiš iz vseh petih mest so prikazani na sliki 2. Vzdolžna in prečna glavna frekvenca se vidita kot jasen vrh na obeh merjenih vodoravnih komponentah zapisa. Razlika v frekvenci med njima je največkrat majhna, saj ima večina stavb precej simetrično obliko. V nekaterih spektrih (Bo3, Ko16, IB4, IB5 in Br3) se vidijo vplivi umetnih virov motenj (različni stroji) kot izraziti oglati vrhovi. Na splošno so podatki bolj zašumljeni pri višjih frekvencah nad 20 Hz, kar lahko pojasnimo z visoko ravno industrijskih in prometnih motenj v urbanih okoljih.

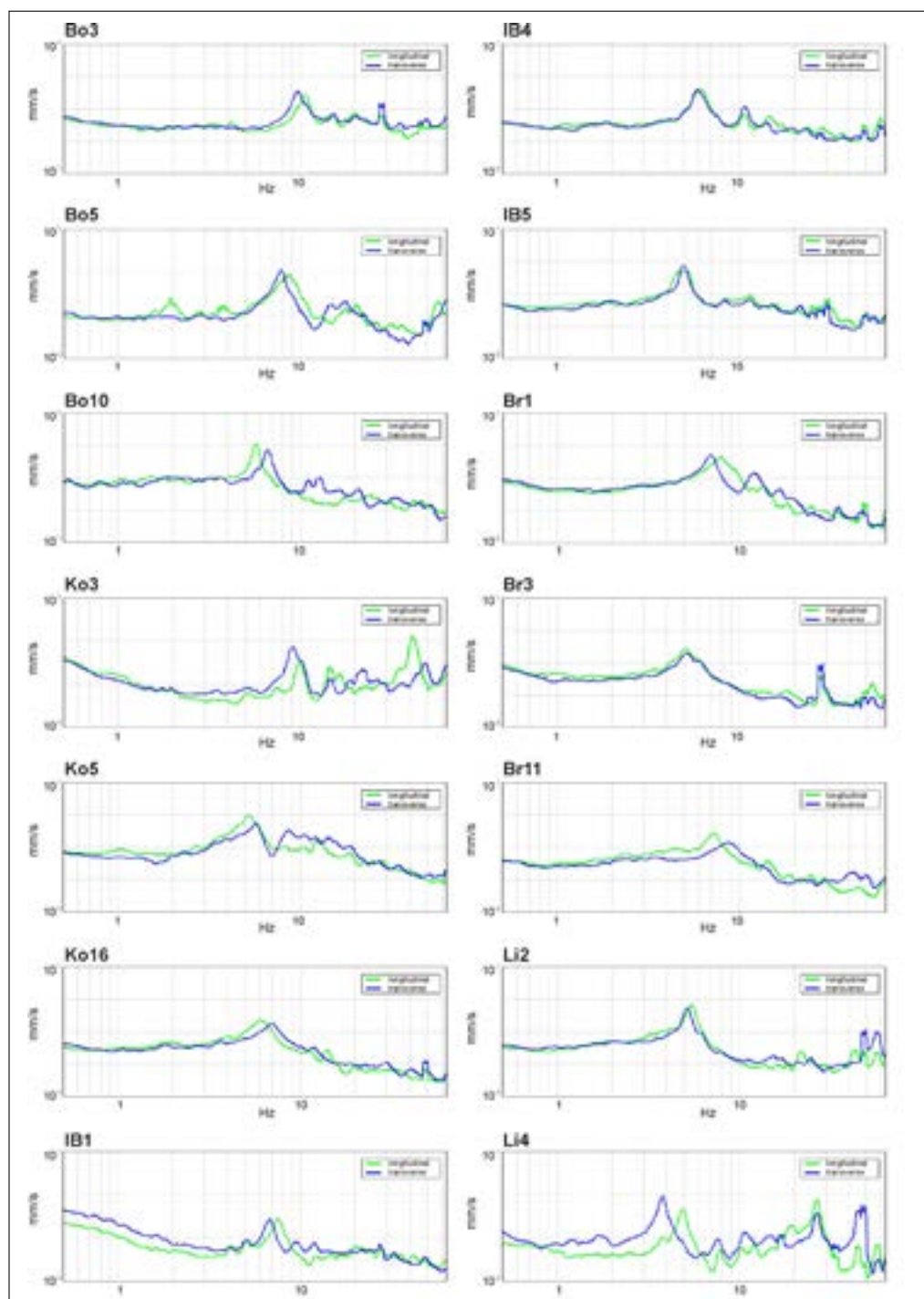
5 Statistične značilnosti merjenih stavb in implikacije za resonančne učinke med tlemi in objekti

Rezultati statistične analize glavnih lastnih frekvenc objektov v odvisnosti od števila etaž (višina stavbe) so podani v preglednici 1 in na sliki 3. Rombasti simboli kažejo povprečno vrednost za vzdolžno in prečno smer ter njuno povprečje, navpične črte razpon vrednosti, dve kratki vodoravni črti pa povprečje $\pm$ standardni odklon. Razlika med vzdolžno in prečno frekvenco je



Slika 1: Primeri amplitudnih spektrov meritev mikrotremorjev v treh višjih stavbah. Večanje odziva stavbe z višino meritve v stavbi je jasno vidno. Pri IB4 (Ilirska Bistrica) pomeni rdeča pritličje, modra prvo nadstropje in zelena peto nadstropje, pri Br3 (Brežice) pomeni rdeča pritličje, modra drugo nadstropje in zelena četrto nadstropje, pri Li2 (Litija) je rdeča pritličje, modra tretje nadstropje in zelena šesto nadstropje.

Slika 2: Primeri amplitudnih spektrov meritev mikrotremorjev v 14 hišah v izbranih mestih. Zelena črta predstavlja vzdolžno smer, modra pa prečno smer stavbe (legenda: Bo - Bovec, Ko - Kobarid, IB - Ilirska Bistrica, Br - Brežice, Li - Litija). ► (str. 87)



večinoma majhna, kar lahko pojasnimo s tem, da ima večina stanovanjskih hiš majhno razliko v obeh vodoravnih dimenzijah. Dejstvo, da ugotovljena vzdolžna frekvenca ni sistematično večja od prečne, pa kaže na to, da ima notranja struktura večji vpliv na lastno frekvenco kot sama zunanja širina stavbe.

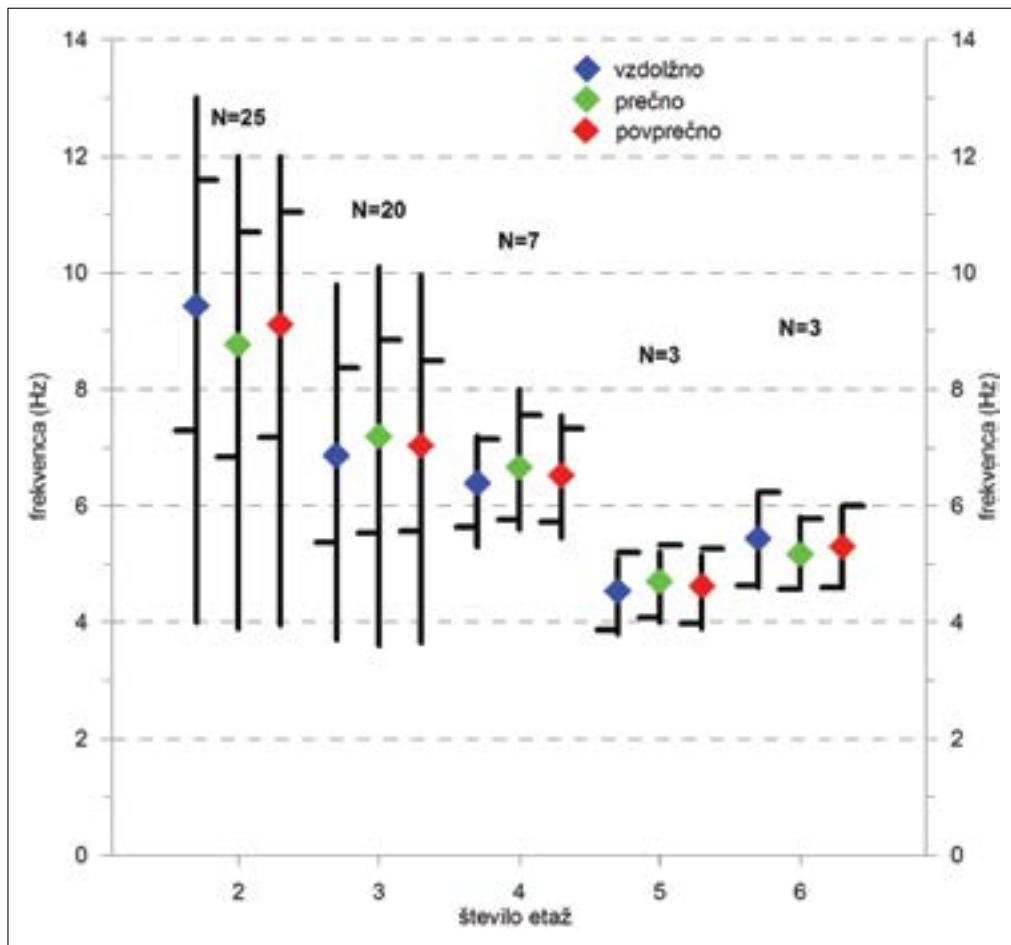
Razlika v lastnih frekvencah med dvo- in troetažnimi hišami je zelo izrazita. Po drugi strani pa je razlika med tri- in štirietaznimi hišami zelo majhna, vendar moramo pri tem upoštevati, da je bilo število raziskanih štirietaznih hiš (7) bistveno manjše od troetažnih (20). Povprečne lastne frekvence za pet- in šestetažne stavbe so še nižje, vendar med njimi ni statistično značilnih razlik. Tudi tu je število izmerjenih stavb zelo majhno, saj so tako visoke stavbe zajete v analizo razmeroma redke.

Preglednica 1: Rezultati statistične analize glavnih frekvenc izmerjenih stavb, ki kažejo lastno frekvenco v odvisnosti od števila etaž (višina stavbe).

		glavna lastna frekvenca (Hz)											
		vzdolžna				prečna				povprečje			
število etaž	število stavb	povprečje	standardni odklon	minimum	maksimum	povprečje	standardni odklon	minimum	maksimum	povprečje	standardni odklon	minimum	maksimum
2	25	9,44	2,15	4,0	13,0	8,77	1,93	3,9	12,0	9,11	1,94	4,0	12,0
3	20	6,87	1,50	3,7	9,8	7,19	1,66	3,6	10,1	7,03	1,46	3,7	10,0
4	7	6,39	0,76	5,3	7,2	6,66	0,90	7,56	5,76	6,52	0,80	5,5	7,5
5	3	4,53	0,67	3,8	5,1	4,70	0,62	4,0	5,2	4,62	0,64	3,9	5,2
6	3	5,43	0,80	4,6	6,2	5,17	0,60	4,6	5,8	5,30	0,70	4,6	6,0

Večina slovenskih mest je zgrajena v sedimentnih bazenih, zapolnjenih s sorazmerno majhno debelino kvartarnih sedimentov, v katerih je pričakovana (in dejansko izmerjena v petih obravnavanih mestih) lastna frekvenca mehkejših kvartarnih sedimentov v območju 2–20 Hz. Kot primer je na sliki 4 prikazan zemljevid lastnih frekvenc sedimentov na območju Ilirske Bistrice, zemljevidi za ostala mesta so objavljeni v Gosar (2012). Med stavbami v vseh petih mestih izrazito prevladujejo dvo- in troetažne hiše, višji objekti pa so redki. Da na splošno ocenimo nevarnost resonance med tlemi in stavbami, je smiselno upoštevati povprečno vrednost lastne frekvence dvo- in troetažnih hiš +/- standardni odklon, ki je 5,6–11,1 Hz in ga primerjati z lastno frekvenco sedimentov na prostem površju (Gosar 2012). Možno pojavljanje resonančnih učinkov moramo torej iskati predvsem v tem območju. Ker so bili za vseh pet mest izdelani zemljevidi porazdelitve lastne frekvence sedimentov, smo izračunali deleže raziskanih območij, ki jih zajema frekvenčno območje 5,6–11,1 Hz in, kjer je pričakovati posebno izrazite resonančne učinke med tlemi in prevladujočo vrsto na njih stoječih hiš.

V Bovški kotlini, ki sta jo močno prizadela potresa leta 1998 in 2004 (intenziteta VII–VIII), za katera je bilo dokazano, da so imeli resonančni učinki pomemben vpliv na porazdelitev poškodb objektov (Gosar 2007a), zajema to frekvenčno območje kar 59 % in sicer predvsem v osrednjem delu kotline, v Čezsoči, Kalu-Koritnici in delu Bovca. Predvsem v različnih delih Bovca, ki leži na heterogenih ledeniško-rečnih sedimentih, so imeli (ob obeh potresih) resonančni učinki zelo različen vpliv, kar se je odrazilo v stopnji poškodovanosti.

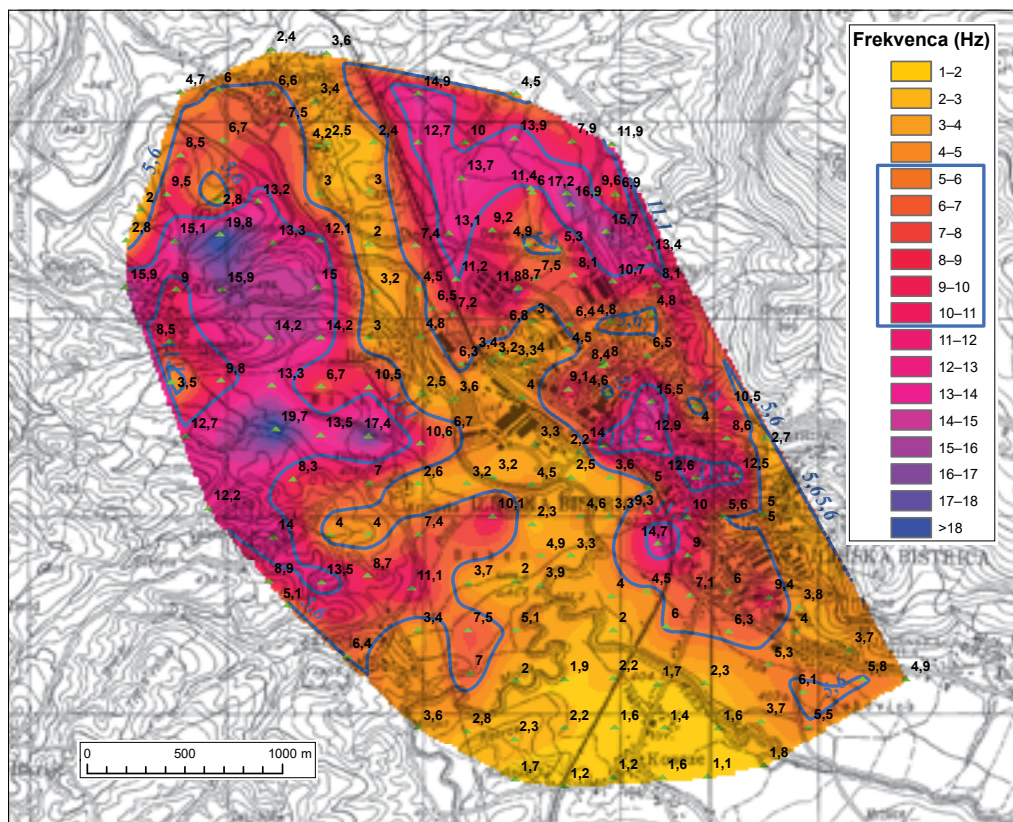


Slika 3: Rezultati statistične analize glavnih frekvenc za 58 analiziranih stavb v odvisnosti od števila etaž (višina). Legenda: rombasti simboli – povprečna vrednost za vzdolžno in prečno smer in njuno povprečje; navpična črta – razpon vrednosti; dve kratki vodoravni črti – povprečje $\pm$ standardni odklon.

Na območju Kobarida, ki sta ga prav tako prizadela omenjena potresa (intenziteta VII), so zelo nizke frekvence (velika debelina sedimentov) značilne za zahodni del in visoke frekvence (majhna debelina sedimentov) za vzhodni del mesta. Nevarnost za resonančne učinke je tako predvsem v ozkem vmesnem območju, ki zavzema 22 % urbanega območja.

Na zemljevidu Ilirske Bistrice zavzema za resonanco kritično območje 41 % površine sedimentov, predvsem v severnem delu mesta (slika 4). To se ujema s porazdelitvijo poškodb ob potresu leta 1995 ($M=4,7$, intenziteta VI), za katerega obstoja podroben popis poškodb.

V Brežicah, ki jih je leta 1917 prizadel močnejši potres ($M=5,7$), ima 26 % območja za resonanco kritično frekvenčno območje. V Litiji, ki stoji na sedimentih reke Save, pa so za 49 % urbanega območja značilne za resonanco kritične frekvence. Mesto je leta 1963 prizadel potres ($M=4,7$, največja intenziteta VII).



Slika 4: Zemljevid lastnih frekvenc sedimentov na podlagi meritev mikrotremorjev na prostem površju v Ilirski Bistrici. Trikotniki označujejo točke meritev, številke ob njih pa lastno frekvenco. Modra črta označuje območje lastnih frekvenc med 5,6 in 11,1 Hz, ki so kritične za resonančne učinke stavb in obsega 41 % ozemlja.

6 Sklep

Raziskave so pokazale, da je nevarnost za resonančne učinke med tlemi in objekti velika v večini manjših slovenskih mest, ki so na območjih s povečano potresno nevarnostjo. Ta mesta so praviloma zgrajena na rečnih ali drugih sedimentih različne debeline. Po drugi strani v teh mestih med stavbami prevladujejo dvo- in troetažne hiše, katerih glavni lastni frekvenci nihanj se pogosto ujemata z lastno frekvenco mehkejših sedimentov na katerih stojijo. Kritično frekvenčno območje 5,6–11,1 Hz v vseh petih mestih presega 25 % površja, ponekod skoraj 60 %. Zato je resonančne učinke med tlemi in objekti ob potresu treba upoštevati pri projektiranju novih stavb, pri njihovi sanaciji in potresno odporni utrditvi, kakor tudi pri prostorskem načrtovanju. Z meritvami mikrotremorjev v večjem številu stavb, smo pridobili pomembne podatke, ki bodo ob morebitnem močnejšem potresu koristni za hitro ugotavljanje nevidnih strukturnih poškodb in spremembo ranljivosti, saj je meritve razmeroma lahko ponoviti tudi v poškodovanih stavbah.

7 Viri in literatura

- Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M., Castro, R. R., Monachesi, G., Contri, P. 2004: Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24-6.
- Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M., Šket-Motnikar, B., Zupančič, P., Gosar, A., Prevolnik, S., Herak, M., Stipčević, J., Herak, D., Milutinović, Z., Olumčeva, T. 2010: Empirical estimates of dynamic parameters on a large set of European buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* 8-3.
- Gosar, A. 2007a: Microtremor HVSR study for assessing site effects in the Bovec basin (NW Slovenia) related to 1998 M_w 5.6 and 2004 M_w 5.2 earthquakes. *Engineering Geology* 91, 2-4.
- Gosar, A. 2007b: Raziskave vpliva lokalne geološke zgradbe na potresno nihanje tal in ranljivosti objektov z mikrotremorji. *Geologija* 50-1.
- Gosar, A., Rošar, J., Šket-Motnikar, B., Zupančič, P. 2010: Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *Bulletin of Earthquake Engineering* 8-3.
- Gosar, A. 2012: Determination of masonry building fundamental frequencies in five Slovenian towns by microtremor excitation and implications for seismic risk assessment. *Natural Hazards* 62-3.
- Parolai, S., Fäcke, A., Richwalski, S. M., Stempniewski, L. 2005: Assessing the vibrational frequencies of the Holweide hospital in the city of Cologne (Germany) by means of ambient seismic noise analysis and FE modelling. *Natural Hazards* 34-2.
- Reiter, L. 1990: *Earthquake Hazard Analysis*. Columbia.

RAZŠIRITEV STROKOVNIH PODLAG IN ORODIJ ZA OCENO POTRESNE OGROŽENOSTI V SLOVENIJI

mag. Marjana Lutman

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
marjana.lutman@zag.si

dr. Primož Banovec, Matej Cerkl

Inštitut za vodarstvo, Hajdrihova 28a, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
primoz.banovec@i-vode.si, matej.cerk@i-vode.si

dr. Maja Kreslin

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
maja.kreslin@zag.si

IZVLEČEK

Razširitev strokovnih podlag in orodij za oceno potresne ogroženosti v Sloveniji

V prispevku predstavljamo rezultate projekta POTROG 2, s katerim smo nadgradili sistem za oceno potresne ogroženosti in pripravljenost na potres. Ocenili smo potresno ogroženost 135 obstoječih stavb in povečali bazo Zavoda za gradbeništvo Slovenije. Izdelali smo dnevni model zasedenosti stavb posamezne namembnosti, ki uporablja različne zbirke podatkov, model pa umerili s podatki, pridobljenimi s spletno anketo. Za občinske mostove smo zbrali informacije o razpoložljivosti podatkov in predlagali razvoj metodologije za oceno ogroženosti teh objektov. Vzpostavili smo portal »Aplikacije potres« za vstop v vse aplikacije te skupine. Vključili smo izdelane podporne modele (model poškodovanosti stavb, nočni in dnevni model zasedenosti stavb, model ruševinskega kupa in model ocene zasutosti) in uporabili dostopne zbirke podatkov.

KLJUČNE BESEDE

potresna ogroženost, potresna odpornost stavb, dnevni model zasedenosti, Slovenija

ABSTRACT

Extension of professional basis and tools for the assessment of seismic risk in Slovenia

The results of the POTROG 2 project for an upgrade of the system for seismic risk assessment and earthquake preparedness are presented. Seismic risk of 135 existing buildings has been assessed and related database of Slovenian National Building and Civil Engineering Institute enhanced. A daily model of buildings occupancy for different occupancy types has been developed, supported by different databases and calibrated with data obtained by a website survey. For municipal bridges the availability of data has been investigated and development of a methodology for seismic risk assessment is proposed. Portal "Earthquake Applications" has been established to provide access to all applications. Developed supporting models (damage to buildings, night and day occupancy of buildings, debris pile and burial assessment) and available databases are included.

KEY WORDS

seismic risk, seismic resistance of buildings, daily model of occupancy, Slovenia

1 Uvod

Poznavanje potresne odpornosti objektov, v katerih se izvajajo aktivnosti civilne zaščite, reševalnih in zdravstvenih objektov in vseh tistih stavb, v katerih je večje število ljudi, zelo pripomore k učinkovitosti ukrepanja po potresu. Zato smo v okviru projekta ugotavljali možno število prizadetih ljudi. Potres se lahko zgodi kadarkoli. Za nočni čas med 19. 6. uro lahko predpostavimo, da je večina ljudi na svojih domovih oziroma v stavbah, kjer imajo registrirano stalno ali začasno prebivališče. Za ta primer lahko z ustrezno zanesljivostjo in za potrebe ukrepanja ob naravnih in drugih nesrečah uporabimo podatke Centralnega registra prebivalcev (CRP). Za oceno posledic potresa, ki pa se zgodi podnevi, nimamo podatkov o številu ljudi v posamezni stavbi, zato je bil potreben razvoj dnevnega modela zasedenosti stavb.

Ob potresu je zelo pomembna tudi prevoznost cest in stanje mostov in drugih premostitvenih objektov, saj je ključna za dostop do prizadetih območij takoj po potresu. Temu služi baza podatkov o mostovih, njihovih lastnostih in stanju. Medtem ko država razpolaga z bazami premostitvenih objektov na avtocestni, državni in regionalni cestni mreži, je večina tovrstnih baz na občinski ravni pomanjkljiva.

Načini rušenja, velikost in struktura ruševinskih kupov ter zasutost ljudi so parametri, ki dopolnjujejo modeliranje učinkov potresa, aplikacije pa bodo civilni zaščiti omogočile boljšo pripravljenost in odzivnost v primeru potresa.

2 Potresna ogroženost stavb

V dosedanjih raziskovalnih projektih s področja potresne ogroženosti smo na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG) razvili metode za ocenjevanje potresne odpornosti in ranljivosti, prilagojene posameznim tipom stavb. Z metodo PO-ZID (Lutman s sodelavci 2001) smo ocenili potresno odpornost zidanih stavb, z metodo PO-AB (Lutman in Peruš 2002) potresno odpornost armiranobetonskih stavb, z metodo RAN-Z (Peruš s sodelavci 1995) pa potresno ranljivost zidanih stavb. Z različnimi metodami smo ocenili več stavb v Ljubljani, v projektih POTROG (Lutman s sodelavci 2013) in POTROG 2 (Lutman s sodelavci 2016) pa tudi stavbe v ostalih večjih občinah, ki so na zemljevidu potresne nevarnosti Slovenije (Lapajne s sodelavci 2001) v območjih projektnega pospeška tal $a_g \geq 0,225 g$ (v nadaljevanju: obravnavana območja) ali zelo blizu teh območij.

V POTROG 2 smo ocenili 86 različnih stavb (slika 1). Ker so nekatere stavbe referenčne za skupine enakih stavb, je bilo skupno ocenjenih 135 obstoječih stavb. Praviloma smo vključili stavbe, ki bi v primeru potresa z zemljevida potresne intenzitete Slovenije (KPIS) (Šket Motnikar in Zupančič 2011) po oceni obstoječega modela POTROG utrpeli poškodbe kategorije 5, 4, 3 ali izjemoma 2 po Evropski potresni lestvici – EMS (Grünthal 1998). Ocenili smo tudi nekaj stavb zunaj tega pravila, predvsem zaradi njihove pomembnosti: zdravstvene stavbe, gasilski domovi, šolske stavbe, stavbe civilne zaščite, Krško z okolico zaradi bližine jedrske elektrarne (slika 2 zgoraj). Stavbe so bile izbrane po dogovoru z naročnikom, Ministrstvom za izobraževanje, znanost in šport in občinami, ocenjene pa na dveh ravneh natančnosti (individualni in modelni ravni). Za vse stavbe smo ocenili potresno ranljivost in poškodovanost pri potresu po KPIS.

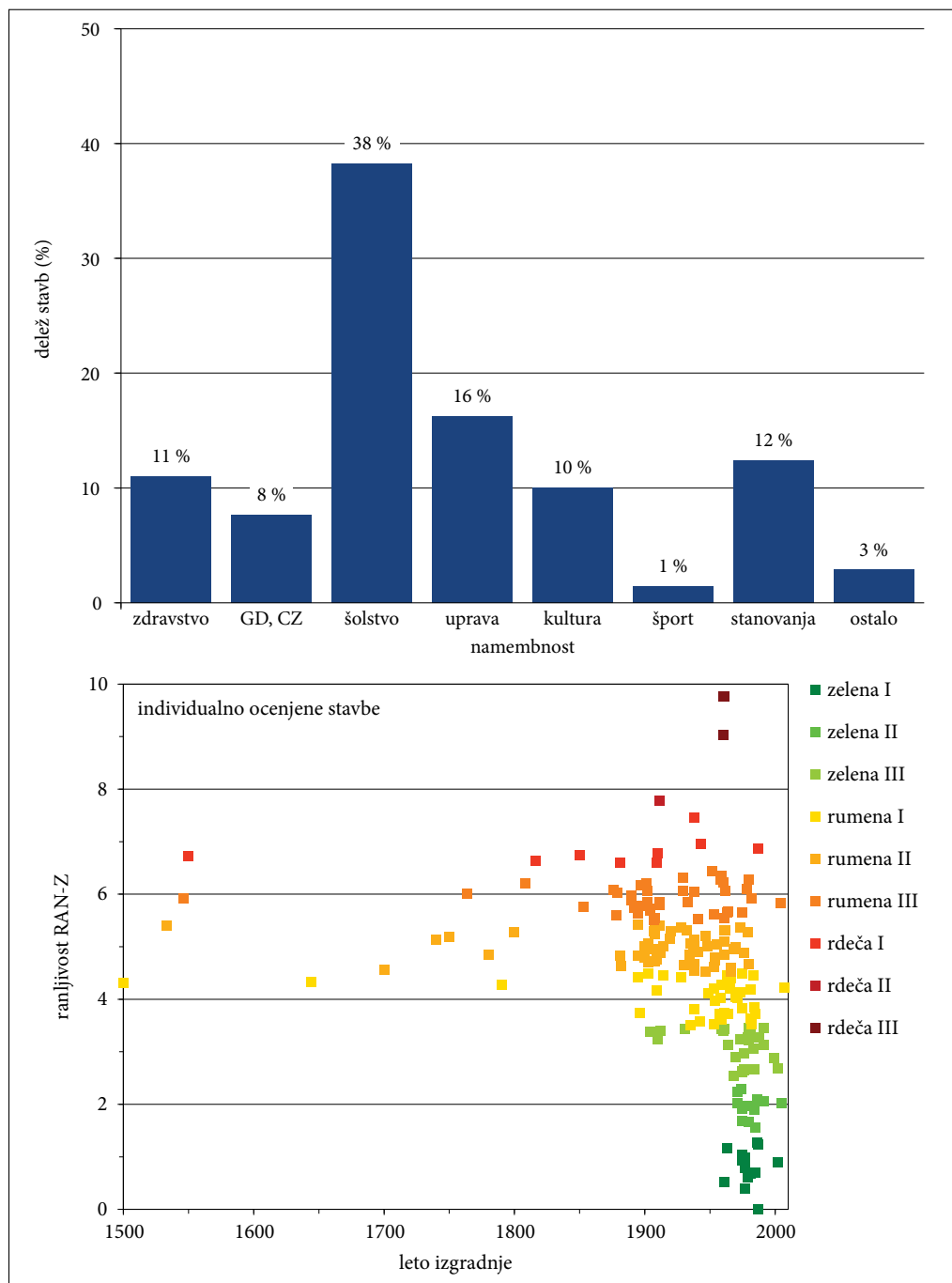
2.1 Individualne ocene

Ocenili smo 45 različnih stavb (stavbe državnega pomena, srednješolske stavbe in različne stavbe po izboru občin), za katere smo uspeli pridobiti potrebno tehnično dokumentacijo, po kateri so bile stavbe projektirane in so v njej potrebni podatki o nosilni konstrukciji.



Slika 1: Raznolikost individualno ocenjenih stavb v projektu POTROG 2.

Po pregledu dokumentacije in stavbe na terenu smo računsko ocenili potresno odpornost po metodah PO-ZID za zidane in PO-AB za armiranobetonske stavbe. Dobljene koeficiente potresne odpornosti smo primerjali s koeficienti potresne obtežbe po veljavnem standardu za potresno odporno gradnjo Evrokod 8 (SIST EN 1998-1:2005) in tudi po zadnjem nacionalnem



Slika 2: Namembnost in ocenjena potresna ranljivost individualno ocenjenih stavb v projektih POTROG in POTROG 2. Barvne oznake zelena / rumena / rdeča pomenijo manjša / srednja / večja potresna ranljivost.

pravilniku za potresno odporno gradnjo iz leta 1981, ki ni več v veljavi (Uradni list SFRJ 31/1981). Primerjava je temelj za oceno relativne potresne ogroženosti stavb. Iz ocenjenih koeficientov potresne odpornosti smo posredno ocenili številčne vrednosti potresne ranljivosti po lestvici metode RAN-Z (slika 2 spodaj), iz teh pa smo z modelom POTROG (Lutman s sodelavci 2013) ocenili verjetnostno krivuljo poškodovanosti.

Dobljeni rezultati so pričakovani glede na zanesljivost predpostavk. Pomembno je, da so primerljivi med seboj in z dosedanjimi ocenami ter lahko pristojnim službam služijo za načrtovanje ukrepov in za pripravo prioritet za protipotresno utrjevanje. V poročilu smo posebej opozorili na opažene poškodbe stavb in zanje priporočili čimprejšnjo sanacijo. Upravitelji stavb smo opozorili na pomen potresne odpornosti in naj se v primeru načrtovanja energetske sanacije v prvi fazi podrobno pregleda nosilna konstrukcija in izdela točno analizo potresne odpornosti, glede na rezultate in zahteve veljavne zakonodaje pa naj se v prenovi vključi tudi utrditev nosilne konstrukcije.

2.2 Modelne ocene

Modelno smo ocenili 41 različnih oziroma skupaj 71 obstoječih stavb. Izbor stavb temelji na prioritetah predlagateljev in na seznamu stavb v posameznih občinah, razvrščenih po vrednostih posplošene ocene potresne ranljivosti RAN-Z, dobljenih z modelom POTROG in s podatki iz Registra nepremičnih (REN). Modelno oceno smo izdelali na temelju ključnih lastnosti posamezne stavbe, ugotovljenih z vizualnim pregledom (leto zgraditve, število etaž nad ravnijsko terena in material konstrukcije). Ti podatki so v REN pogosto napaki. Najpogostejši sta napaki pri številu vseh etaž in zaporedni številki pritličja. Pogosto je mansarda upoštevana kot polno nadstropje. Ocenili smo tudi primernost stavbe za ocenjevanje z modelom POTROG, njene posebnosti, morebitne tipične nepravilnosti ter poškodbe nosilne konstrukcije.

3 Dnevni model zasedenosti stavb

Dnevni model zasedenosti stavb omogoča izvedbo analiz in simulacij tudi za potrese, ki se zgodijo podnevi. Razvili smo ga na podlagi predpostavk o dnevnih migracijah posameznikov in predpostavk o povprečni zasedenosti stavb različne namembnosti, nato pa ga umerili z razpoložljivimi podatki. V ta namen smo najprej pripravili vprašalnike o zasedenosti posameznih stavb, z njimi pridobili podatke za večje število javnih in poslovnih stavb v celotni Sloveniji, v zaključni fazi pa umerili model zasedenosti stavb po namembnosti.

3.1 Spletno anketiranje za pridobitev podatkov o zasedenosti stavb

S končno verzijo spletne ankete se za posamezno stavbo oziroma del stavbe določene namembnosti pridobijo trije ključni podatki: število zaposlenih, število obiskovalcev in predvideni čas, kdaj se uporablja ta del stavbe. S spletno anketo smo ta nabor podatkov pridobili za 1665 javnih in poslovnih stavb oziroma za 2085 delov stavb iz celotne Slovenije. Zbrani podatki se nanašajo na naslednje namembnosti: industrijska, poslovna, cerkve, gostinska, banke, pošte, zavarovalnice, skladišča, prostori za razvedrilo, penzioni, univerze, vrtci, osnovne šole, srednje šole, dijaški domovi, bolnišnice.

3.2 Izdelava in lastnosti modela dnevne zasedenosti stavb

Dnevni model smo zasnovali kot matematični model, ki ocenjuje število ljudi v posamezni stavbi v določenem delu dneva. Uporabili smo pristop z integracijo razpoložljivih podatkov o stavbah, delih stavb in njihovi zasedenosti. Model smo najprej umerili na temelju strokovne presoje individualnih podatkov za posamezne stavbe, nato pa še na temelju skupnega števila prebivalcev v posamezni občini in podatkih o dnevni migraciji (podatki SURS). Model črpa podatke iz štirih podatkovnih zbirk podatkov: CRP, REN, Katastra stavb in Registra naslovov stavb.

Dnevni model upošteva dnevno dinamiko (dan/noč), tedensko dinamiko (delavnik/vikend) in letno dinamiko (poletje/preostali del leta). Pri izdelavi modela smo upoštevali sledeče predpostavke:

- podnevi je v stavbah 75% ljudi, 25% ljudi pa je zunaj (v prometu in drugod);
- v stanovanjskih stavbah podnevi ostane:
 - 50 % tam živečih upokojencev (nad 65 let), ne glede na dan v tednu,
 - 10 % tam živeče aktivne populacije (med 15 in 65 let) na delovni dan oziroma 50% med vikendom,
 - 5 % tam živeče mladoletne populacije (do 18 let) na delovni dan oziroma 50% med vikendom;
- v nestanovanjske stavbe/dele stavb (trgovine, pisarne, šole, vrtci) se ljudi iz stanovanjskih podnevi razporedi v dveh korakih:
 - po podatkih anketiranja v t. i. poročane stavbe/poročane dele stavb;
 - ostale ljudi se razporedi v ostale stavbe, po ključu pomembnosti in površine stavb;
- med vikendom so vrtci, šole, univerze in delovni prostori nezasedeni;
- med vikendom ni dnevne migracije med občinami;
- poleti je število ljudi v občini manjše za faktor 0,8.

Navedene predpostavke izhajajo iz izkustvenih opredelitev, saj v literaturi nismo zasledili raziskav na tem področju. Model bo zato potrebno nadgrajevati z rezultati usmerjenih raziskav.

Grafično sta dnevna in nočna zasedenost stavb v izbranem izseku naselja prikazani na sliki 3.

4 Aplikacija za oceno posledic potresa

4.1 Spletna aplikacija za urejanje baze ocenjenih stavb ZAG

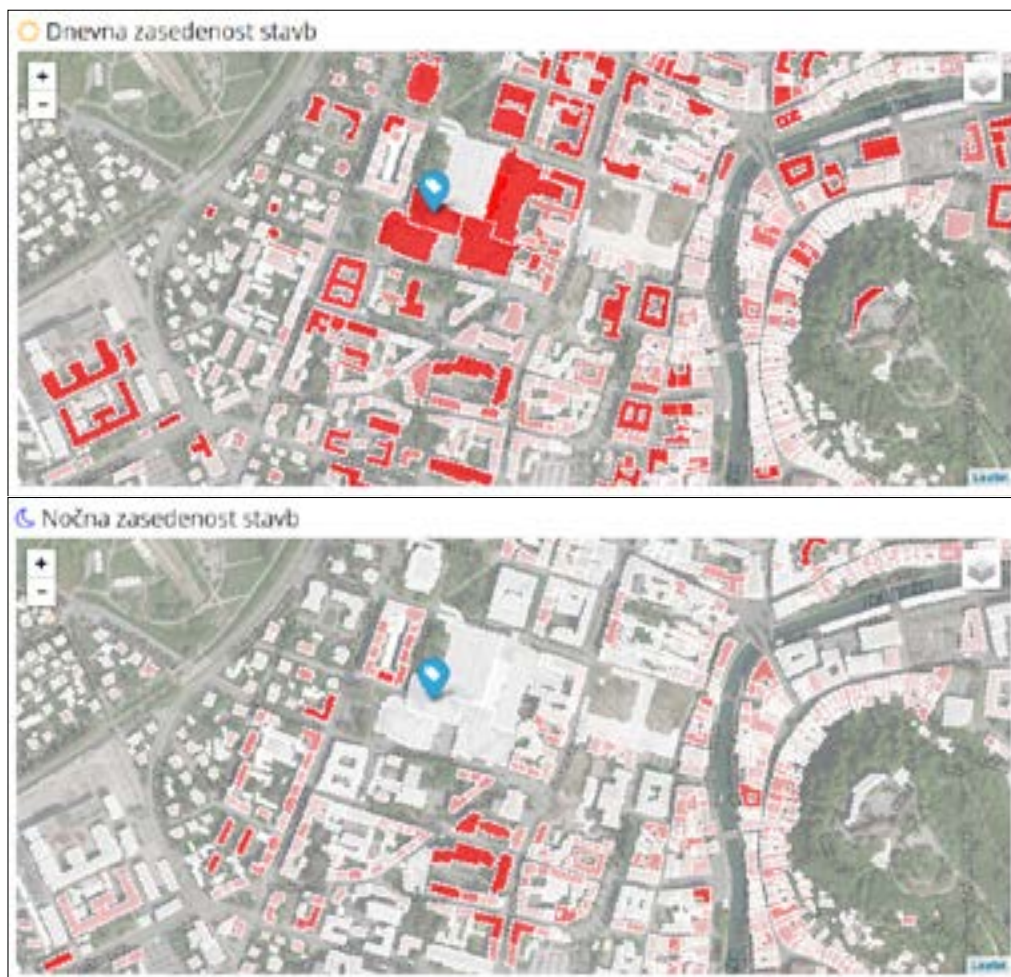
Preglednost, dostopnost in ažurnost podatkov omogoča ustrezna zbirka stavb, ki vsebuje splošne podatke o stavbi, lokaciji stavbe in geološko-seizmoloških lastnostih lokacije, podatke o konstrukciji stavbe ter oceno potresne odpornosti in ranljivosti. Povezava te zbirke z REN in CRP predstavlja celovito bazo podatkov o potresni ogroženosti zgrajenega okolja.

V bazi ZAG so zaenkrat predvsem stavbe iz obravnavanih območij in njihove bližine. Po namembnosti so to zdravstveni domovi in bolnišnice, gasilski domovi, šolske stavbe, fakultete in vrtci, pomembnejše upravne stavbe ter stanovanjske stavbe različnih starosti (od posameznih stavb v starih mestnih središčih do večjih stavb v naseljih). V projektu POTROG 2 smo število ocenjenih stavb v bazi ZAG povečali od 1354 na 1501.

Na bazi ZAG temeljijo korelacije med potresno ranljivostjo RAN-Z in v REN dostopnimi osnovnimi podatki o stavbi (starost, etažnost, vrsta konstrukcije). S temi korelacijami v modelu POTROG posplošeno ocenimo vse stavbe v REN, za katere tam obstajajo smiselni podatki.

V POTROG 2 smo izdelali spletno aplikacijo za vzdrževanje, urejanje in nadgradnjo baze individualno ocenjenih stavb. Namenjena je dvema vrstama uporabnikov:

- Splošni javnosti, ki lahko išče po bazi individualno ocenjenih stavb glede na občino, naslov ter glede na prikaz na karti. Splošna javnost ima možnost vpogleda le v podatek obstoja individualne ocene;



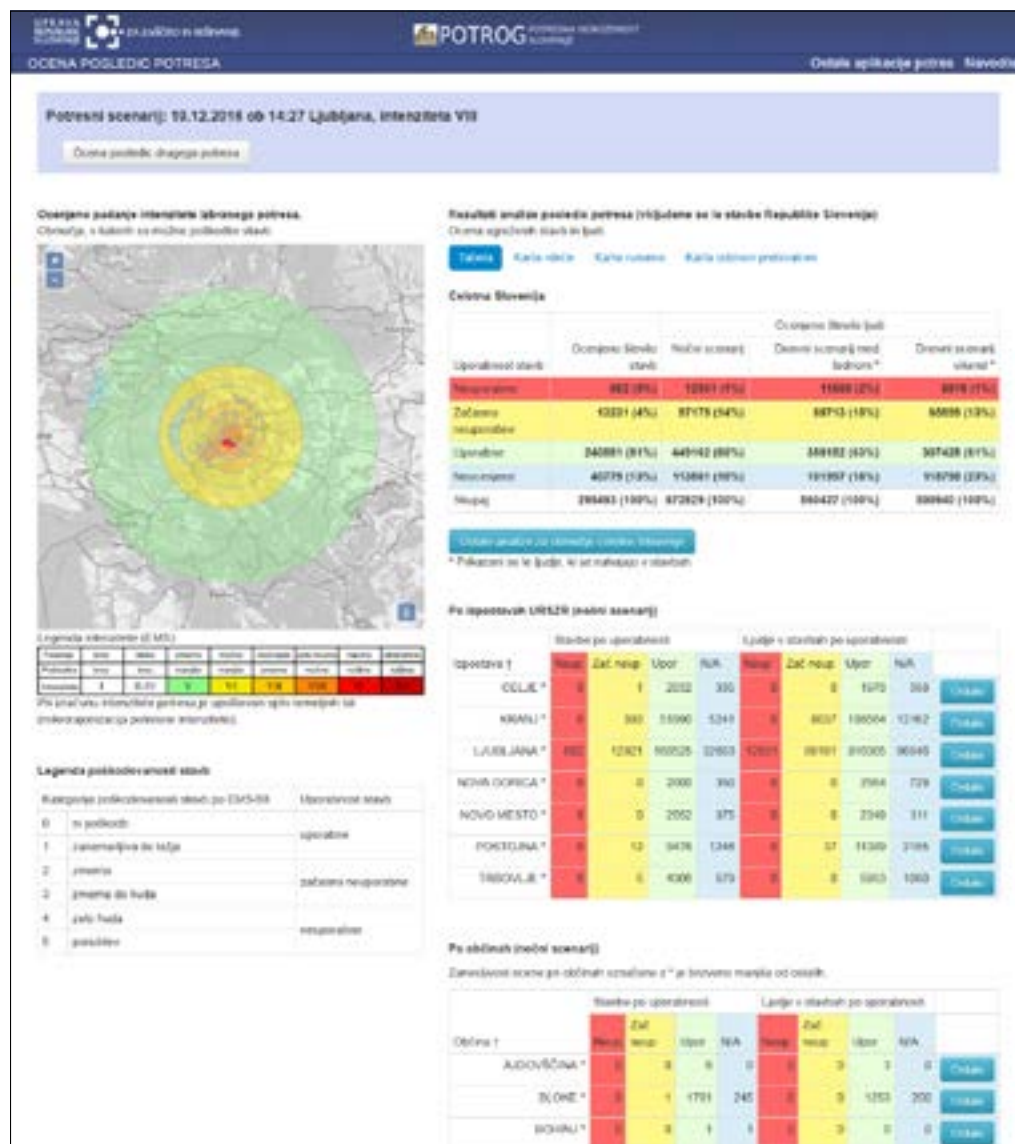
Slika 3: Prikaz vizualizacije dnevnega modela. Modra oznaka prikazuje izbrano stavbo, za katero so v nadaljevanju aplikacije izpisani podatki o stavbi in zasedenost (dnevna, nočna).

- URSZR in občinski oddelkom za zaščito in reševanje, ki imajo z geslom zaščiten dostop do dela baze. Uporabniki lahko pregledujejo vse relevantne podatke o ocenjenih stavbah, ne morejo pa urejati podatkov posameznih stavb.

4.2 Model ruševinskega kupa in model zasutosti ljudi

Model ruševinskega kupa (MRK) ocenjuje količino ruševin in potrebno število odvozov na deponijo. Količina ruševin se najprej oceni po metodologiji FEMA (2007), po kateri je v skupni količini vključena oprema in praznine med ruševinami, nato pa se oceni le količina gradbenega materiala brez upoštevanja praznin (ocena ZAG).

MRK vključuje scenarij takoj po potresu in kasneje, ko je potrebno zelo poškodovane stavbe porušiti in odstraniti. Pri prvem sta vključena celotna količina ruševin stavb s kategorijo poškodovanosti 5 in 10 % količine ruševin stavb s kategorijo poškodovanosti 4 po EMS. Pri drugem scenariju pa je vključena celotna količina ruševin stavb s kategorijama poškodovanosti 4 in 5. Po metodologiji FEMA se prostornina ruševin izračuna iz dimenzij stavbe (tlorisna površina in



Slika 4: Osnovni rezultati aplikacije »Ocena posledic potresa« za primer potresa v Ljubljani z intenziteto EMS VIII.

število etaž), ob upoštevanju parametra, ki je odvisen od poraščenosti okolice stavbe (FEMA 2007). Po oceni ZAG pa je prostornina ruševin odvisna tudi od vrste nosilne konstrukcije (zidana, armiranobetonska).

Model ocene zasutosti (MOZ) ocenjuje število zasutih oseb. Privzeli smo metodologijo, razvito po italijanskem potresu v L'Aquila leta 2009 (Zuccaro in Cacace 2011), kjer je zelo primerljiv način gradnje. Metodologija predpostavlja, da so osebe zasute le v stavbah s kategorijo poškodovanosti 4 in 5, njihova ogroženost pa je odvisna od ranljivostnega razreda posamezne stavbe po EMS (A–D) (preglednica 1).

Preglednica 1: Deleži ogroženih ljudi glede na kategorijo poškodovanosti in ranljivostni razred stavbe (Zuccaro in Cacace 2011).

ogroženost ljudi	kategorija poškodovanosti		ranljivostni razred stavbe
	4	5	
življenjsko ogroženi	0,04	0,15	A, B in C (zidane)
	0,08	0,30	C (armiranobetonske) in D
poškodbeno ogroženi	0,14	0,70	A, B in C (zidane)
	0,12	0,50	C (armiranobetonske) in D

4.3 Prostorski in statistični prikaz rezultatov za določen scenarij potresa

V projektu POTROG je bila razvita aplikacija »Ocena posledic potresa«, ki je bila omejena na simulacije potresov, ki se zgodijo v nočnem času. S projektom POTROG 2 je aplikacija nadgrajena z možnostjo simulacije tudi v dnevnem času, poleg tega pa so vključeni tudi ostali učinki potresa (model ruševinskega kupa, model ocene zasutosti). Pomembna novost je tudi vključitev vpliva temeljnih tal. Upoštewane so vse razpoložljive karte potresne mikrorajonizacije (zaenkrat za obravnavana območja).

Aplikacija je nameščena na strežnikih URSZR in omogoča analizo različnih potresnih scenarijev z epicentrom v Sloveniji. Dostopna je na spletnem naslovu: <http://potrog.vokas.si>. Po vstopu v aplikacijo uporabnik lahko izbere lokacijo enega od zadnjih potresov, lahko pa izbere svojo lokacijo (npr. Ljubljana). Nato izbere intenziteto potresa med VI. in IX. (intenzitete, pri katerih pride do poškodb na objektih), s klikom na gumb »Ocena obsega« pa zažene aplikacijo. Po povezavi z ustreznimi bazami aplikacija izračuna in prikaže oceno števila poškodovanih stavb po posameznih kategorijah poškodovanosti in oceno števila ljudi v teh stavbah, ločeno za različne čase potresa (slika 4). Na vrhu so rezultati za celotno Slovenijo, pod njo po posameznih izpostavah URSZR in pod njo po občinah. Neocenjene stavbe so tiste, za katere bodisi v REN ni smiselni podatkov, bodisi v bazi ZAG ni stavb s tako kombinacijo osnovnih lastnosti in posplošena ocena ni mogoča.

5 Potresna ogroženost mostov

Mostovi in drugih premostitveni objekti so ključni za učinkovito delovanje prometne infrastrukture, ki je predvsem v izrednih razmerah, med katere spada tudi potres, bistvenega pomena. Zato je nujno poznati stanje teh objektov – ne samo njihove potresne odpornosti, ampak tudi stanje poškodovanosti in varnost za prometno obtežbo. Varnost nekaterih mostov je vprašljiva že zaradi starosti in poškodovanosti.

5.1 Stanje podatkov na občinski ravni

V okviru projekta smo skušali pridobiti čim več informacij o stanju podatkovnih baz o premostitvenih objektih v 12 večjih občinah, ki so znotraj in v bližini obravnavanih območij. Uspelo nam je pridobiti podatke o 451 premostitvenih objektih v devetih občinah, ki pa se med seboj precej razlikujejo (preglednica 2). Večina občin ima osnovne podatke, kot je število in lokacija premostitvenih objektov. Podrobni podatki, potrebni za oceno potresne ogroženosti, kot so razpoložljivost dokumentacije, leto izgradnje, stanje poškodovanosti in ocena varnosti, pa so bolj izjema kot pravilo.

Preglednica 2: Razpoložljivost podatkov o občinskih premostitvenih objektih v 8 občinah (+ / - / delno: podatki so / niso razpoložljivi / so razpoložljivi za nekatere izbrane objekte).

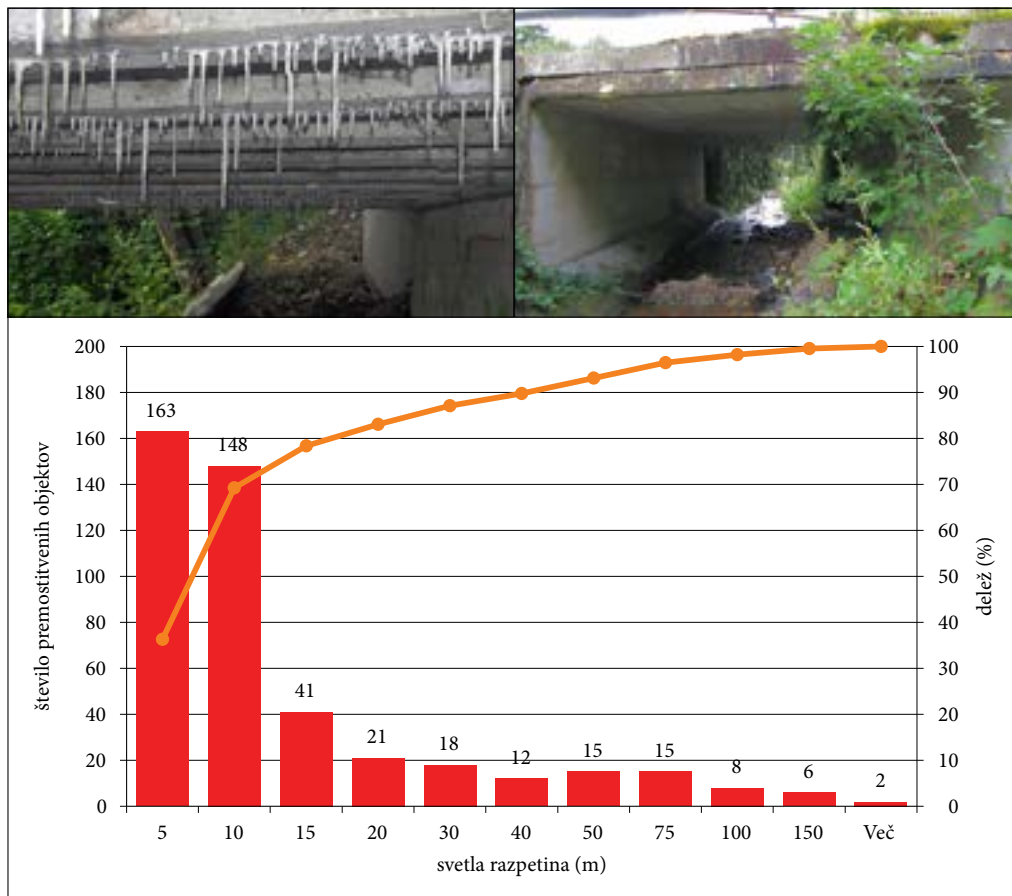
občina	podatkovna baza	osnovni podatki	letnica izgradnje	stanje poškodovanosti	dokumentacija
Brežice	+	+	delno	–	delno
Kamnik	+	+	delno	+	delno
Kobarid	+	–	delno	–	delno
Krško	+	+	–	–	–
Ljubljana	+	+	–	+	–
Medvode	+	+	delno	–	delno
Škofja Loka	+	+	delno	–	delno
Vrhnika	+	+	–	delno	delno

Premostitveni objekti so različnih dolžin (slika 5 spodaj), tipov in materialov. Le 31 objektov je daljših od 50 km, več kot 2/3 objektov je dolgih do 10 m in celo več kot 1/3 jih je dolgih 5 m in po definiciji spadajo med prepuste. Večinoma gre torej za mostove, sledijo jim prepusti in nadvozi. Zabeležena sta tudi viadukt in predor. Prevladujoči material, iz katerih so zgrajeni objekti, je armirani beton (več kot 88 % objektov), ostali so iz lesa, jekla, prednapetega betona, ali pa tega podatka nimajo.

Nekatere občine upravljajo tudi z informacijami o izvedenih pregledih, razpoložljivi dokumentaciji in predvidenih obvozih. Ocena stanja poškodovanosti, ki jo pridobimo na podlagi pregleda (slika 5 zgoraj), je namreč pomemben podatek vsakega premostitvenega objekta (Terčelj s sodelavci 1990; Žnidarič 2010; Žnidarič s sodelavci 2015). Te podatke so nam posredovale občine Ljubljana, Kamnik in Vrhnika, ki upravljajo s približno polovico vseh občinskih premostitvenih objektov. Projektna dokumentacija je na razpolago za vsaj 62 objektov, podatki o obvozih pa za 38 objektov. Za 166 ljubljanskih objektov je znana njihova vrednost (angleško *replacement cost*). Nobena občina pa sistematično ne zbira podatkov o varnosti oziroma dopustni prometni obtežbi.

5.2 Predlog razvoja metodologije za oceno ogroženosti

Zbrane podatke smo analizirali in pripravili predlog za razvoj metodologije, ki bi omogočala oceno potresne ogroženosti mostov in drugih premostitvenih objektov. Ovrednotiti bi bilo treba indikatorje stanja (tip konstrukcije, splošno stanje poškodovanosti, starost, način projektiranja,



Slika 5: Primera stanja in poškodovanosti mostu (zgoraj) ter število premostitvenih objektov glede na svetlo razpetino (spodaj).

pomembnost objekta, gostota prometa, potresna nevarnost, geološke razmere) in jih povezati v metodologijo za oceno realne potresne ogroženosti. Z metodologijo bi razvrstili objekte na potresno varne in potencialno nevarne oziroma kritične. Za slednje bi bilo treba potresno ogroženost ovrednotiti po klasičnih metodah (Kappos s sodelavci 2012; CEN 2005).

6 Sklep

Potresna ogroženost individualno ocenjenih stavb je zelo različna: za nekatere stavbe je precej višja od povprečja, za nekatere pa precej nižja od povprečja stavb v bazi ZAG, ki so iz istega obdobja, iste etažnosti in iste vrste konstrukcije. Zato naj se potresno ogroženost stavb, ki so pomembne glede na število ljudi in glede na vlogo po potresu, tudi v prihodnje ocenjuje individualno. Za pomembne stavbe nepravilnih oblik in večjih gabaritov, v katerih se lahko nahaja večje število ljudi (kulturne in športne dvorane, nakupovalna poslopja, kongresni centri), je to pomembno tudi zato,

ker za tovrstne stavbe modela POTROG ne moremo uporabiti. Ocene bodo pomembne predvsem za oceno dnevnega scenarija, ko je v teh stavbah lahko veliko ljudi. Sicer ta del ostaja neocenjen, skupna ocena ogroženosti ljudi pa je premalo zanesljiva.

Do sedaj ocenjene stavbe ležijo na območjih višje potresne nevarnosti. Ker so posamezni zgodovinski in nedavni potresi prizadeli tudi kraje zunaj teh območij (Idrija in Cerklno 1511, Brestanica in Krško 1628, Metlika 1699, Cerklno 1926, Ilirska Bistrica 1956, Kozjansko 1974) vidimo potrebo, da se individualno ocenijo tudi pomembne stavbe s teh območij srednje in nižje potresne nevarnosti. Tudi zato, ker je potresna ogroženost teh stavb po obstoječem modelu POTROG praviloma prenizka. Za ta območja bo treba izdelati tudi zemljevide potresne mikrorajonizacije.

Dnevni model zasedenosti stavb je ključni korak k boljši oceni potresne ogroženosti ljudi. Z uporabo modela in dodatnega anketiranja pa bo mogoče model še izboljšati (npr. zasedenost zaradi turistov). Pomemben prispevek k enostavnejši in hitrejši uporabi rezultatov je vzpostavitev portala »Aplikacije potres« za vstop v vse aplikacije in baze podatkov. Celovito načrtovanje potrebnih sil zaščite in reševanja omogoča posodobljena aplikacija »Ocena posledic potresa«, v katero so vključeni tudi podporni modeli za oceno ruševinskega kupa, zasutosti in prevoznosti, povezava med poškodovanimi objekti ter plinovodnim, vodovodnim in električnim omrežjem, kot tudi ocena potenciala verižnih nesreč.

Sistem orodij in baze ocen se že uporablja, predvsem pri pripravi ocen ogroženosti in načrtih zaščite in reševanja na različnih ravneh, izkazal pa se je tudi kot izredno učinkovito sredstvo za pripravo in izvedbo štabnih vaj.

Zahvala: Predstavljene rezultate smo pridobili v okviru projektov POTROG in POTROG 2, ki ju je financirala Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje.

7 Viri in literatura

- CEN 2005. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofit of buildings (EN 1998-3:2005). Bruselj.
- FEMA 2007. Debris Management Guide. Medmrežje: <https://www.fema.gov/pdf/government/grant/pa/demagde.pdf> (19. 11. 2013).
- Grünthal, G. (ur.) 1998: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 99. Medmrežje: http://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch.pdf (19. 11. 2013).
- Kappos, A. J., Saiidi, M., Aydinoglu, N., Isakovic, T. (ur.) 2012: Seismic Design and Assessment of Bridges: Inelastic Methods of Analysis and Case Studies. Berlin.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2001: Karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal in tolmač. Uprava Republike Slovenije za geofiziko Agencije Republike Slovenije za okolje. Ljubljana.
- Lutman, M., Kreslin, M., Banovec, P., Cerkl, M. 2016: POTROG 2 – Nadgradnja sistema za določanje potresne ogroženosti in odzivnosti za potrebe zaščite in reševanja v Sloveniji. Elaborat, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Lutman, M., Peruš, I. 2002: Ocena potresne ogroženosti 12 objektov v Lek, d. d. Ljubljana. Elaborat, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Lutman, M., Peruš, I., Tomaževič, M. 2001: Potresna odpornost objektov v Mestni občini Ljubljana. Elaborat, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Lutman, M., Weiss, P., Klemenc, I., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Banovec, P., Cerkl, M. 2013: POTROG – Potresna ogroženost v Sloveniji za potrebe Civilne zaščite. Elaborat, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.

- Peruš, I., Fajfar, P., Reflak, J. 1995: Potresna ogroženost in varstvo pred potresi 1: Metodologija za oceno potresne ranljivosti obstoječih gradbenih objektov: zidane in armiranobetonske konstrukcije stavb. Elaborat, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih. Uradni list SFRJ 31/1981. Beograd.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard. Slovenski inštitut za standardizacijo. Ljubljana, 2005.
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2011: Karta potresne intenzitete Slovenije. Ujma 25.
- Terčelj, S., Žnidarič, J., Marolt, J., Žnidarič, A. 1990: Metode za ocenjevanje zanesljivosti mostne konstrukcije. Ljubljana.
- Zuccaro, G., Cacace, F. 2011: Seismic Casualty Evaluation: The Italian Model, an Application to the L'Aquila 2009 Event. Human Casualties in Earthquakes: Progress in Modelling and Mitigation. Dordrecht.
- Žnidarič, A. 2010: Vzpostavitev metodologije določanja in kontroliranja nosilnosti objektov na državnih cestah. Ljubljana.
- Žnidarič, A., Herga, L., Pirman, B., Willenpart, T., Hevka, P., Močnik, C. 2015: Management of bridges in Slovenia – National Report. PIARC – World Road Congress. Seul.

DOLOČANJE STABILNOSTI TAL S POMOČJO RADARSKE INTERFEROMETRIJE V NASELJENIH OBMOČJIH

dr. Mateja Jemec Auflič

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

mateja.jemec@geo-zs.si

dr. Marko Komac

Marko Komac s.p.

m.komac@telemach.net

Blaž Milanič, dr. Jernej Jež

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

blaz.milanic@geo-zs.si, jernej.jez@geo-zs.si

IZVLEČEK

Določanje stabilnosti tal s pomočjo radarske interferometrije v naseljenih območjih

Določanje stabilnosti tal na naseljenih območjih je povezano s spremljanjem dinamike premikov v prostoru in času. Zaradi počasnih premikov pogosto ni mogoče ugotavljati njihovega prostorskega obsega in vzrokov. Posebej težavno je ugotavljanje območij večjih nestabilnosti, prav tako tudi napovedovanje prihodnjega dogajanja. Z razvojem radarske interferometrije je mogoče na lokalni in regionalni ravni ugotoviti lego stabilnih območij. V prispevku obravnavamo geološko pogojene nevarnosti v mestih Ljubljana in Maribor, ki smo jih določili in analizirali v sklopu projekta PanGeo, v okviru katerega je bila z uporabo radarske interferometrije določena stabilnost tal v 52 evropskih mestih.

KLJUČNE BESEDE

naravne nesreče, zemeljski plazovi, radarska interferometrija, permanentni sipalci, Ljubljana, Maribor

ABSTRACT

Determination of ground stability in settlements using radar interferometry

Detection of ground stability in settlements is linked to the monitoring of the dynamic of movements in space and time. Due to mostly slow movements it is often impossible to determine their spatial extent and causes for motion. Therefore, the identification of instability on larger areas is problematic, as well as predicting their future behaviour. The development of radar interferometry enables landslide stability zoning both at local and regional level. In this chapter we focus on the geohazard of the cities Ljubljana and Maribor, defined and analyzed in the frame of the PanGeo project that provided geohazard information service for 52 European cities by using radar interferometry.

KEY WORDS

natural disasters, landslides, radar interferometry, permanent scatters, Ljubljana, Maribor

1 Uvod

V začetku 21. stoletja smo dosegli mejnik v poseljenosti, saj večina svetovnega prebivalstva živi v urbanih območjih (Gencer 2013). Revščina in različni demografski pritiski botrujejo množičnemu priseljevanju v mesta, ta trend pa je velik izziv za mesta, vsaj se je s tem povečal pritisk na prostor, naravne vire in storitve. Posledično se mesta pogosto gradi na poplavnih ravnicah, potresno aktivnih območjih in na območjih, ki so podvržena plazenju. Pri obvladovanju ravnovesja med naravnimi nevarnostmi in zagotavljanju trajnostnega razvoja mest ima geoznanost pomembno, vendar pogosto premalo cenjeno vlogo. Ustrezne strokovne podlage pripomorejo k boljšemu urbanemu razvoju, vplivajo na zmanjšanje negativnih vplivov na okolje in zagotavljajo boljše pripravljenost prebivalstva na naravne nesreče, kot so poplave ali nestabilnosti tal.

Leta 2000 (Cities ... 2011) naj bi 54,7 % svetovnega prebivalstva živel v mestih z manj kot 500.000 prebivalcev. Ta delež naj bi se do leta 2020 zmanjšal na 50,4 %. V nasprotju s tem je leta 2000 8,2 % svetovnega mestnega prebivalstva živel v mestih z več kot 10 milijoni prebivalcev, medtem ko naj bi leta 2020 ta delež narasel na 10,4 %. V Evropi živi okoli 70 % prebivalcev v mestnih naseljih, kjer se ustvarita več kot dve tretjini bruto domačega proizvoda. Mesta, kot središča gospodarskih panog in inovativnih dejavnosti, so pomembna za Evropsko gospodarstvo, obenem pa imajo zaradi zgotovitve prebivalstva in dejavnosti visok škodni potencial. Poleg zagotovitve domovanj za prebivalstvo, je treba pri obravnavanju vplivov naravnih nesreč upoštevati tudi zapletene mestne sisteme, ki zagotavljajo energijo, vodo, hrano in druge storitve ter nestalne in spremenljive tokove (na primer promet). Rast prebivalstva in večanje vrednosti premoženja na območjih podvrženih naravnim nevarnostim, vodi do povečane občutljivosti urbanih območij. Razumevanje naravnih nevarnosti, kot so poplave, potresi in stabilnost tal, postavlja pred strokovnjake vedno nove zahteve glede odkrivanja in spremljanja omenjenih procesov. Topogledno vedno bolj uporabljamo metode daljinskega zaznavanja, geografske informacijske sisteme in informacijske tehnologije.

V prispevku obravnavamo stabilnost tal na naseljenih območjih in njihovo odkrivanje oziroma spremljanje. Razumevanje le-teh je povezano s spremljanjem dinamike premikov v prostoru in času, kar ni preprosto ob dolgotrajnih, počasnih in nelinearnih premikih površja oziroma plazenju na večjem območju. Težave, ki lahko nastopijo ob daljšem opazovanju površja, so: zamudne in nemalokrat preredke ponovitve meritev ter nezmožnost izvajanja meritev za nazaj. Z analizo in združitvijo obstoječih geoloških *in-situ* podatkov, podatkov daljinskega zaznavanja v radarskem delu elektromagnetnega spektra ter z ustreznimi matematično-analitičnimi metodami je mogoče ugotoviti, na katerih območjih lahko pride do pobočnih premikanj in drugih nestabilnosti tal. Tak pristop s tem dobi praktične učinke, saj podaja smernice odločevalcem s področja varovanja prebivalstva in lastnine ter prostorskim planerjem pri trajnostnem razvoju mest.

V prispevku obravnavamo geološko pogojene nevarnosti v Ljubljani in Mariboru, ki smo jih opredelili v sklopu projekta *PanGeo* (potekal je med letoma 2011 in 2014), financiranega v okviru 7. okvirnega programa Evropske unije (medmrežje 1). Z uporabo radarske interferometrije je bila določena stabilnost tal v 52 evropskih mestih oziroma življenjski prostor z okrog 13 % državljanov. Rezultati omogočajo prost dostop do informacij o geoloških nevarnostih (geohazardih) kot podpora sistemu GMES (globalno spremljanje okolja in varnosti, angleško *Global Monitoring for Environment and Security*).

2 Metode

Opazovanje Zemljinega površja s pomočjo radarske interferometrije (*InSAR*, angleško *Interferometric Synthetic Aperture Radar*) so začeli izvajati v poznih 80-ih letih prejšnjega stoletja, ko je NASA izstrelila prvi satelit (*SEASAT*) z umetno-odprtinskim radarjem (*SAR*). Z njim so bili

pridobljeni prvi radarski podatki o Zemljinem površju (Goldstein s sodelavci 1988). Prelomnica pri uporabi radarskih podob je bila izstrelitev satelita *ERS-1* leta 1991. Od takrat dalje radarska interferometrija doživlja pravi razcvet, kar dokazujejo vse novejša in izpopolnjena tipala, ki nudijo vedno večjo prostorsko ločljivost in tudi vedno večjo časovno ponovljivost. Obstoječi delujoči radarski sistemi so *ERS-2*, *RADARSAT*, *ENVISAT*, *JERS*, *TerraSAR-X*, *ALOS* ter *Cosmo Sky Med*, *Sentinel-1*. Vesoljske velesile v bližnji prihodnosti načrtujejo izstrelitev novih satelitov – *TerraSAR-X*, *SAOCAM*, *ALOS-2* ter *DesdynI*.

Radarska interferometrija je od začetnih poizkusov uporabe in vse do danes na tehnološkem ter podatkovnem področju zelo napredovala. Zaradi ugodnih lastnosti radarskih podob, nemotenega potovanja žarkov skozi atmosfero, neodvisnosti od sončne svetlobe, razmeroma ugodne cene in številnih časovnih sosledij podob, je radarska interferometrija uporabna na različnih področjih raziskovanja Zemljinega površja, kot na primer pri:

- a) izdelavi digitalnega modela višin iz parov podob *ERS1* in *ERS2*,
- b) študiju potresov na temelju visoko ločljivih topografskih in deformacijskih podob potresno nevarnih območij,
- c) opazovanju dejavnosti ognjenikov, kjer *SAR* ponuja dobro časovno in prostorsko pokritost, kar omogoča natančno preučevanje premikanja mas,
- č) reliefu, tektoniki in eroziji, ki odločilno vplivajo na oblikovanost Zemljinega površja, usmerjeno predvsem v merjenje premikov,
- d) hidrologiji in ekologiji, kjer se meri vsebnost vode v posameznih medijih,
- e) opazovanju ledenikov, predvsem njihovega premikanja in posledično določanja reliefa velikih površin,
- f) zemeljskih plazovih, kjer uporaba metode permanentnih sipalcev omogoča merjenje premikov stabilnih točk na površju.

Radarska interferometrija permanentnih sipalcev (*PSInSAR*, angleško *Persistent Scatterer Technique*) omogoča zelo natančno opazovanje hitrosti navpične komponente premikov površja oziroma premikov v smeri snemanja satelita, ki je enak smeri potovanja radarskega signala (Ferretti, Prati in Rocca 2001; Ferretti s sodelavci 2005; Bürgmann s sodelavci 2006; Ferretti in Crespa 2006), tektonskih premikov (Massonnet s sodelavci 1993; Colesanti s sodelavci 2003), posedanja ali nabrekanja tal (Carnec in Delacourt 2000; Ferretti, Prati in Rocca 2000). Prav tako je metoda v geologiji uporabna pri opazovanju počasnih pobočnih premikov (Ferretti s sodelavci 2000; Colesanti s sodelavci 2003; Canuti s sodelavci 2004; Colesanti in Wasowski 2006; Hilley s sodelavci 2004; Ferretti s sodelavci 2005; Komac in Jemec Auflič 2010; Žibert, Komac in Jemec Auflič 2012).

Temeljni princip delovanja metode *PSInSAR* je enak klasični radarski interferometriji *InSAR* (Ferretti, Prati in Rocca 2000), pri čemer *PSInSAR* zajema le posamezne objekte na Zemljinem površju, ki jim zaradi njihovih nespremenljivih lastnosti pravimo permanentni sipalci. Permanentni sipalci (PS) so objekti ali predmeti, ki jih lahko zaradi njihove dobre odbojnosti in koherentnosti prepoznamo na več radarskih posnetkih v daljšem časovnem obdobju. Visoka koherentnost sipalcev je lastnost objekta, ki ne spreminja svojih odbojnih lastnosti in je v daljšem časovnem obdobju ves čas vidna na satelitskih podobah. Sipalci so lahko naravni, kot so na primer izdanki kamnin, gola zemljišča ali umetno ustvarjeni objekti, kot so na primer stavbe, ceste, antene, daljnovodi, mostovi. Metoda *PSInSAR* dá najboljše rezultate na poseljenih območjih, kjer je velika gostota točk, na območjih golih skal ter tam, kjer se objekti s časom ne spreminjajo (Ferretti, Prati in Rocca 2001; Bürgmann s sodelavci 2006). Najmanjša gostota PS točk, ki še zagotavlja kakovostne rezultate, je 3–4 PS/km² (Colesanti s sodelavci 2003). V urbanih območjih je gostota permanentnih sipalcev od več 100 do nekaj 1000 PS/km², na neposeljenih in poraslih območjih pa od 10 do 50 PS/km². Zelo majhna gostota sipalcev je tudi v različnih gozdovih, savanah in prerijah. Na območjih, kjer so kamnine izpostavljene (vidne na površju), lahko gostota sipalcev presega 100 PS/km².

Tipala, občutljiva na radarske signale, zaznajo premike na sipalcih. Premiki so lahko vzrok številnih sprememb na Zemljinem površju in so povezani z nestabilnostjo pobočja, naravnim posedanjem zaradi posedanja mehkih kamnin ali nabrekanja tal, posedanjem tal zaradi črpanja podzemne vode ali nafte, rudarjenja in podzemnih konstrukcij, posedanjem objektov zaradi slabe konstrukcije ali materialov ter različnih premikov zaradi erozije, tokov, rečnih naplavin ...

Premiki sipalcev se merijo glede na referenčni sipalec znotraj podobe (idealno mesto tega je v središču podobe), ki je prostorsko izhodišče premikov, za katerega se predpostavlja, da v času pridobivanja podatkov ni bil podvržen deformacijam ali premikom, torej je stabilen z antropogenega vidika (ne pa tudi geološkega!). Poleg referenčnega (stabilnega) sipalca je s časovnega vidika kot referenčna podoba običajno izbrana podoba, ki je bila pridobljena v osrednjem obdobju opazovanj, s tem pa predstavlja časovno referenčno raven vseh drugih podatkov. Tako kot druge metode daljinskega zaznavanja, ima tudi metoda permanentne radarske interferometrije pomanjkljivosti. Poleg že naštetih je glavna predvsem zmožnost opazovanja počasnih premikov z največjo hitrostjo približno 28 mm v 35-ih dneh. To omejitev določa valovna dolžina uporabljenega radarskega signala, ki je 56 mm ter ponovitveni čas pridobivanja podatkov, ki je 35 dni. Zgoraj navedeni podatki veljajo za satelite *ERS* ter *ENVIS2*.

3 Analize in rezultati

3.1 Ocena stabilnosti tal v Ljubljani z okolico

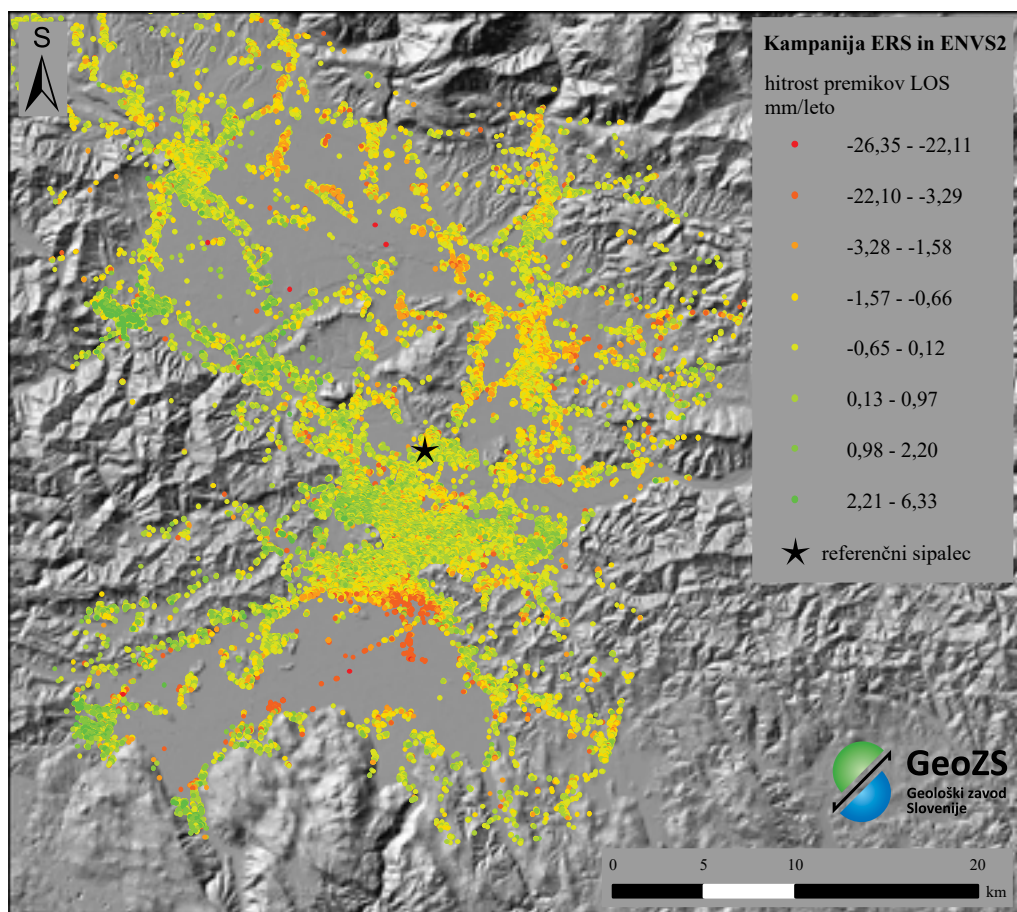
Na območju osrednje Slovenije, natančneje Ljubljanske kotline in njenega bližnjega obrobja, je bilo med letoma 1992 in 2000 s satelitom *ERS* posnetih 64 radarskih podob ter med letoma 2004 in 2007 s satelitom *Envisat* (*ENVIS2*) 17 podob. Oba satelita sta potovala po orbiti s severa proti jugu ali po spuščajoči se tirnici (angleško *descending orbit*). Na radarskih podobah so bile kot permanentni sipalci določene vse »tarče«, ki so odgovarjale naravnim ali umetnim sipalcem. Na *ERS* podobah je bilo določenih 74.159 in na *ENVIS2* 20.595 PS. Položajna natančnost koordinat PS je ± 10 m v smeri vzhod-zahod ter ± 4 m v smeri sever-jug. Natančnost merjenja premikov v smeri snemanja satelita (angleško *Line-Of-Sight* ali *LOS*) je od 0,1 do 2,0 mm/leto in je odvisna od števila podob v časovnem nizu, gostote PS in oddaljenosti posameznega PS od referenčne točke. Hitrosti premikov v smeri potovanja signala so med $-27,1$ in $+5$ mm/leto in se nanašajo na izbrano referenčno točko znotraj območja opazovanja. Za referenčno podobo, ki predstavlja časovno izhodišče premikov, je bila pri podatkih *ERS* izbrana podoba z dne 21. 12. 1997, za referenčno podobo pri podatkih *ENVIS2* pa podoba z dne 21. 8. 2005. Za referenčno točko je bil izbran sipalec v bližini Črnuč pri Ljubljani ($46^{\circ}06'6,24''$ N, $14^{\circ}31'9,75''$ E).

Na 1970 km² velikem območju osrednje Slovenije, je bilo opredeljenih prek 94.000 sipalcev (slika 1).

Geološka sestava Ljubljanske kotline in njenega obrobja je zelo raznolika, prav tako njena recentna geodinamika. Območje sestavljajo glinavci, laporovci, peščenjaki, konglomerati, apnenci, lapornati apnenci, dolomiti ter jezerski, barjanski in rečni sedimenti (Komac s sodelavci 2012).

Na podlagi hitrosti premikov sipalcev v smeri potovanja satelita smo določili in opredelili 47 manjših in večjih območij, ki so v podatkovnem sloju prikazani s homogenimi poligoni. Na 34 območjih smo analizirali časovne premike tarč, pri 13 poligonih pa smo zaradi odsotnosti časovnih nizov premikov primerjali le povprečne premike. Za vsako območje smo na temelju hitrosti sipalcev, kamninske sestave ter terenskega oglada določili vrsto geološke nevarnosti iz vnaprej določenega nabora možnosti.

Na območju Ljubljanske kotline in njenega obrobja prevladuje podlaga, ki je podvržena posedanju (kompakciji) zaradi naravnih procesov znotraj nesprijetih sedimentov. Velik del Ljubljanskega barja je podvržen posedanju zaradi oksidacijskih in kompakcijskih procesov (slika 2) in zaradi upadanja ravni podzemne vode, ki je posledica njenega izkoriščanja. Na več mestih po

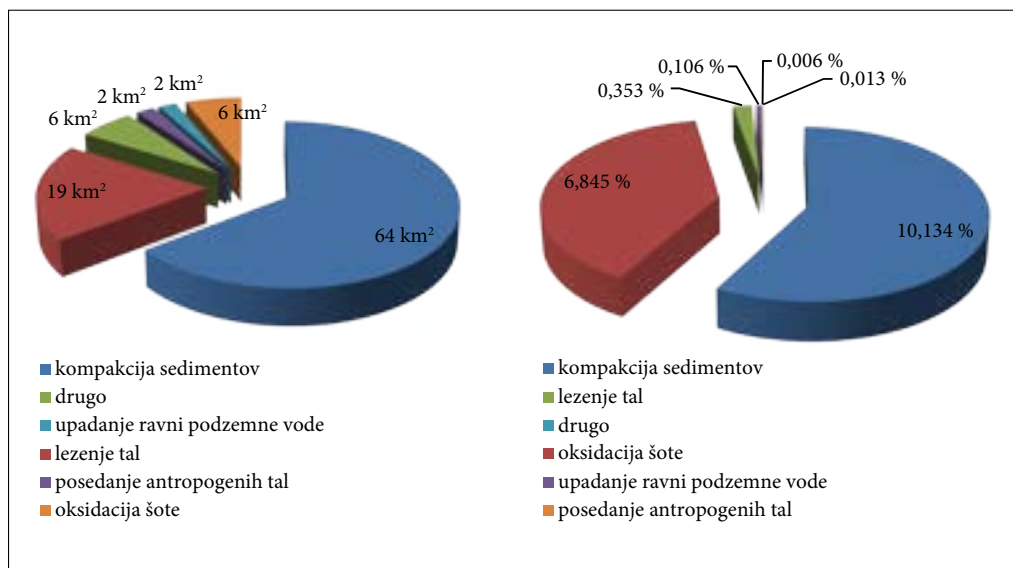


Slika 1: Prostorska porazdelitev sipalcev in njihova hitrost premikov v Ljubljanski kotlini, pridobljenih s satelitoma ERS in ENVIS2.

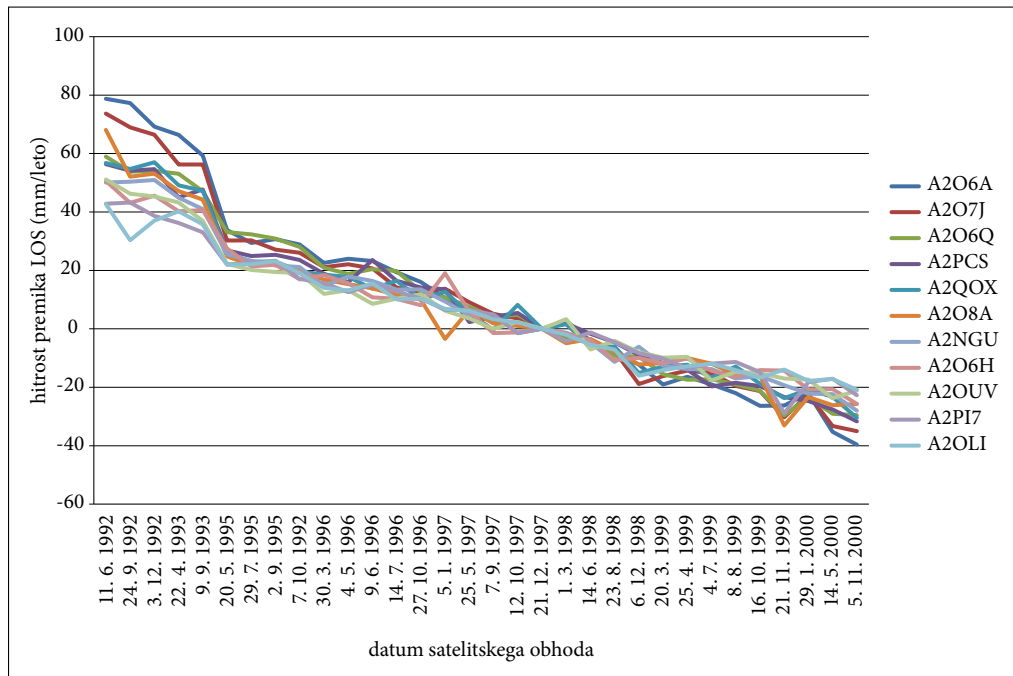
obrobju kotline kažejo premiki sipalcev možnost plitvega polzenja tal. Slika 3 prikazuje časovni niz sipalcev na območju Ljubljanskega barja. Zaradi oksidacijskih in kompaksijskih procesov v šoti se je območje v približno 8 letih v povprečju znižalo za okoli 100 mm.

3.2 Ocena stabilnosti tal v Mariboru

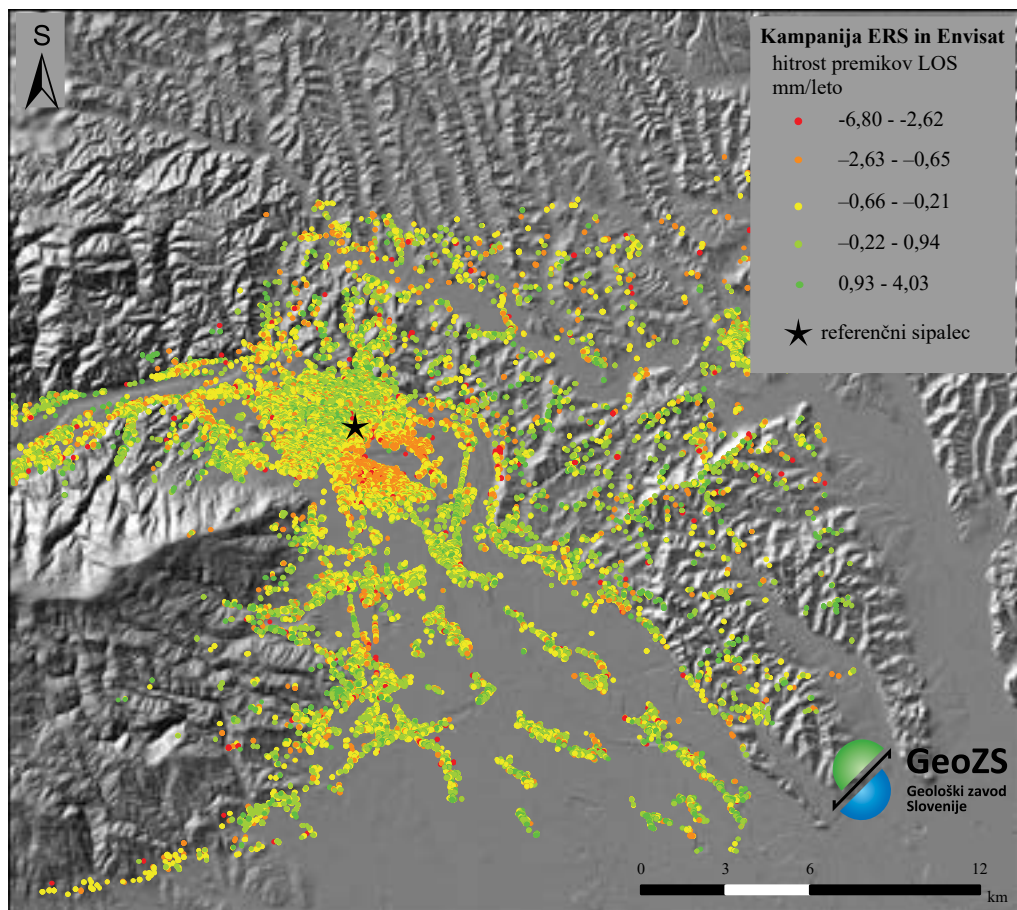
Na območju Maribora in okolice smo določili prek 99.000 sipalcev (slika 4). Prvo obdobje opazovanja premikov površja obsega 58 opazovanj (ERS satelitskih radarskih podob, posnetih iz spuščajoče se tirnice) med letoma 1992 in 2000, drugi del opazovanj pa 44 opazovanj med letoma 2002 in 2010 (23 Envisat satelitskih radarskih podob iz spuščajoče se in 21 podob iz dvigajoče se tirnice). Natančnost lokacije sipalcev v horizontalni smeri je $\pm 8,5$ m. Hitrosti premikov v smeri potovanja signala in so med $-9,85$ in $+5,2$ mm/leto ter so relativne glede na izbrani referenčni sipalec znotraj območja opazovanja. Za referenčno podobo pri podatkih ERS je bila izbrana podoba,



Slika 2: Porazdelitev različnih vzrokov posevanja tal; levo po velikosti območij v km², desno po deležu vzrokov posevanja.



Slika 3: Časovni nizi sipalcev na območju Ljubljanskega barja.



Slika 4: Prostorska porazdelitev sipalcev in njihova hitrost premikov v Mariboru in okolici, pridobljenimi s sateliti ERS in Envisat.

pridobljena 19. 9. 1996. Za referenčno podobo pri podatkih *Envisat* je bila pri podobah iz spuščajoče tirnice izbrana podoba posneta na dan 20. 4. 2006 in pri dvigajoči tirnici podoba, pridobljena na dan 5. 2. 2005. Na območju opazovanja, ki pokriva približno 2170 km², smo določili 44, večinoma manjših območij deformacij površja, ki so posledica nabrekanja in krčenja sedimentov zaradi prisotnosti glin, plazenja oziroma polzenja tal ter naravnega posedanja sedimentov. Za 40 območij smo analizirali časovne nize premikov tal (oziroma objektov), na štirih območjih pa takšne analize zaradi pomanjkanja podatkov niso bile mogoče (Komac s sodelavci 2013).

4 Sklep

Za območja mestnih občin Ljubljane in Maribora z okolico smo izvedli analizo vertikalnih premikov tal. Metoda permanentne radarske interferometrije se je izkazala za uporabno orodje pri začetnem in preglednem določanju nestabilnih delov na ravni urbanih območij, v nekaterih primerih

tudi na ravni stavb. Časovni vpogled v pretekle premike (ali stabilnost) prinaša koristne informacije za prostorsko načrtovanje ter za ugotavljanju naravnih in antropogenih vzrokov premikov. Informacije, pridobljene s pomočjo permanentne radarske interferometrije lahko koristijo urbanistom, zavarovalnicam, geološki, geotehnični in gradbeni stroki ter seveda širši javnosti.

Določitev dejanskih vzrokov premikanj je brez terenskega ogleda nemogoča, saj le na podlagi daljinskega zaznavanja ni mogoče pridobiti preglednih informacij o materialih, ki gradijo objekte, o geološki sestavi, kakovosti temeljenja objektov in relativnih premikih na lokacijah PS glede na njihovo bližnjo okolico. Predstavljeno orodje je pripomoček za prvi vpogled v počasnejše procese premikanja tal, ki je zelo koristno za nadaljnje podrobnejše ocene premikanj.

Zahvala: Analize so bile izvedene v okviru projekta PanGeo financiranega v okviru Sedmega okvirnega programa (SPA-2010.1.1.-01) Evropejske unije. Avtorji se zahvaljujemo tudi vsem sodelujočim sodelavcem na Geološkem zavodu Slovenije.

5 Viri in literatura

- Bürgmann, R., Hilley, G., Ferretti, A., Novali, F. 2006: Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay Area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis. *Geology* 34-3.
- Canuti, P., Casagli, N., Ermini, L., Fanti, R., Farina, P. 2004: Landslide activity as a geoinicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. *Environmental Geology* 45.
- Carnec, C., Delacourt, C. 2000: Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gradane, France. *Journal of Applied Geophysics* 43.
- Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011. London, Washington, 2011. Medmrežje: <http://mirror.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3086> (5. 2. 2017).
- Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2003: Monitoring landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers technique. *Engineering Geology* 68, 1-2.
- Colesanti, C., Wasowski, J. 2006: Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology* 88, 3-4.
- Ferretti, A., Crespas, S. 2006: Advances in differential SAR interferometry: from DInSAR to PSInSARTM. CSTARS "Height" Workshop. Miami.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2000: Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 38-5.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001: Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39-1.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., Casagli, N., Farina, P., Young B. 2005: Permanent scatterers technology: a powerful state of the art tool for historic and future monitoring of landslides and other terrain instability phenomena. *Proceedings of the International Landslide Symposium – ISL2005*. Vancouver.
- Gencer, E. A. 2013: The interplay between urban development, vulnerability, and risk management. *Mediterranean Studies* 7.
- Goldstein, R. M., Zebker, H. A., Werner, C. 1988: Satellite radar interferometry – two-dimensional phase unwrapping. *Radioscience* 23-4.
- Hilley, G. E., Burgbman, R., Ferretti, A., Novali, F., Rocca, F. 2004: Dynamics of slow moving landslides from Permanent Scatterer Analysis. *Science* 304-5679.
- Komac, M., Jemec Auflič, M. 2010: Ocena premikov počasnega plazanja z interferometrično metodo permanentnih sipalcev in GIS. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.

- Komac, M., Jemec Auflič, M., Milanič, B., Bavec, M., Jež, J., Peternel, T., Krivic, J. 2012: Enabling access to geological information in support of GMES. D7.1.35, Geohazard description for Ljubljana, Slovenia. Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Komac, M., Jemec Auflič, M., Milanič, B., Jež, J., Peternel, T., Rižnar, I. 2013: Enabling access to geological information in support of GMES. D7.1.35, Geohazard description for Maribor, Slovenia. Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., Rabaute, T. 1993: The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature* 364.
- Medmrežje 1: <http://www.pangeoproject.eu/> (5. 2. 2017).
- Žibret, G., Komac, M., Jemec Auflič, M. 2012: PSInSAR displacements related to soil creep and rainfall intensities in the Alpine foreland of western Slovenia. *Geomorphology* 175-176.

E-PLAZ – SPLETNA APLIKACIJA ZA POPIS IN PREGLEDOVANJE PLAZOV IN EROZIJE

Špela Kumelj, Jasna Šinigoj

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

spela.kumelj@geo-zs.si, jasna.sinigoj@geo-zs.si

IZVLEČEK

e-Plaz – spletna aplikacija za popis in pregledovanje plazov in erozije

Od leta 1998 Geološki zavod Slovenije vodi bazo zemeljskih plazov. Z razvojem metodologije za določanje izvornih območij verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, drobirskih tokov in skalnih podorov, se je izboljšala možnost za hitrejšo in natančnejše zbiranje podatkov. Z namenom standardiziranega pridobivanja novih podatkov o pojavljanju zemeljskih plazov za območje celotne Slovenije ter v želji po doseganju višje kakovosti in zanesljivosti podatkov, je bil izdelan »popisni obrazec« za popis zemeljskih plazov in erozije. Nabor podatkov, vključenih v obrazec, zagotavlja večjo zanesljivost pri oceni geološko pogojenih nevarnosti zaradi pobočnih masnih premikov in sovпада s podatkovnim modelom spletne aplikacije e-Plaz za vnos in pregledovanje podatkov o tovrstnih nevarnostih.

KLJUČNE BESEDE

zemeljski plaz, podatkovna baza plazov, spletna aplikacija e-Plaz, MASPREM, Slovenija

ABSTRACT

e-Plaz – web application for landslides and erosion inventory

Since 1998 Geological Survey of Slovenia is developing a database of landslides, which contains data from different archives and inventories. With the development of new methodology for landslide, debris flow and rockfall probability determination, requirement for faster, more accurate updating of the database has increased. In order to ensure a uniform (and standardized) acquisition of new data on the occurrence of landslides for the whole area of Slovenia, we created the Inventory sheet for landslides and erosion. The selection of data included in the sheet corresponds directly to the scheme used by the e-Plaz web application for entering and reviewing landslide data.

KEY WORDS

landslide, landslide database, e-Plaz web application, MASPREM project, Slovenia

1 Uvod

Zakonodaja na področju naravnih nesreč je v Sloveniji urejena za področje poplav, ne pa tudi na sorodnih področjih, na primer pri pojavljanju zemeljskih plazov, skalnih podorov in drobirskih tokov. V zadnjem desetletju je bilo pripravljenih več metodologij in izdelanih več različnih zemljevidov verjetnosti njihovega pojavljanja, ne pa tudi posledičnih pravnih aktov (odlokov, predpisov, priporočil ali standardov) (Mikoš in sod. 2014).

Škodo zaradi pobočnih masnih premikov nastalo na stavbah in infrastrukturi, lahko v veliki meri zmanjšamo, če se pri prostorskem načrtovanju upošteva naravne danosti (na primer geološke značilnosti) in pretekle dogodke nestabilnosti. Zato so ustrezni tematski zemljevidi v primernem merilu (na primer zemljevidi verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov), natančne evidence o preteklih dogodkih in vzrokih za njihov nastanek, zelo pomembni.

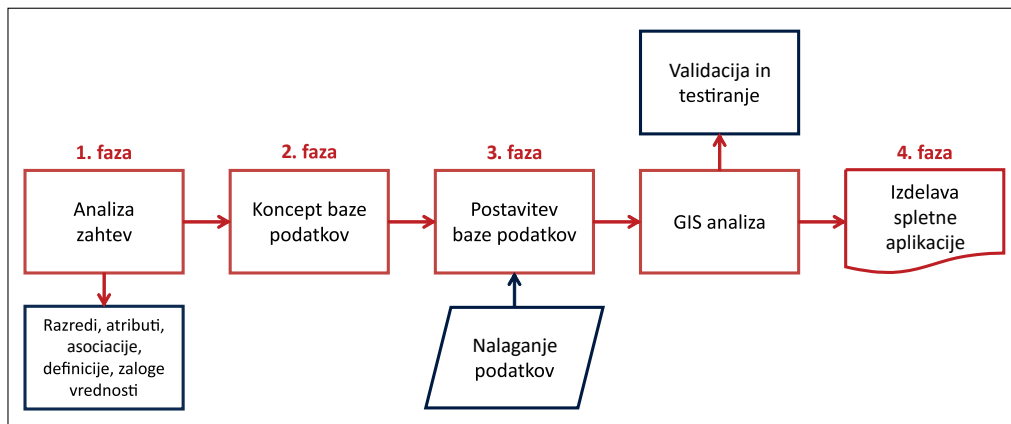
Vsi ti podatki se danes ločeno zbirajo po različnih inštitucijah. Večino podatkov sicer pridobivajo občine (zbir prijav o škodah, ki so nastale zaradi plazenja tal) oziroma te evidence zanje zbirajo izpostave Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR). Tovrstne podatke zbirajo še na Ministrstvu za okolje in prostor (Sektor za zmanjševanje naravnih nesreč), Direkciji Republike Slovenije za infrastrukturo (DRSI), Slovenskih železnicah, Geološkem zavodu Slovenije (GeoZS), Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU in drugih institucijah. Žal te evidence niso enotne, izdelane pa so bile za različne namene in v različnih časovnih obdobjih, z različno natančnostjo in širino opisov lastnosti pojavov.

Leta 2005 je Geološki zavod Slovenije v okviru naloge »Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME« (Komac in sod. 2005) sodeloval pri pregledu in analizi podatkov v do tedaj obstoječih bazah plazov. Rezultati so pokazali, da se načini pridobivanja, pozicijska natančnost ter sam način shranjevanja podatkov močno razlikuje od vira do vira. Njihovo združevanje in poenotenje je zaradi kompleksnosti pojavov in različnosti vhodnih podatkov tako dokaj omejeno. V okviru projekta »Izdelava prostorske baze podatkov in spletnega informacijskega sistema geološko pogojenih nevarnosti zaradi procesov pobočnega premikanja, erozijskih kart ter kart snežnih plazov« (v nadaljevanju GH-14) (Bavec in sod. 2012) so bili razviti verjetnostni modeli napovedi izvornih območij pojavljanja zemeljskih plazov na občinski ravni. Geološki podatki in podatki o zemeljskih plazovih vključenih v model, predstavljajo podlago, na kateri temeljijo analize in nadaljnja izdelava modelov.

Leta 2013 je URSZR pri Geološkem zavodu Slovenije naročil projekt MASPREM (Komac in sod. 2013), s ciljem izdelave dinamičnega modela, ki preko javne spletne aplikacije napoveduje, katera območja so ob (ne)primernih vremenskih razmerah izpostavljena nevarnosti proženja zemeljskih plazov. Sistem je od septembra 2013 operativen. Izkazalo se je, da so informacije o novih dogodkih plazenja ključnega pomena za kakovostno validacijo sistema v času ter da je njihovo stalno beleženje nujno. V ta namen je bil v obliki spletne aplikacije pripravljen enotni popisni obrazec, ki je dostopen vsem občinam oziroma izpostavam civilne zaščite, za stalno poročanje o novih pojavih nestabilnosti. Zbiranje podatkov o zemeljskih plazovih, še posebej ob večjih padavinskih dogodkih, zagotavlja vrednotenje zanesljivosti modelov napovedovanja njihovega proženja, razvitih v okviru projekta MASPREM. Za zagotovitev dolgoročnega delovanja sistema, poteka njegova nadgradnja (projekt MASPREM2; Šinigoj in sod. 2015).

2 Metode

Geološki zavod Slovenije od leta 1998 vodi podatkovno bazo o zemeljskih plazovih (Ribičič 1998; Komac in Hribernik 2015), ki vsebuje podatke iz različnih arhivov ter popisov s terena. Povečini gre za lokacije dogodkov brez dodatnih atributov. Z razvojem metodologije verjetnosti



Slika 1: Metodološki pristop vzpostavitve spletne aplikacije e-Plaz.

pojavnja zemeljskih plazov, drobirskih tokov in skalnih podorov, se je povečala tudi zahteva po kakovostnem in sprotnem polnjenju baze. Določen je bil minimalni nabor podatkov, s katerimi se še lahko zagotovi ustrezna kakovost rezultatov: lokacija plazu, datum sprožitve, dimenzija plazu in posledice (ocena škode in ogroženost) (Jemec Auflič in sod. 2015).

V okviru projektov GH-14, MASPREM, MASPREM2 ter nekaterih drugih je bilo v bazo do leta 2015 zajetih 7273 plazov, od tega 6941 z znano lokacijo ter 898 z znano lokacijo in datumom sprožitve (Jemec Auflič in sod. 2015).

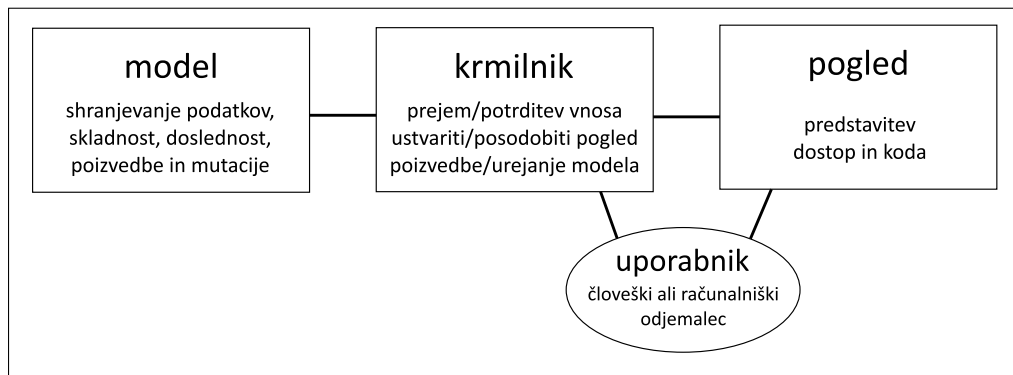
Z omenjenimi projekti ter s sodelovanjem občin, URSZR in Sektorja za zmanjševanje posledic naravnih nesreč Ministrstva za okolje in prostor, smo bližje dolgoročnemu cilju – vzpostavitvi enotne, kakovostne, centralizirane in ažurne baze zemeljskih plazov.

Vzpostavitev spletne aplikacije e-Plaz je sledila metodološkimi korakom GIS procesnega načrtovanja (slika 1). V prvi fazi je bila v skladu z zahtevami po kakovosti izvedena analiza zahtev, na podlagi katere smo oblikovali minimalni nabor podatkov o zemeljskih plazovih (faza 1: prepoznavanje potreb). Za zagotovitev enotnega in standardiziranega pridobivanja novih podatkov o pojavljanju zemeljskih plazov za celotno območje Slovenije, je bil izdelan »popisni obrazec« za popis zemeljskih plazov in erozije (faza 2: konceptualni model baze) (Ribičič in sod. 2015). Izbor podatkov, vključenih v popisni obrazec, ustreza podatkovnemu modelu (faza 3: fizični model baze), ki je podlaga spletni aplikaciji e-Plaz za vnos in pregled podatkov o zemeljskih plazovih (faza 4: izdelava spletne aplikacije).

Pri izdelavi spletne aplikacije e-Plaz je bil uporabljen načrtovalski vzorec model-pogled-krmilnik (MVC – Model - View - Controller), ki ga pogosto uporabljajo za vzorce v programskem jeziku PHP. MVC zgradba namreč omogoča delitev kode v več delov (slika 2):

- 1) *model* – del, ki služi za shranjevanje podatkov (baze podatkov, tekstovna besedila, datoteke in/ali drugi spletni viri);
- 2) *pogled* – je grafični uporabniški vmesnik aplikacije, ki vsebuje različna polja z besedilom in druge krmilnike, ki uporabniku omogočajo interakcijo z aplikacijo;
- 3) *krmilnik* – koda v ozadju, ki nadzoruje podatke, ki prihajajo s strani uporabnika, ali se posredujejo uporabniku.

Na ta način je vzpostavljen postopek preverjanja, saj se podatki vedno preverijo na krmilniku in niso neposredno dostopni uporabniku. Tako je zagotovljena varnost virov podatkov, odstranjena možnost njihovega neveljavnega vnosa ali nedovoljenega izbrisa iz aplikacijskega vira podatkov (Zeeshan 2015).



Slika 2: Načrtovalski vzorec MVC (povzeto po Zeeshan 2015).

3 Rezultati

Spletna aplikacija e-Plaz je dostopna na spletnem naslovu: <https://www.e-plaz.si>. Vstopna stran posreduje podrobne informacije o vrstah in osnovnih značilnostih pobočnih masnih premikov (zemeljskih plazovih, skalnih podorih, drobirskih tokovih in eroziji), s številnimi študijami primerov iz Slovenije in tujine (Ribičič 2016) ter je odprta za javnost (slika 3). Dostopnost do »popisnega obrazca« za popis plazov in erozijo je urejen na treh ravneh: nacionalni, regionalni (izpostave URSZR) ter občinski.

V kolikor je urejen dostop na nacionalni ravni, to pomeni, da imajo inštitucije (na primer URSZR, GeoZS, DRSI, ministrstva) možnost vnosa in vpogleda za območje celotne Slovenije, medtem ko lahko urejajo le tiste, ki so jih vnesle same. Na regionalni ravni imajo predstavniki 13 izpostav URSZR možnost vnosa in vpogleda v podatke za tiste občine, ki pripadajo določeni izpostavi in urejanje tistih, ki so jih vnesli sami. Na občinski ravni ima predstavnik občine možnost vnosa in vpogleda na območju svoje občine ter urejanje tistih, ki jih je vnesel sam. V kolikšni meri in kdaj, bo spletna aplikacija e-Plaz dostopna širši javnosti, bo odločeno po koncu projekta (konec leta 2016).

Preglednica 1: Entitete podatkovnega modela e-Plaz.

entiteta	opis
osnovne informacije	Osnovni podatki o zemeljskem plazju, kot so na primer koordinate izvirnega mesta in mesta dosega, datum sprožitve, vir informacij ...
parcele	Lokacija zemeljskega plazju/dogodka glede na zemljiški kataster.
dogodek	Opis vrste in dimenzije zemeljskega plazju.
objekti	Vrsta poškodovanega in/ali ogroženega objekta, ki ga ogroža zemeljski plaz.
škoda	Opis neposredne in posredne škode, ki jo je povzročil zemeljski plaz.
ukrepi	Opis takojšnjih izvedenih ukrepov, odgovornih oseb, število žrtev/evakuiranih ljudi, število žrtev/premeščenih živali ...
priloge	Dodajanje prilog, kot so fotografije, tehnična dokumentacija v povezavi z izvedenimi ukrepi, mnenje izvedenca ...
opombe	Dodajanje specifičnih opomb.

Podatkovni model aplikacije e-Plaz združuje več naborov objektov istega tipa (entitet), ki opisujejo zemeljski plaz prek njegovih posameznih lastnosti (atributov) (preglednica 1). Kjerkoli je bilo mogoče, so bili atributi vnaprej določeni ali kategorizirani z upoštevanjem predpisanih vrednosti, kot na primer kategorizacija zemljišč predpisana s strani Geodetske uprave Republike Slovenije.

Glavne prednosti spletne aplikacije e-Plaz so pregledovanje, dodajanje, urejanje in brisanje dogodkov ter prilaganje dopolnitvene dokumentacije. Te funkcije so opredeljene v modelu skozi



Slika 3: Uvodna spletna stran e-Plaz – <https://www.e-plaz.si>.

različne poglede in krmilnike. Glavni pogledi so: navigacijska vrstica (vsebuje povezave do opozoril, kontaktov in iskalnih rezultatov na primeru dogodka ter je prisotna v vseh drugih pogledih), prijava, registracija, potrditev e-pošte, nastavitve računa, sprememba gesla, vnos dogodka in rezultati iskanja (prikazuje posamezen že zabeležen dogodek ali seznam več dogodkov). Ogledi so pod nadzorom krmilnikov, na primer opozorila (krmilnik pogleda opozoril), račun (krmilnik za prijavo, potrditev registracije e-pošta) ali upravljanje (krmilnik vidi nastavitve računa in omogoča spremembo gesla).

Dober izgled, informiranost uporabnikov in enostavnost kontaktiranja upravljavcev spletne aplikacije e-Plaz, so z vidika uporabnosti ključni elementi v zagotavljanju njenega obiska. Le uporabne, relevantne, točne in razumljive informacije bodo zagotovile njeno trajno delovanje.

Spletna aplikacija je do konca leta 2016 v fazi testiranja. V prihodnje se v okviru enotne platforme za zbiranje podatkov o pojavih nestabilnosti načrtuje povezava z že obstoječimi aplikacijami na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (na primer SPIN in AJDA kot del informacijskega sistema URSZR).

4 Sklep

Standardiziran zajem pojavov pobočnih masnih premikanj lahko ključno prispeva h kakovosti in zanesljivosti podatkov o tovrstnih dogodkih. Hkrati omogoča sledenje pojavov nestabilnosti v prostoru in času, pomembno vpliva na preverjanje zanesljivosti metodologije za njihovo oceno ter na splošno prispeva k njihovemu razumevanju. Živimo v času, ko brez podpore informacijskih sistemov kakovostno delo ni mogoče, saj se z vsako novo informacijo razvijajo, nadgrajujejo in izboljšujejo rezultati. Vsaka novost zahteva prehodno obdobje, da je njena (iz)raba učinkovita. Tudi uporabnost spletne aplikacije e-Plaz je mogoča le ob aktivnem vključevanju uporabnikov, torej beleženju informacij o zemeljskih plazovih.

GeoZS bo spremljal vnos podatkov in uporabo same aplikacije ter skupaj z URSZR in Ministrstvom za okolje in prostor zagotavljal njen dolgoročen obstoj.

Zahvala: Avtorici se zahvaljujeva Ministrstvu za obrambo Republike Slovenije, Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje ter Sektorju za naravne nesreče Ministrstva za okolje in prostor za možnost razvoja spletne aplikacije e-Plaz v okviru projektov MASPREM in MASPREM2.

5 Viri in literatura

- Bavec, M., Čarman, M., Durjava, D., Jernej, J., Krivic, M., Kumelj, Š., Požar, M., Komac, M., Šinigoj, J., Rižnar, I., Jurkovšek, B., Trajanova, M., Poljak, M., Celarc, B., Demšar, M., Milanič, B., Mahne, M., Otrin, J., Čertalič, S., Štih, J., Hrvatin, M. 2012: GH-14 - Izdelava prostorske baze podatkov in spletnega informacijskega sistema geološko pogojenih nevarnosti zaradi procesov pobočnega premikanja, erozije ter snežnih plazov. Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Jemec Auflič, M., Kumelj, Š., Prkič, N., Šinigoj, J. 2015: Zbiranje podatkov o zemeljskih plazovih in zanesljivost napovedovanja njihovega proženja. Ujma 29.
- Komac, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Kumelj, Š., Hribernik, K., Vehovec, A. 2005: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: fazno poročilo za leto 2004. Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Komac, M., Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Peternel, T., Krivic, M., Požar, M., Podboj, M., Bavec, M., Jež, J., Čarman, M., Krajnik, M., Bergant, K., Pristov, N., Jerman, J. 2013: Sistem zgodnjega opozarjanja za primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov – MASPREM, Razvoj dinamičnega

- modela za zgodnje opozarjanje za primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov v odvisnosti od napovedane količine padavin: končna poročila (1–5). Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Komac, M., Hribnik, K. 2015: Slovenian national landslide database as a basis for statistical assessment of landslide phenomena in Slovenia. *Geomorphology* 249.
- Mikoš, M., Čarman, M., Papež, J., Janža, M. 2014: Stand der Technik - Innovationen der Ingenieurpraxis, Wildbach- und Lawinenverbau 78-174.
- Ribičič, M. 1998: Baza plazov. Interno poročilo, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Ribičič, M., Kumelj, Š., Svetličič, S., Popović, Z. 2015: Popisni obrazec za popis plazov in erozije (končni osnutek). Arhiv Geološkega zavoda Slovenije. Ljubljana.
- Ribičič, M. 2016: Zemeljski plazovi. Vrste in opis: priloga 1. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije. Ljubljana.
- Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Kumelj, Š., Krivic, M., Požar, M., Podboj, M., Tukić, M., Peternel, T., Prkić, N. 2015: Nadgradnja sistema za obveščanje in opozarjanje v primeru proženja zemeljskih plazov – Maspremv2: poročilo ob prvem mejniku. Elaborat, Geološki zavod Slovenije. Ljubljana.
- Zeeshan, A. A. 2015: Programming in Java using the MVC architecture. Medmrežje: <http://www.codeproject.com/Articles/879896/Programming-in-Java-using-the-MVC-architecture> (20. 7. 2016).

SPREMEMBE ŠKODNEGA POTENCIALA NA POPLAVNIH OBMOČJIH LJUBLJANSKEGA BARJA MED LETOMA 2003 IN 2015

Maruša Goluža, dr. Matija Zorn

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut
Antona Melika, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
marusa.goluza@zrc-sazu.si, matija.zorn@zrc-sazu.si

IZVLEČEK

Spremembe škodnega potenciala na poplavnih območjih Ljubljanskega barja med letoma 2003 in 2015

Na območju Krajinskega parka Ljubljansko barje smo preučili spremembe poselitve med letoma 2003 in 2015. Poselitev smo primerjali s poplavno ogroženostjo in na temelju vrednosti nepremičnin ugotavljali spremembo škodnega potenciala med obravnavanima letoma. Najštevilčnejše novogradnje so na območjih s srednjo in majhno nevarnostjo poplav, manj pogoste pa na območjih z veliko nevarnostjo poplav. Na delu preučevanega območja (Črna vas, Izanska cesta) se je škodni potencial povečal za več kot 22 milijonov evrov.

KLJUČNE BESEDE

naravne nesreče, poplave, škoda, prostorsko načrtovanje, Ljubljansko barje

ABSTRACT

Changes in damage potential in flood-prone areas of Ljubljana Marsh between 2003 and 2015

In the area of the Ljubljansko Barje (Ljubljana Marsh) Nature Park we examined settlements changes between 2003 and 2015. These were compared with flood risk. We determined changes in damage potential on the base of the value of real estates. Most of the new buildings were built in areas with medium and low flood risk, and less common in high flood risk areas. The damage potential rose for more than 22 million euros in a small part of the Nature Park (Črna vas, Izanska cesta).

KEY WORDS

natural disasters, floods, damage, spatial planning, Ljubljana Marsh

1 Uvod

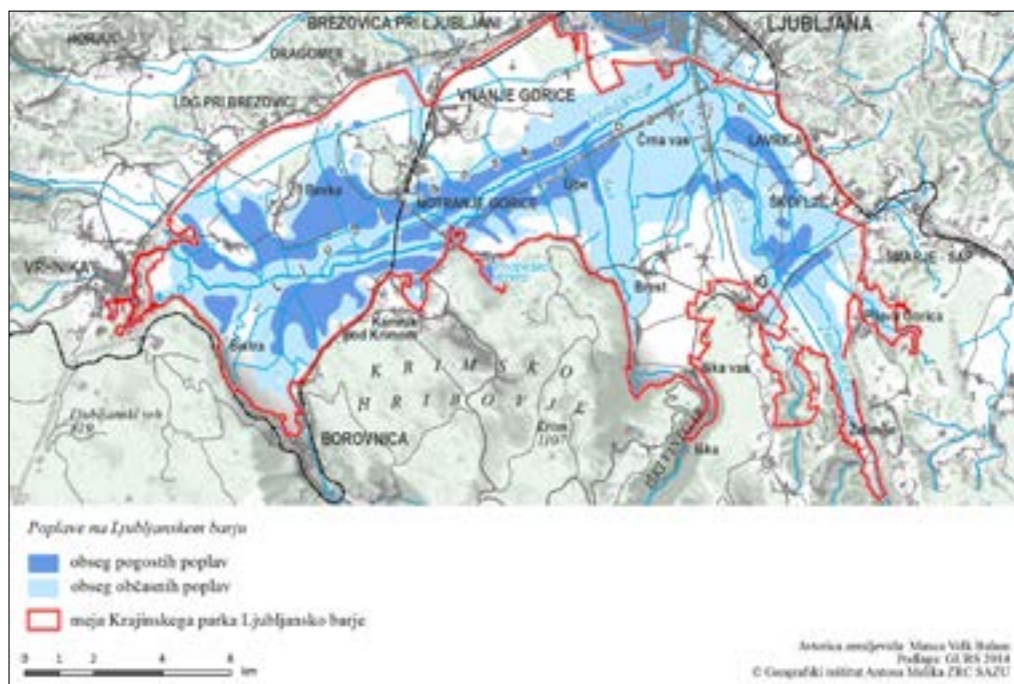
Ljubljansko barje je približno 160 km² veliko območje v južnem delu Ljubljanske kotline. Je kulturna pokrajina z enim največjih kompleksov mokrotnih travnišč v Sloveniji, ki je od leta 2008 zavarovana kot krajinski park (Krajinski park Ljubljansko barje) (Zorn in Šmid Hribar 2012; Smrekar s sodelavci 2014). Na Barju je zelo gosta in razvejana hidrografska mreža, ki jo oblikujejo naravni vodotoki, mreža jarkov in kanalov, izviri in stoječe vode. Na Barju so pogoste poplave, ki so značilne za njegov osrednji del, občasno pa je pod vodo več kot polovica območja (slika 1).

Poleg običajnih vsakoletnih poplav sta Ljubljansko barje v letih 2010 in 2014 prizadeli večji poplavi (slika 2; Komac in Zorn 2011), ki sta prizadeli več stanovanjskih in drugih stavb. Leta 2010 je bilo samo na objektih za 1,3 milijona evrov škode (Benedičič 2011). Kljub ogroženosti zaradi poplav in znatni gmotni škodi se na Barju še vedno gradi.

Preučili smo, koliko novih stavb je bilo zgrajenih na Ljubljanskem barju oziroma natančneje na območju Krajinskega parka Ljubljansko barje (medmrežje 1) v dvanajstletnem obdobju med letoma 2003 in 2015 ter ocenili, koliko se je v obravnavanem obdobju spremenil škodni potencial.

2 Podatki in metode

Za poplave smo uporabili podatke o območjih z veliko (OVPN), srednjo (OSPN) in majhno (OMPN) nevarnostjo poplav, ki so dostopni na Geoportalu Agencije Republike Slovenije za okolje (medmrežje 2).



Slika 1: Pogoste in občasne poplave na Ljubljanskem barju (Šifrer in Orožen Adamič 1985).

Na posameznem območju nevarnosti poplav smo ugotavljali spremembe v poselitvi. Za poselitev smo uporabili podatke iz Katastra stavb za leti 2003 in 2015. Razlike med podatkovnima slojem smo ugotavljali z ukazom *Erase* v programu *ArcMap*. Od sloja stavb iz leta 2015 smo odšteli sloj stavb iz leta 2003. Tako smo dobili podatkovni sloj s stavbami, ki so bile zgrajene v obravnavanem obdobju.

Škodni potencial je škoda, ki lahko nastane ob nesreči. Ugotavljali smo jo le za stavbe, ne pa tudi za druge antropogene elemente v pokrajini. Potencialno škodo na stavbah smo ocenili na podlagi vrednosti nepremičnin, dostopnih na spletnih straneh Prostorskega portala Republike Slovenije (medmrežje 3). Preučili smo ga za naselje Črna vas ter del Ljubljane ob Izanski cesti, ki sega na območje Krajinskega parka Ljubljansko barje (slika 3). Naslove novozgrajenih objektov smo pridobili na podlagi podatkovnega sloja hišnih števil za leto 2015.

Na soroden način je spremembo škodnega potenciala na poplavnih območjih ugotavljal Žiberna (2014), a ne na podlagi vrednosti nepremičnin, pač pa na podlagi ocene vrednosti zemljiških kategorij. Metodološko se je uprl na delo Komaca, Natka in Zorna (2008). Vrednost nepremičnim za vrednotenje potencialne škode ob potresu so uporabili Komac, Zorn in Kušar (2012).

3 Poplave na barju

Ljubljansko barje leži v porečju Ljubljanice. Ta vode zbira z manj prepustnega zahodnega obrobja ter obsežnega kraškega zaledja v jugozahodni Sloveniji (Komac, Natek in Zorn 2008). Poplave (slika 1) so najpogostejše spomladi, jeseni in pozimi, ko se voda ob padavinah zaradi slabo prepustnih plasti dlje zadržuje na površju (Zajc 2010).

Vzrokov za nastanek poplav na Ljubljanskem barju je več (Lovrenčak in Orožen Adamič 1998): (1) nekraške površinske tekoče vode, zlasti Gradaščica in Iška, ob močnih padavinah hitro narastejo, poplavijo, zajeziijo Ljubljanico in dvignejo njeno gladino, (2) skoraj ravno površje z minimalnim strmcem Ljubljanice in njenih pritokov ter (3) visoka talna voda, ki ob stiku z slabo prepustno ilovico na dnu Ljubljanskega barja prihaja na plan v vrsti izvirov.

Na Ljubljanskem barju se pojavljajo kraške in hudourniške poplave (Komac, Natek in Zorn 2008, 80).

Za kraške poplave je značilno počasno naraščanje vode, ki se zadrži več dni ali tednov (Natek 2005). Glavna vzroka za nastanek sta dvig ravni kraške vode nad površje in presežek dotekajoče vode nad zmogljivostjo podzemnih odtočnih kanalov (Šifrer 1979; 1983). Na Barju se pojavijo dva do trikrat letno ter ne povzročajo škode, saj so naselja, prometnice in kmetijska zemljišča na nekoliko višjem obrobju, na nasipih in osamelcih (Natek 2005).

Nasprotno pa sta za hudourniške poplave značilna kratkotrajnost in silovitost. Vode lahko v nekaj urah močno narastejo in se tudi v nekaj urah umaknejo. Ob hudourniških poplavah vode prenašajo velike količine plavja, ki ga nasipajo na vršajih ali ravninah (Natek 2005). Hudourniške poplave na Ljubljanskem barju povzročajo potoki Gradaščica oziroma Mali Graben, ki je največji in tudi najbolj nevaren, Glinščica na zahodnem delu ter Iška in Želimeljščica na jugu Barja. Čeprav so na Barju v preteklosti že bile večje (obsežnejše) poplave, so ljudje v daljšem obdobju brez večjih poplav (približno med letoma 1933 in 2010) »pozabili« nanje (Natek 2005; Komac, Natek in Zorn 2008). Območje ob Malem grabnu in Gradaščici je danes gosto poseljeno, nekatere stavbe so celo tik ob strugi. Na poplavno nevarnost na Barja vpliva tudi posedanje, ki je bilo v zadnjih trideset letih med 9 in 24 mm/leto (Brenčič 2007).

4 Razvoj poselitve na Ljubljanskem barju

Človek je na Barju prisoten že tisočletja. Medtem ko so prazgodovinski koliščarji kot prvi naseljenci svoj način bivanja prilagodili naravnim (poplavnim) razmeram, je človek od antike dalje

začel opazneje posegati v naravno okolje. Pojavile so se težnje po osušitvi Barja za izboljšanje življenjskih razmer in kmetovanje. Sistematično osuševanje se je začelo v drugi polovici 18. stoletja. Med najodmevnejše posege sodi Gruberjev kanal, ki so ga med letoma 1772 in 1782 skopali med Grajskim hribom in Golovcem. Najbolj velikopotezno so se osuševanja, z namenom nove kolonizacije in obdelovanja, lotili leta 1825, ko so skopali številne odvodne kanale in drenažne jarke (Melik 1927). Leta 1828 je bila zgrajena Ižanska cesta, leta 1830 pa se je začelo načrtno naseljevanje. Primera novih kolonij sta naselji Črna vas in Lipe. Kolonizacija Ljubljanskega barja je dosegla višek v dobi »šotne industrije«. Obdobje izkoriščanja šote je bilo še posebej intenzivno od šestdesetih do osemdesetih let 19. stoletja (Kotarac 1999; Smrekar s sodelavci 2014).

V petdesetih in deloma šestdesetih letih 20. stoletja je bilo Barje, z izjemo najbolj severnih delov in posameznih obcestnih območij ob Tržaški in Dolenjski cesti, redko poseljeno ter s povsem agrarnim značajem. V šestdesetih letih se je začela postopna širitev Ljubljane kot posledica dveh vrst urbanizacije – načrtovane in stihijske. Med najboljše najnevarnejše načrtovane posege sodi soseska Murgle, med stihijsko urbanizacijo pa številne črne gradnje, na primer na območju Rakove Jelše in Ceste dveh cesarjev. Večino na črno zgrajenih stavb so po letu 1990 legalizirali in s tem še stopnjevali pritisk na južni (poplavni) rob Ljubljane. Število prebivalcev na poplavno ogroženem, barjanskem delu Ljubljane se je v nekaj desetletjih povečalo z nekaj tisoč na prek 30.000 (Gašperič 2004).

Med glavne vzroke širitve Ljubljane na Barje uvršča Gašperič (2004): bližino mesta oziroma središča Ljubljane, nižjo ceno zemljišč ali podedovano posest, slabo oziroma nenadzorovano politiko gradnje stanovanjskih objektov, možnost relativno nizkega začetnega kapitala, ki je



MIHA PAVŠEK

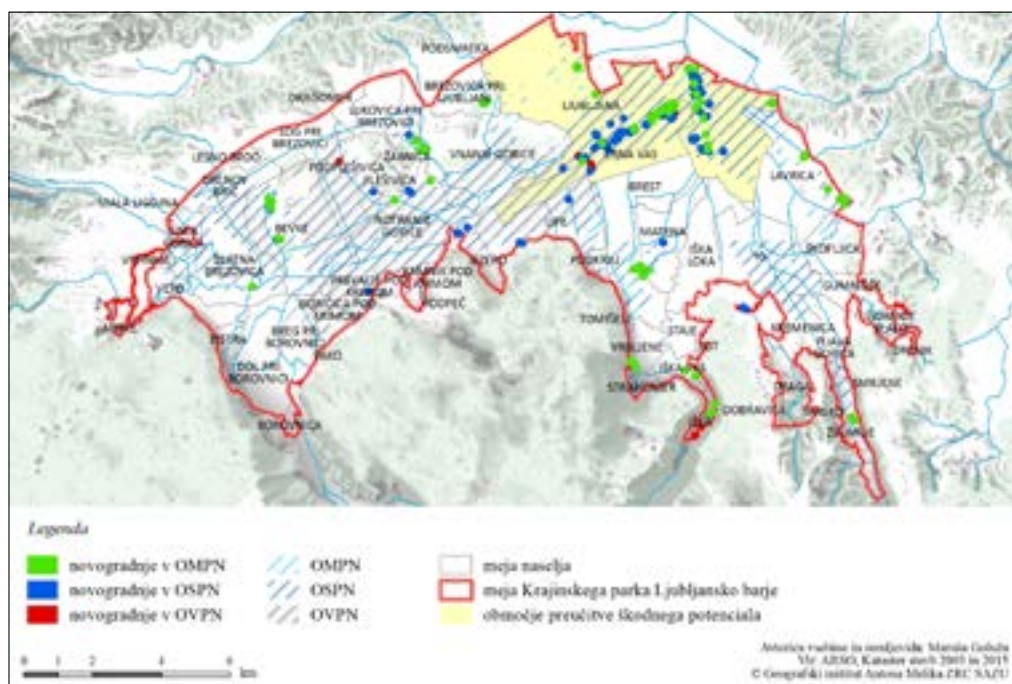
Slika 2: Poplava septembra 2010 je na Ljubljanskem barju prizadela novogradnje.

omogočal izgradnjo sprva zasilnega bivališča, možnost »komunskega« naselja – območja, ki so privabljala enako usmerjene sloje ljudi iz ekonomskih, nacionalnih ali drugih vzgibov ter možnost poljubnega načina gradnje vendar v obsegu zmožnosti barjanskih tal.

Proti koncu osemdesetih in v devetdesetih letih so pobudo za gradnjo ter investiranje v stanovanjske in druge objekte prevzela gradbena podjetja usmerjena v tržno gradnjo in prodajo nepremičnin. Okrepila se je organizirana gradnja enodružinskih hiš in stanovanjskih sosesk (Rebernik 1999; Gašperič 2004). Eden zadnjih je na primer soseske Primestnice v Črni vasi. Soseska je zgrajena na območju OMPN, a investitor na svoji spletni strani zatrjuje, da so hiše varne pred poplavi in se sklicuje na dejstvo, da v poplavah leta 2014 niso bile poplavljene: »V Črni vasi februarja 2014 ni bila poplavljena prav nobena hiša. Res je, prav ste prebrali. Pravzaprav v neposredni bližini Primestnic nikoli ni bila poplavljena prav nobena hiša. Poplavljeno je bilo Ljubljansko barje, vendar v vasi Lipe« (medmrežje 4).

5 Spremembe poselitve in škodni potencial

Na obravnavanem območju (slika 3) je bilo največ novih stavb zgrajenih ob Črnovaški cesti na območju naselja Črna vas ter ob Ižanski cesti, ki je del Ljubljane. Samo v Črni vasi se je od osamosvojitve Slovenije število prebivalcev več kot podvojilo. Ob popisu prebivalstva leta 1991 je bilo v Črni vasi 419 prebivalcev, ob popisu leta 2002 600, leta 2015 pa 945. Posamezne manjše skupine novogradenj so na območju naselij Iška, Iška vas, Vrbljene, Matena, Bevke, Vnanje Gorice, Lavrica. Največ novogradenj (157) je na območjih srednje poplavne nevarnosti (OSPN), 111 na območjih majhne poplavne nevarnosti (OMPn), le dve stavbi pa sta bili zgrajeni na območju velike poplavne nevarnosti (OVPN), obe v Črni vasi.



Slika 3: Novogradnje med letoma 2003 in 2015 na območjih nevarnosti poplav na Ljubljanskem barju.

Na območju Črne vasi ter dela Ljubljane ob Ižanski cesti, ki sega na območje Krajinskega parka Ljubljansko barje, je bilo med letoma 2003 in 2015 zgrajenih 157 objektov. Od teh jih 17 nima hišne številke, za 9 pa nismo uspeli pridobiti vrednosti. Pri oceni povečanja škodnega potenciala smo obravnavali 149 stavb, od katerih jih je 45 v OMPN, 102 v OSPN in 2 v OVPN. Vrednost novogradenj je ocenjena na 22 milijonov evrov (preglednica 1).

Preglednica 1: Površina in vrednost novogradenj, zgrajenih med letoma 2003 in 2015 v Črni vasi in ob Ižanski cesti.

območje poplavne nevarnosti	površina novogradenj (m ²)	vrednost novogradenj (milijon evrov)
OMP	6096	6,41
OSP	13.561,4	15,37
OV	340,7	0,33
skupaj	19.998,5	22,10

6 Sklep

Načrtovanje novogradenj na območju poplavne nevarnosti je neodgovorno (Zorn in Komac 2015), še bolj neodgovorno in hkrati nezakonito pa je izdaje gradbenih dovoljenj na takšnih območjih. V tem se kaže vsa neusklajenost med politikami nosilcev urejanja prostora. V zakonih, predpisih (Pravilnik ... 2007) in drugih dokumentih so na načelni ravni zadeve urejene: vemo, kje so območja poplavne nevarnosti (Zakon o vodah (2002) predpisuje izdelavo zemljevidov poplavne nevarnosti), pri prostorskem načrtovanju pa je po zakonu (Zakon o prostorskem ... 2007) treba zagotoviti varnost pred poplavami. Več kot očitno je, da se v praksi to ne izvaja. Resolucija o nacionalnem programu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (2009) pravi, da je »... *prostorsko načrtovanje daleč najpomembnejši in tudi najcenejši instrument za prilagajanje dejavnosti in rabe prostora učinkom podnebnih sprememb oziroma za občutno zmanjšanje ranljivosti prostora pred temi spremembami* ...«. Tudi Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (1994; 2006) predpisuje, da se morajo pri načrtovanju in urejanju prostora ter naselij in pri graditvi objektov uporabljati prostorski, gradbeni, urbanistični in drugi tehnični ukrepi z namenom, da se preprečijo oziroma zmanjšajo škodljivi vplivi naravnih in drugih nesreč. Ne nazadnje tudi Zakon o prostorskem načrtovanju (2007) pravi, da je eden ciljev prostorskega načrtovanja zagotavljanje tak prostorski razvoj, ki bo zagotavljal varstvo pred naravnimi nesrečami, Strategija prostorskega razvoja (2004) pa, da moramo naravne procese, ki lahko ogrožajo poselitev in človekove dejavnosti, obvezno upoštevati kot omejitve pri načrtovanju rabe in dejavnosti v prostoru.

Ljubljansko barje je zaradi bližine Ljubljane, dobrih prometnih povezav in naravnega okolja privlačno območje za bivanje. Ob tem pogosto pozabljamo, da je poplavno območje. Novogradnje so sicer izjema na območjih velike nevarnosti poplav, zato pa so številne na območjih srednje in majhne poplavne nevarnosti. Do tega prihaja kljub danes lahki dostopnosti do informacij o obsegu poplavnih območij in poplavih, ki smo jim bili priča v zadnjih letih. S tem se na Ljubljanskem barju stalno povečuje škodni potencial. Žal primer Ljubljanskega barja ni izjema, saj sorodne primere najdemo na številnih poplavnih območjih po Sloveniji.

7 Viri in literatura

- Benedičič, U. 2011: Poplavna varnost Ljubljane in poplave septembra 2010. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Brenčič, M. 2007: Subsidence rate of Ljubljansko barje in holocene. *Geologija* 50-2.
- Brenčič, M. 2008: Neživi svet Ljubljanskega barja: vode Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. Ljubljansko barje: Neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina in naravovarstvo. Ljubljana.
- Gašperič, P. 2004: Širitev Ljubljane na Ljubljansko barje. *Acta geographica Slovenica* 44-2.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2011: Geografija poplav v Sloveniji septembra 2010. Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M., Kušar, S. 2012: New possibilities for assessing the damage caused by natural disasters in Slovenia – The case of the Real Estate Record. *Geografski vestnik* 84-1.
- Kotarac, M. 1999: Kartiranje habitatnih tipov na Ljubljanskem barju. Elaborat, Center za kartografijo favne in flore. Miklavž na Dravskem polju.
- Lovrenčak, F., Orožen Adamič, M. 1998: Ljubljansko barje. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana. Medmrežje 1: <http://www.ljubljanskobarje.si/> (22. 6. 2016).
- Medmrežje 2: <http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (13. 6. 2016).
- Medmrežje 3: <http://prostor3.gov.si/javni/login.jsp?jezik=sl> (21. 6. 2016).
- Medmrežje 4: <http://www.primestnice.si/vprascaronanja-in-odgovori/category/miti%20in%20resnice> (23. 6. 2016).
- Melik, A. 1927: Kolonizacija Ljubljanskega barja. Ljubljana.
- Natek, K. 2005: Poplavna območja v Sloveniji. *Geografski obzornik* 52-1.
- Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti. Uradni list Republike Slovenije 60/2007. Ljubljana.
- Rebernik, D. 1999: Socialna geografija Ljubljane. Doktorsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Resolucija o nacionalnem programu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Uradni list Republike Slovenije 57/2009. Ljubljana.
- Smrekar, A., Šmid Hribar, M., Tiran, J., Erhartič, B. 2014: Interpretacija okolja na primeru Ljubljanskega barja. Georitem 24. Ljubljana.
- Strategija prostorskega razvoja. Ljubljana, 2004. Medmrežje: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/spr_slo.pdf (13. 6. 2016).
- Šifrer, M. 1979: Geografija poplavnega sveta na Ljubljanskem barju. Geografija poplavnih področij na Slovenskem. Elaborat, Inštitut za geografijo SAZU. Ljubljana.
- Šifrer, M. 1983: Vzroki in učinki rečnih poplav na Slovenskem. Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Ljubljana.
- Šifrer, M., Orožen Adamič, M. 1985: Ljubljansko barje: obseg, poplave in poselitve – 1 : 50.000. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Zajc, T. 2010: Odnos med posedki in poplavami na Ljubljanskem barju v luči klimatskih sprememb. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zakon o prostorskem načrtovanju. Uradni list Republike Slovenije 33/2007. Ljubljana.
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami. Uradni list Republike Slovenije 64/1994, 51/2006. Ljubljana.
- Zakon o vodah. Uradni list Republike Slovenije 67/2002. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2015: Naravne nesreče in družbena neodgovornost. *Geografski vestnik* 87-2.

- Zorn, M., Šmid Hribar, M. 2012: A landscape altered my man as a protected area: a case study of the Ljubljana Marsh (Ljubljansko barje). *Ekonomska i ekohistorija* 8.
- Žiberna, I. 2014: Raba tal na območjih z veliko poplavno nevarnostjo v Sloveniji. *Revija za geografijo* 9-2.

PRISPEVEK PROJEKTA VODPREG 2 K OCENI POSLEDIC PORUŠITEV VODNIH PREGRAD

dr. Stanislav Lenart

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
stanislav.lenart@zag.si

dr. Rudolf Rajar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
rudi.rajar@fgg.uni-lj.si

dr. Andrej Širca

IBE, d. d., svetovanje, projektiranje in inženiring, Hajdrihova ulica 4, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
andrej.sirca@ibe.si

IZVLEČEK

Prispevek projekta VODPREG 2 k oceni posledic porušitev vodnih pregrad

V prispevku predstavljamo povzetek analize hidravličnih posledic porušitve 16 kritičnih vodnih pregrad v Sloveniji, ki je nastala v projektu VODPREG 2. Izračuni porušitvenih valov, ki služijo za potrebe načrtovanja zaščite in reševanja, so bili posodobljeni zaradi napredka znanosti na tem področju in razvoja bistveno natančnejših metod za izračun. Namen raziskovalnega projekta VODPREG 2 je bil pridobiti čim boljše podlage za vzpostavitev celovitega sistema upravljanja in zagotavljanja varnosti pregrad in prebivalstva v njihovem vplivnem območju. Predstavljene so tudi poenostavljene metode za preliminarno oceno parametrov porušitve pregrade, ki so vključene v računalniški program PREGPORUS.

KLJUČNE BESEDE

vodne pregrade, analiza porušitve pregrad, porušitveni val, Slovenija

ABSTRACT

Contribution of the project VODPREG 2 to assess the consequences of the water dam failure

The chapter presents a summary analysis of hydraulic consequences of failure for 16 critical water dams in Slovenia, which was created in the project VODPREG 2. Calculations of dam brake waves serving the needs of protection and rescue planning, were updated due to the progress of scientific knowledge in this field and the development of significantly more accurate calculation methods. The aim of the research project VODPREG 2 was to obtain the best possible basis for the establishment of an integrated management system and ensure the safety of dams and the population in their area of influence. It also presents a simplified methods for the preliminary assessment of dam failure parameters, which are included in a computer code PREGPORUS.

KEY WORDS

water dam, dam failure analysis, dam brake wave, Slovenia

1 Uvod

V raziskovalnem projektu VODPREG (Ravnikar Turk s sodelavci 2012) je bilo med drugim ugotovljeno, da je treba zaradi varnosti prebivalstva in objektov nujno posodobiti izračune porušitvenih valov za vodne pregrade, ki bodo služili za potrebe načrtovanja zaščite in reševanja. Glavni razlogi za posodobitev izračunov so, da je od 1970 in 1996, ko so bili ti izračuni izdelani, znanost že toliko napredovala, da so razvite nove, bistveno natančnejše metode za izračun porušitvenih valov. Spremenili so se tudi načini meritev topografije, saj je npr. z lidarjem možno z bistveno večjo natančnostjo določiti topografijo ogroženih območij. Poleg tega so se ponekod razmere na terenu bistveno spremenile (nova poselitve, izgradnja cest).

V razvitih državah obstajajo pravilniki (ICOLD EU 2012; ENEL 1990), ki obvezujejo lastnike ali upravljalce pregrad, da preskrbijo izračune, ki opredeljujejo meje poplav v primeru porušitve pregrade. V Sloveniji smo do leta 1996 uporabljali pravilnik Jugoslavije (Savezni Komitet ... 1975). Ker je bil ta pravilnik v nekaterih točkah zelo neracionalen, smo leta 1996 izdelali svoja »Navodila za izdelavo ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad« (Navodila ... 1996). V sklopu projekta Vodpreg 2 so bila Navodila novelirana in so v pripravi za uzakonitev. V prihodnje bodo obvezovale lastnike ali upravljalce pregrad, da bodo preskrbeli izračune in vso dokumentacijo o parametrih valov, ki bi nastali v primeru možne porušitve, kar bo temelj za pripravo načrta zaščite in reševanja, ki ga bo izdelala URSZR.

Osrednji cilj projekta VODPREG 2 je bil pregledati obstoječe račune porušitev pregrad in oceniti njihovo zanesljivost. Na željo naročnika je bil v okviru projekta izdelan poenostavljen računski program, s katerim se bo mogoče z oceno hidravličnih posledic porušitve posamezne pregrade interventno hitro odzvati tudi na terenu.

Preglednica 1: Kategorija ogrožanja obravnavanih pregrad (dosedanje računske metode niso bile dovolj točne in bo možno zanesljivo določiti kategorijo šele ob ponovljenih izračunih s točnejšimi metodami;** rezultati izhajajo samo iz delovnega gradiva, poročilo o izračunih ni bilo na voljo).*

ime pregrade	skupina glede na kategorijo ogroženosti	Gauss-Krügerjeve koordinate pregrade	
		X	Y
Domajinci	2	178635	579852
Gajševci	2–3 (*)	154874	586599
Požeg	3	142335	551163
Pernica 2	2(*)	160024	556246
Vonarje	2(*)	114191	547728
Tratna	1–2(*)	117084	534132
Loče	1	125735	520308
Trnava	1	124906	502513
Drtiščica	1	113298	478052
Prigorica	1	63210	479895
Logatec	1	86863	438100
Vogršček	1	85400	401515
Pikolud	2	90403	395796
Vanganel	2	41405	404985
Klivnik	1(**)	45670	435848
Mola	1	43808	438773

V nadaljevanju se prispevek osredotoča na analizo posledic porušitve 16 izbranih pregrad, ki so bile na temelju rezultatov projekta izbrane kot kritične.

2 Opis pregrad in metod izračuna porušitev

V projektni nalogi VODPREG 2 so bili izdelani kratki opisi poplavljenih področij za 16 slovenskih pregrad, ki so bile prepoznane kot kritične v projektu VODPREG. V preglednici 1 je seznam obravnavanih pregrad s podatkom o njihovi legi. Pregrade so razdeljene v tri skupine glede na kategorijo ogroženosti na temelju Navodil za izdelavo ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad iz leta 1996 (Navodila ... 1996):

- porušitev bi povzročila najtežje posledice, ogrožala naselja, industrijske objekte, prometne zveze in tudi človeška življenja,
- porušitev bi ogrožala nekatere objekte, ne bi pa neposredno ogrožala človeških življenj,
- porušitev ne bi ogrožala človeških življenj in ne bi povzročila večje materialne škode.

V preglednici 2 podajamo pogloblitve značilnosti obravnavanih pregrad, v preglednici 3 pa podatke o uporabljenih računskih metodah, na temelju katerih so bili bolj ali manj v obdobju izgradnje pregrad izvedeni izračuni porušitev. Preglednica podaja tudi današnjo oceno točnosti rezultatov.

Preglednica 2: Osnovni podatki o pregradah.

ime pregrade	leto izgradnje	bližnji večji kraj	tip	višina (m)	polna prostornina (m ³)	površina (ha)
Domajinci	1976	Cankova	nasuta zemeljska	8,0	8,30 x 10 ⁶	230
Gajševci	1975	Ljutomer	nasuta zemeljska	5,0	2,60 x 10 ⁶	73
Požeg	1950–1960	Pragersko	zemeljski nasip	-	1,72 x 10 ⁶	74
Pernica 2	1955–1960	Pesnica	nasuta zemeljska	-	2,00 x 10 ⁶	68
Vonarje	1980	Podčetrtek	nasuta težnostna, suhi zadrževalnik	19,0	12,40 x 10 ⁶	-
Tratna	1975	Šentjur	nasuta težnostna	17,0	4,00 x 10 ⁶	84
Loče	1970	Celje	težnostna	16,0	6,50 x 10 ⁶	113
Trnava	1978	Braslovče	težnostna	13,5	1,72 x 10 ⁶	49
Drtijščica	2002	Lukovica pri Domžalah	nasuta zemeljska	18,2	5,90 x 10 ⁶	29
Prigorica	1980	Ribnica	težnostna, suhi zadrževalnik	10,0	10,23 x 10 ⁶	270
Logatec	1980	Logatec	težnostna, suhi zadrževalnik	10,0	0,68 x 10 ⁶	-
Vogršček	1988	Vogrsko	zemeljsko kamnita nasuta težnostna	37,0	8,50 x 10 ⁶	-
Pikolud	1989	Nova Gorica	težnostna, suhi zadrževalnik	10,0	0,95 x 10 ⁶	25
Vanganel	1964	Koper	-	19,0	0,24 x 10 ⁶	-
Klivnik	1987	Ilirska Bistrica	-	28,0	4,30	35,8
Mola	1979	Ilirska Bistrica	-	23,5	4,30 x 10 ⁶	68

*Preglednica 3: Uporabljene numerične računske metode in ocenjena točnost rezultatov (*nujna ponovitev izračuna; kratice za v arhivskih poročilih uporabljene metode računa porušitev: 1D – enodimenzijski račun, A – nestalni tok, izračunan po St. Venantovi enačbi (Saint-Venant 1871) po explicitni metodi Lax-Wendroff (Lax-Wendroff 1960), B – približne metode, C – poenostavljena metoda Xanthopoulos (Xanthopoulos in Koutitas 1976); kratice za porušitev: P – popolna, D – delna, t – trenutna, p – postopna).*

ime pregrade	leto izračuna	uporabljeno v računu	ocenjena točnost
Domajinci	1978	1D, A, Dt	$\pm 20\text{--}25\%$
Gajševci	1976	1D, A, Dt	$\pm 25\%$
Požeg	1978	B, DT, Pt	*
Pernica 2	1980	B, Pt	*
Vonarje	1970	1D, A, Pt	$\pm 25\%$, *
Tratna	1970	1D, A, Pt	$\pm 25\%$, *
Loče	1979	1D, A, B, Dt	$\pm 25\%$
Trnava	1975	1D, A, B, Dt	$\pm 30\%$
Drtiščica	1995	1D, A, C, Dp	$\pm 20\%$
Prigorica	1984	B, Dt	
Logatec	1982	1D, A, Dt	$\pm 25\%$
Vogršček	1987	1D, A, Dt	$\pm 15\text{--}20\%$
Pikolud	1989	1D, A, Dt	$\pm 25\%$
Vanganel	1984	1D, A, Dt	$\pm 30\%$
Klivnik	1984	1D, A, Pt	$\pm 25\%$, *
Mola	1978	1D, A, Pt	$\pm 25\%$, *

3 Ocenjena varnost in način porušitve pregrad

Na temelju arhivskih poročil o posledicah porušitve 16 najbolj kritičnih pregrad so bile za vse pregrade pripravljene izohipse največjega obsega poplavnega vala (Lenart in sodelavci 2016). Slika 1 prikazuje obseg poplavnega vala za primer pregrade Gajševci. Linije izohips so s kombiniranjem javnih geodetskih in katastrskih podatkov o rabi prostora za širše območje vsake od pregrad omogočile izdelavo posameznih sinteznih zemljevidov, na temelju katerih so bile za vsako od njih ocenjene posledice porušitev. V preglednici 4 je podan zbirni pregled.

4 Metode za preliminarno oceno hidravličnih posledic porušitve pregrade

V prejšnjem poglavju predstavljene ocene varnosti in načini porušitve pregrad temeljijo na izračunih izvedenih bolj ali manj sočasno z načrtovanjem posamezne pregrade. Ti izračuni so bili izvedeni z numeričnimi metodami, z reševanjem osnovnih enačb mehanike tekočin. V primeru ožjih dolin so uporabili enodimenzionalne, večinoma pa je bolj kompleksna topografija zahtevala dvodimenzionalne izračune.

Takšni izračuni zahtevajo veliko časa (najmanj nekaj tednov), saj je treba pripraviti vhodne podatke, kot so točen relief akumulacijskega prostora in dolvodnega področja, ocena načina možne porušitve, ocena koeficientov hrupavosti itd. Kompleksne računalniške simulacije takih primerov zahtevajo uporabo zelo zmogljivih računalnikov, čas izračuna pa je lahko kljub zmogljivim računalnikom tudi več dni.



Slika 1: Primer prikaza poplavljenega območja v primeru porušitve pregrade na primeru pregrade Gajševci z dolvodnim območjem.

Zato je bila ena od nalog projekta VODPREG 2 izdelati poenostavljen računski program za terensko oceno možnih posledic porušitve pregrad. Izdelali smo računalniški program PREGPORUS, ki omogoča zelo hitro preliminarno oceno parametrov porušitve pregrade s pomočjo treh aproksimativnih metod. Zavedati se moramo, da je dejanski fizikalni pojav razlivanja vode po porušitvi pregrade po pogosto dokaj razgibanem terenu zelo kompleksen, zato so bile pri izdelavi primerno enostavnih metod potrebne hude poenostavitve in je točnost te metodike velikostnega reda približno $\pm 50\%$, torej lahko določimo le red velikosti parametrov porušitvenega vala. Glavni rezultat je pri vseh metodah maksimalni pretok, ki bi nastal dolvodno od pregrad v primeru porušitve.

Pri uporabi te poenostavljene metode se je najprej treba odločiti, katero od treh spodaj opisanih metod bomo izbrali.

4.1 Metoda Rajar

Ta metoda je uporabna v primeru popolne ali večinske porušitve pregrade, kar pomeni, da se poruši več kot 50 % pregradnega profila. Torej bi metoda prišla v poštev, kadar bi grozila **popolna ali večinska porušitev ločne ali težnostne pregrade** (možnost diverzije, miniranja).

Za najbolj značilne oblike akumulacijskih bazenov in dolvodnih predelov so bile vnaprej izdelane serije izračunov porušitev (Rajar 1973). Z uporabo zakonov podobnosti so bili rezultati preračunani in predstavljeni v nomogramu, tako da je uporaba zelo preprosta in hitra.

Rezultate metode smo primerjali (preglednica 5) z rezultati numerične metode na primeru delne trenutne porušitve pregrade Vogršček (Umek 2016). Predpostavljena je bila trapezna porušitvena odprtina: širina odprtine 20 m na višini 27,5 m pod krono in širina 70 m na višini krone pregrade. V preglednici 5 so primerjani rezultati izračuna po obeh metodah.

Preglednica 4: Zbirni pregled ogroženosti objektov zaradi možnih porušitev pregrad.

pregrada	manjši objekti	večji objekti	ceste	železnica	visokonapetostni električni vodi	plinovod	telekomunikacijski električni vodi
Domajinci	21	ne	Domajinci–Gornji Črnci	ne	da	ne	da
Gajševci	225	industrijski obrat, vrtnarija, športno igrišče	Branoslavci–Ljutomer, Lukavci–Cezanjevci	ne	da	da, 2x	da
Požeg	več stano- vanjskih objektov	del Opekarne Pragersko, šolsko igrišče	odsek glavne ceste Slovenska Bistrica–Ptuj	razcep Pragersko, železniška postaja	da	da	da
Pernica 2	4	ne	odsek ceste Celestina– Vukovje	ne	da	ne	da
Vonarje	55	vodni park Aqualuna, bencinska črpalka, 2 športna igrišča, nekaj trgovin, restavracij	2 mejna prehoda, 6 mostov, Sodna vas–Prelasko	da	da	da	da
Tratna	190	10, kokošja farma, OŠ Slivnica pri Celju	Šentjur– Turno, Cesta Kozjanskega odreda, 11 mostov	ne	da	ne	da
Loče	1800	da, urbana okolica mesta	AC Pragersko– MB, Celje-AC, priključek Lopata	ne	da	da	da
Trnava	300	bencinska črpalka, nekaj trgovin	AC Pragersko– Maribor, Pragersko–Žalec, 7 mostov	ne	da	da	da
Drtiščica	600	AC počivališči Lukovica, trgovine, gostilne, del tovarne Tosama	AC Ljubljana– Trojane, Krtina–Moravče, Domžale–Trojane	ne	da	da	da
Prigorica	900	ne	Odsek glavne ceste Ljubljana– Kočevje	700 m od proge Ljubljana–Kočevje	da	ne	da
Logatec	430	OŠ Tabor Logatec, bencinska črpalka, trgovina, športno igrišče ob osnovni šoli	Tržaška cesta v obe smeri od krožišča, AC priključek, 9 mostov	ne	da	da, 2x	da

pregrada	manjši objekti	večji objekti	ceste	železnica	visokonapetostni električni vodi	plinovod	telekomunikacijski električni vodi
Vogršček	160	2 tovarni, osnovna šola, hotel, trgovine	Miren–Prvačina, Volčja Draga – Ozeljan, 9 mostov	da, odsek Volčja Draga–Prvačina	da	da	da
Pikolud	130	okrog 100 večjih stanovanjskih objektov in poslovnih prostorov, dve osnovni šoli, športna igrišča,	5 mostov, del Erjavčeve ceste	da, glavna železniška postaja Nova Gorica	da	ne	da
Vanganel	20	26 kompleksov vrstnih hiš, trgovina, gostilna, športna igrišča	del ceste Koper–Vanganel	ne	da	ne	da
Klivnik in Mola	55	Industrijska cona Ilirska Bistrica, kompleks lesno kemične industrije, transportno logistični kompleks s silosi za shranjevanje plina in naftnih derivatov	krajši odsek ceste Ilirska Bistrica–Dobrepolje	250 m odsek južno od postaje Ilirska Bistrica	da	ne	da

Preglednica 5: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov Q_m in vrednosti pretoka Q_x na razdalji $X_1=847$ m od pregrade za primer porušitve pregrade Vogršček.

	numerična metoda	metoda Rajar	razlika
Q_m (m ³ /s)	17.555	14.533	–17,22%
Q_x (m ³ /s)	10.458	7267	–30,52%

4.2 Metoda preliva

Metodo preliva (Lenart s sodelavci 2016) uporabljamo, ko je **odprtina porušitve na mestu pregrade razmeroma majhna v primerjavi s celotnim prerezom doline** (pod 25 % pregradnega profila). Poplavni val je zato nekoliko drugačen, kot ob popolni ali delni porušitvi. Metoda je uporabna, če je na primer porušen le zgornji del pregrade. Zaradi lažjega izračuna smo predpostav-

ili, da je porušena odprtina preliva trapezne oblike. Ker je pretok prek preliva razmeroma majhen v primerjavi z velikostjo pregrade in prostornino akumulacije, pretok prek preliva po začetnem zelo hitrem naraščanju ostane dalj časa konstanten.

Rezultate metode smo primerjali z rezultati numerične metode na primeru delne porušitve z majhno odprtino pregrad Loče in Vanganel 2 (preglednica 6). Predpostavljene so bile trapezne odprtine porušitvenih odprtin $h = 8,2$ km, $b_{sp} = 3$ km, $b_{zg} = 27,6$ m (Loče) in $h = 5$ km, $b_{sp} = 5$ km, $b_{zg} = 15$ m (Vanganel).

Preglednica 6: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov Q_m za primer porušitve pregrad Loče in Vanganel.

	numerična metoda	metoda preliva	razlika
Loče, Q_m (m ³ /s)	800	675	-16%
Vanganel, Q_m (m ³ /s)	164	210	+28%

4.3 Statistična metoda Molinaro

Ta metoda temelji na statistični obdelavi podatkov (CNR 1991) o primerih porušitev nasutih pregrad iz preteklosti. Gre za primere, kjer so **visoke vode začele prelivati naravno ali umetno nasuto pregrado, ta pa se je zaradi prelivanja in erozije postopno rušila**. V tem primeru je pretok na začetku razmeroma majhen, ker pa dolvodna stran nasute pregrade po navadi ni utrjena proti eroziji, jo prelivajoča se voda začne erodira in povečuje odprtino. Pretok se najprej povečuje s povečevanjem erodirane odprtine, ko pa se po določenem času večji del prostornine akumulacije že izlije prek odprtine, pretok doseže višek in potem upada. Višek pretoka je odvisen od prostornine akumulacije in od višine pregrade. Rezultat metode je ocena maksimalnega pretoka v določenem času po začetku prelivanja.

Rezultate metode smo primerjali (preglednica 7) z rezultati numeričnih izračunov na realnem primeru analize porušitve naravne pregrade na Lučnici v Savinjski dolini ob poplavih novembra 1990. Tam je zaradi obilnega deževja v potok zdrsnil zemeljski plaz, ki je zajezil potok (slika 2) in nastala je akumulacija (Rajar in Zakrajšek 1993a; 1993b). Po približno 7 urah je voda prelila plaz in povzročila vodni val, ki je poplaval Luče. V izračunu je bila upoštevana višina pregrade 15 m in prostornina nastalega jezera 730.000 m³.

Preglednica 7: Primerjava izračunanih maksimalnih pretokov Q_m za primer prelivanja naravne pregrade na Lučnici, 1990.

	numerična metoda	statistična metoda Molinaro	razlika
Q_m (m ³ /s)	170 do 290 (dve ocenjeni velikosti zrn plazine)	182	-59 % do +7 %

RUDOLF RAJAR



Slika 2: Že delno znižano jezero za plazom na Lučnici.

RUDOLF RAJAR



Slika 3: Prebitje in odprtina po koncu erodiranja naravne pregrade na potoku Lučnica.



Slika 4: Poplavni val je v Lučah segel do sredine oken.

5 Sklep

Ena od nalog projekta VODPREG 2 je bila pregledati obstoječe izračune za najbolj kritične vodne pregrade v Sloveniji (brez hidroenergetskih) in izdelati pregled posledic porušitve posamezne izmed njih. Ker so bili dosedanja izračuni večinoma narejeni v času gradnje posamezne pregrade, je njihova natančnost pogojena s takratnimi računskimi orodji. Dodaten vplivni dejavnik na zmanjšanje zanesljivosti rezultatov so še spremenjene reliefne razmere in preveč konzervativni predpostavljani načini porušitve. Ob analizi hidravličnih posledic porušitve 16 pregrad se je izkazalo, da je praktično za vse nujna ponovitev izračunov, hkrati pa je treba tudi posodobiti navodila za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitev pregrad.

V projektu smo izdelali računalniški program PREGPORUS (Lenart in sodelavci 2016), ki omogoča hitro približno oceno velikosti pretokov dolvodno od porušene pregrade. Zaradi potrebe po obvladljivosti problema in približanju uporabniku smo zelo poenostavili vhodne podatke. Zaradi poenostavljene priprave le-teh je program uporaben tudi na terenu za pomoč pri določanju interventnih ukrepov, se pa posledično sorazmerno zniža točnost metode. Rezultat je le red velikosti maksimalnega pretoka dolvodno od pregrade. V projektu VODPREG 2 so bila tudi novelirana »Navodila za izdelavo ocene hidravličnih posledic porušitve pregrad« (Lenart s sodelavci 2016), v pripravi je uzakonitev teh navodil, ki bodo obvezovale lastnike ali upravljavce pregrad, da bodo preskrbeli za izračune in vso dokumentacijo o hidravličnih posledicah možne porušitve.

Zahvala: Avtorji prispevka se zahvaljujemo za strokovno in finančno podporo naročniku in financerju projekta »Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG 2«, ki je bil Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, številka pogodbe 4300-203/2015, 1. junij 2015.

6 Viri in literatura

- CNR – Consiglio Nazionale delle ricerche, 1991: Valutazione delle onde di piena da rottura di dighe. Milano.
- ENEL, 1990: Sviluppo di procedure per lo studio del fenomeno del dam-breaking e dei processi decisionali. Poročilo ENEL 4026. Milano.
- Hidravlični izračun visokovodnega vala, ki bi nastal ob porušitvi pregrade Tratna. Ljubljana, 1970.
- ICOLD EU, 2012: ICOLD European Club, Working group on Safety of Existing Dams. Lizbona.
- Izračun posledic porušitve zadrževalnika na Drtijiščici. Elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1995.
- Lax, P. D., Wendroff, B. 1960: Systems of conservation laws. Communications on Pure and Applied Mathematics 8.
- Lenart, S., Četina, M., Rajar, R., Papež, J., Brenčič, M., Kuhar, M., Širca, A., Ravnikar Turk, M. 2016: Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG 2. Zaključno poročilo, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Načrt zaščite in reševanja ob porušitvi pregrade Vonarje – vodnega zadrževalnika Sotelsko jezero. Ljubljana, 2008.
- Navodilo za izdelavo ocen ogroženosti zaradi porušitve pregrad (osnutek). Minister za obrambo, 10. 7. 1996. Ljubljana, 1996.
- Poročilo o računu porušitvenega vala za pregrado Mola. Elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1978.
- Poročilo o računu porušitvenega vala za pregrado Trnava. Elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1975.
- Poročilo o računu porušitvenega vala za pregrado Vanganel. Elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1984.
- Poročilo o računu porušitvenega vala za pregrado Vogršček. Elaborat, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1987.
- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade Reka pri Logatcu. Elaborat, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1982.
- Račun vala, ki bi nastal pri porušitvi pregrade Pikolud. Elaborat, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, 1989.
- Rajar, R. 1973: Modelé mathématique et abaqes sans dimensions pour la détermination de l'écoulement qui suit la rupture d'un barrage. 11th Congress International Commission on Large Dams. Madrid.
- Rajar, R., Zakrajšek, M. 1993a: Modeliranje poplavnega vala pri prelivanju plazu na Lučnici. Ujma 7.
- Rajar, R., Zakrajšek, M. 1993b: Modelling a real case of a landslide-created dam collapse. 25. kongres Mednarodnega društva za hidravlične raziskave. Tokio.
- Ravnikar Turk, M., Četina, M., Humar, N., Kryžanowski, A., Polič, M., Rajar, R., Širca, A., Žvanut, P. 2012: Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v Republiki Sloveniji – VODPREG. Zaključno poročilo, Zavod za gradbeništvo Slovenije. Ljubljana.
- Saint-Venant, A. J. C. 1871: Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction de marées dans leurs lits. Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences. Pariz.
- Savezni Komitet za poljoprivredu, 1975: UPUTSTVO o izradi dokumentacije za oddređivanje posledica usled iznenadnog rušenja ili prelivanja visokih brana. Savezni Komitet za poljoprivredu. Beograd.
- Umek, A. 2016: Uporaba poenostavljenih metod za račun valov vsled porušitev pregrad. Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Xanthopoulos, T., Koutitas, C. 1976: Numerical simulation of a two dimensional flood wave propagation due to dam failure. Journal of Hydraulic Research 14-4.

MODELIRANJE IN PRIKAZOVANJE NEVARNOSTI ZARADI SNEŽNIH PLAZOV

Manca Volk Bahun

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut
Antona Melika, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
manca.volk@zrc-sazu.si

IZVLEČEK

Modeliranje in prikazovanje nevarnosti zaradi snežnih plazov

Že od nekdaj je človekova želja razumeti, napovedati, nadzorovati in obvladovati naravne pojave. Razvoj tehnologije, uporaba geografskih informacijskih sistemov in razvoj različnih modelov so to nalogo olajšali.

Pri sodobnem napovedovanju plazov se srečamo s številnimi spremenljivkami in situacijami, ki jih človeški um v kratkem času ne more obdelati in ustrezno ovrednotiti. Zato se je pojavila potreba po matematičnih analizah, ki bi predstavljale objektivno vodilo in s tem olajšale izdelavo vsakodnevnih napovedi in hkrati tudi zemljevidov nevarnosti in ogroženosti. V prispevku predstavljamo načine modeliranja in prikazovanja nevarnosti in ogroženosti zaradi snežnih plazov.

KLJUČNE BESEDE

geografija, naravne nesreče, snežni plazovi, modeliranje

ABSTRACT

Modelling and displaying the avalanche danger

It has always been a human desire to understand, predict, control and cope with natural phenomena. The development of technology, the use of geographical information systems and the development of prediction models made this task workable. We use many variables and situations in avalanche forecasting that human mind cannot process and evaluate in a short time. Mathematical analysis offers us easier and more objective approaches of daily forecast production and hazard or risk maps making. The chapter presents methods of modelling and displaying avalanche hazard and avalanche risk.

KEY WORDS

geography, natural hazards, avalanches, modelling

1 Uvod

Naravni procesi, s tem pa tudi naravne nevarnosti, so sestavni del vsake pokrajine. Te vsakodnevno spreminjajo naše okolje ne glede na prisotnost človeka (Komac, Natek in Zorn 2008). V prispevku se bomo osredotočili predvsem na snežne plazove, ki so se jim naši predniki izogibali tako pri gradnji stavb in cest, kot tudi pri gibanju v naravi. Takrat so v visokogorje zahajali le redki, drugače pa je bilo s sredogorjem, kjer so tudi pozimi spravljali les in seno v dolino ter bili tako izpostavljeni tudi snežnim plazovom (Malešič 2005). Skozi čas se je raba gorskega sveta spremenila. Poleg včasih zelo pomembne gospodarske ima danes tudi rekreacijsko vlogo (Natek 2011). Spodbujanje turističnega razvoja gorskih območij pa pomeni, da je naravnim nevarnostim izpostavljeno vedno več ljudi.

Snežni plazovi vsakoletno povzročajo gmotno škodo in zahtevajo smrtne žrtve (Pavšek 2002), zato je preučevanje snežnih plazov in načinov varstva pred njimi še posebej pomembno.

V Sloveniji prevladujejo manjši snežni plazovi, ki povzročajo škodo predvsem v gozdu, občasno pa poškodujejo različno infrastrukturo ali zahtevajo človeške žrtve. V Sloveniji je zelo pomembno slednje, saj ne smemo zanemariti dejstva, da med vsemi naravnimi nesrečami, ki prizadenejo Slovenijo, ravno snežni plazovi zahtevajo največ življenj, v povprečju kar 1 do 2 na leto (Pavšek 2002).

Slovenski nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (2002) pravi, da naj bi temeljne preventivne ukrepe izvajala pristojna ministrstva, lokalne skupnosti ter gospodarske družbe, zavodi in druge organizacije. Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (2002) pa izdelavo ocene ogroženosti na državni ravni nalaga Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) v sodelovanju s pristojnimi ministrstvi. Na občinski ravni je ta naloga prepuščena občinam (Đurovič in Mikoš 2004, 30). Te morajo poskrbeti za izdelavo Občinskih prostorskih načrtov (OPN), ki morajo vsebovati tudi zemljevide nevarnosti za posamezne naravne procese – v goratih in hribovitih občinah tudi za snežne plazove (Pavšek in sodelavci 2010).

Napovedovanje snežnih plazov je zahtevno zaradi prostorske in časovne spremenljivosti pojava, posledice in škoda pa so lahko občasno in krajevno zelo velike (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005; Pavšek, Komac in Zorn 2010; Pavšek in sodelavci 2013). Pri napovedih je treba upoštevati številne vplivne dejavnike, od vrste podlage, stanja in debeline snežne odeje, vremenskih razmer, kot tudi človeškega vpliva, kar napovedovanje samo še oteži (Volk 2010a). Izdelavo napovedi bistveno olajšajo različni modeli, ki lahko hkrati upoštevajo več vplivnih dejavnikov.

V članku bomo predstavili nekatere načine modeliranja in prikazovanja nevarnosti in ogroženosti zaradi snežnih plazov.

2 Modeliranje lavinske nevarnosti

Z razvojem tehnologije in vedenja o naravnih pojavih so se razvile tudi številne metode preučevanja in analize plazovne (lavinske) nevarnosti.

Za boljše razumevanje naravnih procesov, predvsem pa za boljšo varnost, se na področju preučevanja naravnih nevarnosti in naravnih nesreč uporabljajo številni modeli. Modele največkrat razlagamo kot poenostavljen prikaz ali abstrakcijo resničnosti (Demeritt in Wainwright 2005). Z njimi pojasnjujemo ali napovedujemo naravne ali kakršne koli druge pojave. Na področju naravnih nesreč se največkrat uporablja za napovedovanje zemeljskih in snežnih plazov ter poplav (Ciglič in sodelavci 2011). V primeru snežnih plazov lahko na primer z njimi predvidimo gibanje, hitrost in obseg pojava (RAMMS 2013). Modeli so »poenostavitev« naravnih procesov, ki ne morejo povsem simulirati narave oziroma kot je napisal Boardman (2006, 77): »... Od modelov ... ne smemo

pričakovati, da bodo [popolnoma, opomba avtorja] posnemali naravo. Mišljeni so, da stvarnost ponostavijo ...».

Prvi poskusi modeliranja snežnih plazov so bili predstavljeni na začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja (Rudolf-Miklau in Sauermoser 2011). Sčasoma so postajali vse kompleksnejši oziroma celostni, kar pomeni, da poskušajo upoštevati kar največ različnih vplivnih dejavnikov. Preprostejši modeli za načrtovanje protiplazovnih zaščit so v uporabi že od sedemdesetih let prejšnjega stoletja. V osemdesetih so prišli v uporabo statistični modeli ter eno- in dvodimenzionalni dinamični modeli. Modeliranje je doživelo hitrejši razvoj po zimi leta 1999, ki je bila zelo bogata s snežnimi plazovi. Odtlej se je razvoj usmeril v večrazsežnostne dinamične modele (Rudolf-Miklau in Sauermoser 2011).

3 Metode

Poznamo različne metode in modele za izdelavo zemljevidov lavinske nevarnosti. Večina metod je omejena na določen tip podatkov (na primer številski, nominalni). Prav tako je izbor metode pogosto odvisen od dostopnosti podatkov. Natančnejši kot so uporabljeni podatki, boljše rezultate lahko pričakujemo. Ko uporabljamo različne modele za isti pojav na istem območju, se pojavlja vprašanje, kateri najbolje odseva naravne razmere (Ciglič in sodelavci 2011).

Metode modeliranja delimo na neposredne (kvalitativne oziroma izkustvene) in posredne (kvantitativne). Najpogostejša neposredna metoda je kartiranje, ki ga uporabljamo pri izdelavi lavinskega katastra. Posredne metode pa delimo na deterministične, statistične in probabilistične ali verjetnostne (Pavšek in sodelavci 2010).

Metode, ki jih bomo omenili v nadaljevanju, se v zadnjem času pogosteje uporabljajo tudi pri modeliranju snežnih plazov.

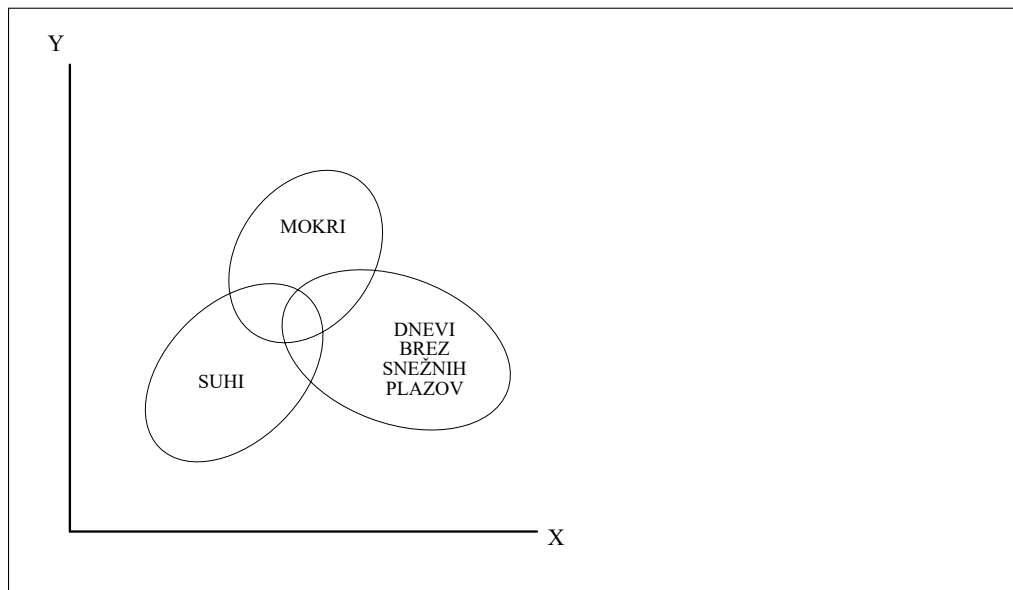
Pri sodobnem napovedovanju snežnih plazov se je namreč pojavila potreba po matematičnih analizah, ki nam pomagajo pri objektivizaciji procesa odločanja (McClung in Schaerer 2006). Uporabljajo se za analizo podatkov in odkrivanje zakonitosti v podatkovnih bazah, samodejno generiranje baz znanja za ekspertne sisteme, za učenje planiranja, gradnjo numeričnih in kvalitativnih modelov in drugo. Temeljni princip strojnega učenja je samodejno opazovanje pojavov iz izbranih podatkov (modeliranje). Naučeni modeli poskušajo razlagati podatke, iz katerih so bili modeli izpeljani, in se lahko uporabijo za odločanje pri opazovanju modeliranega procesa v prihodnosti. S tem v našem primeru mislimo predvsem na napovedovanje in simulacije (Kononenko 2005).

Numerično napovedovanje snežnih plazov se tako opira na že zbrane baze podatkov o vremenskih razmerah in pojavljanju plazov, kjer računalniško lahko primerjamo trenutne razmere z razmerami v preteklosti. Pri tem uporabljamo meteorološke podatke, ki jih pridobimo z vremenskih postaj, ter podatke o razmerah v snežni odeji, ki jih pridobimo s terenskimi meritvami (McClung in Schaerer 2006).

Metode strojnega učenja delimo glede na način uporabe pridobljenega znanja: klasifikacija, regresija, učenje asociacij in logičnih relacij, učenje sistemov (diferencialnih) enačb in razvrščanje (Kononenko 2005).

Izmed vseh metod jih bomo našli le nekaj, ki so pri napovedovanju snežnih plazov pogosteje uporabljene tako v tujini, kot tudi pri nas.

Diskriminantna analiza se pogosto uporablja pri statističnih izračunih, zaznavanju vzorcev in strojnem učenju. Uporabljamo jo za iskanje linearnih povezav med posameznimi spremenljivkami (Kononenko 2005). Če nekoliko poenostavimo, lahko rečemo, da diskriminantna analiza na podlagi podatkov razvršča »plazovite« in »neplazovite« situacije v skupine (množice) in si postavlja vprašanje: »V kateri razred spadajo aktualni podatki?« (McClung in Schaerer 2006).



Slika 1: Prikaz dni, ko so se pojavljali snežni plazovi (mokri, suhi) in dnevi, ko snežnih plazov ni bilo, kot primer razvrščanja primerov po diskriminantni analizi (McClung in Schaerer 2006).

Metoda najbližjega soseda – najpreprostejša različica algoritma najbližjih sosedov kot znanje uporablja kar množico vseh učnih primerov (Kononenko 2005). S pomočjo te metode v bazi podatkov poiščemo primere, ki so najbolj podobni trenutnemu stanju. Na tej podlagi lahko predvidimo tudi nadaljnje scenarije. Pri metodi najbližjega soseda vzamemo današnje podatke, in se vprašamo, katera skupina podatkov (dogodek) iz naše baze podatkov jim je najbolj podobna (McClung in Schaerer 2006).

Metoda **odločitvenih dreves** spada v skupino metod strojnega učenja. Pomeni opisovanje ali modeliranje podatkov; vhod v sistem za strojno učenje so podatki in predznanje o procesih, izhod pa razlaga (model, hipoteza), ki omenjene podatke skupaj s predznanjem opisuje in pojasnjuje (Kononenko 2005). Glavni namen odločitvenega drevesa je, da na razumljiv način predstavi razmerje med napovedano spremenljivko in enim ali več pojasnjevalnimi spremenljivkami. Pomemben del pri sestavljanju odločitvenega drevesa je izbira najboljše spremenljivke (Ciglič in sodelavci 2010). Pozitivna lastnost metode je, da lahko v analizo vključimo podatke različnih merskih lestvic in to brez vnaprej določenih predpostavk o frekvenčni porazdelitvi (Saito in sodelavci 2009). Metodo odločitvenih dreves lahko uporabljamo na različnih področjih od modeliranja tipov rabe tal, tipov pokrajin, tipov naselij, reliefnih oblik, gozdnih združb pa tudi zemeljskih plazov (Ciglič in sodelavci 2010). Uporablja pa se tudi na področju preučevanja snežnih plazov. Uporaba metode odločitvenih dreves je v zadnjih letih vedno večkrat uporabljena za ugotavljanje plazovitosti (snežni plazovi) in plazljivosti (zemeljski plazovi). Metoda namreč omogoča uporabo številskih in opisnih podatkov hkrati, dopušča pa tudi različno stopnjo posplošenosti ter dokaj širok izbor različnih nastavitvev (Ciglič in sodelavci 2010).

Odločitvena drevesa so lahko predstavljena tudi z **vplivnimi diagrami** (angleško *influence diagram*), ki se posvečajo predvsem povezavam med posameznimi dogodki. So strnjeno grafično in matematično predstavitev odločitvenega procesa in nekakšna posplošitev Bayesove mreže, kjer

$$K = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{X_n}{Y_n} * p_n \right)}{N}$$

K = zemljevid plazovitega območja

n = sloj

N = skupno število slojev

p = utež ali ponder

X = zemljevid nevarnosti vplivnega dejavnika

Y = največja vrednost sloja

Slika 2: Proces izdelave zemljevida nevarnosti predstavljen z matematično formulo (Zorn in Komac 2004).

poleg sklepanja uporabljamo tudi proces odločanja. Vplivni diagrami so sorazmerno enostavni in razumljivi. Sčasoma so postali tudi alternativa odločitvenim drevesom, kjer je glavni problem eksponentna rast in omejeno število vej, ki jih lahko v modeliranju upoštevamo (Kononenko 2005). Zaradi svoje odprtosti, bi ta metoda znala biti primerna tudi za izdelavo algoritma za določanje nevarnosti snežnih plazov.

Metoda ponderiranja je metoda, kjer s pomočjo ekspertne ocene izbranim vplivnim dejavnikom določimo uteži. Na podlagi različno obteženih dejavnikov nato izdelamo en skupen model. Glavni problem te metode je subjektivno določanje posameznih razredov (Zorn in Komac 2004; Ciglič in sodelavci 2010).

Logaritemska metoda indeksiranja je statistična metoda, ki temelji na primerjanju zemljevida snežnih plazov z zemljevidi, na katerih so prestavljeni različni vplivni dejavniki pomembni za njihovo sprožitev. Pri tej metodi se najprej lotimo izračuna pogostosti oziroma gostoto plazov v posameznih razredih vplivnih dejavnikov, ki ga na koncu primerjamo s pogostostjo na celotnem preučevanem območju. Posameznim razredom je potem treba pripisati tudi utež (ponder), ki jo dobimo z izračunom naravnega logaritma (ln) (Zorn in Komac 2004; Pavšek in sodelavci 2010). Končni rezultat je zemljevid, ki prikazuje, kje je večja in kje manjša verjetnost za proženje snežnih plazov.

4 Uporabnost modelov

Pri sodobnih metodah napovedovanja snežnih plazov se uporablja vedno več spremenljivk, zato se je pokazala potreba po matematičnih analizah, ki so objektivno vodilo pri vsakodnevnem napovedovanju plazov (McClung in Schaerer 2006).

Numerične metode napovedovanja snežnih plazov temeljijo na ustrezni organizaciji baz podatkov. Še posebej velik poudarek je na meteoroloških podatkih, saj so te meritve najbolj stalne. Poleg podatkov o vremenu pa moramo upoštevati tudi podatke o značilnostih snežne odeje in pojavljanju snežnih plazov. Le na temelju kakovostnih podatkov lahko računalnik izdelava modele in primerja trenutno situacijo s preteklimi (McClung in Schaerer 2006).

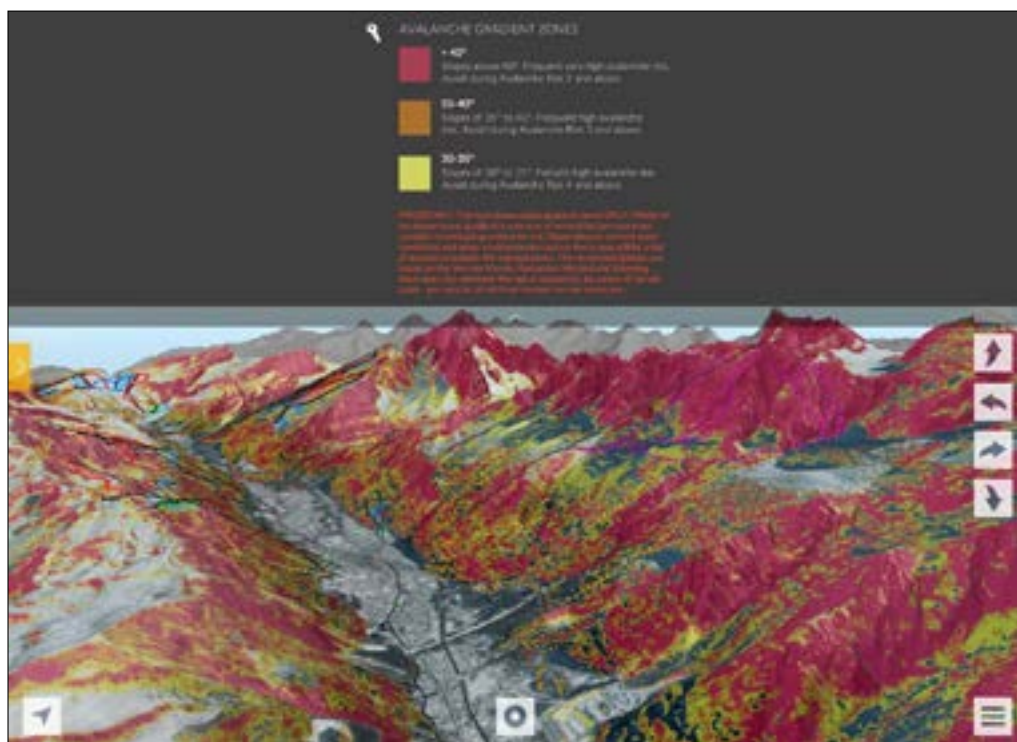
Zgoraj omenjene metode lahko razdelimo v tri navidezne sklope. V prvem sta diskriminantna analiza in analiza najbližjega sosedja. Pri obeh upoštevamo podatke o plazovih in jih poskušamo primerjati s trenutno situacijo. Pri diskriminantni analizi iščemo predvsem linearne povezave med spremenljivkami in tako razvrščamo podatke na dni ko se plazovi pojavljajo ali ne. Metoda najbližjega

soseda pa temelji na iskanju situacij, ki so podobne trenutni. Na podlagi teh lahko sklepamo kakšne plazove pričakovati in v kakšnem obsegu se bodo pojavljale (McClung in Schaerer 2006).

V drugem sklopu sta metodi odločitvenih dreves in vplivnih diagramov. S pomočjo odločitvenih dreves lahko na podlagi številskih in opisnih vhodnih podatkov ugotovljamo ali bo do pojava prišlo ali ne. Tako na podlagi predznanja o procesih izpeljemo model (Ciglič in sodelavci 2010). Vplivni diagrami so precej podobni, le da omogočajo uporabo večjega števila vej, poleg iskanja povezav med posameznimi dejavniki pa lahko upoštevamo tudi proces odločanja (Kononenko 2005).

V tretjem sklopu sta metoda ponderiranja in logaritemska metoda indeksiranja. Obe uporabljata številske podatke in na podlagi obtežitve posameznih vplivnih dejavnikov izpeljeta model pojavljanja snežnih plazov. Pri metodi ponderiranja so uteži določene na podlagi ekspertne ocene, pri logaritemski metodi indeksiranja uteži določimo na podlagi rezultatov naravnega logaritma in s tem zmanjšamo subjektivnost pri določanju uteži (Zorn in Komac 2004; Ciglič in sodelavci 2010; Pavšek in sodelavci 2010).

Vprašanje je, ali bodo sodobne – kvantitativne metode kdaj uspele izpodriniti oziroma nadomestiti »človeški člen« pri napovedovanju plazov, je pa dejstvo, da si napovedovalci z različnimi modeli pomagajo že danes. Sodobno napovedovanje vedno bolj teži k mešanju tako modelskih izračunov, kot tudi človekovega »občutka za sneg«. Vedno bodo namreč obstajale situacije, ko računalniški modeli določenih elementov ne bodo mogli/znali vključiti v modele. Zato končna odločitev še vedno pripada napovedovalcem (Davis in Elder 1994).



Slika 3: Primer aplikacije za pametne telefone (FATMAP – 3D Maps), ki poleg drugih koristnih informacij vsebuje tudi zemljevide ogroženosti (FATMAP 2016; Google Play 2016).

Kot smo že omenili, modele, lahko uporabljamo tako pri vsakodnevnih lavinskih napovedih kot tudi pri analizah in izdelavi zemljevidov lavinske nevarnosti.

Modeli lavinske nevarnosti so uporabni tudi pri prostorskem načrtovanju. V nekaterih državah takšni zemljevidi predstavljajo temeljni dokument prostorskega načrtovanja (Pavšek in sodelavci 2010).

5 Prikaz plazovitih območij

Kartografski prikaz snežnih plazov in njihovih posledic ima dolgo tradicijo. Prikaz plazovitih območij je neposredni rezultat uporabljenega modela, rezultati pa so lahko tako številčni, kot tudi grafični.

Običajno so uporabniki tovrstnih zemljevidov občine, prostorski planerji, lavinske komisije. Vedno bolj pa se njihove uporabnosti zaveda tudi širša javnost (Kriz 2001).

Za izdelavo zemljevidov nevarnosti uporabimo tako neposredne (kvalitativne oziroma izkustvene), kot tudi posredne (kvantitativne) metode. Najpogostejša neposredna metoda je kartiranje, ki je v našem primeru uporabna za izdelavo lavinskega katastra (Pavšek, Komac in Zorn 2010). Z razvojem geografskih informacijskih sistemov, se vedno bolj uveljavljajo tudi posredne metode. Tu na podlagi različnih vplivnih dejavnikov izdelamo modele, ki nam povedo, kakšna je možnost proženja snežnih plazov na nekem območju.

Če zemljevidom nevarnosti dodamo še stavbe, ceste, infrastrukturo in ostale družbene elemente dobimo zemljevide ogroženosti (Volk 2010b; Pavšek in sodelavci 2013). Tovrstni zemljevidi se običajno prikazujejo na kartografskih podlagah od 1 : 2000 do 1 : 10.000 (Rudolf-Miklau in Sauer Moser 2011).

Glavna težava prikazov širših območij je, da se modeli osredotočajo predvsem na območja proženja, ne pa tudi na območju gibanja in odlaganja (Volk 2010a). Za takšne primere se vedno bolj uporabljajo dinamični modeli, ki prikazujejo tudi gibanje gradiva.

6 Prikaz gibanja plazov (dinamični modeli)

Sneg je snov, ki jo je fizikalno izredno težko opisati. Njegovo dinamično gibanje in lastnosti snega in snežne odeje se spreminjajo že znotraj enega samega dogodka. Značilnosti se spreminjajo tudi glede na tip plazov, velikost, gostoto in vlažnost snega, od količine sproženega gradiva in od tipa reliefa, po katerem se plazovina premika (Mears 2015).

Poznamo tako fizikalne kot tudi statistične modele, s katerimi pridobivamo ključne podatke o gibanju plazov, kot so hitrost, doseg, sile, ki jih povzroči, in drugo. Dinamični modeli se razlikujejo tako po temeljnih enačbah, kot tudi glede na tip snežnega plazov, ki ga lahko obravnavamo v določenem programu (Sirk 2011).

Namen tovrstnih modelov je prikazati način gibanja posameznih plazov. Z njimi lahko predvidimo hitrost plazovine, smer gibanja, obremenitve oziroma sile na posameznih odsekih, količino in mesto odloženega gradiva ... Nekateri, na primer program RAMMS, nam omogočajo tudi uporabo podatkov o gozdnatosti (saj je gibanje plazovine v gozdu drugačno) in zaščitnih objektov. Modeli nam npr. povedo, če so te zaščite zadostne in na pravem mestu (RAMMS 2013).

Številni modeli pri svojih izračunih uporabljajo Voellmy-Salmov model tekočin (Torkar 2013). Ta zahteva majhno število vhodnih podatkov, pri interpretaciji pa je potrebna velika mera strokovnih izkušenj, saj model precej poenostavi tok plazovine (Sirk 2011). Model je nastajal v 50 in 60 letih prejšnjega stoletja in je uvedel notranje trenje ter aktivno stanje toka plazov, masa plazov pa je poenostavljena v masno središče. Do razvoja numeričnih modelov se je Voellmy-Salmov model uporabljal za izračun dosega in pritiskov plazov (Torkar 2013).

7 Sklep

Naravni procesi, med njimi tudi snežni plazovi, neprestano preoblikujejo pokrajino, v kateri živimo. Če se pojavljajo v običajnih razsežnostih, ne povzročajo večje škode, ko pa je snega več, se poveča tudi verjetnost le-te. Z naraščanjem števila planincev in smučarjev, ki se pozimi odpravljajo na gore, se povečuje tudi število nesreč.

S preučevanjem in z boljšim razumevanjem pojavov lahko več naredimo na področju napovedovanja dogodkov in s tem na preventivi, ki je pri upravljanju z naravnimi nesrečami izjemnega pomena.

Zaradi naraščajočega obiska vzpetega sveta tudi v zimskem času je treba več energije usmeriti v preventivne aktivnosti. Pozitiven trend teh prizadevanj se že kažejo v številu preventivnih tečajev varstva pred snežnimi plazovi, ki so vsako zimo zelo dobro obiskani.

Vse pomembnejši del preventive so modeli. V pomoč so napovedovalcem, ki pripravljajo dnevne lavinske biltene, kot tudi prostorskim načrtovalcem in širši javnosti. Njihov prikaz je odvisen od ciljne skupine. Strokovnjakom so namenjeni kompleksnejši modeli (npr. prikaz gibanja plazovine, obremenitve in sile ki nastanejo ob plazu... ipd.), za širšo javnost pa so modeli poenostavljeni. Tako je kompleksna vsebina prikazana na razumljiv in preprost način, ki tudi laiku omogoča enostavno in nedvoumno razumevanje.

Koristnih lastnosti zemljevidov nevarnosti, ogroženosti ter modelov (za različne naravne nesreče), bi se morali bolje zavedati tudi prostorski načrtovalci in odločevalci. Prilagojeni zemljevidi pa bi lahko služili kot didaktični pripomoček pri izobraževanju, kot orodje pri načrtovanju obiska vzpetega sveta ali kot del opozorilnih tabel na izhodiščih priljubljenejših zimskih poti.

8 Viri in literatura

- Boardman, J. 2006: Soil erosion science: Reflections on the limitation of current approaches. *Catena* 68, 2-3.
- Carrara, A., Pike, R. J. 2008: GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk. *Geomorphology* 94, 3-4.
- Ciglič, R., Zorn, M., Komac, B. 2010: Ugotavljanje plazovitosti z metodo odločitvenih dreves. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.
- Ciglič, R., Zorn, M., Komac, B. 2011: Primerjava različnih načinov modeliranja plazovitosti. *Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2*. Ljubljana.
- Davis, R. E., Elder, K. 1994: Application of Classification and Regression Trees: Selection of Avalanche Activity Indicates at Mammoth Mountain. Medmrežje: <http://www.avalanche.org/moonstone/issw%2094/application%20of%20classification%20and%20regression%20trees-%20selection%20of%20avalanche%20activity%20indices%20at%20mammoth%20mountain.htm> (19. 8. 2016).
- Demeritt, D., Wainwright, J. 2005: *Models, Modeling and Geography*. Oxford.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
- Kononenko, I. 2005: *Strojno učenje*. Ljubljana.
- Kriz, K. 2001: Using GIS and 3D Modeling for avalanche Hazard Mapping. Medmrežje: http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/2_Beijing_Session_Mountain_Carto/5_Beijing_Kriz.pdf (19. 8. 2016).
- Malešič, F. 2005: Spomin in opomin gora: kronika smrtnih nesreč v slovenskih gorah. *Radovljica*.
- McClung, D., Schaerer, P. A. 2006: *The Avalanche Handbook*. Seattle.

- Mears, A. I. 2015: Computer Modeling of Avalanche Dynamics. Medmrežje: http://mearsandwilbur.com/more_topics.html#modeling (19. 8. 2016).
- Natek, K. 2011: Temeljni termini v geografiji naravnih nesreč. Dela 35.
- Pavšek, M. 2002: Snežni plazovi v Sloveniji. Geografija Slovenije 6. Ljubljana.
- Pavšek, M., Komac, B., Zorn, M. 2010: Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. Ljubljana.
- Pavšek, M., Komac, B., Volk Bahun, M., Ortar, J., Zorn, M., Ciglič, R., Ferk, M. 2013: Zemljevidi nevarnosti za snežne plazove na Gorenjskem. Gorenjska v obdobju globalizacije. Ljubljana.
- RAMMS – Rapid Mass Movement Simulation. A numerical model for snow avalanches in research and practice. User Manual v1.5 Avalanche. Davos, 2013.
- Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. 2011: Handbuch Technischer Lawinenschutz. Berlin.
- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H. 2009: Comparison of landslide susceptibility based on a decision tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan. Geomorphology 109, 3-4.
- Sirk, K. 2011: Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo – Hudajužna. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Šegula, P. 1986: Sneg, led, plazovi: Priročnik za planince, smučarje in druge. Ljubljana.
- Torkar, V. 2013: Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Volk Bahun, M., Zorn, M., Ortar, J., Pavšek, M. 2014: Snežni plazovi in preventiva v Srednjih Karavankah. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014. Ljubljana.
- Volk, M. 2010a: Snežni plazovi v Karavankah. Diplomsko delo, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Volk, M. 2010b: Snežni plazovi v osrednjih Karavankah. Ujma 24.
- Zorn, M., Komac, B. 2004: Deterministično modeliranje ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov. Acta geographica Slovenica 44-2.
- Zorn, M., Komac, B. 2008: Zemeljski plazovi v Sloveniji. Georitem 8. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B., Kumelj, Š. 2012: Mass movement susceptibility maps in Slovenia: the current state. Geografski vestnik 84-1.

PROSTORSKA IN ČASOVNA ANALIZA POJAVLJANJA HUDOURNIŠKIH POPLAV V SLOVENIJI

dr. Tajan Trobec

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Aškerčeva cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

tajan.trobec@ff.uni-lj.si

IZVLEČEK

Prostorska in časovna analiza pojavljanja hudourniških poplav v Sloveniji

Prispevek preučuje pogostnost hudourniških poplav v Sloveniji in njihovo razporeditev čez leto na ravni celotne države in na ravni hidrografskih območij različnega reda. Podani so izsledki analize za 138 hudourniških poplav, ki so med letoma 1550 in 2015 prizadele Slovenijo, s poudarkom na obdobju po letu 1950. V Sloveniji imamo v povprečju 1,3 hudourniške poplave na leto, trend pa je v porastu. Hudourniške poplave se najpogosteje pojavljajo v goratem in hribovitem severnem delu države. Približno 90 % se jih pojavi v času meteorološkega poletja ali meteorološke jeseni. Jesenske hudourniške poplave se pojavljajo v večjem delu države, poletne pa predvsem na vzhodu. V večjem delu države prevladujejo jesenske hudourniške poplave.

KLJUČNE BESEDE

naravne nesreče, hidrogeografija, prognostična geografija, hudourniške poplave, porečja, hidrografska območja, Slovenija

ABSTRACT

Spatial-temporal occurrence of flash floods in Slovenia

The chapter examines the frequency of flash floods in Slovenia and their distribution over the year, both at the state level as well as at the level of hydrographic areas of different orders. We analysed 138 flash floods that occurred in Slovenia between 1550 and 2015, with specific focus on the period after 1950. In Slovenia, there are on average 1.3 flash floods a year, and the trend is rising. Flash floods occur most frequently in mountainous and hilly northern part of the country. About 90% of them occur at the time of the meteorological summer or autumn. Autumn flash floods occur in most parts of the county, while summer flash floods occur mainly in the east. Most of the country is dominated by autumn flash floods.

KEY WORDS

natural disasters, hydrogeography, prognostic geography, flash floods, catchments, hydrographic areas, Slovenia

1 Uvod

Ne glede na njihovo sedanje medijsko odmevnost (Natek 2007) hudourniške poplave v Sloveniji nikakor niso značilne le za današnji čas, saj so se pogosto pojavljale tudi v preteklosti (Kolbezen 1991; 1992; 1993; 1994; 1995; Jesenovec 1995; Trontelj 1997). Podobno kot danes (Zorn in Komac 2011), tudi tedaj niso prizanašale ne človekovemu premoženju ne infrastrukturi, občasno pa so terjale tudi smrtne žrtve (Komac, Natek in Zorn 2008).

Med vzvodi sodobnega varstva pred poplavami postaja vse pomembnejše preventivno delovanje s poudarkom na ozaveščanju prebivalcev o poplavni nevarnosti ter napovedovanju poplav (medmrežje 1). K ozaveščanju prebivalcev lahko pomembno prispeva vedenje o tem, kje se hudourniške poplave pojavljajo in kdaj jih lahko pričakujemo. Glede na predpostavko prognostične geografije, da so poplave na določenem območju stalnica in s tem odsev naravnogeografskih značilnosti tamkajšnjega površja (Radinja 1983; Šifrer 1983; Natek 1992; 2002; 2003; 2007), lahko iz preteklih hudourniških poplav sklepamo na okvirni prostorski vzorec in dinamiko prihodnjih hudourniških poplav. Slednje pa je že korak v smeri napovedovanja poplav.

Prispevek preučuje pogostnost hudourniških poplav v Sloveniji in njihovo prostorsko razporeditev prek leta na ravni celotne države in na ravni hidrografskega območja različnega reda. Podani so izsledki prostorsko-časovnih analiz za 138 hudourniških poplav, ki so med letoma 1550 in 2015 prizadele območje Slovenije. Poseben poudarek je na obdobju po letu 1950, za katerega razpolagamo s podatki za veliko večino pomembnejših hudourniških poplav.

2 Metode

Pri pridobivanju podatkov za izvedbo prostorsko-časovnih analiz hudourniško-poplavnega dogajanja v Sloveniji smo se oprli na različne opise preteklih hudourniških poplav (Kolbezen 1991; 1992; 1993; 1994; 1995; Jesenovec 1995; Trontelj 1997), prispevke iz znanstvenih in strokovnih revij ter zbornikov (Geografski vestnik, Geografski zbornik, Ujma, Mišičev vodarski dan) in na različna poročila ter publikacije s spletne strani ARSO (medmrežje 2). V razpoložljivem gradivu smo našli zapise za 138 hudourniških poplav, ki so med letoma 1550 in 2015 prizadele območje Slovenije. Vzorec zagotovo ni popoln, a verjetno vseeno vključuje večino pomembnejših hudourniških poplav, še zlasti v obdobju po letu 1950. Z zbranimi podatki smo izvedli analizo pogostnosti pojavljanja hudourniških poplav na ravni celotne države. Za 124 poplav smo pridobili tudi podatek o meteorološkem letnem času pojavitve, kar je bilo ključno za izvedbo analize razporeditve hudourniških poplav preko leta na ravni celotne države. Za uporabo meteoroloških letnih časov smo se odločili zato, ker ti v nasprotju z astronomskimi letnimi časi občutno bolj sovpadajo z značilnimi sezonsko pogojenimi sinoptičnimi vremenskimi situacijami, ki lahko privedejo do nastanka obilnih in intenzivnih padavin in s tem do pojava hudourniških poplav (Trobec 2015).

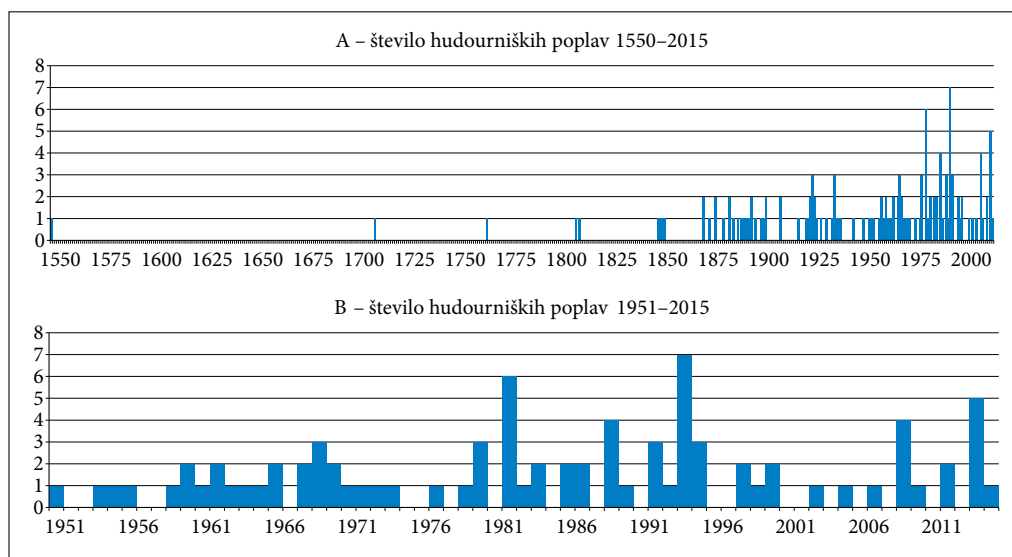
Kjer je bilo mogoče, smo zbranim poplavam določili okviren obseg poplavljanja. Pri tem se nismo omejili zgolj na območja razlivanja vode ob vodotokih, temveč smo zajeli celotna porečja (območja manjših povirnih krakov, grap, stranskih pritokov in vršajev), od koder se poplavne vode stekajo v struge. Pri izbiri prostorskih enot za ponazoritev poplav smo izhajali iz ARSO-vega podatkovnega sloja »hidrografska območja« (medmrežje 3), ki ozemlje Slovenije deli na 4 hierarhično urejene ravni. Vsako hudourniško poplavo smo glede na obseg prizadetega območja ponazorili z odgovarjajočim izborom hidrografskega območja. Prostorske analize pogostnosti hudourniških poplav smo izvedli na vzorcu 124-ih poplav z znanim okvirnim obsegom poplavljanja. Prostorske analize razporeditve hudourniških poplav preko leta pa na vzorcu 116-ih poplav, za katere smo poleg tega razpolagali še s podatkom o meteorološkem letnem času pojavitve.

3 Pogostnost hudourniških poplav

Kot je moč razbrati s pregledne karte območij hudourniških poplav (slika 2a), se te v Sloveniji pojavljajo v vzpetem svetu, ki obsega večino alpskega sveta, pretežni del predalpskega sveta ter gričevja v sredozemski in panonski Sloveniji. Hudourniške poplave so pogoste tudi ponekod v dinarskem svetu, na primer ob Iški, Borovniščici, Cerkniščici, (Sodraški) Bistrici in Sušici. V preostalem dinarskem svetu, na Krasu ter na območju večjih kotlin pa se hudourniške poplave ne pojavljajo. Na kraških podoljih in ravninah se namesto njih pojavljajo kraške poplave, ob večjih vodotokih v Ljubljanski in Krški kotlini ter na Dravski in Murski ravnini pa nižinske poplave (Natek 2005).

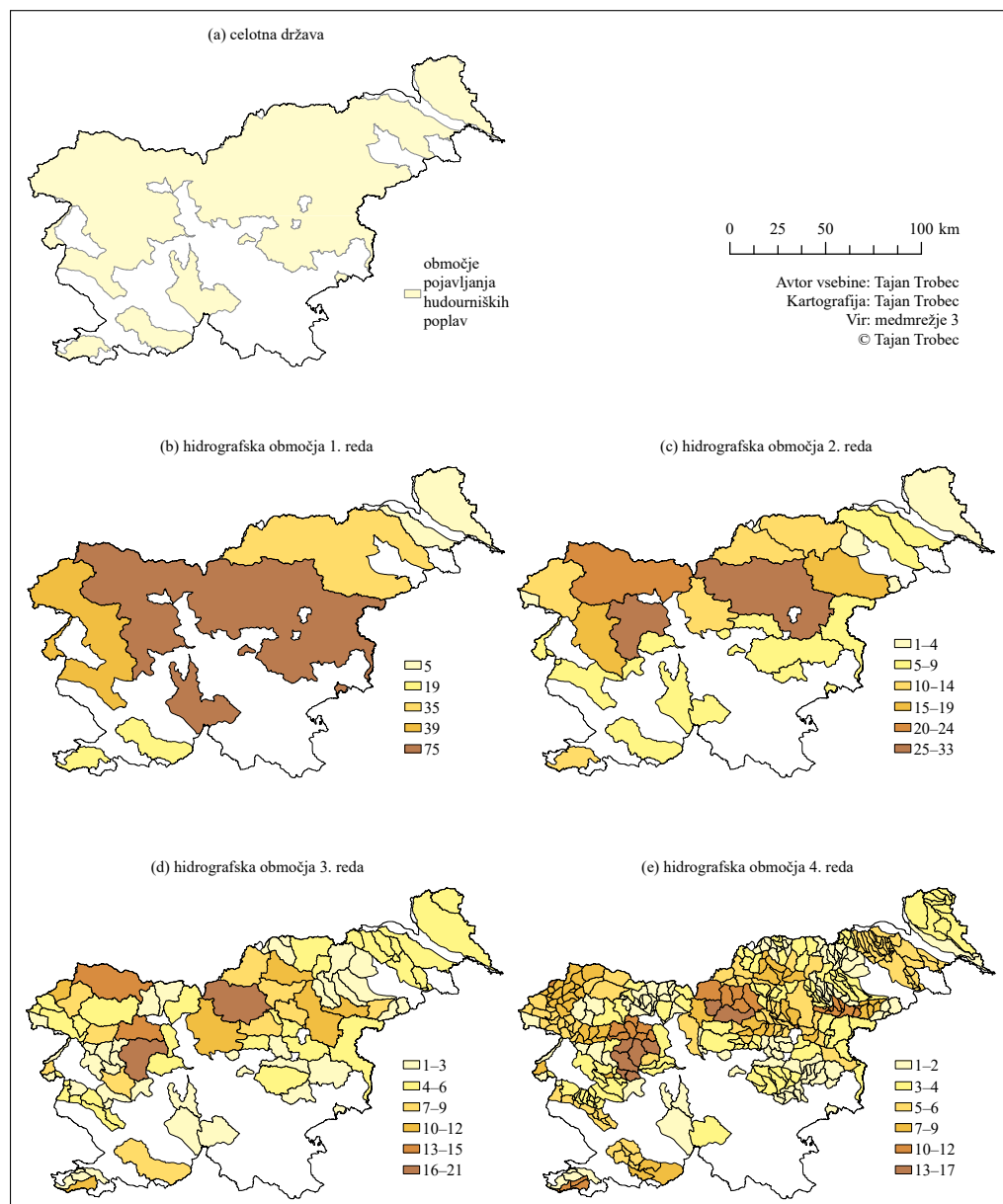
Z oddaljevanjem v preteklost je ohranjenih vse manj zapisov o hudourniških poplavah, ki se v večji meri nanašajo na poplave večjih razsežnosti. Kasnejši opisi so pogostejši in bolj dosledni, kar daje vtis, da se je pogostnost hudourniških poplav skozi stoletja skokovito stopnjevala (slika 1a). Vendar pa predpostavke o povečevanju pogostnosti hudourniških poplav v Sloveniji skozi stoletja ne moremo potrditi ravno zaradi pomanjkljivih virov. Vseeno pa lahko ob predpostavki, da imamo po letu 1950 vsaj približno verodostojne podatke za večino pomembnejših hudourniških poplav ter da je obenem 65 let (kolikor jih od tedaj preteklo do leta 2015) dovolj dolga doba za sklepanje na okvirno pogostnost njihovega pojavljanja, izluščimo nekaj splošnih ugotovitev.

Od leta 1951 do 2015 je Slovenijo prizadelo najmanj 84 hudourniških poplav. V tem obdobju je bilo le 21 let brez hudourniških poplav, kar pomeni, da nas te niso prizadele le približno vsako tretje leto (slika 1b). Leta s hudourniškimi poplavami so bila najbolj zgoščena v 15-letnem obdobju med 1960 in 1974, ko je bilo brez poplav le leto 1967. Občasno se je v posameznih letih pojavljalo po več hudourniških poplav. Najbolj izstopajoča so leta 1994, ko je bilo sedem hudourniških poplav, 1982 s šestimi in 2014 s petimi hudourniškimi poplavami. Po štiri hudourniške poplave so bile v letih 1989 in 2009, v letih 1969, 1980, 1992 in 1995 pa smo imeli po tri hudourniške poplave. Leta z največ poplavami so se pojavljala po letu 1980. V obdobju 1951–2015 so bile povprečno 1,3 hudourniške poplave letno.



Slika 1: Število hudourniških poplav v Sloveniji po letih v različnih obdobjih.

Linearni trend za obdobje 1951–2015 sicer izkazuje počasno povečevanje števila hudourniških poplav, a ni statistično značilen ($p > 0,05$). V začetnem delu obdobja je bila tako glede na enačbo trenda na letni ravni v povprečju značilna le ena hudourniška poplava, ob koncu pa že 1,6 hudourniške poplave.



Slika 2: Razporeditev in število hudourniških poplav po hidrografskih območjih različnih redov v Sloveniji za obdobje 1951–2015.

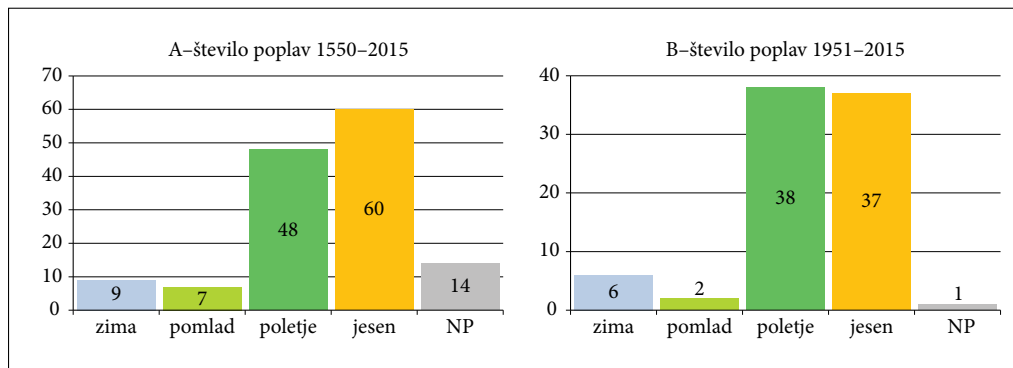
V zadnjem času prevladuje splošno mnenje, da je poplav vedno več (Natek 2007). Glede na veliko variabilnost pojavljanja hudourniških poplav v času pa se do tega vprašanja v resnici ne moremo dokončno opredeliti. V prvih petnajstih letih 21. stoletja je bila denimo pogostnost hudourniških poplav celo nekoliko pod dolgoletnim povprečjem (Trobec 2015), a je po drugi strani to obdobje izrazito izstopajoče po številu obsežnih poplav, ki so povzročile izjemno materialno škodo ter izgubo človeških življenj (na primer poplave leta 2005 v Posavju (Kobold 2006), 2007 v Železnikih (Rusjan, Kobold in Mikoš 2009), 2010 (Kobold 2011) in 2012 (medmrežje 4) v večjem delu države ter 2014 v zahodnem predalpskem hribovju (medmrežje 5)). Predvidene posledice podnebnih sprememb (Climate Change ... 2014) za območje Slovenije do konca 21. stoletja v splošnem napovedujejo do 30 % povečanje visokovodnih pretočnih konic ravno v alpskem in predalpskem svetu (Rogelj 1999 v: Kobold 2007; Kajfež-Bogataj s sodelavci 2004), ki sta zaradi specifičnih naravnogeografskih razmer in s tem pogojenih odtočnih razmer že sedaj najbolj prizadeta zaradi hudourniških poplav. S pogostimi in silovitimi hudourniškimi poplavami je tako treba računati tudi v prihodnje.

Na ravni hidrografskega območja 1. reda je od skupno 124 hudourniških poplav z znanim obsegom poplavljanja največ poplav (75 poplav oziroma 60 %) prizadelo Posavje (slika 2b), ki je s 53 % državnega ozemlja tudi največje. Slaba tretjina hudourniških poplav je prizadela Posočje (39 poplav) in Podravje (35 poplav). 15 % oziroma 19 hudourniških poplav je bilo na območju jadranskega povodja brez Soče, v Pomurju pa le 4 % oziroma 5 hudourniških poplav. Ker se je 37 hudourniških poplav (30 %) hkrati pojavilo v dveh ali več hidrografskega območjih 1. reda, vsota navedenih odstotkov presega vrednost 100.

Na ravni hidrografskega območja 2. reda je bilo največ hudourniških poplav v porečju Savinje (33 poplav). Sledita porečje Sore (26 poplav) in zgornji del porečja Save (23 poplav), ki poleg Bohinjke in Dolinke vključuje še Tržiško Bistrico in Kokro (slika 2c). Med preostalimi hidrografskimi območji po pogostnosti hudourniških poplav velja izpostaviti še porečje Idrijce (17 poplav), Dravinje (15 poplav), Meže z Mislinjo ter povirje Soče (14 poplav), porečja obalnih vodotokov (12 poplav), porečja hudourniških pritokov Drave med Dravogradom in Mariborom (11 poplav) ter porečje Kamniške Bistrice (10 poplav). Porečja, kjer se hudourniške poplave pojavljajo najpogosteje, obsegajo razmeroma sklenjeno območje gorate in hribovite severne Slovenije, ki vključuje alpski ter večji del predalpskega sveta. Še nadrobneje je pogostnost hudourniških poplav prikazana na ravni hidrografskega območja 3. reda, kjer je največ poplav evidentiranih v porečjih Poljanske Sore (21 poplav), Savinje nad sotočjem s Pako (16 poplav) ter Save Dolinke (14 poplav) (slika 2d). 10 ali več hudourniških poplav je prizadelo še porečja Selške Sore (13 poplav), Dragonje (12 poplav), Mislinje, Voglajne s Hudinjo in Dravinje (11 poplav), Kamniške Bistrice z Račo in Pšato ter Koritnice (10 poplav). Po številnih hudourniških poplavah tudi na ravni hidrografskega območja 4. reda izstopata Poljanska dolina in Zgornja Savinjska dolina z Zadrebko dolino (slika 2e). Ob Poljanski Sori s pritoki je bilo med 14 in 17, ob Savinji v Zgornji Savinjski dolini s pritoki pa med 11 in 15 hudourniških poplav.

4 Razporeditev hudourniških poplav prek leta

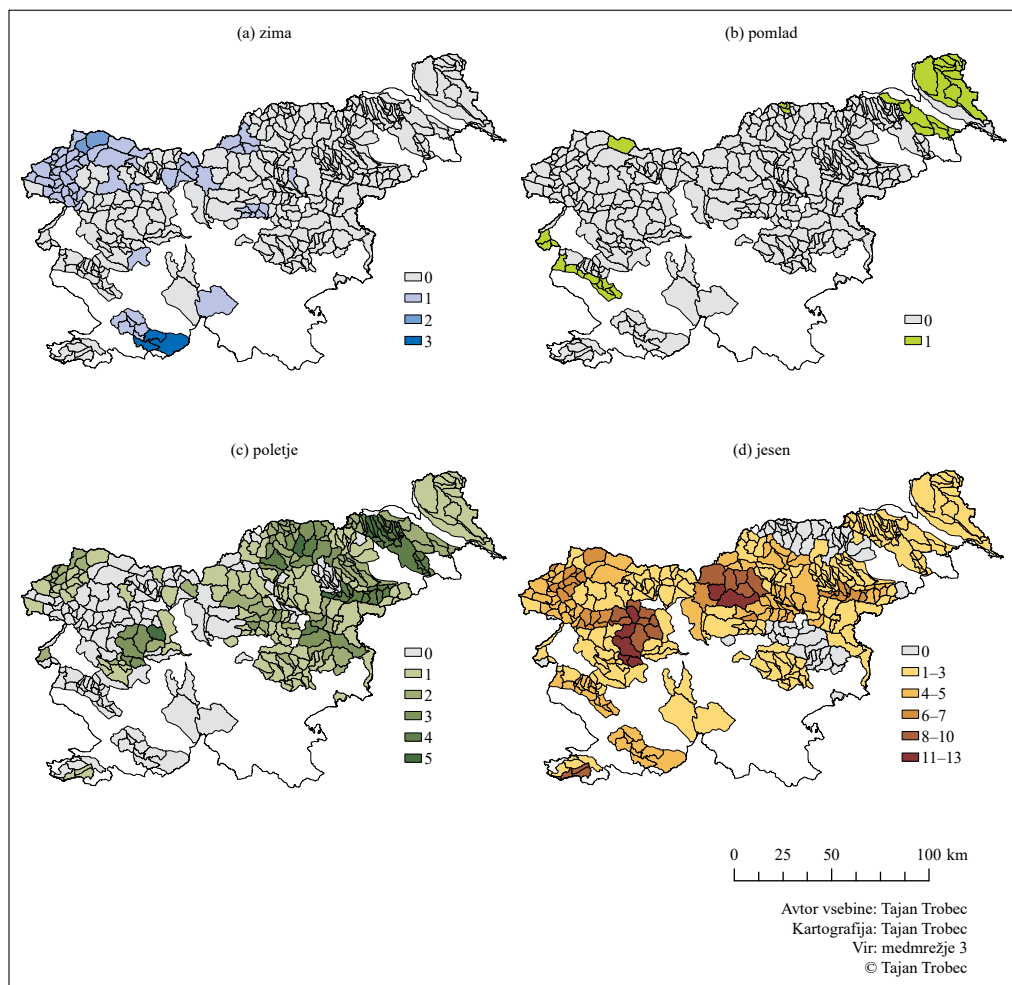
V Sloveniji se hudourniške poplave pojavljajo izrazito sezonsko, saj se jih velika večina (87 %) pojavi v šestih mesecih med junijem in novembrom. V obdobju 1550–2015 je skoraj polovica hudourniških poplav (48 %) odpadla na čas meteorološke jeseni. Drugi najbolj zastopan meteorološki letni čas je z 39 % hudourniških poplav poletje (slika 3a). Če upoštevamo zgolj obdobje po letu 1950, sta meteorološka jesen in meteorološko poletje po številu hudourniških poplav med seboj skoraj izenačena (slika 3b). Razlike v razporeditvi hudourniških poplav v navedenih obdobjih med meteorološko jesenjo in poletjem pa zaradi pomanjkljivih virov ne moremo pripisati spremembam v režimu poplavljanja. Iz obdobja pred letom 1950 je namreč primerjalno gledano ohranjenih manj zapisov o lokalnih poletnih hudourniških poplavah, saj so te praviloma manj obsežne in prizadenejo manjše število ljudi.



Slika 3: Število hudourniških poplav v Sloveniji po meteoroloških letnih časih v različnih obdobjih.

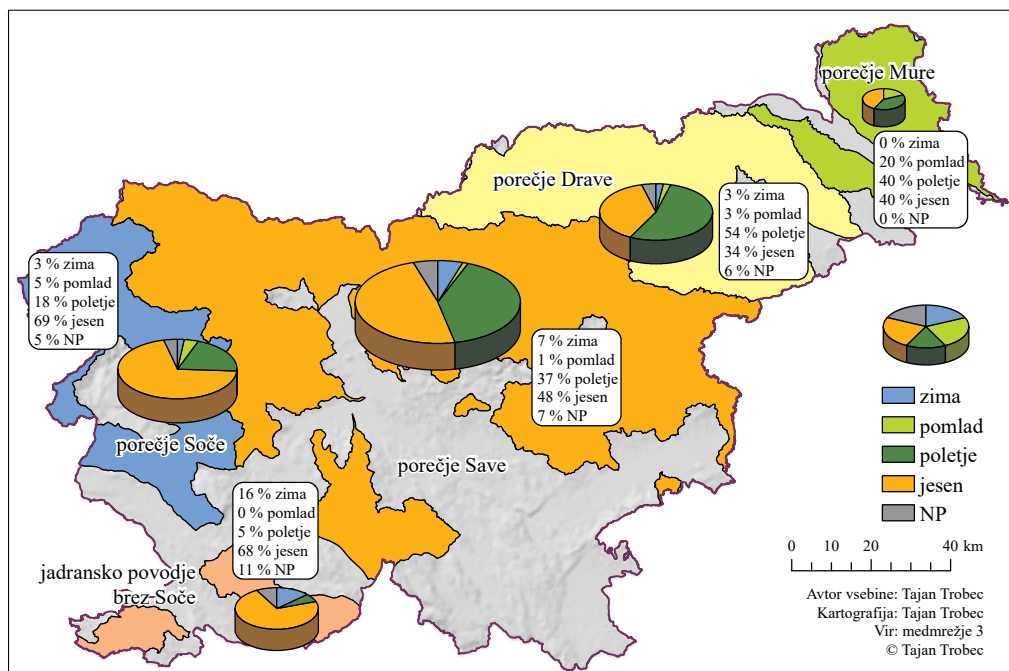
Razloge za takšno razporeditev hudourniških poplav prek leta gre iskati predvsem v podnebnih značilnostih Slovenije (Ogrin 1996; 2002). Do nastanka obilnih in intenzivnih padavin ter z njimi povezanih hudourniških poplav namreč lahko pridejo različne vremenske situacije, ki jih navadno lahko povežemo z določenim delom leta. Z vidika vremena je pri nas najburnejše meteorološko poletje, ko zrak zaradi višjih temperatur lahko sprejme večjo količino vlage, ki jo nato izloči v obliki intenzivnih padavin. Tedaj hudourniške poplave po navadi nastopijo kot posledica neviht z močnimi nalivi, ki so najpogostejše posledica prehoda hladne fronte ali bližine višinskega jedra hladnega zraka (Petkovšek in Trontelj 1996). Na veliko intenzivnost padavin zaradi pregrevanja zraka pri tleh pogosto odločilno vpliva konvekcija. Tudi v meteorološki jeseni izjemne padavine pogosto povzročajo prehodi hladnih front, še posebej, ko te na Alpah zastanejo (Pristov 1982), ali kadar se na njih razvije sekundarni ciklon v severnem Sredozemlju (Vrhovec 2002). Obilne in intenzivne padavine lahko jeseni k nam zanesejo tudi sredozemski cikloni (Pristov 1982). Padavine so ob opisanih vremenskih situacijah še dodatno okrepljene z vplivom orografije zaradi jugozahodnih vetrov ter prisilnega dviga vlažnih zračnih mas iznad Sredozemlja prek alpsko-dinarske pregrade (Ogrin 2008). Izostanek intenzivnih padavin in s tem občutno redkejšo pojavljanje hudourniških poplav v času meteorološke zime in meteorološke pomladi lahko pripišemo nižjim temperaturam in nižji vsebnosti vlage v zraku, kar oboje zavira razvoj burnejšega vremenskega dogajanja. Manj izraziti so tudi konvektivni procesi. Pozimi poleg tega padavine v višjih legah običajno padajo v obliki snega, ki preprečuje neposredni odtok.

Z zemljevidov na ravni hidrografskih območij 4. reda je razvidno, da so hudourniške poplave v Sloveniji redke v času meteorološke zime in pomladi in se pojavljajo na zelo omejenem območju (slika 4a–b). Jesenske hudourniške poplave se pojavljajo v pretežnem delu države in jih ni bilo le ob hudourniških pritokih Drave med Dravogradom in Mariborom ter na hudourniških pritokih Save in Savinje v osrednjem delu Posavskega hribovja (slika 4d). V splošnem so hudourniške poplave jeseni pogostejše v goratem in hribovitem svetu ter na zahodu države, na vzhodu pa jih je manj. Obdobje meteorološkega poletja izkazuje povsem drugačno podobo. Takrat se hudourniške poplave pojavljajo predvsem na vzhodu države, na zahodu pa se pojavljajo občutno bolj poredko (slika 4c). Slednje nakazuje na dejstvo, da poletni nalivi na zahodu države praviloma ne dosežejo take intenzivnosti in količine padavin, kot jih tam lahko dosežejo ekstremni jesenski nalivi. Po drugi strani pa so na vzhodu države jesenski nalivi občutno manj izdatni in intenzivni kot na zahodu, zaradi česar pridejo na vzhodu poletni nalivi tudi bolj do izraza in so primerjalno gledano odgovorni za večje število hudourniških poplav.



Slika 4: Razporeditev in število hudourniških poplav znotraj posameznega meteorološkega letnega časa po hidrografskih območjih 4. reda v Sloveniji za obdobje 1550–2015.

Prevlada jesenskih hudourniških poplav nad poletnimi je s približno 70 % deležem zelo izrazita na območju jadranskega povodja (slika 5). Na drugi strani je prevlada poletnih hudourniških poplav nad jesenskimi manj izrazita, a s 54 % še vedno očitno izražena v porečju Drave. Evidentirane hudourniške poplave v porečju Mure sicer izkazujejo medsebojno izenačenost meteorološkega poletja in meteorološke jeseni, a zaradi majhnega števila poplav (5 poplav) statistična analiza ni upravičena. Glede na stopnjevanje celinskih podnebnih vplivov proti vzhodu Slovenije (Ogrin 1996; 2002) sklepamo, da je na daljši rok v porečju Mure dejanski letni čas z največ hudourniški poplavami meteorološko poletje. Posavje je v podnebnem smislu prehodno. Zaradi njegove lege in obsežnosti se tam odražajo tako celinski podnebni vplivi z vzhoda kot sredozemski podnebni vplivi z zahoda. Posledično sta oba meteorološka letna časa precej izenačena, kljub še vedno rahli prevladi jesenskih hudourniških poplav (48 %) nad poletnimi (37 %).



Slika 5: Razporeditev hudourniških poplav glede na meteorološki letni čas pojavitve po hidrografskih območjih 1. reda v Sloveniji za obdobje 1550–2015.

Opisano prostorsko razporeditev hudourniških poplav med posameznimi meteorološkimi letnimi časi je moč pojasniti s prepletanjem različnih podnebnih vplivov. Območja s prevladujočimi jesenskimi hudourniški poplavami v veliki meri sovpadajo z območji, za katera so značilne orografske padavine. Slednje so običajno najmočnejše ravno ob prehodu front in ciklonov v času meteorološke jeseni. Orografske padavine pridejo najbolj do izraza ob jugozahodnih vetrovih v goratem in hribovitem delu zahodne in jugozahodne Slovenije. Proti severovzhodu njihov vpliv postopno slabi, a lahko seže vse do vzhodnih Karavank in Pohorja (Pristov 1982; Vrhovec 2002; Ogrin 2008). Do tja pa sežejo tudi območja s prevlado jesenskih hudourniških poplav. V vzhodnem delu države so zaradi celinskih podnebnih vplivov bolj izražene poletne konvektivno pogojene padavine (Petkovšek in Trontelj 1996). Posledično v tem delu države poletne hudourniške poplave marsikje prevladujejo nad jesenskimi, ali pa so vsaj enako pogoste (Trobec 2016).

5 Sklep

Hudourniške poplave so v Sloveniji stvarnost, s katero moramo živeti in se ji prilagoditi. Pojavljajo se predvsem v gorovjih, hribovjih in gričevjih. Območje Slovenije letno prizadenejo približno 1,3 hudourniške poplave. Sodeč po številu poplav v obdobju 1951–2015 je trend pogostnosti njihovega pojavljanja v rahlem porastu. Hudourniške poplave se najpogosteje pojavljajo v goratem in hribovitem severnem delu države. Glede na porečja glavnih Slovenskih vodotokov so najbolj pogoste v Posavju, in sicer predvsem na račun številnih poplav v porečju Savinje, Sore ter zgornjega dela Save do vključno s Kokro.

Hudourniške poplave se v Sloveniji pojavljajo izrazito sezonsko. Približno devet od desetih poplav se pojavi med junijem in novembrom, v času meteorološkega poletja in meteorološke jeseni, ko so izpolnjeni pogoji za nastanek obilnih in/ali intenzivnih padavin. Omenjena meteorološka letna časa sta po številu poplav med seboj precej izenačena. Se pa zaradi različnih lokalnih podnebnih dejavnikov razporeditev hudourniških poplav prek leta v posameznih območjih oziroma porečjih pomembno razlikuje. Zahodni del države je v večji meri pod vplivom jesenskih hudourniških poplav, proti vzhodu pa se zaradi stopnjevanja celinskih podnebnih vplivov postopno povečuje delež poletnih hudourniških poplav, ki je v posameznih porečjih lahko tudi dominanten.

6 Viri in literatura

- Jesenovec, S. 1995: Pogubna razigranost – 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem – 1884–1994. Ljubljana.
- Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K., Črepinšek, Z., Cegnar, T., Sušnik, A. 2004. Scenarij podnebnih sprememb v Sloveniji kot temelj za oceno ogroženosti z vremensko pogojenimi naravnimi nesrečami v prihodnosti. Zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu ciljnega raziskovalnega programa (CRP) Konkurenčnost Slovenije 2001–2006. Ljubljana.
- Kobold, M. 2006: Visoke vode in poplave med 20. in 23. avgustom 2005. Ujma 20.
- Kobold, M. 2007: Vpliv podnebnih sprememb na pretoke slovenskih rek. 18. Mišičev vodarski dan. Maribor.
- Kobold, M. 2011: Primerljivost poplave septembra 2010 z zabeleženimi zgodovinskimi poplavnimi dogodki. Ujma 25.
- Kolbezen, M. 1991: Velike poplave in povodnji na Slovenskem – I. Ujma 5.
- Kolbezen, M. 1992: Velike poplave in povodnji na Slovenskem – II. Ujma 6.
- Kolbezen, M. 1993: Velike poplave in povodnji na Slovenskem – III, Povodenj v porečju Savinje Junija 1954. Ujma 7.
- Kolbezen, M. 1994: Velike poplave in povodnji na Slovenskem – IV, Poplave leta 1964 in 1965. Ujma 8.
- Kolbezen, M. 1995: Velike poplave in povodnji na Slovenskem – V, Poplave leta 1972. Ujma 9.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Geografija Slovenije 20. Ljubljana.
- Medmrežje 1: Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:SL:PDF> (5. 5. 2016).
- Medmrežje 2: <http://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/> (15. 5. 2016).
- Medmrežje 3: Hidrografska območja; http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx (22. 5. 2016).
- Medmrežje 4: Hidrološko poročilo o poplavah v dneh med 4. in 6. novembrom 2012; <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Poplave%205.%20-%206.%20november%202012.pdf> (20. 5. 2016).
- Medmrežje 5: Hidrološko poročilo o poplavah 22. oktobra 2014; <http://www.arso.gov.si/vode/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/PorociloPoplave22okt2014.pdf> (20. 5. 2016).
- Natek, K. 2002: Ogroženost zaradi naravnih procesov kot strukturni element slovenskih pokrajin. Dela 18.
- Natek, K. 2003: Fizična geografija in preučevanje ogroženosti zaradi naravnih in drugih nesreč. Dela 20.
- Natek, K. 2005: Poplavna območja v Sloveniji. Geografski obzornik 52-1.
- Natek, K. 2007: Geografske dimenzije naravnih nesreč in varstva pred njimi. Dela 28.

- Natek, M. 1992: Nekateri geografski vidiki poplavnih območij na Slovenskem. Poplave v Sloveniji. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik 68.
- Ogrin, D. 2002: Podnebje. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana.
- Ogrin, M. 2008: Ekstremni padavinski pojavi. Gea 18-2.
- Petkovšek, Z., Trontelj, M. 1996: Pogledi na vreme. Ljubljana.
- Pristov, J. 1982: Najvišje dnevne padavine za porečje Save do Krškega. Razprave 26.
- Radinja, D. 1983: Naravne nesreče v geografski luči. Naravne nesreče v Jugoslaviji s posebnim ozirom na metodologijo geografskega preučevanja. Ljubljana.
- Rogelj, D. 1999: Ocena vpliva klimatskih sprememb na hidrološke razmere slovenskih vodotokov. Interno poročilo. Ljubljana.
- Rusjan, S., Kobold, M., Mikoš, M. 2009: Characteristics of the extreme rainfall event and consequent flash floods in W Slovenia in September 2007. Natural Hazard and Earth System Sciences 9.
- Stocker, T. F. (ur.) 2014: Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York.
- Šifrer, M. 1983: Vzroki in učinki rečnih poplav na Slovenskem. Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Ljubljana.
- Trobec, T. 2015: Hidrogeografska analiza pojavljanja hudourniških poplav v Sloveniji. Doktorsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Trobec, T. 2016: Prostorsko-časovna razporeditev hudourniških poplav v Sloveniji. Dela 46 (v tisku).
- Trontelj, M. 1997: Kronika izrednih vremenskih dogodkov XX. stoletja. Ljubljana.
- Vrhovec, T. 2002: Vreme. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2011: Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji in svetu med letoma 1995 in 2010. Acta geographica Slovenica 51-1.

POPLAVI NA ZGORNJI PIVKI V LETU 2014

dr. Gregor Kovačič

Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije, Titov trg 5, SI – 6000 Koper, Slovenija
gregor.kovac@fhs.upr.si

IZVLEČEK

Poplavi na Zgornji Pivki v letu 2014

Prispevek obravnava poplavi v povirnem delu Pivke leta 2014. Visoke vode, ki so sledile rekordnim padavinam, so območje prizadele februarja in novembra. V kraški kotanji med naselji Koritnice, Knežak in Bač se je podzemna kraška voda razlila po površju. Na več mestih so oživali kraški izviri, vode so se združile v potoke in reko, ki je najbolj ogrožala Bač. Po ocenah je največji skupni pretok površinskih voda v času poplave presegel $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Voda je iz tal vdirla v kleti in pritličja hiš v naseljih Koritnice, Knežak in Bač. Ukrepi za omilitev škode v času poplav so se osredotočili na preusmerjanje površinskih tokov za zmanjšanje poplavne ogroženosti Bača, sprotno prečrpavanje vode iz poplavljenih zgradb in povečanje odtoka vode z ojezerjenega območja dolvodno ob Pivki.

KLJUČNE BESEDE

kraške poplave, visoke vode, Zgornja Pivka, Bač, občina Ilirska Bistrica

ABSTRACT

Flooding in the Upper Pivka valley in 2014

The chapter discusses two flood events in the Upper Pivka Valley in 2014. High waters that followed the record precipitation values affected the area in February and in November. In karst depression between the settlements Koritnice, Knežak and Bač karst groundwater raised and flooded the surface. At several locations karst springs reactivated. Surface waters merged in streams afterward forming a river, which posed the most serious flood threat to Bač. An estimated maximum discharge of the entire surface waters in the period of flooding in the area exceeded $3 \text{ m}^3/\text{s}$. In Koritnice, Knežak and Bač Village seepages of water through walls and foundations of cellars and ground floors occurred. Flood damage reduction measures in the time of flooding focused on: redirection of watercourses for flood risk reduction in Bač, continuous pumping of water from flooded buildings and increasing an outflow from the flooded area in the direction of the Pivka River.

KEY WORDS

karst floods, high waters, Upper Pivka Valley, Bač, Ilirska Bistrica municipality

1 Uvod

Poplave na kraških poljih nastopijo počasi in so dolgotrajne, zanje je značilno pojavljanje do znanih višin, zato so se jim ljudje s premišljeno rabo zemljišč zlahka prilagodili (Gams 1973; Natek 2005; Komac, Natek in Zorn 2008). Nastanejo lahko zaradi dviga kraške podtalnice na površje, presežka dotekajoče vode z nekraškega obrobja ali skozi kraške izvire nad odtočno zmogljivostjo podzemnih kanalov ali hkratnega součinkovanja obeh dejavnikov. Poplave na kraških poljih so najbolj značilne za kraško porečje Ljubljane, med bolj preučevanimi njegovimi deli sta Cerkniško in Planinsko polje (Natek 2005; Kovačič in Ravbar 2010).

Med manj poznana poplavna območja na krasu, kot so Globodol, Ribniško polje, Kočevsko polje, Dobrepolje, Loško polje, Rakov Škocjan, Logaško Polje, Bloško polje, Radensko polje, Grosupeljsko polje, Zadloško polje, Hotenjsko podolje in druga (Komac, Natek in Zorn 2008; Kovačič in Ravbar 2011) sodi Zgornja Pivka, kjer poplave prizadenejo 6,6 km² veliko območje. Največji delež predstavljajo redno poplavljene površine ob regulirani Pivki, več kot 3 km² obsega poplavni svet sedemnajstih Pivških presihajočih jezer (Kranjc 1985; Kovačič in Habič 2005).

Z vidika poplav je posebej ranljiva kotanja med naselji Koritnice, Knežak in Bač v občini Ilirska Bistrica v povirju Pivke. Čeprav je od sredine 19. stoletja do danes omenjeno območje prizadelo nekaj večjih poplav, ki so bile v letih 1851, 1878, 1907, 1909, 1926, 1947, 1965, 2000 in 2014 (zima in jesen) (Tomšič 2016) – seznam ni dokončen – so bili vzroki in potek poplav prvič sistematično opisani šele ob poplavi novembra 2000 (Kovačič 2005; 2010; Kovačič in Habič 2005).

Prispevek obravnava poplavi, ki sta prizadeli to območje februarja in novembra 2014. Predstavlja obseg poplav, poplavno škodo in ustreznost obstoječih ukrepov za njeno omilitve na območjih, ki so bila v preteklosti že večkrat poplavljena. Prispevek obravnava tudi vprašanje ustreznosti izvedenih začasnih in trajnih ukrepov ob poplavih v letu 2014 za zmanjševanje poplavne ogroženosti območja.

2 Metode

Za opis padavinskih razmer v času poplav smo kot referenčno padavinsko postajo privzeli meteorološko postajo Ilirska Bistrica – Koseze, ki leži približno 8 km južneje od prizadetega območja. Za primerjavo podajamo tudi nekatere podatke o padavinah za postaje Postojna, Kal pri Pivki, Mašun, Juršče, Gure in Trnovo v Ilirski Bistrici. Vir padavinskih podatkov sta bila Agencija Republike Slovenije za okolje (Arhiv ... 2015) ter Saša Zidar, upravljavec zasebne padavinske postaje Gure v bližini Šestanovega vrha na Snežniški planoti (930 m) in meteorološke postaje Trnovo v Ilirski Bistrici (Zidar 2015).

V času poplav smo dnevno (skupaj 83 dni) opravljali meritve vodostajev poplavljenih površin na več krajih, merili pretoke površinskih vodotokov ter spremljali izvajanje protipoplavnih ukrepov.

Podatke o intervencijah gasilcev smo pridobili iz arhiva prostovoljnih gasilskih društev Knežak in Koritnice (Zapisnik ... 2015). Podatke o izvedenih dolgoročnih protipoplavnih ukrepih na prizadetem območju smo pridobili iz različnih poročil Občine Ilirska Bistrica (Špilar 2015; Zaključni ... 2015).

3 Padavinske in vodne razmere v letu 2014

Leto 2014 je bilo med najbolj namočenimi in vodnatimi leti v Sloveniji od začetka opazovanj (Rekordno ... 2015). Pretoki slovenskih rek so dosegli 1,56-kratnik dolgoletnega povprečja. Ekstremno visoki so bili tudi vodostaji ojezerjenih kraških polj Notranjske, ki so dosegli tudi 100-letne povratne dobe (Hidrološko ... 2014; Izjemna ... 2015).

Med območja, kjer so leta 2014 izmerili največ padavin, sodi tudi Zgornja Pivka. Po podatkih meteorološke postaje Ilirska Bistrica – Koseze je v tem letu na območju padlo 2281 mm padavin oziroma 172 % povprečnih letnih padavin v obdobju 1981–2010 (Arhiv ... 2015).

Podatki o skupni letni ter januarski, februarski in novembrski višini padavin kažejo, da je na Zgornji Pivki največ padavin padlo ravno v povirju Pivke. Zato poplave Pivke od njenega izvira pri Zagorju dolvodno ter vodostaji nižje ležečih presihajočih jezer niso dosegli rekordnih višin iz novembra 2000. Obenem je razsežnost poplav v povirju Pivke leta 2014 presegla novembrsko iz leta 2000.

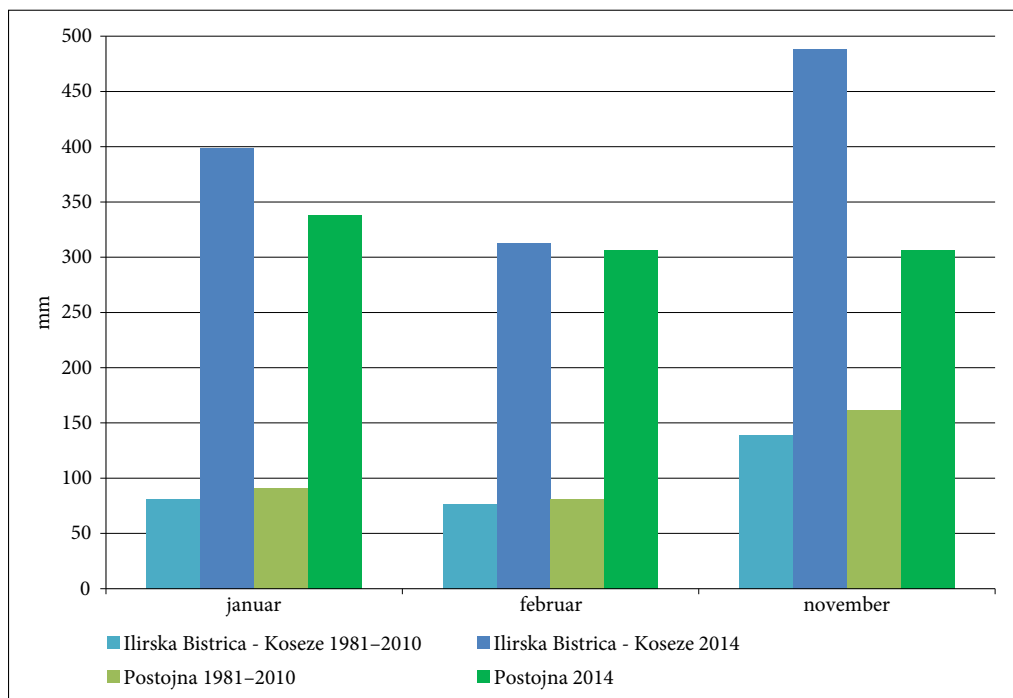
3.1 Februarske padavine

V izjemno namočenem januarju 2014 je intenzivnem deževju v drugi tretjini meseca, ko je na padavinski postaji Gure v treh dneh (17. 1.–19. 1.) padlo 387 mm, sledilo petdnevno obdobje brez padavin. 30. januarja je Slovenijo ponovno zajelo intenzivno deževje, glavčina padavin je bila tudi severozahodno od Sviščakov na Snežniški planoti, kjer je bil kraški vodonosnik že zelo zasičen z vodo (Hidrološko poročilo o visokih vodah ... 2015; Sneg ... 2014). V samo štirih dneh (30. 1.–2. 2.) je na območju meteorološke postaje Ilirska Bistrica – Koseze padlo 313 mm, na območju postaje Gure pa 351 mm padavin, kar je ekstremni padavinski dogodek s povratno dobo 50 let (sneg, žled in padavine ... 2014). Januarja 2014 je na obravnavanem območju padlo 398,2 mm padavin (podatki za postajo Ilirska Bistrica – Koseze) oziroma skoraj petkratnik januarskega povprečja 1981–2010 (81 mm), februarja pa 313 mm padavin oziroma 4-krat več od februarskega povprečja 1981–2010: 76 mm (slika 1). Skupno je v januarju in februarju (711,2 mm) padlo 54 % povprečnih letnih padavin v obdobju 1981–2010 (1306 mm) oziroma tretjina padavin v letu 2014. Dolvodno ob Pivki je padlo manj padavin, in sicer 151,7 mm na padavinski postaji Juršče, 203,1 mm na Kalu pri Pivki, v Postojni pa 160,7 mm.

3.2 Novembrske padavine

Prvi in najmočnejši novembrski padavinski dogodek je obravnavano območje zajel 5. 11. Padavinski pas se je s Snežniške planote že naslednji dan pomaknil tudi proti severu. Na postajah severno od Snežnika so bili preseženi dotedanji dnevni padavinski rekordi (Obilno ... 2014), kar je prispevalo k dolgotrajnosti ojezeritev kraških polj Notranjske. Intenzivnost padavin je bila izjemna. Na padavinski postaji Ilirska Bistrica – Koseze je v 58. urah padlo 247,3 mm, na postaji Gure 268,1 mm in na postaji Trnovo v Ilirski Bistrici 265,1 mm padavin. Razporeditev padavin v prvem novembrskem padavinskem dogodku je bila drugačna od februarske, saj je veliko dežja, razen na Snežniški planoti (Mašun – 443,1 mm), padlo tudi nekoliko severneje (Juršče – 291,2 mm), medtem ko so na meteoroloških postajah Postojna in Kal pri Pivki namerili zgolj 151,4 oziroma 142,3 mm padavin.

Drugi padavinski dogodek je bil krajši, glavčina padavin je padla 11. in 12. novembra. Na meteorološki postaji Ilirska Bistrica – Koseze je v 34 urah padlo 139 mm, na padavinski postaji Gure so namerili 117 mm in v Trnovem (Ilirska Bistrica) 143,7 mm padavin. Podatki z meteoroloških postaj v sosedstvu kažejo manjše izmerjene višine padavin (Juršče 105,1 mm, Postojna 50,8 mm, Kal pri Pivki 51,8 mm in Mašun 88,8 mm). Do konca novembra oziroma začetka decembra sta sledila še tretji in četrti padavinski dogodek, tretji v obdobju 15. 11.–18. 11. in četrti v obdobju 28. 11.–1. 12. V tretjem padavinskem dogodku so na postaji Ilirska Bistrica – Koseze izmerili 84,8 mm, na padavinski postaji Juršče 64,6 mm in v Postojni 54,5 mm padavin. Padavine ob četrtem padavinskem dogodku so imele središče zunaj obravnavanega območja, kar potrjuje primerjava med postajama Ilirska Bistrica – Koseze (90,5 mm) in Juršče (54 mm).



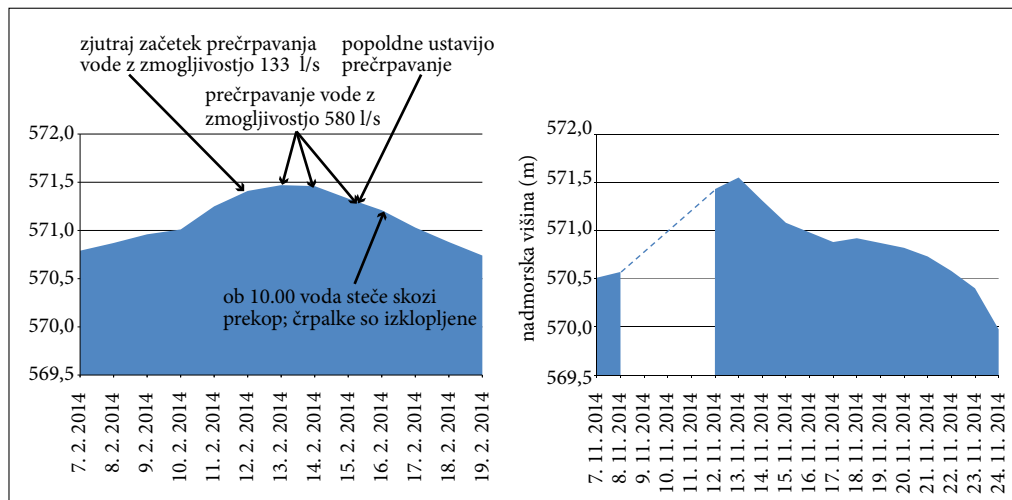
Slika 1: Višina povprečnih januarskih, februarskih in novembrskih padavin v obdobju 1981–2010 in leta 2014 na meteoroloških postajah Ilirska Bistrica – Koseze in Postojna.

Novembra 2014 je na obravnavanem območju padlo 487,7 mm padavin oziroma skoraj 3,5-krat več kot v obdobju 1981–2010 (139 mm) (slika 1). Novembra in decembra je skupaj padlo 568,2 mm, kar je 44 % povprečnih letnih padavin v obdobju 1981–2010 oziroma četrтина vseh padavin v letu 2014. Vsota padavin je primerljiva novembrskim iz leta 2000 (Juršče – 601,6 mm), ki so tudi povzročile obsežne poplave na Zgornji Pivki (Kovačič 2010).

4 Obseg in trajanje poplav

Ob februarskih in novembrskih padavinah je prišlo do poplave v okolici Koritnic, Bača in Knežaka na območjih, ki jih v večjem delu preraščajo travniki in pašniki ter posamezne njive. Poplavno območje je nagnjeno od Koritnic (630 m) proti Baču in Knežaku in doseže najnižjo točko v Pod Obrobi (568,43 m). V isto smer se znižuje tudi gladina kraške podtalnice, ki je običajno 20 do 35 m pod površjem in dosega pri Koritnicah 560 km, pri Baču pa 540 m (Krivic s sodelavci 1983). Do poplave pride zaradi omejenih podzemnih odtočnih zmogljivosti območja v smeri Pivke.

Zaradi obilnih padavin, v času februarske poplave pa tudi zaradi predhodnega zadržka vode v kraškem vodonosniku, je prišlo v kotanji med Koritnicami, Bačem in Knežakom do hitrega dviga kraške podtalnice in začelo je poplavljeni. Najprej se je razlivala voda iz izgonske struge Mrzleka, ki zbira površinske vode s fliša v tektonskem oknu, zahodno od Knežaka. Meteorna voda je ogrozila nekaj hiš na Mlaki, voda pa je zastajala v Zapotoku in Ponikvah. Z izjemo poplavljenega območja v Koriški Robidnici, kjer je zaradi preusmeritve površinskega toka prišlo do zastajanja vode na



Slika 2: Spreminjanje vodostaja poplave v Zapotoku februarja in novembra 2014. Črtkana črta označuje dneve, ko meritve niso bile opravljene.

površju, so bila ostala poplavljen območja opisana že ob poplavi novembra 2000 (Kovačič 2005; Kovačič in Habič 2005; Kovačič 2010). Poplave so bile dolgotrajnejše na območju Dolгих njiv, Kneških zelnikov, Pod Obrobo, Pod Pezalco, Kneške Robidnice, Ozkih njiv, Zapotoka in Ponikev pri Knežaku ter Kota, Podjam in Bačkih zelnikov pri Baču (slika 5). Občasno in nesklenjeno so bili pod vodo Srednji vrti, Rep in Krvice pri Baču, Jermance in Mlaka pri Knežaku ter V grabnu, Pod vasio, Bubni in Pod Korono pri Koritnicah (slika 5).

Zaradi izjemno intenzivnih padavin je bil učinek kraškega zadržka v začetku novembra (približno 24 ur) krajši kot februarja (do 48 ur), ko je na zadržek odtoka vplival tudi zled. Voda je izvirala na več mestih iz gruščnato-prodnatih sedimentov, ki prekrivajo kotanjo med Koritnicami, Bačem in Knežakom. Južno od Koritnic (Žlebovi) je oživel vodotok, ki je pred preusmeritvijo po plitvi strugi odtekal proti Baču. V Pod borštu je deloval močan izvir, v katerega je prek travnika površinsko pritekala tudi voda iz Koritnic, kjer je podtalnica vdiral v kleti hiš. Od močnih izvirov v Pod borštu je v Bač tekla prava reka. Po naših ocenah je v času najvišje poplave skupni pretok površinsko tekočih voda na območju presegel $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Površinske vode so ob višku tvorile sklenjeno poplavno površino od Ponikev, od koder voda odteka skozi ponore v smeri stalnih izvirov Pivke, do Podjam pri Baču in Pod Obrobo na jugu (slika 5). 13. februarja je poplava dosegla višino 571,44 m, 13. novembra pa je segala še 11 cm višje, do 571,55 m. Iz Kota in Bačkih zelnikov je voda v Podjame tekla čez prekopano pot pri Čistilni napravi Bač. Iz Koriške Robidnice je voda odtekala v Dolge njive, kjer je delovalo več manjših kraških izvirov. Z Dolгих njiv je voda preko Jermanc tekla v Kneške zelnike, od tu pa nekaj časa preko ceste Knežak-Koritnice, večino časa pa skozi cestni prepust v Pod Obrobo (slika 5). Največja globina sklenjene poplavne površine je v Pod Obrobi februarja dosegla 3,01 m, novembra pa 3,12 m.

Višine poplavne vode so bile na medsebojno ločenih poplavnih površinah različne, kar smo opazili tudi novembra 2000 (Kovačič 2005; Kovačič in Habič 2005; Kovačič 2010). Ob višku je poplavljen območje obsegalo $0,83 \text{ km}^2$ (Tomšič 2016). Februarska poplava je nastopila 1. februarja, voda je s travnikov v Pod Obrobi v celoti odtekla 15. marca, to je po 43 dnevih. Novembrska poplava

se je začela 6. 11., voda je odtekla po 45 dnevih, 20. 12. Poplavna nevarnost ob obeh dogodkih je prenehala po približno treh tednih.

Obseg novembrske poplave bi bil v primerjavi s februarско še neprimerno večji, če ne bi februarja v Ponikvah skopali prekopa, ki je omogočil sprotno površinsko odtekanje vode v smeri Kalskega jezera.

5 Ukrepi za omilitev škode ob poplavah

Ukrepi za omilitev škode v času poplav so bili osredotočeni na:

- sprotno prečrpavanje vode iz poplavljenih zgradb v Koritnicah, Knežaku in Baču,
- zagotavljanje prevoznosti cest na območju,
- preusmerjanje površinskih tokov za zmanjšanje poplavne ogroženosti Bača,
- povečanje odtoka vode s posameznih poplavnih površin z namenom zmanjšanja poplavne ogroženosti objektov v Knežaku in Baču in
- povečanje odtoka s sklenjenega ojezerjenega območja v okolici Knežaka in Bača v smeri Kalskega jezera in izvirov Pivke.

Prva protipoplavna ukrepa ob obeh poplavah sta bila preprečevanje zalivanja stavb z meteorno vodo s protipoplavnimi vrečami v Knežaku, Koritnicah in predvsem na Baču ter prečrpavanje vode



GREGOR KOVAČIČ

Slika 3: Vodotok je v času obeh poplav tekkel po glavni cesti skozi Bač. Ob višku je bila reka široka do 8 m in na posameznih mestih pol metra globoka (12. 11. 2014).

iz kletnih in pritličnih prostorov stavb, kamor je vdirla podtalnica. Po podatkih PGD Koritnice in Knežak je bilo času novembrske poplave v Koritnicah treba prečrpavati vodo iz 23., v Knežaku iz petih in na Baču iz 31. objektov (Zapisnik ... 2015). Novembra 2000 je bilo na Baču prizadetih približno enako število objektov (Kovačič 2005). Novembra 2014 so približno 90 objektov varovali s protipoplavnimi vrečami (Slavec 2014; 2015; Špilar 2015), ki so služile tudi za preusmerjanje površinskih tokov. Zaradi žledu in izpada elektrike je bilo črpanje vode februarja možno šele od 1. februarja zvečer, ko so vsa tri naselja ponovno dobila elektriko iz agregatov.

Poleg poljskih poti so bile različno dolgo poplavljenе povezovalne ceste med Knežakom, Bačem in Koritnicami. Na začetku obeh poplav je bila nekaj časa poplavljenа glavna cesta v Baču v dolžini 1 km (slika 3), kasneje pa v krajših odsekih, po poročanjih tudi do globine pol metra (Slavec 2015). Poplavljenā je bila tudi cesta Knežak–Bač v Pod Obrobi. Omenjeni odsek je bil zaprt od 3. februarja popoldne do 1. marca, to je 25 dni. Novembra je bila, razen od 30. 11. do 1. 12., cesta neprevozna od 9. 11. popoldne do 4. 12. (skupaj 25 dni). V času februarske poplave je bila cesta Knežak–Koritnice prevozna ves čas, uradno je bila zaprta približno 24 ur, saj jo je med 11. in 12. 2. v nekaj desetmetrskem pasu preplavila voda. Drugače je bilo novembra, ko so bile Koritnice nekaj časa dostopne zgolj po 23 km oddaljeni gozdni cesti. 10. novembra popoldne so poplavljenō cesto zaprli za promet. Da bi povečali odtok vode iz Kneških zelnikov v Pod Obrobo so jo 12. 11. ob 13.00 prekopali. Promet po zasilmem mostu, zgrajenem na železniških tirnicah in železnih ploščah, je stekel 16. 11. Skoraj istočasno je stekel tudi promet prek montažnega mostu na betonskih podstavkih in nosilcih na cesti Bač–Koritnice, ki je bila zaradi preusmeritve površinskega toka stran od Bača nekaj dni neprevozna. Poplavljenost cest ni bistveno vplivala na izvajanje intervencij, saj so bile te s terenskimi vozili (tudi traktorji) prevozne, dostop z osebnimi avtomobili pa je bil nekaj časa možen zgolj po daljših obvozi.

Bač je na obravnavanem območju najbolj poplavno ogroženo naselje. Leži v strugi nekdanje Pivke (Kovačič 2005), ob poplavi se vanj stekajo površinske vode z območja Koritnic in številnih izvirov v kotanji med Koritnicami in Bačem. Zato je bil eden od ključnih protipoplavnih ukrepov v



GREGOR KOVAČIČ

Slika 4: Izkop prekopa severno od Ponikev proti Zagorju 14. 2. 2014. V ozadju ena od muljnih črpalk za prečrpavanje vode iz Ponikev v smeri Zagorja.

času poplav preusmerjanje površinskih tokov ob Bača. Od 4. do 6. februarja so zahodno od Koritnic uredili nasipe iz prsti in protipoplavnih vreč ter vode usmerili v Koriško Robidnico. Ukrepi pa niso zajeli voda, ki ob visokih vodah izvirajo severozahodno od Koritnic, in se V grabnu, Pod vasjo in Pod borštom združujejo v izdaten vodotok. Zato so 5. februarja vzhodno od Bača izkopali plitev kanal, uredili nasipe ter vodo usmerili v obcestni jašek. Oba ukrepa sta prispevala k zmanjšanju poplavne ogroženosti Bača. Kasneje oziroma čez poletje so nasipe in odvodne kanale na območju Koritnic uredili v trajne protipoplavne ukrepe. Pivka je novembra, ko je poplavljal siloviteje, nekaj dni tekla v Bač mimo pregrade in že omenjenega jaška. Zato so 12. novembra izkopali prekop ob Čički poti (slika 5), ki so ga utrdili z nasipi iz prsti, gruščnato-prodnatega gradiva ter protipoplavnih vreč. Pivka je po prekopu stekla še isti dan ob 22.00 in površinsko poplavljanje Bača iz smeri Koritnic je bilo s tem prekinjeno. Prek ceste Bač–Koritnice so 16. 11. postavili že omenjeni montažni most. Voda iz prekopa je odtekala v Dolge njive, deloma pa tudi po in ob cesti Knežak–Koritnice in se razlivala na območju Jermanc.

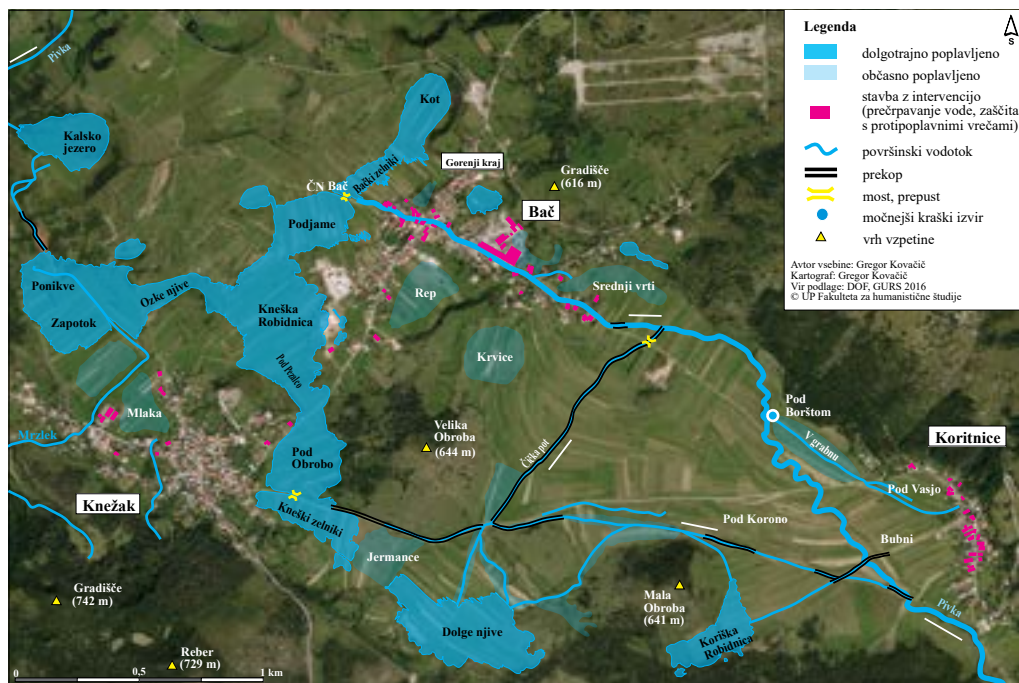
Za spremljanje vodnih razmer je Vodnogospodarsko podjetje Drava d. d. 7. februarja v Zapotoku namestito merilni letvi. Zaradi naraščanja vodostaja so začeli z izvajanjem ukrepov za povečanje odtoka vode v smeri Kalskega jezera. 12. 2. zjutraj so zagnali prvo, 13. 2. okrog poldne pa še dve muljni črpalki (slika 4), ki so vodo iz Ponikev prečrpavale v smeri Kalskega jezera. Podatki o skupni zmogljivosti črpalk so različni (580–750 l/s; Slavec 2015; Špilar 2015; Tomšič 2016). Prečrpavanje je umirilo naraščanje vodostaja (slika 2). Da bi povečali odtok, so 14. februarja izkopali približno 7 m globok in 150 m dolg prekop v smeri Kalskega jezera (slika 4). Voda je v prekop stekla 16. februarja ob 2. zjutraj in je odtekala do 21. februarja. Ob novembrski poplavi je voda skozenj odtekala do 22. novembra.

5.1 Trajni protipoplavni ukrepi

Prvi trajni protipoplavni ukrepi so se začeli izvajati v času poplav (izkop prekopov, izdelava nasipov), dokončno pa so bili urejeni v obdobju po poplavih. Najpomembnejši med njimi je prekop od Ponikev proti Kalskemu jezeru (slika 4). V Zapotoku sta ostali nameščeni merilni letvi. Za hitrejši odtok vode iz Kneških zelnikov v Pod obrobo je bil na cesti Knežak–Koritnice zgrajen zmogljivejši prepust, za hitrejši odtok vode iz Bačkih zelnikov v Podjame pa povsem nov prepust. Že novembra se je začelo z izkopom kanala ob cesti Knežak–Koritnice za odvod vode, pritekajoče s Čičke poti, neposredno v Pod Obrobo. Čička pot je danes v nesprjeti drobir poglobljena in utrjena makadamska pot, ki bo ob naslednjih poplavih služila kot kanal za odvajanje površinske vode stran od Bača. Skladno s tem ukrepom je v letu 2017 planirana izgradnja mostu na cesti Koritnice–Bač, z urejenim prepustom proti Čički poti. Zmogljivost izgrajenih prepustov je ustrezna za zagotavljanje hitrejšega odtekanja poplavne vode na območju. Zahodno od Koritnic se je nekatere poti zvišalo in pripravilo na način, da se lahko s preprostim gradbenim posegom površinske vode preusmeri stran od Bača. Protipoplavni ukrepi (prekopi in prepusti) bodo ob rednem vzdrževanju lahko trajno prispevali k večji poplavni varnosti območja, za kar bo treba predvideti občinska proračunska sredstva. Izkop prekopov ni pomenil večje spremembe rabe tal na območju, saj gre večinoma za kanale ob cestah in poteh oziroma poljske poti preurejene v prekope.

6 Sklep

Na območju Koritnic, Bača in Knežaka je v zadnjih petnajstih letih v večjem obsegu poplavljal trikrat, zato je treba omenjeno pokrajino obravnavati kot poplavno ogroženo območje. Prebivalci so poplav navajeni, na prizadetem območju je že pred zadnjima poplavama v letu 2014 obstajala posamezna infrastruktura za preprečevanje in omilitev poplavne škode (npr. prepusti na cestah,



Slika 5: Prikaz poplavljenih območij, površinskih tokov, poplavljenih objektov in izvedenih protipoplavnih ukrepov v povirju Pivke ob februarški in novembrski poplavi leta 2014.

izgonska struga v Zapotoku), ki pa ni bila zadovoljiva in poplava je znova prizadela enaka območja kot že prej. Ob zadnjih poplavah so bili prvič izvedeni nekateri večji trajni protipoplavni ukrepi, ki bodo zmanjšali poplavno ogroženost območja. Posledice novembrske poplave bi bile predvsem na Baču veliko hujše, če v času februarških poplav ne bi prišlo do izvedbe nekaterih zelo uspešnih protipoplavnih ukrepov, kot sta izkop prekopa v Ponikvah v smeri Kalskega jezera za sprotno odvajanje vode s celotnega poplavnega območja ter preusmerjanje vode z območja Koritnic stran od Bača.

Območje Koritnic, Bača in Knežaka je v občinskem prostorskem načrtu opredeljeno kot zazidljivo, saj gre za stara podeželska naselja. Izkušnje iz zadnjih poplav bi bilo smotrno izkoristiti za načrtovanje ukrepov ob naslednjih poplavah, predvsem pa za ozaveščanje o nesmiselnosti poseganja v poplavno območje z novogradnjami. Pozornost bo treba nameniti tudi rednemu vzdrževanju protipoplavne infrastrukture.

Menimo, da so izvedeni in še načrtovani ukrepi ustrezni za zagotavljanje poplavne varnosti na območju v prihodnje, čeprav škode na objektih, infrastrukturi in kmetijskih zemljiščih nikoli ne bo možno v celoti preprečiti. Nemogoče je namreč v celoti nadzorovati območja ter intenzivnost izviranja kraške podtalnice in potek površinskih vodnih tokov ob ujmah.

7 Viri in literatura

Arhiv meteoroloških podatkov, 2015. Podatki o polurnih količinah padavin na avtomatski meteorološki postaji Ilirska Bistrica – Koseze v letu 2014, dnevni padavinah na padavinskih postajah

- Postojna, Kal pri Pivki, Mašun in Juršče ter povprečnih letnih padavinah na postajah Ilirska Bistrica, Postojna in Juršče v obdobju 1981–2010. Medmrežje: <http://www.meteo.si/met/sl/> (1. 10. 2015).
- Gams, I. 1973: Prispevek h klasifikaciji poplav v Sloveniji. *Geografski obzornik* 20, 1-2.
- Hidrološko poročilo o poplavah v dneh od 8. do 27. februarja 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2014. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Porocilo%20poplave%208-27%20feb%202014%20splet.pdf> (22. 9. 2016).
- Hidrološko poročilo o visokih vodah v dneh med 30. januarjem in 3. februarjem 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Hidrolo%C5%A1ko%20poro%C4%8Dilo_visoke%20vode%2030.1.-3.2.2014.pdf (20. 9. 2016).
- Izjemna vodnatost rek v letu 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Izjemna%20vodnatost%20rek%20v%20letu%202014_splet.pdf (21. 9. 2016).
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
- Kovačič, G. 2005: Poplava na območju Bača, Knežaka in Koritnic novembra 2000. *Acta geographica Slovenica* 45-1.
- Kovačič, G. 2010: Vzroki in posledice poplav v povirju reke Pivke. Od razumevanja do upravljanja, Naravne nesreče 1. Ljubljana.
- Kovačič, G., Habič, Š. 2005: Kraška presihajoča jezera Pivke (JZ Slovenija) ob visokih vodah novembra 2000. *Acta carsologica* 34-3.
- Kovačič, G., Ravbar, N. 2010: Extreme hydrological events in karst areas of Slovenia, the case of the Unica River basin. *Geodinamica Acta* 23-1.
- Kovačič, G., Ravbar, N. 2011: Prilagoditve poplavam na krasu. *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu 1*, Voda. Postojna.
- Kranjc, A. 1985: Poplavni svet na Pivki. Ljudje in kraji ob Pivki. Postojna.
- Krivic, P., Juren, A., Bizjak, M., Ravnikar, B. 1983: Hidrogeološke raziskave zaledja Zgornje Pivke, I. faza. Geološki zavod Ljubljana. Ljubljana.
- Natek, K. 2005: Poplavna območja v Sloveniji. *Geografski obzornik* 52-1.
- Obilno deževje od 4. do 8. novembra 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2014. Medmrežje: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/dezevje-4-8nov14.pdf (20. 9. 2016).
- Rekordno toplo in izjemno namočeno leto 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015. Medmrežje: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/leto-2014.pdf (23. 9. 2016).
- Slavec, D. 2014: Žled in poplave v Občini Ilirska Bistrica. *Gasilec* 68-3.
- Slavec, T. 2015: Intervencijski ukrepi ob poplavah na področju Knežak-Bač-Koritnice. *Gasilec* 69-2.
- Sneg, žled in padavine od 30. januarja do 7. februarja 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2014. Medmrežje: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/sneg-zled-padavine_30jan-7feb2014.pdf (20. 9. 2016).
- Špilar, L. 2015: Poročilo o izvedenih protipoplavnih ukrepih. Občina Ilirska Bistrica. Ilirska Bistrica.
- Tomšič, R. 2016: Poplavna ogroženost Zgornje Pivke. Zaključna seminarska naloga, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- Zaključni račun proračuna Občine Ilirska Bistrica za leto 2014. Ilirska Bistrica, 2015. Medmrežje: <http://www.ilirska-bistrica.si/mma/ZAKLJU%C4%8CNI-RA%C4%8CUN-2014-4m-sprejeto-na-OS.pdf/20150825134039/> (22. 9. 2016).

- Zapisnik o intervencijah PGD Knežak in Koritnice ob poplavih v letu 2014. Arhiv PGD Knežak in PGD Koritnice. Knežak, Koritnice, 2015.
- Zidar, S. 2015: Podatki o desetminutnih količinah padavinah na padavinski postaji Gure (Goljak) v obdobju 1. 1. 2014–28. 2. 2014 ter dnevni podatki o padavinah na zasebni meteorološki postaji Trnovo v Ilirski Bistrici v novembru in decembru 2014.

POPLAVNO TVEGANJE V SLOVENIJI IN PODNEBNA SPREMENLJIVOST

dr. Mojca Šraj, Matevž Menih, dr. Nejc Bezak, dr. Matjaž Mikoš

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

mojca.sraj@fgg.uni-lj.si, matevz.menih@gmail.com, nejc.bezak@fgg.uni-lj.si, matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

IZVLEČEK

Poplavno tveganje v Sloveniji in podnebna spremenljivost

Podnebne spremembe oziroma podnebna spremenljivost ima lahko ali pozitiven ali negativen vpliv na različne naravne procese, kot so izredne padavine ali poplavni dogodki. V svetovnem merilu ni mogoče določiti enoznačnega trenda visokih voda, ki povzročajo poplave. Prispevek prikazuje rezultate analiz prisotnosti trenda v največjih letnih pretokih v slovenskih vodotokih do leta 2010. Analize so bile izvedene z uporabo dveh metod: Mann-Kendallovega statističnega testa in verjetnostnih analiz. Za izbrano obdobje meritev (1961–2010) za 55 vodomernih postaj v Sloveniji nismo zaznali ali izrazito pozitivnega ali negativnega trenda visokih vod, vendar ne gre zanemariti dejstva da so bile zaznane spremembe pri določenih postajah relativno izrazite, kar ima lahko vpliv na obstoječo poplavno varnost.

KLJUČNE BESEDE

poplavno tveganje, projektni pretoki, podnebna spremenljivost, verjetnostne analize, trendi, Slovenija

ABSTRACT

Flood risk in Slovenia and climate variability

Climate change or climate variability can have either positive or negative impact on different environmental processes such as extreme rainfall events or floods. At global scale we cannot determine uniform trend in high flows causing floods. This paper presents trend analyses of Slovenian maximum annual flood series in watercourses using the data until year 2010. Analyses were carried out using two methods: Mann-Kendall test and the flood frequency approach. For the selected period (1961–2010) for 55 Slovenian river gauging stations we were not able to detect either positive or negative trend for a large number of analysed stations. However, some detected changes were relatively significant, which could have influence on existing flood safety.

KEY WORDS

flood risk, design discharge, climate variability, flood frequency analysis, trends, Slovenia

1 Uvod

Pojem poplavno tveganje (angleško *flood risk*) lahko uporabimo tudi za označevanje verjetnosti pojava določenega visokovodnega dogodka v izbranem obdobju (Mikoš s sodelavci 2002), ob predpostavki, da se visoke vode razlivajo zunaj strug in povzročajo poplave. Za določitev povezave med verjetnostjo oziroma povratno dobo posameznega visokovodnega (poplavnega) dogodka ter ocenjeno vrednostjo rečnega (hudourniškega) pretoka najpogosteje uporabljamo verjetnostne analize (angleško *flood frequency analysis*). Pri tem postopku z uporabo različnih porazdelitvenih funkcij ter upoštevanjem zgodovinskih izmerjenih podatkov o pretokih določimo projektne pretoke izbranih povratnih dob, ki so osnova pri inženirskem določanju poplavnih območij, pri celostnem upravljanju z vodami, modernem obvladovanju tveganja zaradi poplav, dimenzioniranju hidrotehničnih objektov.

Ker se intenzivne (prostorsko zgoščene in časovno pogoste) hidrološke in meteorološke meritve v večjem delu sveta večinoma izvajajo zgolj zadnjih nekaj desetletij (obstajajo zgodovinske izjeme, kot je reka Nil v Egiptu; Di Baldassarre s sodelavci 2011), so rezultati verjetnostnih analiz pogosto odvisni od izbranega obdobja hidroloških meritev. Poleg tega pa ima na rezultate verjetnostnih analiz visokih voda vpliv tudi podnebna spremenljivost, ki jo opažamo v svetovnem merilu v zadnjih desetletjih (Watts s sodelavci 2015). Iz tega razloga je verjetno predpostavka o stacionarnosti ekstremnih dogodkov v določenih primerih vprašljiva (Blöschl s sodelavci 2015; Šraj s sodelavci 2016).

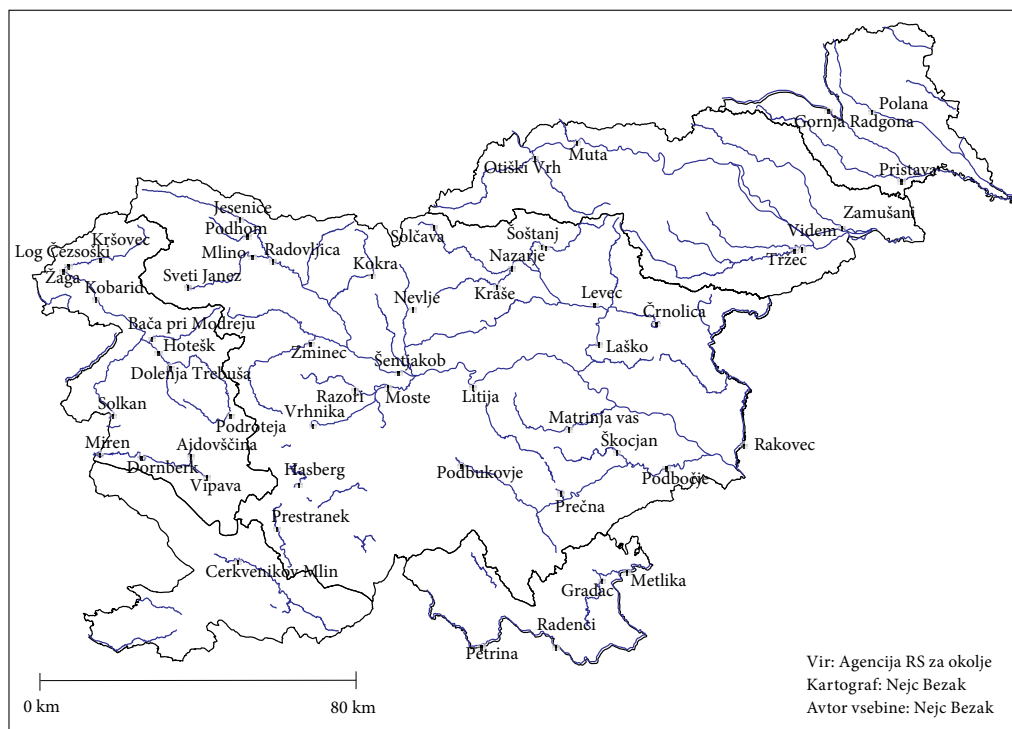
Številne raziskave kažejo, da se pogostost in jakost pojava hidroloških in meteoroloških ekstremov po celem svetu spreminja in se bo najverjetneje spreminjala tudi v prihodnosti (Groisman s sodelavci 2005; Blöschl in Montanari 2010; Bezak, Horvat in Šraj 2015; Šraj s sodelavci 2016), kar je najverjetneje posledica globalnega naraščanja temperature zraka v zadnjih desetletjih (Easterling s sodelavci 1997; Jones s sodelavci 1999; Pachauri s sodelavci 2014). Se pa te spremembe kažejo zelo različno od regije do regije. Blöschl in Montanari (2010) sta pokazala, da so zadnje spremembe temperature v evropskih Alpah dvakrat večje od povprečnih globalnih sprememb. Pachauri s sodelavci (2014) so v svoji raziskavi ugotovili, da povprečna letna količina padavin v severni Evropi narašča, medtem ko v južni Evropi pada. Pozitivnega oziroma negativnega trenda padavin seveda ne moremo neposredno povezati z naraščajočim oziroma padajočim trendom visokih vod, saj so pretoki odvisni tudi od drugih spremenljivk, kot je predhodna namočenost zemljine, razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka (Šraj s sodelavci 2016) ali urbanizacija (Prosdocimi s sodelavci 2015).

Raziskave so pokazale, da ni mogoče najti enotnega globalnega vzorca sprememb v pretokih. Za nekatere celine (Azija in obe Ameriki) so bili zaznani statistično značilno pozitivni trendi visokih voda, za nekatere druge (Afrika, posamezni deli Evrope) pa so bili ti trendi negativni (Hall s sodelavci 2014; Hannaford 2015). Za območje Evrope ni bilo mogoče določiti enoznačnega trenda. Hall in sodelavci (2014) so na podlagi pregleda obstoječih raziskav ugotovili, da je v zadnjih desetletjih v splošnem mogoče opaziti padajoči trend visokih voda v zahodnem delu Sredozemlja ter v Severni in Vzhodni Evropi, v preostalih delih pa naraščajočega. Stahl in sodelavci (2010) so podobno ugotovili padajoči trend rečnih pretokov (standardizirani letni ter mesečni pretoki) v južnem in vzhodnem delu Evrope in v splošnem naraščajočega v preostalih delih Evrope.

Ker število ekstremnih poplavnih dogodkov v zadnjih dveh desetletjih v Sloveniji narašča (Kobold s sodelavci 2012), se poraja zanimivo vprašanje, kako podnebne spremembe oziroma podnebna spremenljivost vplivajo na poplavno tveganje v Sloveniji oziroma kako se je poplavno tveganje v Sloveniji spreminjalo v obdobju od leta 1961 do 2010, kar je tudi glavna tema prispevka.

2 Metode

Za analizo vpliva podnebne spremenljivosti oziroma podnebnih sprememb na poplavno tveganje v Sloveniji so bili uporabljeni največji letni pretoki s 55 vodomernih postaj v Sloveniji



Slika 1: Lega izbranih vodomernih postaj.

(ARSO 2014). Pri tem je treba poudariti, da večja porečja združujejo veliko manjših porečij, kjer bi se lahko trendi tudi razlikovali od izračunanih na vodomernih postajah (večja porečja), vendar brez merjenih podatkov o tem ne moremo narediti zanesljivih zaključkov. Slika 1 prikazuje lokacijo izbranih vodomernih postaj. Za vse izbrane postaje so bili na voljo podatki o največjih letnih pretokih za obdobje od 1961 do 2010. Vzorec za nadaljnje analize je bil določen tako, da je bila v vsakem letu izbrana največja izmerjena vrednost pretoka. Največ (33) postaj je del Posavja, 13 postaj je del Posočja, 5 postaj leži v Podravju, 3 postaje ležijo v Pomurju, ena postaja pa je del povodja Jadranskega morja.

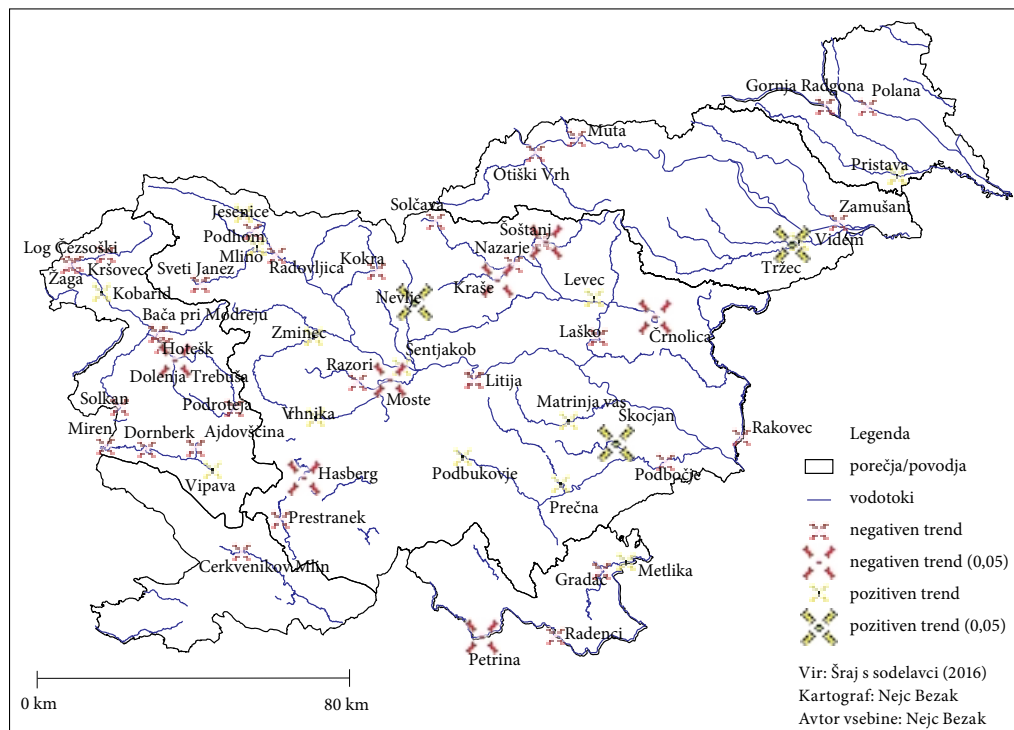
Analizo trendov največjih letnih pretokov smo naredili s pomočjo statističnega testa Mann-Kendall (MK), s katerim smo ugotavljali statistično značilno prisotnost naraščajočega ali padajočega trenda pretokov. Test MK je eden od najpogostejše uporabljenih ne-parametričnih testov v hidroloških študijah in temelji na Kendalovi statistiki (Kendall 1975). Je enostaven za uporabo in še posebej uporaben za zaznavanje postopnih sprememb v časovnih nizih. Osnova MK testa je razvrščanje podatkovnih nizov oziroma podatkov, pri čemer se predpostavlja, da so podatki neodvisni in identično porazdeljeni. Za izvedbo statistične analize smo postavili ničelno hipotezo, ki predpostavlja, da ni sprememb v nizu podatkov in alternativno hipotezo, ki pravi, da sprememba je oziroma v nizu podatkov obstaja pozitiven ali negativen trend.

Na podlagi vzorca največjih letnih pretokov je bila z uporabo verjetnostnih analiz določena povezava med ocenjenimi vrednostmi pretokov ter povratnimi dobami. Verjetnostne analize so bile za vsako postajo izvedene za dve obdobji: 1961–1990 ter 1981–2010. Nato je bila narejena

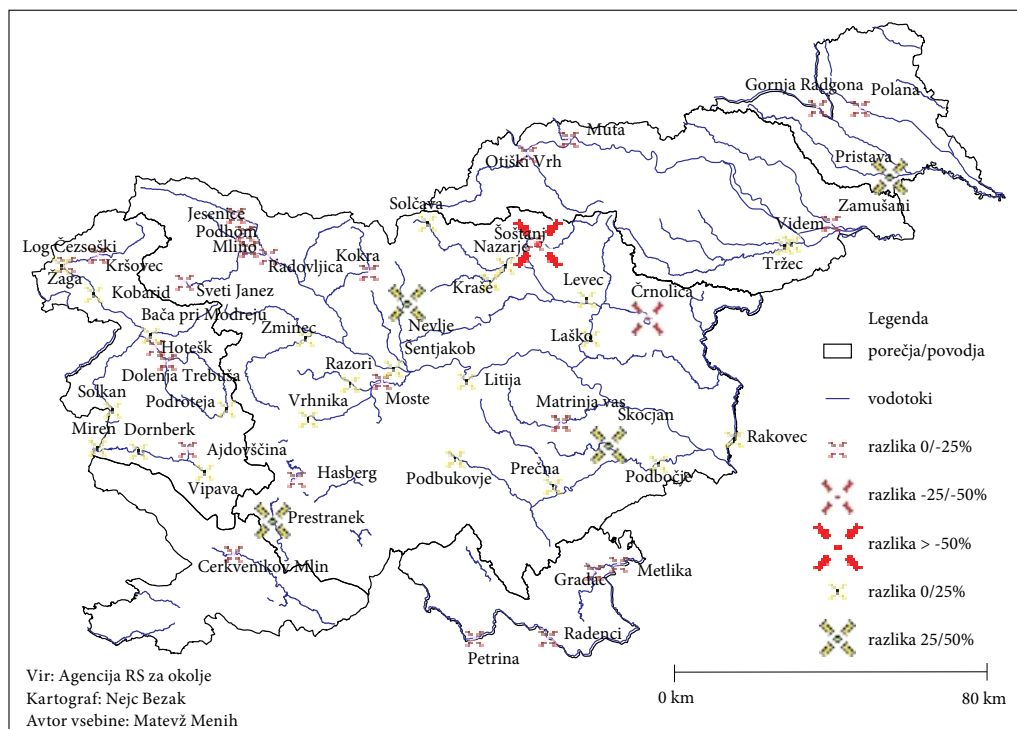
primerjava ocenjenih vrednosti pretokov z različnimi povratnimi dobami (na primer 10 let). Za vsako postajo je bila z uporabo različnih testov ujemanja izbrana najustreznejša porazdelitvena funkcija. Uporabljene so bile naslednje porazdelitvene funkcije: Gumbelova, generalizirana porazdelitev ekstremnih vrednosti (GEV), generalizirana logistična porazdelitev (GL), logaritemsko normalna porazdelitev, logaritemsko Pearsonova porazdelitev tipa 3 ter Pearsonova porazdelitev tipa 3. Parametri porazdelitvenih funkcij so bili ocenjeni z uporabo metode momentov L (Hosking in Wallis 2005). Šraj, Menih in Bezak (2016) podajajo več informacij o metodologiji določanja najustreznejše porazdelitvene funkcije za posamezno vodomerno postajo. Dodatne informacije o postopku izvedbe verjetnostnih analiz so na voljo v številnih drugih delih, kot so na primer: Maidment (1993), Meylan, Favre in Musy (2012) ter Bezak, Brilly in Šraj (2014).

3 Rezultati

Za vzorec največjih letnih pretokov za obdobje 1961–2010 smo s pomočjo statističnega testa MK ugotavljali prisotnost trenda v analiziranih podatkih (Šraj, Menih in Bezak 2016). Testna statistika testa MK je pokazala statistično značilen negativen trend za sedem obravnavanih postaj in negativnega, statistično neznačilnega pa za 31 vodomernih postaj (slika 2). Statistično značilen pozitiven trend pa je bil ugotovljen za tri obravnavane postaje od 14-ih, ki so izkazovale naraščajoč trend (slika 2). Za 38 postaj smo tako zaznali zmanjševanje največjih letnih pretokov, za ostale postaje (17) pa naraščanje največjih letnih pretokov. Rezultati kažejo, da podobno kot v evropskem



Slika 2: Rezultati Mann-Kendall statističnega testa.



Slika 3: Razlike v ocenjenih vrednostih pretokov z desetletno povratno dobo za obdobji 1961–1990 ter 1981–2010.

in svetovnem merilu, da tudi za Slovenijo ne moremo govoriti o enotnem trendu spreminjanja pojava visokih vod, niti ga ne moremo geografsko opredeliti.

Z uporabo izbranih najustreznejših porazdelitvenih funkcij (Šraj, Menih in Bezak 2016) smo izvedli verjetnostne analize na podlagi največjih letnih pretokov za dve obdobji 1961–1990 ter 1981–2010. V naslednjem koraku smo izračunali razlike med ocenjenimi vrednostmi pretokov z desetletno povratno dobo za obe omenjeni obdobji. Slika 3 prikazuje rezultate razlik med ocenjenimi vrednostmi pretokov z desetletno povratno dobo za obe obdobji. Osredotočili smo se na ocenjene vrednosti pretokov z desetletno povratno dobo, saj jih lahko razmeroma zanesljivo ocenimo na podlagi 30-letnega niza podatkov (obdobji 1961–1990 ter 1981–2010). Šraj, Menih in Bezak (2016) podajajo tudi rezultate verjetnostnih analiz z intervali zaupanja, ki jih lahko uporabimo pri načrtovanju različnih inženirskih objektov (tudi za ostale vrednosti povratnih dob). Izračunane razlike v ocenjenih pretokih smo razvrstili v šest razredov (slika 3; Šraj, Menih in Bezak 2016). Rezultati, prikazani na sliki 3 kažejo, da smo za 27 postaj zaznali znižanje ocenjenih vrednosti pretokov (pretoki z 10-letno povratno dobo so sedaj manjši) z desetletno povratno dobo v obdobju 1981–2010 glede na obdobje 1961–1990, za 28 postaj pa smo izračunali povečanje ocenjenih vrednosti pretokov (pretoki z 10-letno povratno dobo so sedaj večji) z desetletno povratno dobo. Več kot 50 % (negativno) razliko smo zaznali zgolj pri eni vodomerni postaji. Nadalje so bile razlike v velikostnem razredu med 25 % ter 50 % pri 5 vodomernih postajah (enkrat negativne ter štirikrat pozitivne). Za ostale analizirane vodomerne postaje so bile razlike med 0 in 25 % (slika 3). Podobno obnašanje smo opazili tudi pri ocenjenih vrednostih pretokov z večjimi povratnimi dobami (npr. 50-letna

povratna doba). Preglednica 2 prikazuje povzetek rezultatov glede na porečja za ocenjene vrednosti pretokov z desetletno povratno dobo. Na podlagi rezultatov verjetnostnih analiz ne moremo trditi, da se največji letni pretoki v slovenskih vodotokih ali izrazito povečujejo ali izrazito zmanjšujejo. Ti rezultati so nekako skladni z ugotovitvami podobnih analiz, ki so je za celotno Evropo naredili Hall in sodelavci (2016). Poleg tega iz prikazanih rezultatov ni jasno razviden geografski vzorec, torej da bi lahko npr. trdili da je za vodotoke v alpskem podnebju značilen ali negativen ali pozitiven vzorec v rezultatih verjetnostnih analiz. Ne gre pa spregledati, da smo za posamezne postaje (postaje z več kot 25% razlike, ki so prikazane na sliki 3) ugotovili znatno povečanje oziroma zmanjšanje projektnih pretokov, kar ima lahko negativne posledice pri načrtovanju hidrotehničnih objektov.

Preglednica 1: Povzetek primerjave rezultatov verjetnostnih analiz za dve izbrani obdobji (1961–1990 ter 1981–2010).

vrednost/porečje	Drava	Mura	Sava	Soča	Jadransko morje
povprečna razlika v ocenjeni vrednosti pretoka [%]	–4,3	7,5	–0,3	1,2	–2,8
največja razlika v ocenjeni vrednosti pretoka [%]	8,8	35,9	37,4	14,2	/
najmanjša razlika v ocenjeni vrednosti pretoka [%]	–15,0	–8,9	–62,4	–17,8	/

4 Sklep

Izvedli smo analize razlik v rezultatih verjetnostnih analiz med obdobjema 1961–1990 ter 1981–2010 z upoštevanjem največjih letnih pretokov, izmerjenih na izbranih 55 vodomernih postajah na slovenskih vodotokih. Uporabljeni so bili podatki pridobljeni v okviru uradnega državnega hidrološkega opazovanja v Sloveniji (ARSO 2014). Rezultati analiz so pokazali, da podobno kot to velja za Evropo, tudi za Slovenijo ne moremo govoriti o enotnem izrazito pozitivnem ali izrazito negativnem trendu visokih vod (Šraj, Menih in Bezak 2016) v izbranih dveh obdobjih 30 let. Za približno polovico vodomernih postaj so bile razlike v ocenjenih pretokih med dvema izbranim obdobjema pozitivne (največji letni pretoki so sedaj večji), za ostale postaje pa negativne (največji pretoki so sedaj manjši); vpliv podnebne spremenljivosti ni tako enoznačen, kot bi morda pričakovali. Večinoma razlike v pretokih z desetletno povratno dobo med obdobjema 1961–1990 ter 1981–2010 niso presegale 25 %, kar pa kljub vsemu ni zanemarljivo kadar načrtujemo protipoplavne ukrepe na slovenskih vodotokih. Rezultati opravljenih hidroloških analiz torej kažejo, da podnebne spremembe oziroma podnebna spremenljivost v Sloveniji do leta 2010 nima izrazitega ali pozitivnega ali negativnega vpliva na največje izmerjene letne pretoke v slovenskih vodotokih z upoštevanjem podatkov z vodomernih postajah, kjer se vsaj 50 let izvajajo meritve pretokov.

Če preslikamo verjetnostno analizo preteklih petih desetletij v prihodnost, so posledično verjetno lokalni dejavniki tisti, ki vplivajo na to ali se na določenem območju v Sloveniji poplavno tveganje zmanjšuje ali povečuje. Zaradi tega so hidrološke meritve na čim večjem številu vodotokov izrednega pomena, saj lahko le z upoštevanjem zgodovinskih podatkov z zadovoljivo kakovostjo ustrezno ovrednotimo poplavno tveganje danes in v bližnji prihodnosti.

Hidrološka analiza je pokazala, da ima obravnavano obdobje izvajanja hidroloških meritev lahko na posameznih vodomernih postajah precejšen vpliv na rezultate verjetnostnih analiz (oceno visokih voda z izbrano povratno dobo). Poleg tega je za izvedbo različnih hidroloških analiz, kot so verjetnostne analize, treba izbrati ustrezno porazdelitveno funkcijo ter metodo ocenjevanja parametrov te porazdelitve, saj lahko tudi njihova neustrezna izbira pripelje do relativno velikih

razlik v rezultatih verjetnostnih analiz visokih voda (Bezak in Mikoš 2014). Vse to pa ima lahko negativne vplive pri načrtovanju različnih hidrotehničnih objektov ter pri izvajanju ukrepov za varstvo pred poplavami.

Sprotno spremljanje sprememb v naravnem okolju, kamor lahko uvrstimo tudi podnebne spremembe in njihov vpliv na varnost ljudi in premoženja, je pomemben element varstva pred naravnimi nevarnostmi tako v naravnem kot tudi v grajenem (urbanem) okolju. Posodabljanje poplavnih scenarijev in prilagajanje rabe prostora spremenjenim naravnim razmeram je nujen sestavni del modernega pristopa k zmanjšanju tveganja (naravnih) nesreč v svetu (Mikoš 2016).

5 Viri in literatura

- ARSO 2014: Hidrološki arhiv. Medmrežje: http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (15. 9. 2016).
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M. 2014: Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal* 59-6.
- Bezak, N., Mikoš, M. 2014: Estimation of design floods using univariate and multivariate flood frequency approach with regard to one wet year. *Acta hydrotechnica* 27-47.
- Bezak, N., Horvat, A., Šraj, M. 2015: Analysis of flood events in Slovenian streams. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 63-2.
- Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J., Kiss, A., Komma, J., Nester, T., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Viglione, A. 2015: Increasing river floods: fiction or reality? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 2-4.
- Blöschl, G., Montanari, A. 2010: Climate change impacts-throwing the dice? *Hydrological Processes* 24.
- Di Baldassarre, G., Elshamy, M., van Griensven, A., Soliman, E., Kigobe, M., Ndomba, P., Mutemi, J., Mutua, F., Moges, F., Moges, S., Xuan, Y., Solomatine, D., Uhlenbrook, S. 2011: Future hydrology and climate in the River Nile basin: a review. *Hydrological Sciences Journal* 56-2.
- Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., Folland, C. K. 1997: Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., Razuvaev, V. N. 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climatology* 18.
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriaučiūnienė, J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A., Blöschl, G. 2014. Understanding flood regime changes in Europe: A state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences* 18-7.
- Hannaford, J. 2015: Climate-driven changes in UK river flows: A review of the evidence. *Progress in Physical Geography* 39-2.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 2005: *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge.
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S., Rigor, I. G. 1999: Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics* 37-2.
- Kendall, M. G. 1975: *Multivariate Analysis*. London.
- Kobold, M., Dolinar, M., Frantar, P. 2012: Changes of water regime due to the climate change and anthropogenic influences. *Proceedings of The First Conference on Waters in Slovenia*. Ljubljana.
- Maidment, D. R. 1993: *Handbook of Hydrology*. New York.
- Meylan, P., Favre, A. C., Musy, A. 2012: *Predictive Hydrology: A Frequency Analysis Approach*. New York.

- Mikoš, M. 2016: Slovenija in 3. Svetovna konferenca Združenih narodov o zmanjšanju tveganja nesreč, Sendai, Japonska, 2015. Ujma 30.
- Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Muller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002: Hidrološko izrazje. *Acta hydrotechnica* 20-32.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., van Vuuren, D. 2014: Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Ženeva.
- Prosdocimi, I., Kjeldsen, T. R., Miller, J. D. 2015: Detection and attribution of urbanization effect on flood extremes using nonstationary flood-frequency models. *Water Resources Research* 51.
- Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M., Jodar, J. 2010: Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences* 14-12.
- Šraj, M., Menih, M., Bezak, N. 2016: Climate variability impact assessment on the flood risk in Slovenia. *Physical Geography* 37-1.
- Šraj, M., Viglione, A., Parajka, J., Blöschl, G. 2016: The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 64-4.
- Watts, G., Battarbee, R. W., Bloomfield, J. P., Crossman, J., Daccache, A., Durance, I., Wilby, R. L. 2015: Climate change and water in the UK – past changes and future prospects. *Progress in Physical Geography* 39-1.

NOVE PODATKOVNE PODLAGE ZA BOLJŠE UPRAVLJANJE Z VODAMI

Blaž Barborič, dr. Mihaela Triglav Čekada, mag. Vasja Bric, Primož Kete, Vesna Dežman Kete
Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

blaz.barboric@gis.si, mihaela.triglav@gis.si, vasja.bric@gis.si, primoz.kete@gis.si, vesna.dezman@gis.si

IZVLEČEK

Nove podatkovne podlage za boljše upravljanje z vodami

V prispevku sta predstavljena nova podatkovna vira, ki sta nastala za boljše upravljanje z vodami v Sloveniji. To sta lasersko skeniranje Slovenije in zajem sloja hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče v Sloveniji, ki je bil zajet v 3D na temelju podatkov laserskega skeniranja in aerofotografij Cikličnega aerofotografiranja Slovenije. Na senčenem reliefu laserskega skeniranja so podrobno in položajno točno prikazani podatki o hidrografiji in vodnih zemljiščih.

KLJUČNE BESEDE

podatkovni viri, lasersko skeniranje, hidrografija, poplave, 3D sloj, Slovenija

ABSTRACT

New data layers for better water management

This chapter presents two new data layers for better water management in Slovenia, namely: aerial laser scanning (Lidar) of Slovenia and 3D layer of hydrography and water and waterside land that has been established using Lidar data and aerial photographs of cyclical aerial survey of Slovenia. Positional accuracy of hydrography, water and waterside land on shaded relief of Lidar data is presented.

KEY WORDS

data layers, laser scanning, hydrography, floods, 3D layer, Slovenia

1 Uvod

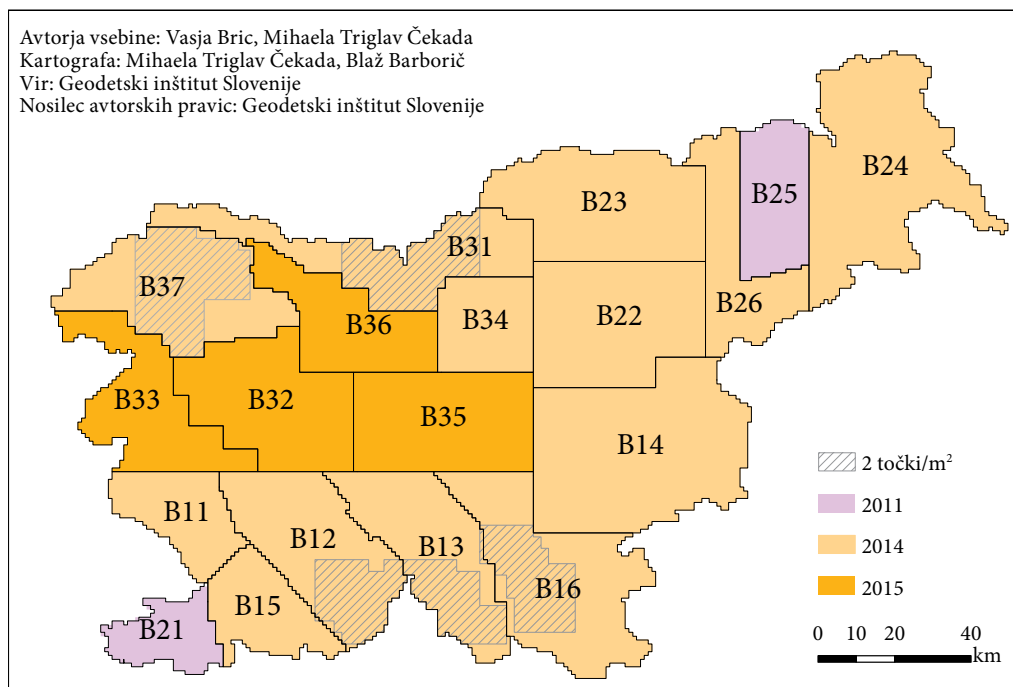
V okviru nalog nekdanjega Ministrstva za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije za dolgoročno zmanjšanje negativnih posledic nesistemske podatkovne in informacijske infrastrukture na področju upravljanja voda pod okriljem Ministrstva za okolje in prostor sta bila med letoma 2011 in 2016 izvedena zajema dveh novih podatkovnih slojev za območje celotne Slovenije (Pegan Žvokelj, Bric in Triglav Čekada 2014):

- lasersko skeniranje Slovenije in
- 3D vektorski sloj hidrografije in vodnih zemljišč v merilu 1 : 5000.

S tem je Slovenija pridobila dva nova zelo podrobna podatkovna sloja, ki ju lahko uporabimo za preučevanje naravnih nesreč: sloj hidrografije in vodnih zemljišč predvsem za preučevanje poplav, podatke laserskega skeniranja pa za poplave in vse ostale naravne nesreče, saj je to najpodrobnejši opis terena pod vegetacijo Slovenije do sedaj. V članku bomo opisali oba podatkovna sloja in prikazali podrobnost zajetih osi vodotokov ter izboljšano položajno točnost novih podatkov o vodotokih v primerjavi s predhodnimi podatki.

2 Lasersko skeniranje Slovenije

Temeljna prostorska podlaga za preučevanje sprememb v prostoru so bili do nedavnega posnetki Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS), ki se izvaja že od leta 1975 pod okriljem Geodetske uprave Slovenije. Leta 1985 so uvedli redne triletno cikle, od leta 2006 pa uporabljajo digitalne aerofotoaparate velikega formata. Osnovni izdelek CAS so aerofotografije velikega formata, ki



Slika 1: Razdelitev blokov laserskega skeniranja Slovenije glede na leto in gostoto skeniranja.

omogočajo višinsko predstavo prostora s stereoeffektom. Na temelju aerofotografij so bili fotogrametrično izdelani različni digitalni modeli reliefa vse do ločljivosti $5 \times m$ iz leta 2006. Digitalni model reliefa omogoča pretvorbo orientirane aerofotografije iz centralne v ortogonalno projekcijo in na ta način izdelavo ortofota. Ortofoti so standardni izdelek CAS-a od leta 2001 naprej, saj pred tem niso sistematsko pokrivali države (Bric s sodelavci 2015).

Ker pa aerofotografija ne omogoča pogleda skozi vegetacijo, so za preučevanje vodotokov v Sloveniji samo posnetki CAS premalo. Kar 60 % Slovenije namreč prekriva gozd. Prodiranje skozi vegetacijo pa omogoča tehnologija laserskega skeniranja. Da bi pridobili bolj podroben digitalni model reliefa Slovenije, ki bi omogočil preučevanje objektov tudi v gozdu, smo že leta 2011 začeli izvajati lasersko skeniranje Slovenije, ki pa ni bilo dokončano (Pegan Žvokelj, Bric in Triglav Čekada 2014). Zato smo leta 2013 na Geodetskem inštitutu Slovenije pripravili dokumentacijo za novo lasersko skeniranje. Objavili smo javni razpis za izbiro ponudnika in skeniranje izvedli v letih 2014 in 2015. Območji, ki sta bili skenirani že leta 2011, v letih 2014 in 2015 nista bili ponovno skenirani (slika 1).

Poglavitni rezultat laserskega skeniranja je georeferencirani oblak točk, v katerem vsebuje vsaka točka informacijo o redu odboja in intenziteti vrnjenega laserskega odboja. Lasersko skeniranje smo izvajali z gostoto odbojev 5 točk/m^2 in 2 točki/m^2 za območja večjih gozdov (slika 1). Skenirali smo celotno Slovenijo in 250-metrski obmejni pas. V izdelkih smo pustili tudi podatke, ki segajo dlje čez mejo, vendar so slabše kakovosti.

Razen dveh blokov iz leta 2011 so bila ostala območja skenirana med 14. 2. 2014 in 2. 4. 2015. Večina skeniranj je bila izvedena v neolistanem delu leta, ko v gozdovih lahko dosežemo večji delež odbojev od tal. Dva bloka na območju gora, B31 in B37, sta bila skenirana avgusta 2014, saj je zaželeno, da je v visokogorju v času skeniranja čim manj snega, prav tako pa se delež točk, ki prodrejo do tal v neolistanem delu leta ne poveča, saj prevladujejo iglasti gozdovi. Skeniranje je izvajalo podjetje *FlyCom*, d. o. o. z laserskim skenerjem RIEGL LMS-Q780. Leteli so na povprečni višini 1200 m do 1400 m nad tlemi. Največji dovoljeni koti skeniranja so bili $\pm 30^\circ$. Končne izdelke smo izdelali na Geodetskem inštitutu Slovenije s programsko opremo *gLidar*, ki so jo izdelali na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru (Mongus in Horvat 2015).

Iz georeferenciranega oblaka točk smo izdelali naslednje izdelke:

- georeferenciran in klasificiran oblak točk (**GKOT**), shranjen v formatu LAS, kjer so točke klasificirane v sedem razredov: tla, nizka (do 1 m višine), srednja (med 1 m in 3 m višine) in visoka vegetacija (nad 3 m višine), stavbe, nizke točke ter neklasificirane točke,
- digitalni model reliefa $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (**DMR1**), zapisan v formatu ASCII,
- oblak točk reliefa (**OTR**) – samo točke tal, zapisan v formatu LAS,
- podoba analitičnega senčenja DMR1 (**PAS**), zapisana v geolociranem rasterskem formatu TIF.

Izdelki GKOT, OTR, DMR1 so shranjeni v datotekah, ki pokrivajo območje 1 km^2 . Izdelek PAS pa območje 5 km^2 .

Izdelki so na voljo v nadmorskih višinah ter v dveh državnih ravninskih koordinatnih sistemih D96/TM in D48/GK. Izdelki so bili originalno izdelani v D96/TM ter transformirani v D48/GK in ponovno razrezani na območja velikosti 1 km^2 . Zato ima ASCII zapis DMR1 v D48/GK koordinate točk zapisane na dve decimalni mesti in ne zaokrožene na 1 m^2 . To smo naredili, ker smo želeli ohraniti položajno in višinsko točnost izdelka DMR1 po transformaciji, saj bi jo z interpolacijo na koordinate zaokrožene na 1 m lahko poslabšali.

Na več kot 4000 terensko izmerjenih kontrolnih točkah smo preverili položajno in višinsko točnost izdelkov oziroma povprečno 235 kontrolnih točk na blok laserskega skeniranja, ki povprečno pokriva območje velikosti 1200 km^2 . Položajna točnost laserskih točk v D96/TM je boljša od 30 cm in višinska od 15 cm (RMSE) (Triglav Čekada in Bric 2015).

Pomembna značilnost laserskega skeniranja, ki se je moramo zavedati ob uporabi teh izdelkov, je manjše število ali sploh odsotnost laserskih odbojev na vodnih površinah. Tako je v izdelku GKOT na vodnih površinah veliko manjša gostota točk ali točk na vodah celo ni. Zato tudi pride

tudi do napak pri interpolaciji DMR1 na večjih vodnih telesih, ki jih najhitreje vidimo na izdelku PAS v sunkovitih skokih med interpoliranimi površinami na vodnih območjih. Teh v postopku ročnega popravljanja DMR1 nismo odstranjevali, saj bi pri tem lahko odstranili značilne robove in objekte v vodnih telesih, kot so otoki in pregrade, ki pa so zelo pomembni za zajem hidrografije in dejanske rabe vodnih zemljišč, čemur so bili izdelki laserskega skeniranja prvenstveno namenjeni.

Omeniti moramo še, da iz podatkov GKOT nismo brisali posameznih odbojev pod terenom (nizke točke). Te nastanejo zaradi vlage v zraku v času skeniranja ali večpotja (laserski odboj se dvakrat odbije: na primer najprej od stene stavbe potem pa še od tal), nekatere nizke točke pa tudi predstavljajo brezna, ki pa so v Sloveniji zelo pogosta. Te nizke točke so v klasifikacijskih razredih nizke točke ali neklasificirane točke.

Podatki so podrobno opisani v tehničnih poročilih posameznih blokov laserskega skeniranja, ki jih poleg samih podatkov lahko pridobimo brezplačno na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) (Grilj s sodelavci 2015).

Ob splošni uporabi teh podatkov se moramo zavedati, da se je lasersko skeniranje izvedlo kot vsedrjavni projekt, rezultati pa so bili namenjeni predvsem zajemu podatkov hidrografije in dejanske rabe vodnih zemljišč ter da morda niso primerni za druge namene. Primerni so samo za zajem objektov do merila 1 : 5000, za zajem v merilu 1 : 1000 pa je gostota premajhna (Triglav Čekada s sodelavci 2010).

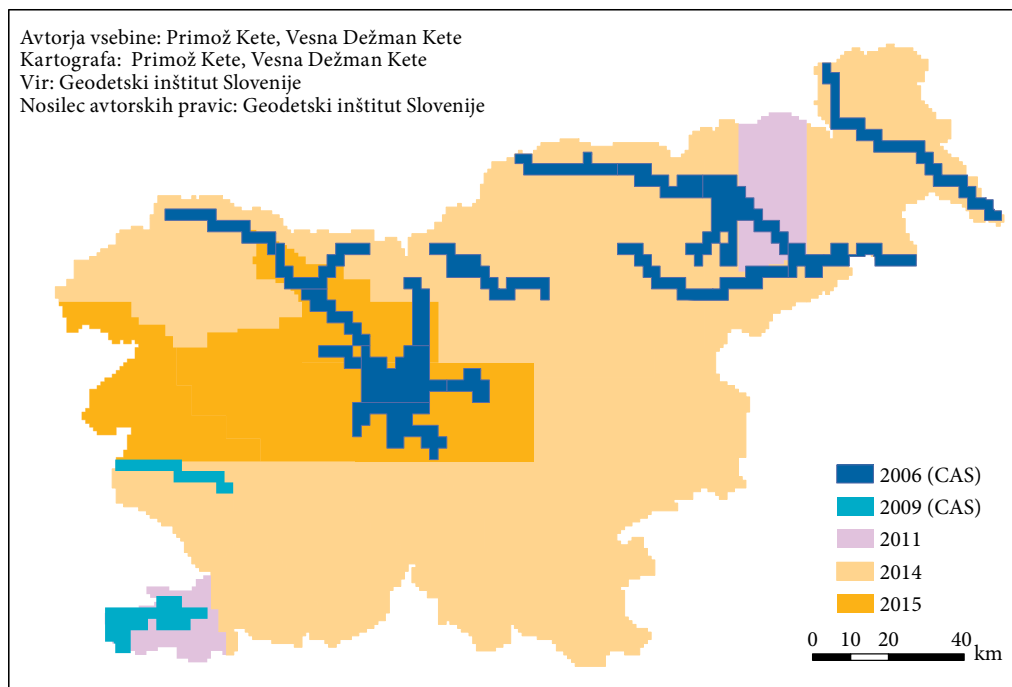
3 Hidrografija in dejanska raba vodnih zemljišč

Izvedba laserskega skeniranja Slovenije je bila ključna za izvedbo masovnega zajema podatkov hidrografije in dejanske rabe – vodnih zemljišč v treh razsežnostih, ki se je izvajal v letih 2015 in 2016. Podatki laserskega skeniranja Slovenije so bili eden od temeljnih virov za zajem, ker omogočajo zajem robov vodotokov tudi pod vegetacijo. Drugi vir so bile aerofotografije CAS, ki izboljšajo interpretacijo stanja. Testni zajem (modra območja na sliki 2) se je leta 2011 izvajal samo na osnovi orientiranih aerofotografij CAS 2006 in 2009. Podatkov testnega zajema v masovnem zajemu nismo posodobili, zato se moramo ob njihovi uporabi zavedati, da so ti podatki na območjih večjih sprememb na vodotokih lahko že zastareli. Pripravo metodologije za zajem, ki poleg državnih potreb temelji tudi na priporočilih direktive INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) in izvedbo testnega zajema smo izvedli na *Geodetskem inštitutu Slovenije*. Masovni zajem podatkov je bil izveden pod vodstvom *Geodetskega inštituta Slovenije* v sodelovanju s konzorcijem podizvajalcev, združenih pod *Geodetskim zavodom Celje, d.o.o.*

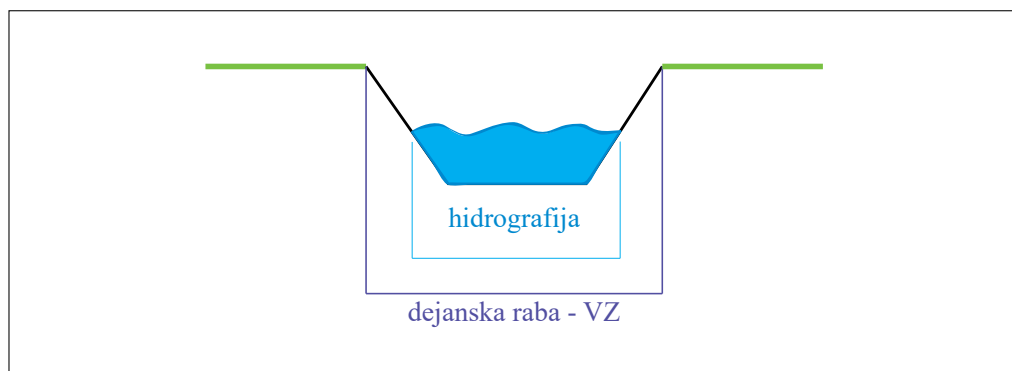
Podatki masovnega zajema hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče so bili zajeti v treh razsežnostih (3D), v merilu 1 : 5000 z zahtevano položajno in višinsko točnostjo 1 m (RMSE). Zajem in interpretacijo iz virov so operaterji izvajali ročno, v 3D-stereo fotogrametričnem načinu zajema, z uporabo dveh prekrivajočih se fotografij in za ta namen razvite programske opreme. Večina zajema je bila izvedena v 12 mesecih, pri čemer je na višku dejavnosti na projektu delalo do 100 ljudi. Delo je obsegalo več vrst in stopenj kontrole (različne geometrijske, atributne in vsebinske kontrole), ki zagotavljajo ustrezno kakovost podatkovnega sloja. Trenutno so podatki brezplačno na voljo za vpogled na Atlasu voda: (Atlas ... 2016).

Podatkovni sloji ločeno vsebujejo podatke o hidrografiji (tekoče in stoječe vode, naravni in grajeni objekti na vodah, mokrotne površine in morje) in dejanski rabi – vodno zemljišče (slika 3). V preglednici 1 je predstavljena vsebina šestih podatkovnih slojev podatkov hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče. Sloji so organizirani glede na geometrični gradnik (točke, linije, ploskve) in sorodnost vsebine: od teh je pet topografskih slojev hidrografije in en sloj dejanske rabe – vodno zemljišče. Tekoče vode ožje od 2 m so zajete kot linije, tekoče vode širše od 2 m pa tudi kot ploskve. Osi vodotokov so zajete v smeri toka vode od izvira do izliva.

Masovni zajem se je izvajal izključno na osnovi fotointerpretacije osnovnih virov ter s pomočjo dopolnilnih in pomožnih virov, brez terenskega ogleda. Poleg osnovnih virov, to so bili podatki laserskega skeniranja in aerofotografije CAS, se je za določitev atributnih vrednosti objektov uporabilo še dopolnilne vire, kamor štejemo državne topografske karte in druge državne evidence. Podatki so bili zajeti v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM.



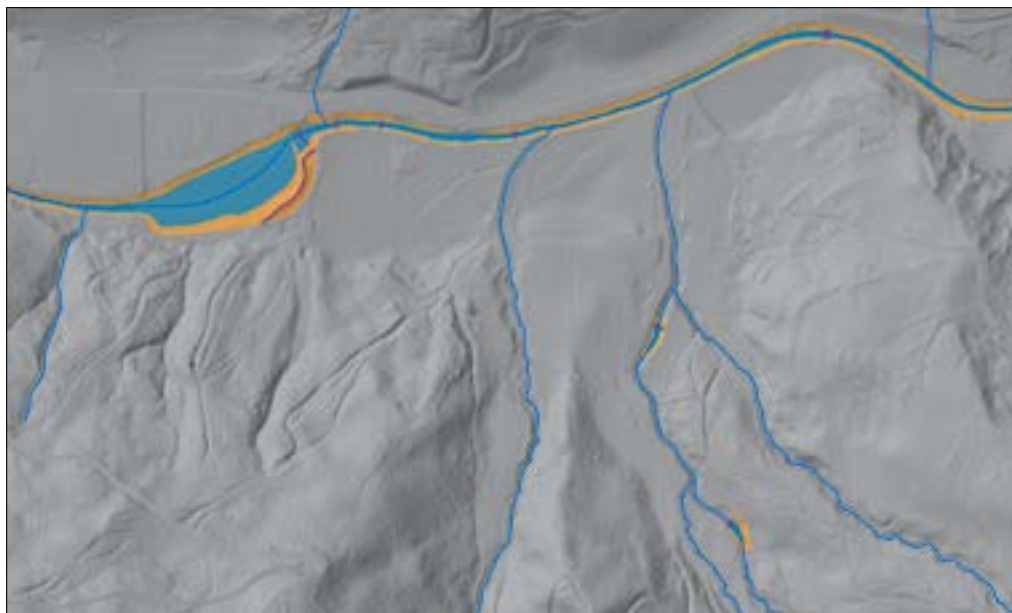
Slika 2: Datum vira na osnovi katerega se je zajemalo podatke hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče.



Slika 3: Razlika med zajemom hidrografije in zajemom dejanske rabe – vodno zemljišče (VZ).

Preglednica 1: Objektni tipi hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče.

hidrografija				dejanska raba
tekoča voda	stoječa voda	grajeni objekti	ostali objekti	dejanska raba – vodno zemljišče
struga vodnega toka	jezero	prehod – akvadukt	slap	vodotok
kanal	bajer, kal, mlaka, loka	prehod – most	izvir	nasip
akumulacijsko jezero	rekreacijski bazen	prehod – prepust	ponor	jezero ali vodni zbiralnik
obcestni jarek	industrijski bazen	prehod – sifon	brzice	morje
melioracijski jarek	vodni zbiralnik	prehod – pokritje	mokrotna površina	ostalo
	soline	jez	morje	
	mrtvi rečni rokav	zapornica	prodišče	
		stopnja		
		hidroelektrarna		
		obalna konstrukcija		
		brod		
		nasi		



Slika 4: Podatki hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče na senčenem reliefu v merilu 1 : 7000. Barve pomenijo sledeče: svetlo oranžna je dejanska raba – vodno zemljišče, vijolična je linija nasipa, temno oranžna je dejanska raba nasipa, temno modra linija je linijski objekt na vodotoku, svetlo modra linija je srednja os vodotoka, svetlo modra ploskev je vodna ploskev.

4 Primeri zajetih podatkov hidrografije in dejanska rabe – vodno zemljišče

Na senčenem reliefu (slika 4) je viden natančen prikaz podatkov hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče. V primerjavi stare rečne mreže, ki so bili zajeti v merilu 1:25 000, imajo novi podatki bistveno boljše položajno točnost in prikažejo večjo podrobnost. 3D podatki masovnega zajema hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče v merilu 1 : 5000 pomenijo pomemben vir za boljše upravljanje z vodami, izdelavo boljših modelov za napovedovanje poplav in posledično pripravo ukrepov v primeru poplav. Z uporabo novih podatkov je mogoče natančneje določiti gostoto rečne mreže, tako za območje Slovenije, kot za posamezne slovenske pokrajine, kar je pomembno z vidika proučevanja vodnatosti slovenskih pokrajin, erozijskih in denudacijskih procesov, vodooskrbe in vpliva na ekonomske in družbene procese v pokrajini. Novi podatki omogočajo primerjavo s podobnimi podatki drugih držav, iskanje priložnosti za razvoj trajnostno naravnanih dejavnosti v prostoru ter ozaveščanje o odgovornem in gospodarnem ravnanju z vodami. So tudi dragocen vir za kartografsko prikazovanje hidrografskih in ostalih naravnogeografskih ter družbenogeografskih vsebin.

5 Sklep

Izvedba laserskega skeniranja Slovenije je bila ključna za izvedbo masovnega zajema hidrografije in dejanske rabe v treh razsežnostih (3D), ki se je izvajal v letih 2015 in 2016. Podatki laserskega skeniranja so bili namenjeni zajemu hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče. Primerni so za zajem objektov do merila 1 : 5000. Sloj hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče obsega šest podatkovnih slojev. Sloji so organizirani glede na geometrični gradnik in sorodnost vsebine: od teh je pet topografskih slojev hidrografije in en sloj dejanske rabe – vodno zemljišče.

Nova podatkovna vira: lasersko skeniranje Slovenije 2014–2015 ter 3D sloj hidrografije in dejanske rabe – vodno zemljišče pomembno prispevata k boljšemu upravljanju z vodami v Sloveniji. Z uporabo novih podatkov skupaj z ostalimi podatkovnimi viri lahko izboljšamo modele za napovedovanje poplav, preučujemo erozijske in denudacijske procese ter načrtujemo trajnostno naravnan prostorski razvoj.

6 Viri in literatura

- Atlas voda. Agencija Republike Slovenije za okolje. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda@Arso (16. 10. 2016).
- Bric, V., Berk, S., Oven, K., Triglav Čekada, M. 2015: Aerofotografiranje in aerolasersko skeniranje Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014. Ljubljana.
- Grilj, T., Cunder, M., Kogovšek, P., Kregar, M., Štravs, L. 2015: eVode, Atlas voda in LIDAR – novi javno dostopni in brezplačni sistem za dostop do podatkov s področja upravljanja voda (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso). Urbani izziv 26.
- Mongus, D., Horvat, D. 2015: gLIDAR: napredno orodje za obdelavo lidarskih podatkov. Geodetski vestnik 59-1.
- Müller, M., Rak, G., Steinman, F. 2014: Katalog poplavnih scenarijev kot strokovna podlaga za načrte zaščite in reševanja ob poplavih. (Ne)prilagojeni, Naravne nesreče 3. Ljubljana.
- Pegan Žvokelj, B., Bric, V., Triglav Čekada, M. 2014: Lasersko skeniranje Slovenije. Geodetski vestnik 58-2.
- Triglav Čekada, M. 2014: Sodelovanje javnosti pri pridobivanju posnetkov za določitev obsega poplav v novembru 2012. (Ne)prilagojeni, Naravne nesreče 3. Ljubljana.

- Triglav Čekada, M., Bric, V. 2015: Končan je projekt laserskega skeniranja Slovenije. Geodetski vestnik 59-3.
- Triglav Čekada, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, M. 2010: Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. Geodetski vestnik 54-3.
- Triglav Čekada, M., Tršan, S., Pegan Žvokelj, B., Lukač, N., Bizjak, M., Brumen, M., Žalik, B. 2016: STEZA –stereozajem iz aerofotografij in podatkov lidar. Geodetski vestnik 60-2.



Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Naslov: Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: gi@zrc-sazu.si

Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si>

Inštitut je leta 1946 ustanovila Slovenska akademija znanosti in umetnosti in ga leta 1976 poimenovala po akademiku dr. Antonu Meliku (1890–1966). Od leta 1981 je sestavni del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leta 2002 sta se inštitutu priključila Inštitut za geografijo, ki je bil ustanovljen leta 1962, in Zemljepisni muzej Slovenije, ustanovljen leta 1946. Ima oddelke za fizično geografijo, humano geografijo, regionalno geografijo, naravne nesreče, varstvo okolja, geografski informacijski sistem in tematsko kartografijo, zemljepisno knjižnico ter zemljepisni muzej. V njem je sedež Komisije za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije.

Njegovi raziskovalci se ukvarjajo predvsem z geografskimi raziskavami Slovenije in njenih pokrajin ter pripravo temeljnih geografskih knjig o Sloveniji. Sodelujejo pri številnih domačih in mednarodnih projektih, organizirajo znanstvena srečanja, izobražujejo mlade raziskovalce, izmenjujejo znanstvene obiske. Inštitut izdaja znanstveno revijo *Acta geographica Slovenica*/Geografski zbornik ter znanstveni knjižni zbirki Geografija Slovenije in Georitem. V sodih letih izdaja knjižno zbirko GIS v Sloveniji, v lihih letih knjižno zbirko Regionalni razvoj, vsako tretje leto pa knjižno zbirko Naravne nesreče.



Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje opravlja zlasti naslednje upravne in strokovne naloge varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami:

- izdeluje predloge raziskovalnih in razvojnih projektov varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami;
- izdelava predlog nacionalnega programa in načrta varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami;
- skrbi za organiziranje in delovanje sistema opazovanja, obveščanja in alarmiranja;
- skrbi za načrtovanje, izgradnjo, delovanje in vzdrževanje enotnega informacijsko komunikacijskega sistema na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami ter določa tehnične pogoje za vključevanje drugih sistemov v ta sistem;
- izdeluje ocene ogroženosti in druge strokovne podlage za načrtovanje zaščite, reševanja in pomoči ter usmerja in usklajuje ukrepe za preprečevanje ter zmanjševanje posledic naravnih in drugih nesreč v sodelovanju z drugimi ministrstvi;
- spremlja in razglša nevarnost naravnih in drugih nesreč ter daje napotke za ravnanje;
- izdeluje državne načrte zaščite in reševanja v sodelovanju z ministrstvi in vladnimi službami;
- organizira, opremlja in usposablja državne enote in službe Civilne zaščite ter druge sile za zaščito, reševanje in pomoč ter zagotavlja pogoje za delo poveljnika, štaba Civilne zaščite Republike Slovenije ter državne in regijske komisije za oceno škode;
- spremlja in usklajuje organiziranje Civilne zaščite ter drugih sil za zaščito, reševanje in pomoč;
- pripravlja programe in organizira ter izvaja izobraževanje in usposabljanje za zaščito, reševanje in pomoč;
- skrbi za tipizacijo sredstev za zaščito, reševanje in pomoč;
- oblikuje in vzdržuje državne rezerve materialnih sredstev za primer naravnih in drugih nesreč;
- skrbi za usklajen razvoj sil za zaščito, reševanje in pomoč na območju države.

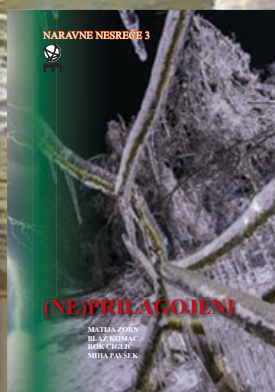
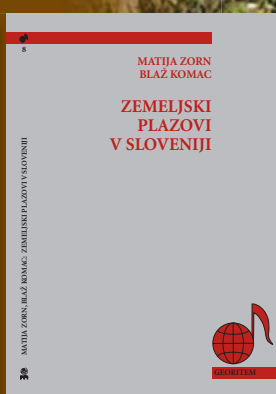
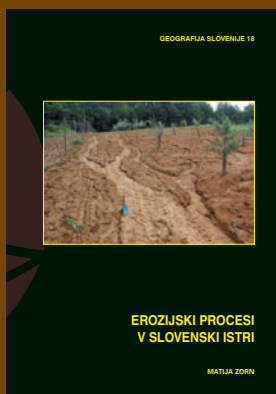
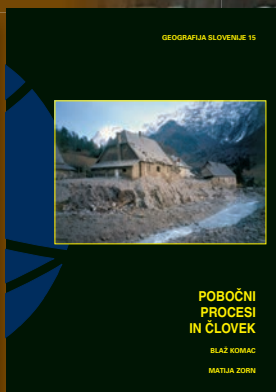
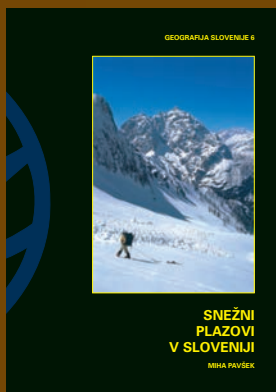


ŽIVLJENJA REŠUJEMO SKUPAJ

www.urszr.si

www.sos112.si

GEOGRAFSKI INŠTITUT ANTONA MELIKA ZRC SAZU IN ZALOŽBA ZRC PREDSTAVLJATA



Sedež založbe/poštni naslov:
Založba ZRC, Novi trg 2, p. p. 306, 1001 Ljubljana
Tel.: 01/470 64 74
E-pošta: zalozba@zrc-sazu.si
Spletna stran: <http://zalozba.zrc-sazu.si>

ISBN 978-961-254-993-0



9 789612 549930