
VREDNOTENJE SISTEMA MASPREM PO PETIH LETIH TESTNEGA DELOVANJA: IZBOLJŠAVE IN PRIHODNJE NALOGE

EVALUATION OF THE MASPREM SYSTEM AFTER FIVE YEARS OF TESTING OPERATIONS: IMPROVEMENTS AND FUTURE TASKS

Mateja Jemec Auflič

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

Jasna Šinigoj

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

Povzetek

Sistem MASPREM za napovedovanje verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov v realnem času oziroma v bližnjih 24 urah v odvisnosti od napovedanih padavin izračunava napovedi od septembra 2013. Po petih letih testnega delovanja je bila v projektu MASPREM 3 opravljena celovita analiza verifikacije ujemanja napovedi različnih modelov MASPREM z nastalimi zemeljskimi plazovi. Pri analizi smo upoštevali pet različnih modelov v različnih časovnih obdobjih, ki se med seboj razlikujejo po sprožilnih količinah padavin, napovedih padavin in predhodnih padavinah. V članku podajamo oceno uspešnosti napovedovanja zemeljskih plazov v realnem času v odvisnosti od napovedanih padavin in prihodnje izzive.

Abstract

The Slovenian national landslide prediction system, MASPREM, was launched in September 2013. The MASPREM system forecasts landslide probability twice a day for 24 hours ahead based on a landslide susceptibility map, statistically defined rainfall threshold values, and rainfall forecast models. After five years of testing, the MASPREM 3 project carried out a comprehensive analysis of the verification of matching forecasts of various MASPREM models with the landslides that actually occurred. We considered five different models at different time periods, which vary according to rainfall thresholds, rainfall model predictions, and the inclusion of antecedent rainfall. This article presents the assessment of the success of landslide forecasting in real time, depending on the predicted rainfall models, and future challenges.

Uvod

Na začetku 20. stoletja se je s širjenjem poselitve in razvojem različnih dejavnosti povečalo poseljevanje manj primernih območij, neugodnih z vidika pojavljanja zemeljskih plazov (Gams, 1956; Zorn in Komac, 2005; Zorn in Komac, 2008). Sprva je bilo varstvo pred zemeljskimi plazovi usmerjeno predvsem v preprečevanje njihovega nastanka in izvajanje zaščitnih ukrepov na izpostavljenih območjih (Mikoš in sod., 2004). Izkazalo se je, da se plazovom ne da izogniti samo z ukrepi varovanja, temveč je pri obvladovanju tveganj treba upoštevati tudi preventivne ukrepe. Osnova preventivnega delovanja je dobro poznavanje pojavov plazanja in dejavnikov, ki vplivajo na njihovo sprožitve, zato so se številne študije usmerile v izdelavo različnih opozorilnih zemljevidov verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, ocen tveganja in stopenj nevarnosti (Soeters in van Westen, 1996; Bavec in sod., 2005; Komac in Ribičič, 2008). Manjše, plitve in počasi premikajoče zemeljske plazove je nekoliko lažje

predvideti in obvladovati. Mnogo bolj nevarni so plazovi z visokimi hitrostmi, z dolgim dosegom in širokim razširjanjem, saj se pojavijo hipno, brez predhodnih znakov razpok, zato ni prav veliko možnosti, da bi se pred njimi umaknili.

Po podatkih Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje (v nadaljnjem besedilu: URSZR) in Geološkega zavoda Slovenije (v nadaljnjem besedilu: GeoZS) se je v Sloveniji v preteklih desetletjih sprožilo več kot 10.000 zemeljskih plazov. Večinoma so bili plitvi preperinski plazovi, usadi in zdrsi zemljin manjših razsežnosti, prostornine od nekaj 10 do nekaj 100 m³, ki so povzročili škodo na objektih, infrastrukturi ter kmetijskih zemljiščih (Jemec Auflič in sod., 2016).

Posledice teh dogodkov je mogoče ublažiti in tudi preprečiti s sistemom zgodnjega opozarjanja na verjetnost proženja zemeljskih plazov. V nekaterih državah po svetu so opozorilni sistemi že del varovanja civil-

nega prebivalstva in prek meteoroloških napovedi padavin napovedujejo območja, kjer je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov povečana (Japonska, Kitajska, Tajvan, Nova Zelandija, Srednja Amerika) (Allasia in sod., 2013; Osanai in sod., 2010; Mercogliano in sod., 2010; Thiebes, 2012). Podobni sistemi opozarjanja pred nevarnostjo pojavljanja plazov delujejo tudi na območjih Hong Kong in Rio de Janeiro v Braziliji. V evropskem prostoru razviti sistemi zgodnjega opozarjanja na morebitne nevarnosti proženja plazov (ILEWS, AlpEWAS, DORIS) v svoje module zajemajo podrobne geološke in morfološke podatke ter merjene podatke o premikih plazov in prek padavin, ki se merijo na posameznem opazovanem nestabilnem območju, opozarjajo na povečano nevarnost sprožitve.

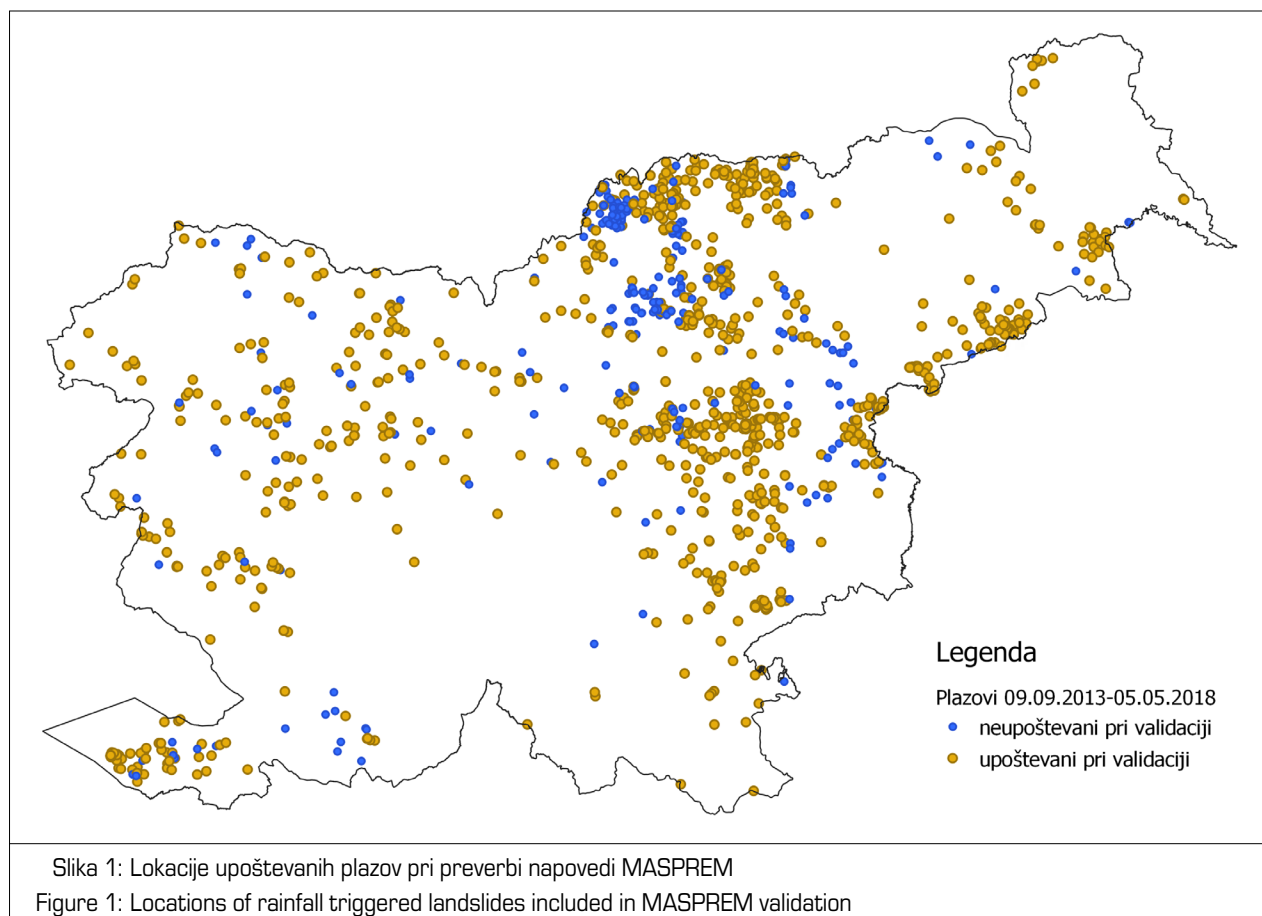
Po naročilu URSZR smo v Sloveniji začeli izvajati pilotni projekt MASPREM leta 2011 (Komac in sod., 2013a; Komac in sod., 2013b; Komac in sod., 2014, Jemec Auflič in sod., 2015, Jemec Auflič in sod., 2016) z namenom izdelave dinamičnega modela, ki prek javno dostopnega programa na strežniku (oziroma prek spletne aplikacije) napoveduje območja, ki so ob povečanih količinah padavin izpostavljena verjetnosti proženja zemeljskih plazov. Med izvajanjem projekta so se porajale zamisli o izboljšavi tako na sistemski kot vsebinski ravni. Leta 2015 smo začeli izvajati še projekt MASPREM 2 (Šinigoj in sod., 2016), ki se je osredotočil na pripravo popisnega obrazca za zemeljske plazove, saj so natančni podatki o nastalih zemeljskih plazovih nujni

za uspešno preverjanje izračunanih napovedi. V projektu MASPREM 3, ki je potekal v letih 2017 in 2018 (Šinigoj in sod., 2018; Jemec Auflič in sod., 2017; Jemec Auflič in Šinigoj, 2019), smo se osredotočili na nadgradnjo spletnega programa e-Plaz (Šinigoj in sod., 2018), ki je namenjen osrednjemu, centralnemu zbiranju podatkov o pojavih plazenj in pridobitvi enotne evidence podatkov o plazenju tal (spletni dostop na <https://www.e-plaz.si/>), in modela za 14 občin, na analizo različnih napovedi vhodnih podatkov ter na izdelavo »nadzornega sistema«, ki omogoča pregled in primerjavo dnevni napovedi ter s tem izboljšuje možnost pravilne izdaje opozoril (Šinigoj in sod., 2018). Opravljena je bila tudi celovita analiza verifikacije različnih modelov MASPREM in podana ocena uspešnosti napovednih (Šinigoj in sod., 2018; Jemec Auflič in Šinigoj, 2019).

V članku podajamo oceno uspešnosti napovedovanja zemeljskih plazov v realnem času v odvisnosti od napovedanih padavin in prihodnje izzive.

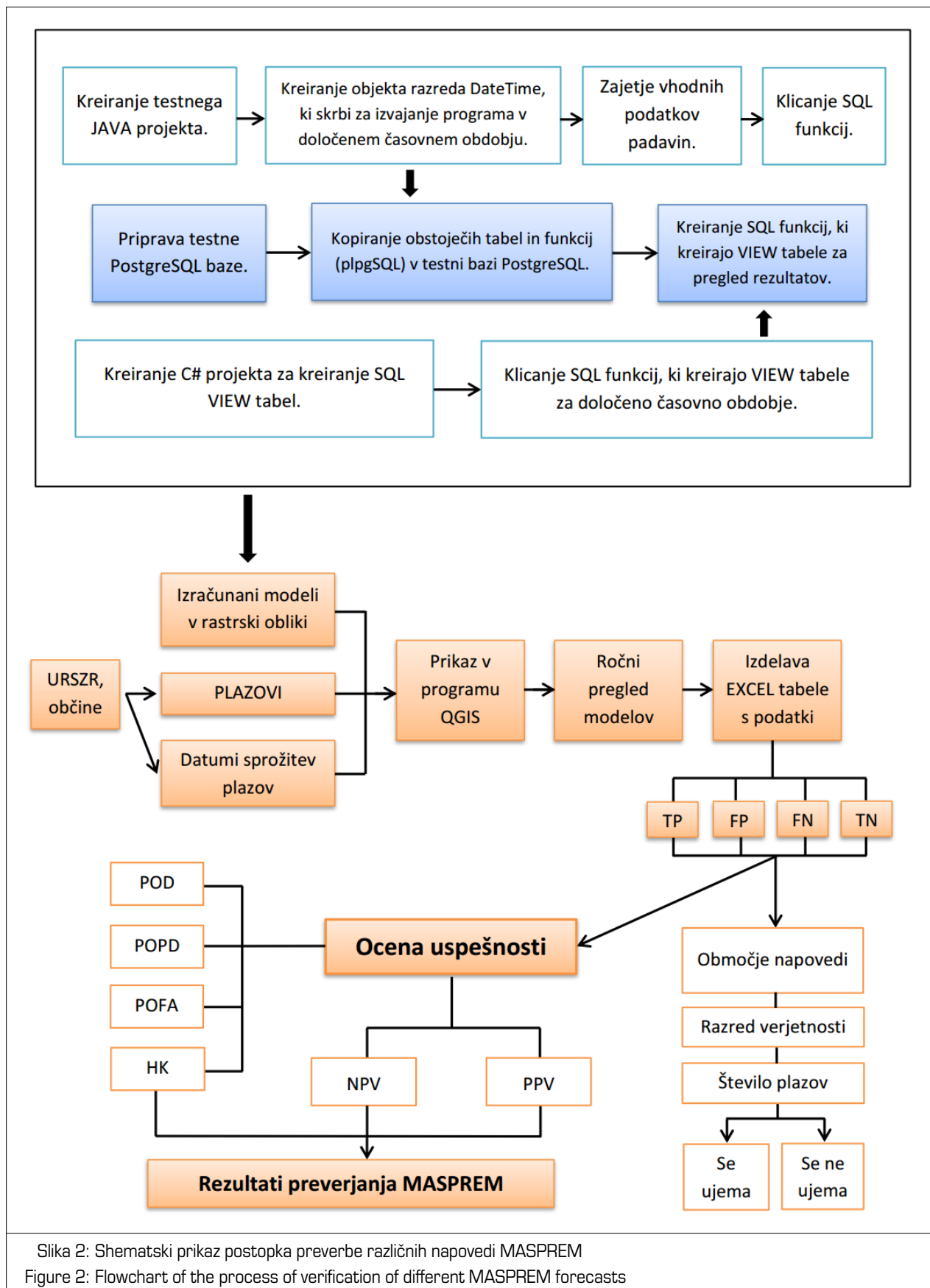
Metodologija

Zelo pomemben del sistema za zgodnje opozarjanje glede nevarnosti proženja zemeljskih plazov je preverjanje zanesljivosti sistema oziroma ujemanje napovedi z nastalimi zemeljskimi plazovi. Kakovost in zanesljivost posameznega modela je treba ustrezno preveriti, če želimo dobiti informacijo o tem, koliko je napoved



zanesljiva. Bolj ko se bodo napovedi približale resničnemu stanju v naravi, večja je verjetnost pravilne izdaje opozoril. Ob preverjanju zanesljivosti napovedi, ki opozarjajo na verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov v odvi-

snosti od napovedanih količin padavin, ugotavljamo ujemanje nastalih, dejansko sproženih plazov z izračunano (modelirano) napovedjo proženja (Jemec Auflič in sod., 2015, Jemec Auflič in sod., 2016).



Slika 2: Shematski prikaz postopka preverbe različnih napovedi MASPREM
 Figure 2: Flowchart of the process of verification of different MASPREM forecasts

Osnovni in najpomembnejši podatek za izvedbo uspešnega preverjanja napovedi so podatki o nastalih zemeljskih plazovih. Pri tem imata najpomembnejšo vlogo podatka o času in lokaciji sprožitve plazu. V proces preverjanja zanesljivosti so bili zajeti podatki o zemeljskih plazovih, pridobljeni pri URSZR, SPIN (Sistem za poročanje o intervencijah in nesrečah, URSZR) ter občinah. V obdobju testnega delovanja sistema MASPREM je bilo zabeleženih 1287 zemeljskih plazov. Pri preverbi so bili upoštevani vsi plazovi z natančno določenim krajem in časom, ki so se sprožili v obdobju od 9. septembra 2013 do 5. maja 2018 (976 plazov, slika 1). Tristo enajst (311) plazov pri analizi ni bilo upoštevanih, ker sistem MASPREM ni izračunal napovedi za dan, ko se je plaz sprožil. Razlogi za to so bili: a) izpad zagona sistema za izračun, b) nepravilnosti pri datotekah ALADIN [računska napoved meteorološkega modela ALADIN/SI, mednarodni model nad omejenim območjem z metodo dinamičnega prilagajanja] in INCA [kratkoročna vremenska napoved] ali c) težave s samodejnim zagonom sistema. Validacija se je izvajala po korakih, ki so prikazani na sliki 2 (Šinigoj in sod., 2018).

Natančnost ujemanja nastalih zemeljskih plazov in rezultatov napovedi opozarjanja na verjetnost njihovega pojavljanja smo preverjali s kontingenčno tabelo (preglednica 1), v kateri so pri vsaki napovedi mogoči štiri rezultati: **TP** – napovedane padavine

		Pojava plazov		
		DA	NE	
MASPREM napovedi modelov	DA	TP	FP	(TP + FP)
	NE	FN	TN	(FN + TN)
		(TP + FN)	(FP + TN)	

Preglednica 1: Kontingenčna tabela s štirimi možnimi izidi napovedi. Pomen oznak: TP – napovedane padavine presežejo sprožilne količine padavin in vsaj en plaz se je sprožil oziroma je bil zabeležen; FP – napovedane padavine presežejo sprožilne količine padavin in plaz se ni sprožil oziroma ni bil zabeležen; FN – napovedane padavine ne presežejo sprožilnih količin padavin in vsaj en plaz se je sprožil oziroma je bil zabeležen; TN – napovedane padavine ne presežejo sprožilnih količin padavin in plaz se ni sprožil oziroma ni bil zabeležen.

Table 1: Contingency matrix with four possible results. Abbreviations: TP – true positives (correct predictions); FP – false positives (false predictions); FN – false negatives (missed predictions), TN – true negatives.

Vrednosti za oceno uspešnosti napovedi MASPREM	Formula	Razpon	Optimalne vrednosti
Pravilno napovedana verjetnost pojavljanja plazov	$POD = \frac{TP}{TP + FN}$	[0, 1]	1
Napačno napovedana verjetnost pojavljanja plazov (lažne napovedi)	$POFD = \frac{FP}{FP + TN}$	[0, 1]	0
Razmerje med pravilnimi in nepravilnimi napovedmi modelov	$POFA = \frac{FP}{TP + FP}$	[0, 1]	1
Vrednost Hanssen in Kuipers (HK, 1965) – (razmerje med pravilnimi napovedmi za dogodke z in brez plazov)	$H = \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) - \left(\frac{FP}{FP + TN} \right)$	[-1, 1]	1
Verjetnost pravilno napovedanih plazov, ko sprožilne količine padavin presežejo mejne vrednosti padavin	$PPV = \frac{TP}{TP + FP}$	[0, 1]	1
Natančnost napovedi, ko sprožilne količine padavin niso presežene in se plaz ne sproži	$NPV = \frac{TN}{FN + TN}$	[0, 1]	1
<p>Preglednica 2: Merila uspešnosti napovedi MASPREM, izračunanih na podlagi kontingenčne tabele. Vrednosti 0 pomenijo najmanjše ujemanje in vrednosti 1 največje ujemanje pri ocenah uspešnosti POD, POFA, PPV in NPV. Pri POFD vrednost 0 pomeni najboljši rezultat in vrednost 1 najslabši rezultat.</p> <p>Table 2: Criterion for MASPREM forecast evaluation, defined on a contingency matrix.</p>			

presežejo sprožilne količine padavin in vsaj en plaz se je sprožil oziroma je bil zabeležen; **FP** – napovedane padavine presežejo sprožilne količine padavin in plaz se ni sprožil oziroma ni bil zabeležen; **FN** – napovedane padavine ne presežejo sprožilnih količin padavin in vsaj en plaz se je sprožil oziroma je bil zabeležen; **TN** – napovedane padavine ne presežejo sprožilnih količin padavin in plaz se ni sprožil oziroma ni bil zabeležen. Vrednosti TP in TN sta odvisni od popolnosti podatkovne zbirke o plazovih in od zanesljivosti napovedi padavin. Najbolj pogosto imamo pri nizkih sprožilnih vrednostih padavin visoke vrednosti TP in pri višjih sprožilnih padavinah višje vrednosti TN. Pri MASPREM število FP pomeni lažne napovedi in FN zgrešene napovedi. Merila uspešnosti napovedi MASPREM, izračunane na podlagi kontingenčne tabele, so prikazane v preglednici 2.

Uporabljeni podatki

Sistem MASPREM je testno začel delovati septembra 2013. V tem času so bili vpeljeni tudi različni modeli, ki se med seboj razlikujejo po sprožilnih količinah padavin (spodaj so označene kot sprožilne količine 1: statistično določene in kot sprožilne količine 2: statistično določene in strokovno popravljene), napovedih padavin in predhodnih padavin. Pri preverbi so bili upoštevani naslednji modeli:

- Model 1: Verjetnost pojavljanja plazov + SPROŽILNE KOLIČINE 1 (SPR. KOL. 1) + NAPOVED ALADIN ZA NASLEDNJIH 24 UR
- Model 2: Verjetnost pojavljanja plazov + SPR. KOL. 1 + 48-URNE PREDHODNE PADAVINE ALADIN + NAPOVED ALADIN ZA NASLEDNJIH 24 UR
- Model 3: Verjetnost pojavljanja plazov + SPROŽILNE KOLIČINE 2 (SPR. KOL. 2) + 48-URNE PREDHODNE PADAVINE ALADIN + NAPOVED ALADIN ZA NASLEDNJIH 24 UR
- Model 4: Verjetnost pojavljanja plazov + SPR. KOL. 1 + 48-URNE PREDHODNE PADAVINE INCA + NAPOVED ALADIN ZA NASLEDNJIH 24 UR
- Model 5: Verjetnost pojavljanja plazov + SPR. KOL. 2 + 48-URNE PREDHODNE PADAVINE INCA + NAPOVED ALADIN ZA NASLEDNJIH 24 UR

Rezultati

Pri analizi smo upoštevali pet različnih modelov (preglednica 3), ki se med seboj razlikujejo po sprožilnih količinah padavin, napovedih padavin in predhodnih padavinah.

Model 1 je bil izdelan prvi in neprekinjeno deluje od septembra 2013. V svojih izračunih ne upošteva predhodnih padavin. Modela 2 in 3 v izračunih upoštevata dvodnevne predhodne padavine modelskih napovedi ALADIN in izračunavata napovedi od januarja 2014. Med seboj se razlikujeta po vrednostih sprožilnih količin

Ime modela	Začetek	Konec	Število modelov
MODEL 1	9. 9. 2013	16. 4. 2018	2815
MODEL 2	3. 1. 2014	24. 4. 2018	2362
MODEL 3	3. 1. 2014	24. 4. 2018	2362
MODEL 4	1. 1. 2017	5. 5. 2018	926
MODEL 5	1. 1. 2017	5. 5. 2018	929

Preglednica 3: Prikaz modelov MASPREM glede na upoštevano obdobje preverbe in število izračunanih napovedi

Table 3: Overview of MASPREM models referring to the validation period and number of calculated forecasts.

padavin. Modela 4 in 5 vključujeta dvodnevne predhodne padavine modelskih napovedi INCA in izračunavata napovedi od januarja 2017. Med seboj se razlikujeta po vrednostih sprožilnih količin padavin.

Pravilne napovedi verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov so bile največkrat izračunane pri modelih 4 in 5, ki sta v 53 % izračunala povečano verjetnost pojava plazu (preglednica 4). Pri modelu 3 je ta verjetnost 48-%, pri modelu 2 42-% in pri modelu 1 11-%. Rezultat odseva dejstvo, da so analize vplivnih predhodnih dni pred pojavom plazu pokazale, da upoštevanje dvodnevni predhodni padavin značilno vpliva na pojav plazenja. Upoštevanje dvodnevni padavin v modelih napovedi verjetnosti pojavljanja plazov izboljša pravilnost napovedi. Največ pravilnih napovedi sta podala modela, kjer so predhodne padavine zajete v obliki modelske napovedi INCA (podatki s klasičnih in samodejnih meteoroloških postaj, radarski in satelitski podatki in še drugi razpoložljivi podatki zunaj državne meteorološke mreže).

V primerjavi z vsemi petimi modeli ima model 1 največ zgrešenih napovedi, pri katerih sprožilne količine padavin niso presežene, plaz pa se je sprožil. Razloga za to sta bodisi previsoke sprožilne količine padavin ali pa prenizke modelske napovedi padavin, ki so ob upoštevanju predhodnih padavin znatno višje. Odstotek zgrešenih napovedi se je zmanjšal z upoštevanjem predhodnih padavin in z znižanjem sprožilnih količin padavin, pri čemer pa se je povečal odstotek napačnih napovedi.

Lažne napovedi povečane verjetnosti pojavljanja plazov, to je takrat, ko napovedane modelske napovedi padavin presegajo vrednosti sprožilnih količin padavin in se plaz ne zgodi, je bilo najmanj pri modelu 1 (2 % ali 42 primerov v obdobju od septembra 2013 do maja 2018) in največ pri modelih 4 in 5, to je 10 % ali 79 primerov v obdobju od januarja 2017 do maja 2018. To je posledica upoštevanja kumulativne vsote dvodnevni predhodni padavin, ki pogosteje preseže padavinske vrednosti modelskih napovedi ALADIN.

Analiza ujemanja zemeljskih plazov z območji povečane verjetnosti njihovega pojavljanja pokaže, da se nastali

		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
POD	Pravilno napovedana verjetnost pojavljanja plazov	0,11	0,42	0,48	0,53	0,53
POFD	Napačno napovedana verjetnost pojavljanja plazov (lažne napovedi)	0,02	0,09	0,09	0,10	0,10
POFA	Razmerje med pravilnimi in nepravilnimi napovedmi modelov	0,35	0,48	0,45	0,53	0,53
HK	Vrednost Hanssen in Kuipers (1965, HK – (razmerje med pravilnimi napovedmi za dogodke z in brez plazov)	0,10	0,34	0,38	0,43	0,43
PPV	Verjetnost pravilno napovedanih plazov, ko sprožilne količine padavin presežejo mejne vrednosti	0,65	0,52	0,55	0,47	0,47
NPV	Natančnost napovedi, ko sprožilne količine padavin niso presežene in se plaz ne sproži	0,80	0,88	0,88	0,92	0,92

Preglednica 4: Rezultati preverbe uspešnosti modelov MASPREM. Pomen oznak: POD – pravilno napovedana verjetnost pojavljanja plazov; POFD – napačno napovedana verjetnost pojavljanja plazov (lažne napovedi); POFA – razmerje med pravilnimi in nepravilnimi napovedmi modelov; HK – vrednost Hanssen in Kuipers (1965); PPV – verjetnost pravilno napovedanih plazov, ko sprožilne količine padavin presežejo mejne vrednosti; NPV – natančnost modelov, ko sprožilne količine padavin niso presežene in se plaz ne sproži.

Table 4: Results of the MASPREM validation. Abbreviations: POD –Probability Of Detection, POFD – Probability Of False Detection, also known as False Alarm Rate, POFA –Probability Of False Alarm, HK – The Hanssen and Kuipers (1965) skill score, PPV – Positive Predictive Value, NPV – Negative Predictive Value.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Nastali plazovi se ujemajo z območji napovedi MASPREM	30	104	121	34	35
Nastali plazovi se ne ujemajo z območji napovedi MASPREM	63	130	149	46	43
Število pravih napovedi modelov MASPREM	77	182	219	71	71

Preglednica 5: Prikaz števila plazov, ki so jih modeli MASPREM pravilno napovedali.

Table 5: The number of landslides which MASPREM models correctly predicted

plazovi pri modelih 2 in 3 v več kot 50 % ujemajo z razredi verjetnosti pojavljanja plazov, medtem ko je najmanjše ujemanje pri modelu 1 (preglednica 5). To pomeni, da smo z upoštevanjem predhodnih padavin in vpeljavo sprožilnih količin padavin, ki so bile strokovno popravljene glede na zbrane podatke o zemeljskih plazovih in podatkih padavin iz padavinskih postaj (Šinigoj in sod., 2016), izboljšali tudi lokacijsko natančnost napovedi. Neujemanje plazov z razredi verjetnosti pojavljanja plazov je najvišje pri modelu 1, medtem ko je najnižje pri modelu 5. Pri tem velja, da se plazovi enega padavinskega dogodka pojavljajo razpršeno in njihove lokacije niso izključno na območjih napovedi MASPREM.

Sklepne misli

Stopnja zaupanja v modele po končani preverbi se je v petih letih izboljšala z 11 % pri začetnem modelu 1 na 53 % pri modelih 4 in 5. Prikazana uspešnost modelov MASPREM je predvsem odvisna od števila pravih zabeleženih plazov, modelskih napovedi ALDIN in INCA ter sprožilnih količin padavin.

Kljub zadovoljivi stopnji pravih napovedi nekaterih modelov (modela 4 in 5 imata 53-% zanesljivost) bo nadaljnji razvoj usmerjen predvsem v zmanjševanje napačnih in zgrešenih napovedi verjetnosti pojavljanja

plazov (povezano s sprožilnimi količinami padavin) ter izdelavi modelov na krajevni ravni z vključevanjem krajevnih hidrogeoloških in geoloških značilnosti območja. Prav tako je eden ključnih ciljev nadaljevanje zbiranja podatkov o sproženih plazovih. V predstavljenem prispevku je razvoj spletnega programa e-Plaz, dostopnega prek spletne strani <https://www.e-plaz.si/> (Šinigoj in sod., 2018), zelo pripomogel k večjemu naboru plazov, uporabnih pri preverbi.

Ob opaznem napredku uspešnosti napovedovanja verjetnosti pojavljanja plazov je morda čas, da preidemo iz testne uporabe sistema MASPREM v operativno rabo. Pred tem pa je treba še vzpostaviti protokol ustreznih ukrepov ob povečani verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov ter nadaljevati z analizami umerjanja (kalibracije) vhodnih parametrov (predvsem sprožilnih količin padavin, na katerih modelske napovedi pa GeoZS nima neposrednega vpliva), kar bo pripomoglo k izboljšavi modelov.

Zahvala

Avtorji se zahvalujemo URSZR za financiranje projektov MASPREM, Agenciji Republike Slovenije za okolje za zagotavljanje podatkov ALADIN-SI in INCA ter občinam in izpostavam URSZR za poslane podatke o nastalih plazovih.

Viri in literatura

1. Allasia, P., Manconi, A., Giordan, D., Baldo, M., Lollino, G., 2013. ADVICE: A New Approach for Near-Real-Time Monitoring of Surface Displacements in Landslide Hazard Scenarios. *Sensors* 13/7: 8285-8302.
2. Bavec, M., Budkovič, T., Komac, M., 2005. Geohazard – geološko pogojena nevarnost zaradi procesov pobočnega premikanja. Primer občine Bovec. *Geologija* 48 (2): 303–310.
3. Gams, I., 1956. Zemljepisno izrazje: usad – podor – kameniti plaz – soliflukcija – kraški udor in še kaj. *Geografski obzornik* 3–1. Ljubljana.
4. Jemec Auflič, M., Kumelj, Š., Prkič, N., Šinigoj, J., 2015. Zbiranje podatkov o zemeljskih plazovih in zanesljivost napovedovanja njihovega proženja. *Ujma* 29, 363–370.
5. Jemec Auflič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Podboj, M., Peternel, T., Komac, M., 2016. Landslide prediction system for rainfall induced landslides in Slovenia (Masprem). *Geologija*, 2016, 59/2, 259–271, doi: 10.5474/geologija.2016.016.
6. Jemec Auflič, M., Šinigoj, J., 2019. Validation of the Slovenian national landslide forecast system using contingency matrices. V: *European Geosciences Union, General Assembly 2019, Vienna, Austria, 7-12 April 2019, (Geophysical research abstracts)*. München: European Geosciences Union.
7. Jemec Auflič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., 2017. Challenges for operational forecasting of rainfall-induced landslides in Slovenia. V: *JEMEC AUFLIČ, Mateja [ur.], MIKOŠ, Matjaž [ur.], VERBOVŠEK, Timotej [ur.]. Advances in landslide research : proceedings of the 3rd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic Balkan Region, 11–13 October 2017, Ljubljana, Slovenia*. Ljubljana: Geological Survey of Slovenia. 2018, 71–75.
8. Komac, M., Ribičič, M., 2008. Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji 1 : 250.000 = Landslide susceptibility map of Slovenia 1 : 250.000. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije = Geological Survey of Slovenia.
9. Komac, M., Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., 2014. A national warning system for rainfall-induced landslides in Slovenia. V: *Sassa, K., Canuti, P. & Yin, Y. (eds.): Landslide science for a safer geoenvironment, 2, Methods of landslide studies*, 577–582.
10. 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., 2013a. 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.
11. Komac, M., Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Čarman, M., Krivic, M., 2013b. Landslide hazard forecast in Slovenia – MASPREM. In: *Mihalič Arbanas, S. & Arbanas, Ž. (eds.): Landslide and flood hazard assessment, 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: 223–225*.
12. Mercogliano, P., Schiano, P., Picarelli, L., Olivares, L., Catani, F., Tofani, V., Segoni, S., Rossi, G., 2010. Short term weather forecasting for shallow landslide prediction. *Int. Conf. Mountain Risks: Bringing Science to Society: 525–530*.
13. Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M., 2004. Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji. *Acta hydrotechnica*, 113–133.
14. Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S. & Noro, T., 2010. Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network. *Landslides*, 7/3: 325–338, doi:10.1007/s10346-010-0229-5.
15. Soeters R., Van Westen C. J., 1996. Slope instability, recognition, analysis, and zonation. V: *Turner A. K., Schuster R. L. (ed.). Landslides investigation and mitigation, Transport Research board, National Research Council. Special Report 247: 129–177*.
16. Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Krivic, M., Kumelj, Š., Peternel, T., Vegan, J., Zakrajšek, M., Požar, N., Podboj, M., Šinigoj, M., Jordanova G., 2018. Nadgradnja sistema za obveščanje in opozarjanje v primeru proženja zemeljskih plazov v RS [MASPREM 3] – končno poročilo. Geološki zavod Slovenije.
17. Šinigoj, J., Jemec Auflič, M., Kumelj, Š., Krivic, M., Podboj, M., Ponjavič, G., Peternel, T., Prkič Požar, N., Tukič, M., Požar, M., Zakrajšek, M., 2016. Nadgradnja sistema za obveščanje in opozarjanje v primeru proženja zemeljskih plazov – Masprem 2 – končno poročilo. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 2016. 113 str., 3 pril.
18. Thiebes, B., 2012. *Landslide Analysis and Early Warning Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 35–54.
19. Zorn, M., Komac, B., 2008. Zemeljski plazovi v Sloveniji, [Georitem, 8]. Ljubljana, Založba ZRC, 2008. 159 str.
20. Zorn, M., Komac, B., 2005. Erozijski prsti na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji. *Ujma* 19, 163–174.