

ZBIRANJE PODATKOV O ZEMELJSKIH PLAZOVIH IN ZANESLJIVOST NAPOVEDOVANJA NJIHOVEGA PROŽENJA

LANDSLIDE DATA COLLECTION AND EVALUATION OF PREDICTED MODELS

UDK 551.435.62(497.4)

Mateja Jemec Auflič

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, mateja.jemec-auflic@geo-zs.si

Špela Kumelj

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, spela.kumelj@geo-zs.si

Nina Prkić

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, nina.prkic@geo-zs.si

Jasna Šinigoj

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, jasna.sinigoj@geo-zs.si

Povzetek

Geološki zavod Slovenije je jeseni 2013 zaključil projekt Sistem zgodnjega opozarjanja za primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov (kratica MASPREM). Glavni cilj projekta je bil izdelava sistema, ki prek javne spletne aplikacije napoveduje območja na državni in občinski ravni, ki so ob preseženih mejnih vrednostih padavin izpostavljena nevarnosti proženja zemeljskih plazov. V okviru izdelave sistema so se zbirali tudi podatki o sproženih plazovih, saj le dejanski dogodki omogočajo oceno natančnosti napovedanih modelov.

Abstract

In autumn 2013 the Geological Survey of Slovenia launched the project »National landslide hazard forecast system« (MASPREM). The main objective of the project was to develop an automated real-time web tool for modelling the landslide susceptibility on national and municipality level when rainfall threshold is exceeded. The project also included rainfall induced landslide data collection to evaluate the prediction models' reliability.

Uvod

V zadnjih letih smo v Sloveniji priča številnim vremenskim pojavom, ki za seboj pustijo nezaželene posledice. Z gospodarskim razvojem in širjenjem poselitve, ki ni vedno najprimernejša, smo za posledice vedno bolj ranljivi in občutljivi. Leta 2014, ki ga meteorologi ocenjujejo za enega izmed rekordno toplih in namočenih (ARSO, 2015), je Slovenija prešlo več vremenskih front, ki so s seboj prinašale obilne padavine. Te so povzročile nastanek številnih zemeljskih plazov po vsej državi. Zemeljski plazovi so se prožili skoraj vsak mesec, tudi več dni zaporedoma, veliko se jih je sprožilo zlasti v drugi polovici leta, od avgusta do novembra.

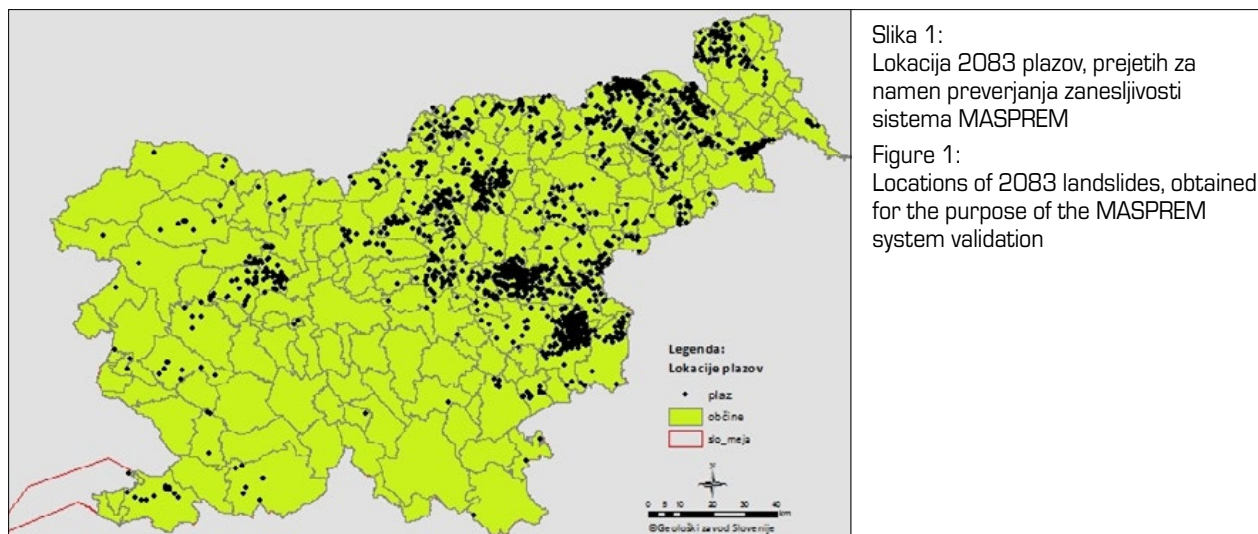
Čeprav se je proženju plazov praktično nemogoče izogniti, se lahko z napovedovalnim sistemom zgodnjega opozarjanja pred nevarnostjo proženja zemeljskih plazov omilijo vsaj njihove ekonomske posledice (Komac in sod., 2013; Komac in sod., 2014). V ta namen je Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) podprla projekt z naslovom Sistem zgodnjega opozarjanja za

primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov (kratica MASPREM). Projekt se je začel leta 2011 in končal septembra 2013. Trenutno je operativen v testni fazi. Sistem MASPREM je prek spletnih servisov povezan z URSZR in njihovim informacijskim sistemom. Kadar je na določenih območjih nevarnost proženja zemeljskih plazov povečana, sistem prek elektronskega obvestila (e-pošte) obvesti pristojne o povečani nevarnosti.

Članek prikazuje pregled podatkov o zemeljskih plazovih, ki so bili pridobljeni v okviru projekta od izpostav civilne zaščite ali občin, ter analizo zanesljivosti izdelanih napovedovalnih modelov.

Zbiranje podatkov o plazovih

Geološki zavod Slovenije že od leta 1998 vodi bazo zemeljskih plazov (Ribičič, 1998), ki vsebuje podatke iz arhivov ali popisov s terena (povsem stihijsko, povečini je šlo le za lokacije brez dodatnih atributov). Z novimi projekti in



razvojem metodologije verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, drobirskih tokov in podorov se je povečala tudi zahteva po kakovostnejšem in sprotnejšem polnjenju baze. V okviru projektov GH-14 – Izdelava prostorske baze podatkov in spletnega informacijskega sistema geološko pogojenih nevarnosti zaradi procesov pobočnega premikanja, erozijskih kart ter kart snežnih plazov (Bavec in sod., 2012), MASPREM ter drugih manjših raziskovalnih projektov je v bazo GeoZS do danes (stanje na dan 3. 2. 2015) zajetih 7273 plazov, od tega 6941 plazov z znano lokacijo in 898 z le znano lokacijo in datumom sprožitve.

Skupaj z URSZR so bili za preverjanje zanesljivosti sistema MASPREM leta 2012 določeni minimalni nabori podatkov, s katerimi še lahko zagotovimo kakovost rezultatov. To so podatki o lokaciji plazu, datumu sprožitve, dimenziji plazu in posledicah (ocena škode in ogroženosti). Izpostave civilne zaščite ali občine so skupno evidentirale 4379 plazov iz 109 občin. 2083 popisov plazov je vsebovalo podatek o prostorski lokaciji (slika 1).

Vrednotenje podatkov

Zbrane podatke o zemeljskih plazovih je bilo treba pred uporabo preveriti z vidika njihove atributne natančnosti in popolnosti po posameznih minimalnih kazalnikih. Poleg tega je bila potrebna vizualna kontrola lokacij glede na relief (GURS, DMVO125) in zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov (Komac & Ribičič, 2005).

Preglednica 1 prikazuje delež atributne popolnosti podatkov po posameznih kazalnikih za 2083 plazov. Podatki o dimenziji, sprožitvi, škodi in viru podatka niso bili opredeljeni niti v polovici primerov. V primeru opisov škode so opisi splošni; opisana je ogroženost ali pa je naveden podatek o stopnji poškodovanosti v odstotkih, brez navedbe, za kakšno vrsto škode gre. Nizka stopnja atributne popolnosti je bolj kot resnično pomanjkanje podatkov posledica njihovega načina zbiranja. Poskusi standardiziranega zbiranja podatkov o zemeljskih plazovih so bili v preteklosti že izvedeni (Ribičič, 1998;

Komac in sod., 2005; Zorn & Komac, 2008; Bavec in sod., 2012), vendar zanje do zdaj dolgoročno financiranje oziroma ustrezni predpisi, ki bi zahtevali obvezno zbiranje podatkov, niso bili zagotovljeni.

Kazalnik	Delež atributne popolnosti	
lokacija	X	100 %
	Y	100 %
	občina	100 %
dimenzija	širina	48,10 %
	dolžina	49,83 %
sprožitve	leto sprožitve	42,58 %
	mesec sprožitve	39,75 %
	dan	29,91 %
	reaktivacija	0,58 %
vir	institucija	32,45 %
škoda	škoda	39,99 %

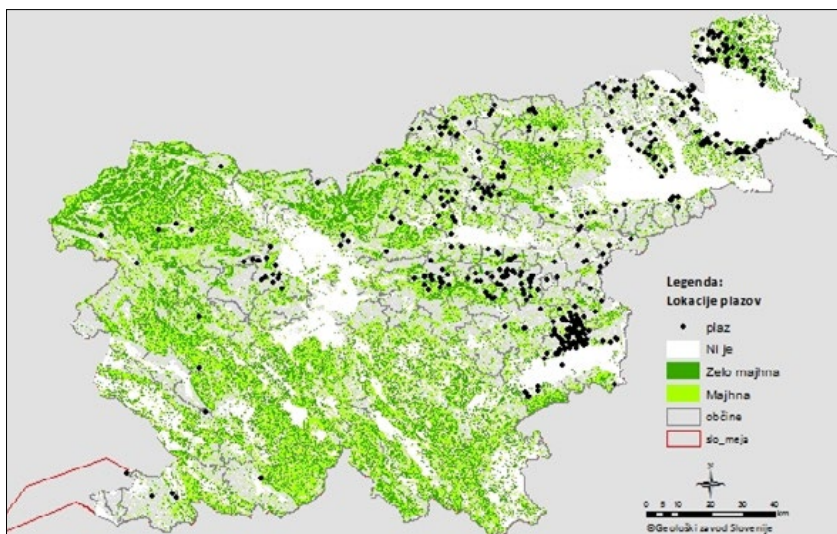
Preglednica 1: Atributna popolnost podatkov po posameznih kazalnikih, pridobljenih za namen preverjanja zanesljivosti sistema MASPREM

Table 1: Attribute quality assurance of the data for each indicator; obtained for the purpose of the MASPREM system validation

Leto sprožitve plazu	Z dano koordinato (X, Y)	Delež	Z datumom sprožitve	Delež
neznano	1196	57,42 %	0	0 %
do leta 2012	76	3,65 %	61	9,79 %
2012	181	8,69 %	162	26,00 %
2013	244	11,71 %	171	27,45 %
2014	386	18,53 %	229	36,76 %
skupaj	2083	100 %	623	100 %

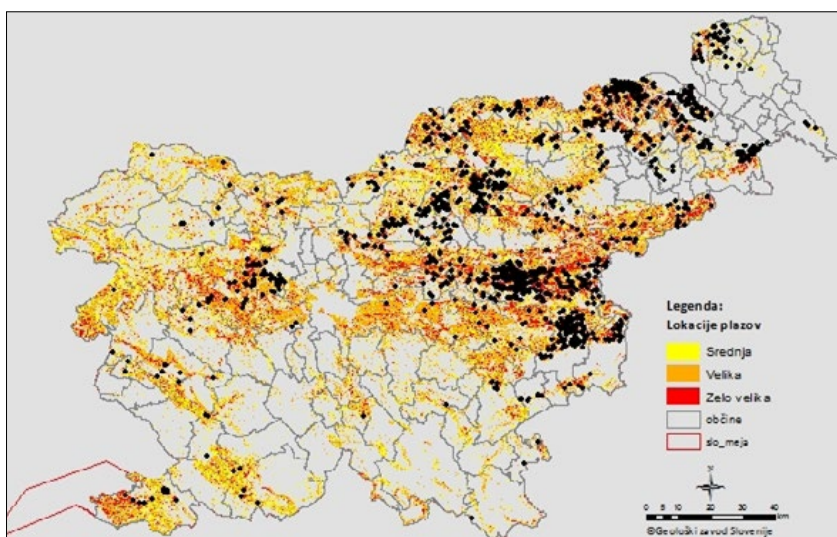
Preglednica 2: Podatki o sprožitvi in lokaciji 2083 plazov, zbranih za namen validacije sistema MASPREM

Table 2: Data on landslides locations and dates of their occurrence obtained for the purpose of the MASPREM system validation



Slika 2:
 Prikaz zemeljskih plazov (485) na območjih, na katerih je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov zelo majhna in majhna

Figure 2:
 Distribution of landslides (485) for the areas of very low and low probability of landslide susceptibility



Slika 3:
 Prikaz zemeljskih plazov (1598) na območjih srednje, velike in zelo velike verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov

Figure 3:
 Distribution of landslides (1598) for the areas of medium, high and very high probability of landslide susceptibility

Za preverjanje zanesljivosti sistema MASPREM bi lahko glede na podatek o lokaciji plazov in datumu sprožitve uporabili le 623 plazov, kar predstavlja 16 odstotkov vseh prejetih podatkov (preglednica 2). S samodejnim prenosom modela ALADIN-SI v sistem MASPREM septembra 2013 se je začelo preverjanje zanesljivosti proženja plazov. Pri analizi so v poštev prišli le plazovi, ki so se sprožili po 1. septembru 2013 (249 plazov). Omeniti velja, da je bilo med projektom izvedeno preliminarno ujemanje plazov z rezul-

tati modela za dva pretekla padavinska dogodka (19. 9. 2007 in 18. 9. 2010) (Komac in sod., 2013). V ta namen je ARSO posredoval arhivske podatke ALADIN-SI, izpostave civilne zaščite in občine pa podatke o pojavih plazov.

Velikost plazov določajo njegove dimenzije: dolžina, širina in globina. Za skoraj polovico plazov smo prejeli ocenjeno ali izmerjeno velikost, in sicer v metrih dani širino in dolžino plazov, podatek o globini pa je bil naveden le redko. Zaradi nezadostnih podatkov velikostni red plazov ni bil analiziran.

Verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov	Št. plazov	Delež od vseh plazov (2083)
ni je	162	7,78 %
zelo majhna	80	3,84 %
majhna	243	11,67 %
srednja	227	10,90 %
velika	605	29,04 %
zelo velika	766	36,77 %

Preglednica 3: Število in delež plazov po območjih verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov
 Table 3: The number and proportion of landslides, distributed by probability of landslide susceptibility

Prejeti podatki o vrsti in opisu pojava ter njegovih posledicah so premalo natančni, da bi lahko iz njih izpeljali zanesljivejše ugotovitve. Ocena škode in ogroženosti morebitnih objektov in zemljišč je zelo splošna. Iz prejetega lahko ugotovimo, da se v večini primerov plazovi pojavljajo na pobočjih nad ali pod objekti (nad in pod stanovanjskimi in gospodarskimi objekti, nad in pod podpornimi zidovi), na kmetijskih zemljiščih (predvsem travnikih in v vinogradih) ali pa gre za plazove nad ali pod cestnimi odseki. Da so plazovi velikokrat posledica nepravilnega posega v prostor, pričajo primeri sproženih plazov ob športnem igrišču, na zemljišču ob ekološkem otoku in nad pokopališčem.

Po metodologiji za oceno geološko pogojenih nevarnosti zaradi procesov pobočnega premikanja, razviti na Geološkem zavodu Slovenije (Komac, 2005; Bavec in sod., 2012), je bila narejena analiza vpliva prostorskih dejavnikov naklona, usmerjenosti in ukrivljenosti pobočja na pojavljanje zemeljskih plazov. Pri ugotavljanju vpliva **naklonov pobočja** na pojavljanje plazov je bila uporabljena delitev naklonov v razrede po 3° , pri analizi pa so bila na podlagi strokovne ocene izločena območja z nakloni, manjšimi od 5° (26,1 % celotnega ozemlja Slovenije) (Komac, 2005). Na teh območjih se je pojavilo 133 plazov od 2083 (6,39 % vseh plazov). Vzroke za pojav plazov na območjih z naklonom, manjšim od 5° , gre pripisati predvsem velikosti celice DMV-ja, posplošenim vrednostim drugih kazalnikov in lokalnim značilnostim, ki niso zajete v merilo 1 : 250.000 (Komac, 2005) ali pa je bila namesto izvorne območja plazu določena lokacija poškodbe, ki jo je plaz povzročil. 80 % plazov se pojavlja na območju med 8° in 32° , kar je primerljivo s podatki, uporabljenimi za razvoj metodologije za napoved verjetnosti pojavljanja plazov, da se na tem območju naklona pojavi 90 % vseh plazov (Komac, 2005). Največ plazov, to je 309 od 2083 plazov (14,83 %), se je sprožilo na območju z naklonom med 14° in 17° . To je naklon, pri katerem se plazovi začnejo značilno pojavljati, obenem pa naklon 14° predstavlja tudi kritični kot pojavljanja zemeljskih plazov (Komac, 2005). Približno od 15 do 20 % vseh zbranih podatkov o pojavih plazenja je ocenjenih kot prostorsko neustrezno umeščenih.

Prostorski dejavnik **usmerjenost pobočij** nima značilnega vpliva na pojavljanje plazov, razen trenutnih zdrsov, ki se največkrat pojavljajo na prisojnih pobočjih (Komac, 2005), kljub temu pa imajo južna pobočja nekoliko izrazitejši vpliv na pojavljanje plazov kot druga, kar potrjujejo tudi prejeti podatki, saj se v razponu azimuta od 112° do 248° pojavlja skoraj polovica (49,02 %) vseh plazov. To je primerljivo z deležem plazov (46,74 %) v enakem razponu azimuta, ki ga navaja Komac (2005).

Iz literature je razvidno, da **ukrivljenost pobočij** v smeri naklona vpliva na povečevanje hitrosti toka in s tem na njegovo erozijsko moč (Irvin in sod., 1995). Vpliv na pojavljanje plazov naj bi bil najznačilnejši na območjih od premih proti konkavnim pobočjem, torej v območju vrednosti konkavnosti od $-0,5$ do $-0,1$ in od $0,1$ do $0,5$ (vrednosti ukrivljenosti nimajo enot). To potrjujejo tudi prejeti podatki o plazovih, saj se največje število plazov pojavlja v omenjenem razponu konkavnosti (32,46 %), kar je nekoliko višje od števila plazov v tem razponu konkavnosti (25,57 %), ki so bili upoštevani pri razvoju metodologije za napoved verjetnosti pojavljanja plazov (Komac, 2005).

Podatki o nastalih plazovih so bili primerjani z razredi Zemljevida verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000 (Komac & Ribičič, 2005), ki predstavlja enega izmed treh vhodnih podatkov sistema MASPREM. Zemljevid je plod raziskav in analiz pojavljanja zemeljskih plazov v različnih kamninah slovenskega ozemlja, ki pregledno prikazuje območja, ki so različno podvržena pojavljanju zemeljskih plazov. Karta predstavlja območja

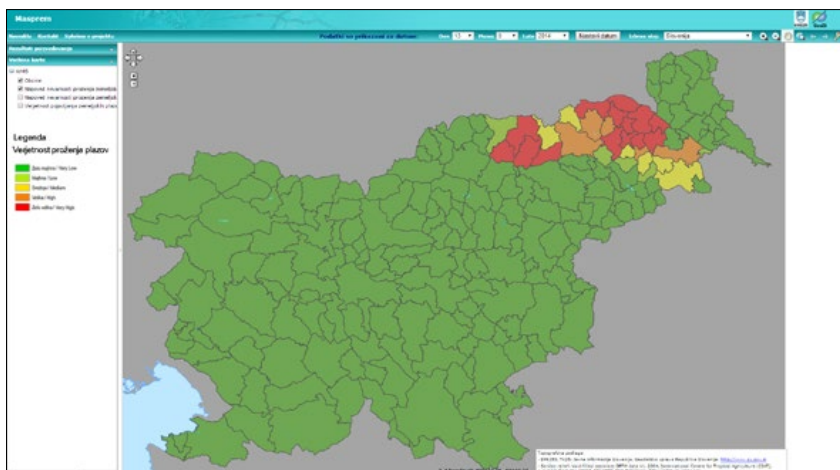
verjetnosti pojavljanja plazov celotne Slovenije v šestih razredih: (1) ni verjetnosti, (2) zelo majhna verjetnost, (3) majhna verjetnost, (4) srednja verjetnost, (5) velika verjetnost in (6) zelo velika verjetnost. 485 oziroma 23,3 % prejetih plazov pade v območja, kjer je verjetnost pojavljanja plazov majhna oziroma ničelna (slika 2; preglednica 3), 1598 oziroma 76,7 % vseh plazov pa pade v območja srednje in visoke verjetnosti pojavljanja plazov (slika 3; preglednica 3). To pomeni, da se plazovi pojavljajo na območjih, ki so zaradi naravnih dejavnikov (geologija, tektonika in relief) in rabe tal podvržena plazenju. S standardiziranim zajemom novih pojavov plazov bi pridobili zanesljivejše podatke, ki bodo hkrati vplivali na zanesljivost zemljevida verjetnosti pojavljanja plazov. Tako bo omogočen prikaz trenda pojavljanja zemeljskih plazov po prostorsko časovnih parametrih, kar bo pripomoglo k razumevanju procesov, ki vodijo do njihovega nastanka.

Zagotavljanje boljše kakovosti podatkov o plazovih

Znotraj delovne skupine za pripravo postopkovnika ukrepanja ob sprožitvi zemeljskega plazu, ki ga je ustanovila URSZR maja 2013, je bila določena skupina za pripravo enotnega Popisnega obrazca za plazove in erozijo. Pripravo predloga so zaupali GeoZS (Ribičič in sod., 2015). Obrazec bo namenjen enotnemu in centralnemu zbiranju podatkov o pojavih plazenj na institucijah, ki se ukvarjajo s popisom plazov bodisi zaradi ocenjevanja škode, preventive ali varovanja civilnega prebivalstva: URSZR, MOP, GeoZS, občine, DRI in druge institucije. Obrazec je pripravljen in čaka na formalno potrditev URSZR. Ko bo obrazec potrjen, bo pripravljen za spletno aplikacijo, ki bo omogočala takojšen vnos in kontrolo podatkov ter njihovo centralno zbiranje. Z obveznimi vnosnimi polji bomo lahko zagotovili popolnejše atributne podatke in tudi prostorski pregled sedanjih in novih podatkov o plazovih ter sledenje reaktivaciji dogodkov.

Zasnova sistema za napovedovanje zemeljskih plazov

Razvoj informacijskih sistemov je omogočil napredek pri zasnovi napovedovalnih sistemov, ki se prek vhodnih podatkov želijo čim bolj približati resničnemu stanju v naravi. Izdelani modeli z dobrim približkom so tudi bolj uporabni. Napovedovanje plazljivih območij v odvisnosti od napovedanih količin padavin je primer, ko lahko z dovolj kakovostnimi modeli opozarjamo prebivalstvo pred povečano verjetnostjo pojavljanja plazov. Eden izmed prvih tovrstnih napovedovalnih sistemov v svetu je bil razvit za območje San Francisca v Kaliforniji in je napovedoval drobirske tokove ter plazljiva območja na podlagi informacij o dejanskih količinah padavin in določenih sprožilnih količinah. V nekaterih državah po svetu opozorilni sistemi že predstavljajo del varovanja civilnega prebivalstva in prek meteoroloških napovedi padavin napovedu-



Slika 4:
Spletni pregledovalnik MASPREM.
Primer napovedi povečane verjetnosti
pojavnja plazov za 13. 9. 2014.
Figure 4:
Web application of the MASPREM
system. Example of modelling the
probability of landslide susceptibility
for 13 September 2014

jejo območja, na katerih je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov povečana (na primer Japonska, Kitajska, Nova Zelandija, Srednja Amerika, Slovenija – MASPREM, ki je trenutno operativen v testni fazi). Podobni sistemi opozarjanja pred nevarnostjo pojavljanja plazov delujejo tudi na območjih Hongkonga in Ria de Janeira v Braziliji. V evropskem prostoru razviti sistemi zgodnjega opozarjanja za primer nevarnosti proženja plazov (ILEWS, AlpEWAS, DORIS) v svoje module vključujejo podrobne geološke in morfološke podatke ter merjene podatke o premikih plazov in prek padavin, ki se merijo na posameznem opazovanem nestabilnem območju, opozarjajo o povečani nevarnosti sprožitve.

Torej določitev sistema opozarjanja pred plazovi obsega podrobno znanje o geoloških in geomorfoloških zakonitostih, podnebnih razmerah, prostorskem in časovnem razširjanju padavin, značilnostih plazov in mehanizmi proženja. Pomembno vlogo pri gradnji opozorilnega sistema imajo padavine, ki se akumulirajo in povzročajo nastanek plazov, ter kritična vrednost padavin oziroma minimalna količina padavin, ki je potrebna, da se plaz sproži. Pomembno vlogo imajo tudi napovedovalni modeli padavin in model verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov. Sistem MASPREM temelji na treh vhodnih modelih: (1) napovedovalni model padavin ALADIN-SI, ki ga pripravlja ARSO in vsak dan vstopa v model prek FTP-strežnika; (2) sprožilne količine padavin za posamezen tip kamnine in (3) model verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov [Komac in sod., 2013]. Pri tem velja, da se pri izračunavanju model ALADIN vseskozi spreminja (je dinamičen), preostala modela pa se ne spreminjata (sta statična).

Modul za prenos podatkov dvakrat na dan samodejno prenese podatke o napovedi padavin (kot glavni vhodni podatek), izdelane z modelom ALADIN-SI, na strežnik GeoZS. Prek algoritma, ki določa povezavo med napovedanimi količinami padavin, sprožilnimi količinami padavin in verjetnostjo pojavljanja plazov, se izračuna nevarnost proženja zemeljskih plazov v odvisnosti od napovedane količine padavin. Končni rezultat modela nevarnosti proženja zemeljskih plazov je iz numeričnega dela pretvorjen v opisnega in uporabniku prikazan v obliki 5-stopenjske lestvice: 1 – zelo nizka nevarnost, 2 – nizka

nevarnost, 3 – srednja nevarnost, 4 – visoka nevarnost in 5 – zelo visoka nevarnost. Rezultat je grafična ponazoritev stopenj nevarnosti proženja zemeljskih plazov v odvisnosti od napovedane količine padavin. Končni rezultat modelov se prikaže na spletni aplikaciji (slika 4) in s strežnikom MapServer prenese v informacijski sistem URSZR. V primeru povečane nevarnosti proženja zemeljskih plazov sistem še dodatno samodejno obvešča prek elektronske pošte [Komac in sod., 2013].

V okviru izdelave sistema MASPREM sta bila postavljena dva različna modela, ki simulirata verjetnost pojavljanja plazov v odvisnosti od napovedane količine padavin:

- MODEL 1: vključuje napovedane količine padavin za 24 ur naprej (ALADIN-SI), sprožilne količine padavin in model verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov;
- MODEL 2: vključuje vsoto dvodnevni predhodnih napovedanih padavin (ALADIN-SI), napovedane količine padavin za 24 ur naprej, sprožilne količine padavin in model verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov.

Preverjanje zanesljivosti sistema

Zelo pomemben del sistema za zgodnje opozarjanje za primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov je preverjanje zanesljivosti sistema oziroma ujemanje napovedanih modelov z nastalimi plazovi. Kakovost in zanesljivost posameznega modela je treba ustrezno preveriti, če želimo dobiti informacijo o tem, koliko je model zanesljiv. Bolj ko se bodo modeli približali resničnemu stanju v naravi, večja je verjetnost pravilne izdaje opozoril in vsakodnevne uporabe pri končnem uporabniku. V primeru preverjanja zanesljivosti modelov, ki opozarjajo pred verjetnostjo pojavljanja zemeljskih plazov v odvisnosti od napovedanih količin padavin, se preverja ujemanje nastalih, v resnici sproženih plazov z izračunano modelirano napovedjo verjetnosti proženja plazov.

Osnovni in najpomembnejši podatek za izvedbo uspešnega preverjanja modelov so podatki o nastalih plazovih. Pri tem imata najpomembnejšo vlogo podatka o času in lokaciji sprožitve plazov. V proces preverjanja zanesljivosti so bili vključeni podatki o zemeljskih plazovih, pridobljeni

TP		FP		FN		TN			TP		FP		FN		TN		
Datum	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	Datum	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
9. 9. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	29. 6. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
10. 10. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	10. 7. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
29. 10. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	22. 7. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
7. 11. 2013	0	0	0	0	1	1	0	0	30. 7. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
9. 11. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	7. 8. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
10. 11. 2013	0	1	0	0	1	0	0	0	9. 8. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
23. 11. 2013	1	1	0	0	0	0	0	0	13. 8. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
24. 11. 2013	0	1	0	0	1	0	0	0	20. 8. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
25. 11. 2013	0	1	0	0	1	0	0	0	23. 8. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
25. 12. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	31. 8. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
26. 12. 2013	0	0	1	1	0	0	0	0	1. 9. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
28. 12. 2013	0	1	0	0	1	0	0	0	3. 9. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
4. 1. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	4. 9. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
5. 1. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0	9. 9. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
17. 1. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0	10. 9. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
19. 1. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0	12. 9. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
30. 1. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0	13. 9. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
31. 1. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	14. 9. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
1. 2. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0	15. 9. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
2. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	16. 9. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
9. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	17. 9. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
10. 2. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0	27. 9. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
11. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	8. 10. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
13. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	13. 10. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
15. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	15. 10. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
16. 2. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	22. 10. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
17. 2. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0	5. 11. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
18. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	6. 11. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
19. 2. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	7. 11. 2014	1	1	0	0	0	0	0	0
20. 2. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0	8. 11. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
4. 3. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0	10. 11. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
22. 3. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	11. 11. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
23. 3. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	12. 11. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
9. 4. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0	13. 11. 2014	0	1	0	0	1	0	0	0
11. 5. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	14. 11. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0
2. 6. 2014	0	0	0	0	1	1	0	0	1. 12. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0
25. 6. 2014	0	0	1	1	0	0	0	0	SKUPNO	12	30	30	30	31	13	0	0

Preglednica 4: Prikaz rezultatov ujemanja nastalih plazov z modeli opozarjanja verjetnosti pojavljanja plazov glede na mogoče izide napovedi. Oznaka M1 pomeni model 1, M2 model 2, 0 pomeni, da model ne ustreza izidu, 1 pomeni, da model ustreza izidu.

Table 4: Correlation between rainfall induced landslides and prediction models for the probability of landslide susceptibility depending on landslide forecasts. Model 1 is marked by M1, model 2 by M2, value 0 means that the model does not correspond to outcome, and 1 means that the model fits the outcome.

pri URSZR ter občinah med preverjanjem zanesljivosti sistema, ki še vedno poteka. Pri analizi preverjanja zanesljivosti so bili upoštevani vsi plazovi z natančno prostorsko in časovno komponento (249 plazov), nastali v obdobju od 1. septembra 2013 do 31. decembra 2014. Stanje na dan oddaje prispevka (maj 2015) ostaja nespremenjeno. Obstaja pa verjetnost, da se je v tem obdobju zgodil plaz, ki bodisi ni bil popisani bodisi URSZR ni bila obveščena o njegovem nastanku.

Natančnost ujemanja nastalih plazov in rezultatov napovedi opozarjanja pred verjetnostjo pojava plazov smo

preverjali s kontingenčno tabelo, v kateri so pri vsakem modelu napovedi mogoče štiri rezultati:

- model napove verjetnost pojava plazov in nastali plazovi se ujemajo z razredi verjetnosti pojavljanja plazov (pravilno pozitiven izid – TP);
- model napove verjetnost pojava plazov in plazovi se ne zgodijo ali se ne ujemajo z razredi verjetnosti pojavljanja plazov (lažno pozitivni izid – FP);
- model ne napove verjetnosti pojava plazov in plazovi se zgodijo (lažno negativen izid – FN);
- model ne napove verjetnosti pojava plazov in plazovi se ne zgodijo (pravilno negativen izid – TN).

Rezultati ujemanja modelov z nastalimi plazovi so prikazani v preglednici 5, v kateri so izidi modelov ujemanja označeni z 0 (napoved modela ne ustreza izidu) in 1 (napoved modela ustreza izidu). Rezultati so prikazani za izide modelov, ko je sistem MASPREM prek e-pošte poslal obvestilo o povečani nevarnosti proženja plazov (primer TP in FP) in ko so plazovi nastali ter modeli niso napovedali povečane nevarnosti (primer FN). Modeli, ki opisujejo izide TN, niso bili upoštevani pri analizi, saj ne vplivajo na določitev zanesljivosti izdelanih modelov.

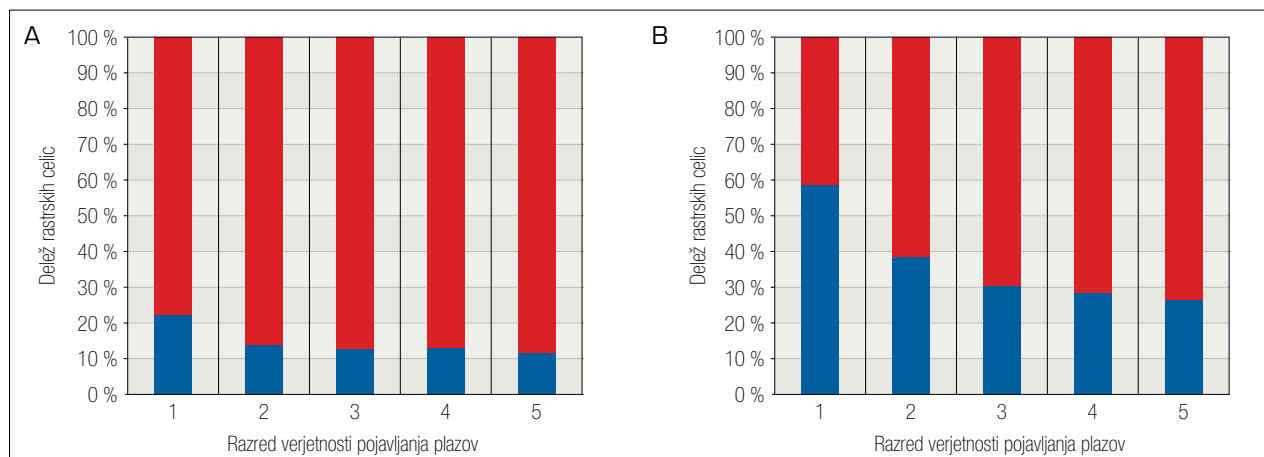
Pri ovrednotenju modelov je zelo pomembno, da so plazovi nastali na območjih, na katerih modeli opozarjanja napovedujejo večjo nevarnost. Več ko je pravilno napovedanih plazov v teh razredih, boljša je zanesljivost modela. Preglednica 5 prikazuje, da je model 2 večkrat pravilno napovedal plazove (od skupno 73 primerov 30, 41 %) kot model 1 (16 %). Model 2 ima boljše rezultate tudi pri lažnih negativnih izidih, ko povečana nevarnost ni bila izračunana, plazovi pa so se prožili. Preglednica 6 prikazuje porazdelitev nastalih plazov po razredih 5-stopenjske lestvice, dodan je tudi razred 0 za območja, na katerih naj se plazovi ne bi pojavljali in so posledica premalo natančnega popisa. Oba modela imata največ plazov v razredu 1, v katerem je zelo nizka nevarnost pojava plazov. Ujemanje plazov z razredi, v katerih je večja verjetnost pojava plazov, pa je nekoliko boljše pri modelu 2. Zelo jasno je razvidno, da je model 2 pravilno napovedal več plazov kot model 1. Razmerje med rezultati napovedi modela 1 in modela 2 je prikazano na grafikoni 5A in 5B, v katerih so deleži rastrskih celic prikazani glede na 5-stopenjsko lestvico verjetnosti pojavljanja plazov.

Za boljšo ločljivost smo ločili napovedi, pri katerih so se plazovi prožili, in napovedi, pri katerih se plazovi niso prožili. Pri obeh primerih je razvidno, da je manjše število celic značilno za model 1. Iz prikazanega sledi, da model 2 prikazuje boljše ujemanje rezultatov napovednih modelov

Razred verjetnosti proženja plazov	Število plazov	
	MODEL 1	MODEL 2
0	8	9
1	127	153
2	5	3
3	4	9
4	2	14
5	14	25
skupno	160	213

Preglednica 5: Porazdelitev števila nastalih plazov glede na 5-stopenjsko lestvico podajanja rezultatov sistema MASPREM
 Table 5: Distribution of rainfall induced landslides to the MASPREM 5-level scale

z nastalimi plazovi. Trenutno model 2 precej preprosto vključuje podatek o dvodnevni predhodni padavini in je rezultat povsem logičen, saj se pri seštevanju večdnevni padavin povečuje verjetnost ujemanja plazov z napovednimi modeli. To dejstvo nam določa, da se v modele vključita tudi podatka o infiltraciji in površinskem odtoku, ki v dosedanem modelu 2 nista upoštevana. Infiltracija je pomemben dejavnik, saj predstavlja proces pronicanja vode v tla skozi površinski sloj zemljine. V kamninah, v katerih prevladuje glinena komponenta, je infiltracija zelo majhna. Posledično je površinski odtok ali zastajanje vode na ravnih površinah večje, kar lahko povzroči nastanek plazov. Pri sedanjem izračunavanju predhodne padavine temeljijo na napovedanih, ki v veliko primerih niso odraz dejanskih padavin. Na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) že pripravljajo podatke o dnevni akumulaciji padavin (natančnost 1 km), ki bodo vsebovale natančne informacije o dejanskih padavinah. Ko bodo podatki na voljo za samodejni prenos, bodo vključeni v model 2. Vključitev teh parametrov v model bo omogočala izboljšanje napovedi modelov sistema MASPREM.



Slika 5: Porazdelitev rastrskih celic v modelih po razredih 5-stopenjske lestvice: A – primeri modelov, ko se plazovi prožijo, B – primeri modelov, ko se plazovi niso prožili. Model 1 označujejo stolpci z modro barvo, model 2 stolpci z rdečo barvo.

Figure 5: Distribution of raster cells in models relating to 5 susceptibility classes: A-examples of models when landslides are triggered, B-examples of models when landslides are not triggered. Model 1 is indicated by the blue columns, model 2 by the red columns.

Omejitve sistema za opozarjanje pred nevarnostjo proženja zemeljskih plazov

Napovedovalni sistem temelji na napovedovanju verjetnosti proženja plazov ob povečanih količinah padavin. Pri sedanjem obratovanju sistema je stopnja pravilne napovedi močno odvisna od modela ALADIN, ki je pogosto premalo prostorsko natančen, napovedana količina padavin pa podcenjena ali precenjena [Komac in sod., 2013]. Na odstopanja modelskih rezultatov vplivata tudi oba statična vhodna parametra, še posebno sprožilne količine padavin. Slednje bodo v fazi nadgradnje sistema MASPREM (projekt Nadgradnja sistema za obveščanje in opozarjanje v primeru proženja zemeljskih plazov je bil odobren maja 2015 in ga je financirala URSZR) ponovno definirane in umerjene glede na celoten sistem. Kalibracija in ujemanje zanesljivosti sta zelo pomembna, med seboj neodvisna koraka, bistvena za pravilne končne rezultate napovednih modelov. Pred izdajo obvestil sta vedno potrebni tudi ustrezna interpretacija in kritična presoja strokovnjaka, ki temeljita na poznavanju različnih vplivnih dejavnikov, kontrole vhodnih podatkov in operativnega delovanja sistema za opozarjanje pred nevarnostjo proženja plazov. Z delovanjem sistema in izboljšavami modelov ter standardiziranim popisom plazov bodo modelski rezultati predstavljali temelj za umerjanje in korekcijo opozorilnega sistema pred nevarnostjo proženja zemeljskih plazov.

Sklepne misli

Vremenskih dogodkov, ob katerih se prožijo zemeljski plazovi, ne moremo preprečiti, lahko pa se nanje pripravimo. Eden izmed načinov je tudi predstavljeni sistem zgodnjega opozarjanja pred verjetnostjo proženja zemeljskih plazov. Sistem MASPREM prikazuje enostaven model opozarjanja na povečano verjetnost pojavljanja plazov. Trenutno je operativen v poskusni fazi, v kateri se izvajata preverjanje zanesljivosti in ujemanje napovedovalnih modelov z nastalimi plazovi. Hkrati se pripravljata tudi obrazec za enoten popis zemeljskih plazov, na podlagi katerega se bo začelo centralno zbiranje podatkov o nastalih plazovih. Obrazec bo določal obvezna polja vnosa podatkov, na primer lokacije in časa sprožitve, ki so pogoj za preverjanje zanesljivosti in izboljšanje modelov za proženje plazov ob napovedanih količinah padavin. Za doseganje boljše zanesljivosti napovedovalnih modelov bodo prihodnji cilji usmerjeni v nadgradnjo delovanja sistema z glavnimi poudarki na: (1) rednem, standardiziranem pridobivanju podatkov o plazovih; (2) vključitvi infiltracije in površinskega odtoka; (3) umerjanju vhodnih modelskih podatkov; (4) vključitvi kratkoročne vremenske napovedi (INCA); (5) vključitvi akumulacijskih dnevnih padavin; (6) vpeljavi hkratnega računanja za več padavinskih scenarijev večkrat na dan in (7) višji stopnji avtomatizacije procesov pri opozarjanju na povečano verjetnost plazov.

Viri in literatura

1. ARSO [Državna meteorološka služba], 2015. Rekordno toplo in izjemno namočeno leto 2014. Oddelek za klimatologijo. http://meteo.arslo.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/leto-2014.pdf.
2. Bavec, M., Rižnar, I., Čarman, M., Jež, J., Krivic, M., Kumelj, Š., Požar, M., Komac, M., Šinigoj, J., Jurkovšek, B., Trajanova, M., Poljak, M., Celarc, B., Demšar, M., Milanič, B., Mahne, M., Otrin, J., Čertalič, S., Štih, J., Hrvatina, M., 2012. GH-14 – Izdelava prostorske baze podatkov in spletnega informacijskega sistema geološko pogojenih nevarnosti zaradi procesov pobočnega premikanja, erozijskih kart ter kart snežnih plazov. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
3. Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, DMVO125, 2001.
4. Irvin, B. J., Ventura, S. J. & Slater B.K., 1995. Landform Classification for Soil-Handscape Studies. Annual ESRI User Conference.
5. 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, Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
6. Komac, M., 2005. Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov, Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 52–79.
7. Komac, M., Ribičič, M., 2005. Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000, Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
8. 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). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
9. Komac, M., Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Čarman, M., Krivic, M., 2013. Landslide hazard forecast in Slovenia - MASPREM. V: 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region with the 3rd Workshop of the Croatian-Japanese Project Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia, Zagreb, Croatia from March 6th to 9th. 2013.
10. Mihalić Arbanas, S. (ur.), Arbanas, Ž. (ur.), 2014. Landslide and flood hazard assessment. Zagreb: Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering of the University of Zagreb; Rijeka, 225–230.
11. Ribičič, M., 1998. Baza plazov – interno poročilo. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
12. Ribičič, M., Kumelj, Š., Svetličič, S., Popović, Z., 2015. Popisni obrazec za plazove in erozijo – končni osnutek, april 2015. Ljubljana, Arhiv GeoZS.
13. Zorn, M., Komac, B., 2008. Zemeljski plazovi v Sloveniji. Ljubljana, Založba ZRC SAZU, 152–153.