

PLAZOVI IN PODORI KOT POSLEDICA POTRESOV

Earthquake-triggered Landslides and Rockfalls

Mihael Ribičič*, Renato Vidrih**

UDK 550.34:551.3(497.4)

Povzetek

Nekateri močnejši potresi, ki so v preteklosti nastali na naših tleh, so povzročili tudi nastanek zemeljskih plazov, podorov in sorodnih pojavov. Za sprožitev nestabilnega pojava so poleg intenzitete potresa pomembne predvsem inženirsko geološke lastnosti terena in njegove morfološke značilnosti. Za oceno tveganja stabilnosti v Sloveniji zaradi močnejših potresov smo združili tri karte: potresno karto Slovenije za povratno dobo potresov 500 let (predpisana v gradbeništvu), inženirsko geološko karto in karto nagibov pobočij. Karte smo prevedli v digitalno obliko in spremenili v rastrsko obliko s celicami velikosti 100 x 100 m. Največje tveganje za nastanek zemeljskih plazov zaradi močnejših potresov je v okolici Krško-Brežiškega polja in Kozjanskega, pa tudi na Idrijskem in Tolminskem. Največje tveganje za nastanek podorov na hribovitih predelih je v Julijskih Alpah, predvsem v dolini Soče in Karavankah, pa tudi v Trnovskem gozdu, na Hrušici in Nanosu. Zadnji močan potres v Sloveniji, ki je bil 12. aprila 1998 v Gornjem Posočju, je dokazal, da se karte tveganja nastanka plazov in podorov zaradi potresov ujemajo z dogajanjem v naravi.

Abstract

In the past, some of the strongest earthquakes in Slovenia triggered landslides, rock fall and similar phenomena. The most important long-lasting factors which provoke such instability phenomena are poor engineering, geological properties, and the morphological characteristics of a specific location. One of the short - lasting factors that may trigger a landslide or rock fall is an earthquake. This paper attempts to answer the question of the risk of earthquake-triggered instability occurrences in the territory of Slovenia. Using GIS technology, we have joined three information layers (maps) - a seismic map (return period of 500 years), an engineering geology map and a digital relief model. The result is a general assessment of land stability - the risk of landslides and rock fall.

The occurrences after the last strong earthquake in Slovenia in April 1998 were in good agreement with the predictions obtained using the modelling technique.

Potresi v Sloveniji

Ozemlje Slovenije uvrščamo med potresno dejavnejša območja na južnem robu evropske celinske plošče. To dokazujejo številni potresi, ki so v preteklosti nastali na naših tleh, in potresi, ki vsako leto zatresejo naše kraje. Med več sto potresi, ki vsako leto nastanejo pri nas, je nekaj deset takih, ki jih čutijo prebivalci posameznih območij Slovenije. Nekateri močnejši potresi v preteklosti so povzročili tudi nastanek zemeljskih plazov in podorov. Najpomembnejši med njimi je potres na območju Beljaka leta 1348, ki sicer ni nastal neposredno na naših tleh, je vendar tudi pri nas povzročil pravo razdejanje. Ob njem se je porušil del gore Dobrač. Ob idrijskem potresu leta 1511 so na več mestih podori zasuli reko Idrijco. Leta 1895 je potres na območju Ljubljane povzročil nastanek manjših usadov in plazov. Podobno je bilo tudi ob potresih na Kozjanskem leta 1974. Litijski potres leta 1963 je sprožil le nekaj manjših podorov v kamnolomih. Ob potresnih sunkih leta 1976 z žarišči v Furlaniji so nastali številni plazovi predvsem na italijanski strani, pri nas pa manjši usadi in posamezna plazenja. Ob pisanju članka je 12. aprila 1998 nastal potres v Gornjem Posočju, ki je sprožil več kot 50 skalnatih podorov in oživel tudi nekatera plazišča. Pojavi, ki so nastali ob tem potresu, bodo obravnavani v posebnem članku.

Kratek opis najpomembnejših potresov

Beljaški potres leta 1348. Nastal je 25. januarja 1348 med 14. in 15. uro po svetovnem času. Potres z magnitudo med 6,4 in 6,6 je imel žarišče v globini 7 km (4). Intenziteta je ocenjena na X. stopnjo po EMS - lestvici. Poleg ogromne gmotne škode je zahteval 20 000 življenj, po nekaterih podatkih celo 40 000. Mesto Beljak je bilo popolnoma porušeno, zelo prizadeti pa sta bili celotna Koroška in Kranjska. Tresenje so čutili prebivalci na območju z radijem 750 km. Nekateri strokovnjaki menijo, da je bilo žarišče potresa v Furlaniji.

V nadžariščnem območju je nastal regionalni hribovski plaz, ki se je sprožil z gore Dobrač (2166 m). Na južnem pobočju gore je bil plaz dolg 5 km, saj se je vlekel od Notscha (Cajna)

do Neuhausa (Podturje). Kamnina je bila verjetno že prej v labilnem ravnotežju, tako da so pospeški tal plazenje le še pospešili. Iz srednjeveških poročil lahko razberemo, da se je gora razkrala, saj je plaz pod seboj pokopal 17 vasi, tri gradove in devet cerkva. Pri vasi Schutt (severovzhodno od Arnoldsteina - Podkloštra) je zajezil reko Ziljo (Gail). Višina pregrade, ki je zajezila reko Ziljo, je ponekod dosegla višino do 30 m, za njo pa je nastalo pravo jezero. Se danes so ponekod ostala zamočvirjena tla kot dokaz, da se je voda stoletja počasi umikala. Z gore naj bi v dolino zgrmela 1 milijarda m³ kamnin in zemljin.

Plazovi so nastali tudi v Kanalski dolini, kjer so z gora v dolino zgrmele velike količine kamnitih mas, pa tudi nad Osojskim jezerom (Ossiacher See) na Golici (Gerlitz) (9).

Idrijski potres leta 1511. Nastal je 26. marca 1511 med 14. in 14. uro in 30 minut po svetovnem času na širšem območju Idrije in je po zgodovinskih podatkih najmočnejši potres, ki je bil na naših tleh. Imel je magnitudo med 6 in 7, žarišče pa v globini med 15 in 20 km. Njegova največja intenziteta je bila ocenjena med IX. in X. stopnjo po EMS lestvici (5). Potres so čutili na območju s polmerom 750 km. Po zgodovinskih virih je podrl veliko gradov na Slovenskem, zahteval pa je tudi 12 000 življenj.

Stare kronike opisujejo, da se je ob potresu sprožil zemeljski plaz, ki je zdrsnil v dolino reke Idrije in zasul njeno korito. Voda je tako narasla, da je bilo ogroženo delovanje idrijskega živosrebrovega rudnika. Skozi zrušeno skalovje so prebili pot in omogočili Idrijci prosti tok.

Ljubljanski potres leta 1895. Nastal je 14. aprila ob 22. uri in 17 minut po svetovnem času na območju mesta Ljubljana. Potres z magnitudo 6,1 je imel žarišče v globini 16 km. Njegova največja intenziteta je bila med VIII. in IX. stopnjo po EMS lestvici. Potresni sunek je zajel območje s polmerom 350 km. Poleg velike gmotne škode, ki jo je prizadel predvsem v Ljubljani, je ob potresu umrlo deset ljudi (6).

Zgodovinski viri navajajo, da so ob potresu na območju posavskih gub nastali številni zemeljski plazovi in podori. Kot zanimivost: temperatura nekaterih termalnih vod se je

* doc. dr., Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko - IGGG, Dimičeva 14, Ljubljana

** mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

po potresu spremenila. V Dolenjskih Toplicah se je takoj po potresu znižala za 2,5° Celzija, spremenila se je tudi temperatura v premogovnikih Trbovlje, Zagorje, Ojstro in Hrastnik.

Litijski potres leta 1963. Nastal je 19. maja 1963 ob 10. uri in 0 minut po svetovnem času na območju mesta Litija. Magnituda je bila 4,9, globina žarišča pa 20 km. Dosegel je intenziteto VII. stopnje po EMS lestvici. Povzročil je manjšo gmotno škodo v Litiji in okolici.

Ob potresu se nikjer ni sprožilo večje plazenje, le v nekaterih kamnolomih so se porušile labilne kamninske mase.

Potresi na Kozjanskem leta 1974. Glavni potres je bil 20. junija 1974 ob 17. uri in 8 minut po svetovnem času. Njegova magnituda je bila 5,1, globina žarišča pa med 10 in 15 km. Čutili so ga prebivalci na območju s polmerom 150 km. Dosegel je največje učinke VII. stopnje po EMS - lestvici.

Številni plazovi in usadi so nastajali med Rudnico, med Pilštajnom in Prelaskim ter na širšem območju Rogaške Slatine in Rogatca (11). Vseh nastalih plazov ne moremo pripisati potresni dejavnosti, ker je po potresih obilno deževalo. Ozemlje Kozjanskega je večinoma iz glinastih in peščenih laporjev ter iz kamnin podobne kakovosti v seizmogeološkem smislu. Glinena preperina in slaba kamninska podlaga, potresna dejavnost, razmočena zemljina in s tem povečana teža ter zmanjšana kohezija so bili glavni razlogi za plazenje pobočij v sicer že prej labilnem ravnovesju.

Omenimo le največje plazove, ki so takrat nastali. Na območju Sopot in Olimja je nastal plaz s površino med 1500 in 3000 m², pri kmetiji Toplišek 70 m dolg plaz. Velik plaz se je sprožil pri Dobležičah. Dolg je bil 370 m, širok pa 110 m. Drсна ploskev je bila globoka med 8 do 10 m. Skupno območje, ki ga je zajel plaz, je bilo ocenjeno na približno 34 700 m², prostornina zemljine pa 330 000 m³. Velika plazova sta se sprožila tudi pri Gubnem. Dolga sta bila 200 m in široka 100 m. Na cesti med Rogaško Slatino in Podredo se je pri kraju Golobinjek sprožil 250 m dolg in 50 m širok plaz z globino drsne ploskve 5 m. Številnih drugih manjših plazov in usadov ne bomo opisovali (11, 13).

Furlanski potresni sunki leta 1976. Potresi, katerih žarišča so bila sicer v Italiji, so povzročili gmotno škodo tudi v celotni severozahodni Sloveniji. Prvi je bil 6. maja ob 20. uri in 0 minut po svetovnem času, drugi pa 15. septembra 1976 ob 9. uri in 21 minut. Bolj ali manj močnih popotresnih sunkov je bilo veliko. Največ plazov je povzročil majski potres. Njegova magnituda je bila 6,5, globina žarišča pa med 20 in 30 km. Na nadžariščnem območju, kjer je nastalo največ plazov, je dosegel X. stopnjo po EMS lestvici in zahteval 987 življenj. Največji učinki v Sloveniji so bili med VIII. in IX. stopnjo po EMS - lestvici (9). Pri nas na srečo smrtnih žrtev ni bilo, poškodovanih ali porušeni pa je bilo okoli 12 000 zgradb (4000 so jih morali porušiti). Potres so čutili na območju s polmerom 570 km.

Večjih plazov v Sloveniji ni povzročil, obnovili pa so se nekateri stari, npr. plaz nad Grahovim. Sprožili so se številni manjši usadi. V bližini Gabrja je kamenje zasulo potok. Pri Idrskem je često zasul manjši plaz izpodjednega konglomerata. Številni manjši podori so nastali nad desnim bregom Nadiže.

Potres v Gornjem Posočju leta 1998. Glavni potres je bil 12. aprila 1998 ob 10. uri in 55 minut po svetovnem času. Imel je magnitudo 5,8, preliminarno določena globina žarišča pa je bila okoli 15 km. Po prvih ocenah je dosegel največje učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS - lestvici.

Največjo škodo je povzročil v vaseh nad Kobaridom, predvsem v Spodnjih Drežniških Ravnah in Magozdu, prav tako pa v določenih predelih Bovca, kjer je najbolj poškodoval naselje Mala vas. Večja gmotna škoda je

nastala tudi v dolini Lepene, v Kal - Koritnici in v manjših naseljih oziroma na planinah nad Tolminom (Polog) in v Tolminskih Ravnah. Dimniki so se podirali tudi v Stari Fužini ob Bohinjskem jezeru.

Potresu je v naslednjih mesecih sledilo več tisoč šibkejših popotresnih sunkov, od katerih nobeden ni presegel magnitude 4,0 in intenzitete V. stopnje po EMS lestvici.

Ob potresu so nastali številni skalnati podori (slika 1), aktivirali so se tudi nekateri zemeljski plazovi. Med največjimi podori je podor iz gore Krn (slika 2), podori ob izviru Tolminke (slika 3), na Osojnici (slika 4), v dolini Lepene (slika 5). Po prvih podatkih je nastalo okoli 50 večjih ali manjših skalnatih podorov, ki jih bomo skušali natančneje opisati v naslednji številki Ujme.

Plazovi in potresi

Najprej opredelimo, kaj je plazenje. To je drsenje dela površinske zemeljske mase po pobočju v smeri padnice, ki ga povzroči delovanje težnostne sile vzdolž porušne (drsne) ploskve, ki ima zmanjšano strižno trdnost v zemljini ali hribini (slika 6) (15).

Nastanek plazu je skoraj vedno posledica delovanja različnih dejavnikov, ki se seštevajo med seboj. Delimo jih na dolgotrajne in kratkotrajne, pa tudi na naravne in človeške.

Med dolgotrajne dejavnike spadajo geološko-tektonski in morfološki procesi. Ti bodisi zmanjšujejo velikost strižne

Preglednica 1. Nekateri dolgotrajni dejavniki (sprožiteljji plazu)
Table 1. Major long-lasting factors (triggers of landslides)

naravni	človeški
<p><u>preperevanje</u>, ki povzroči nastajanje debelega preperinskega pokrova, rahlo odloženega, z nizkimi strižnimi lastnostmi in sposobnostjo zadrževanja vode</p>	<p><u>sečnja gozdov</u> v preteklosti je povečala količino vode, ki je padla neposredno na tla, zaradi česar se je zmanjšal površinski odtok vode, povečalo njeno pronicanje v tla, pretrgalo vezanje zemljin s koreninami</p>
<p><u>erozija</u>, ki spodkopava bregove, povečuje debelino preperine pod območji erozijskega delovanja</p>	<p><u>kmetovanje</u>, ki preoblikuje teren, zmanjša nagib brežine, poveča in rahlja zgornje zemljinske plasti, poveča pronicanje padavinske vode v tla</p>
<p><u>spremenbe podnebni razmer</u>, ki povzročajo povečanje letne količine padavin, nihanje podtalne vode, spremembe pH in kemične sestave podtalnice, odlaganje fino zrnatih delcev na možni drsni ploskvi</p>	<p><u>rudarjenje</u> in druga zemeljska dela, ki so jih opravljali dolgo časa, sprožajo plazenje v širši okolici zaradi navpičnega posedanja, sprememb strujanja podzemnih vod, nastanka rušnih razpok, ponavljajočih se treslajev pri miniranju in prevozu</p>
<p><u>tektonika</u> oz. neotektonsko dvigovanje blokov, ki povzročata nižanje erozijske baze vodovij in s tem nestabilnost pobočij ob njih, hitrejše preperevanje razpokane hribine</p>	<p><u>izbor neustreznih lokacij starih naselbin z neurejenim odvodom vod, neustreznimi zemeljskimi posegi, gradnjo hiš na pobočjih</u></p>

Preglednica 2. Nekateri kratkotrajni dejavniki (sprožitelj plazu)
Table 2. Major short-lasting factors (triggers of landslides)

naravni	človeški
nenaden dvig podtalne vode	izpodkopavanje pobočja in useki v njem
močne padavine	gradnja na pobočju z njegovo obremenitvijo
poplave	povečanje nagiba pobočja (umetne brežine)
spodjedanje bregov	sečnja gozdov ali kakšen drug poseg v vegetacijo
topljenje snega	sprememba odtokov padavinske vode na nestabilen teren
potres	povzročanje tresljajev (promet, miniranja)

trdnosti hribin in zemljin (tektonika, kemično in fizikalno preperevanje) bodisi preoblikujejo obliko terena tako, da so potencialno zdrsu podvržene zemeljske mase na območju z veliko potencialno energijo (preoblikovanje oblike terena in erozija). Njihovo delovanje je počasno in se meri v tisoč in deset tisoč letih.

Kratkotrajni dejavniki so procesi, ki trajajo kratek čas (od nekaj dni do največ nekaj mesecev). Ustvarijo pogoje, pri katerih na kritičnih lokacijah, kjer se seštevajo negativna delovanja dolgotrajnih dejavnikov, nastane plaz.



Slika 1. Manjši skalnat podor v dolini Lepene (foto: R. Vidrih)
Figure 1. Small rockfall in Lepena Valley (photo: R. Vidrih)



Slika 2. Krn spreminja podobo: na levi strani pogled na Krn iz Drežnice (s puščico je označen podor), na desni pogled na ogromen skalnat podor (foto: M. Godec)

Figure 2. Krn mountain is changing its image. On the left is a view of Krn from Drežnica (arrow shows rock fall). The photo on the right shows a huge rock fall (photo: M. Godec)

Najpogostejši naravni kratkotrajni dejavnik so močne in/ali dolgotrajne padavine, ki v potencialno nestabilnih tleh povzročajo vzgonske in strujne vodne tlake. Od človeških kratkotrajnih vzrokov sta najpogostejša spodkopavanje ali obremenitev pobočja. Tisti kratkotrajni vzrok, ki je pomembno deloval kot zadnji in je povzročil, da se je mejno ravnotežje porušilo, imenujemo sprožitelj plazjenja. Včasih



Slika 3. Velik skalnat podor ob izviru Tolminke (foto: M. Godec)

Figure 3. Huge rockfall at the spring of the Tolminka River (photo: M. Godec)



Slika 4. Hribinski podor je zajel veliko območje nad Pologom (foto: R. Vidrih)

Figure 4. Rockfall affected a large area above Polog (photo: R. Vidrih)

je težko ugotoviti, kateri vzrok je neposredni sprožitelj plazenja, lahko sta tudi dva, ki sta slučajno nastopila skupaj.

Kot vidimo iz zgornje preglednice, je potres naraven kratkotrajen dejavnik, ki lahko povzroči sprožitev plaz. Podobno kot smo na začetku opredelili plaz, se seznanimo z definicijo, kaj je potres. To je seizmično valovanje tal, ki



Slika 5. Številni podori so nastali tudi v dolini Lepene. Za Slovenijo redek klinast podor je nastal pod Šilo (foto: R. Vidrih)

Figure 5. Numerous rockfalls occurring in Lepena Valley. A rare, wedge-shaped rock fall formed below Šilo (photo: R. Vidrih)

nastane ob nenadni sprostitvi nakopičenih tektonskih napetosti. Mehanizem potresa je podoben mehanizmu nastanka plaz. Pri obeh je presežena strižna napetost kamnine ob šibki ploskvi, zato se pojavi ob njej zdrs. Tu se podobnost konča. Medtem ko je žarišče potresa več kilometrov do več deset kilometrov pod površino, je plaz površinski pojav. Potres je nenaden, sunkovit dogodek, ki se zgodi v zelo kratkem času, medtem ko je plazenje (razen pri usadih in podorih) časovno daljši dogodek, ki poteka več dni, mesecev ali celo let.

Potres kot vzrok porušitve ravnotežja zemeljskih mas uvrščamo med tipične sprožitelje plazenja. Ekvivalentni sprožitelj potresa, ki je človeškega izvora, je miniranje. Potres sproži v kamninah nastanek dodatnih dinamičnih sil, ki so posledica nihanja delcev. Potresno valovanje povzroči, da v trenutku nihanja tal seizmični pospeški zmanjšajo delovanje gravitacijskega pospeška na kamnino. Na ta način se v razrahljanem delu zemljine ali hribine na ploskvi najmanjšega strižnega odpora sproži zdrs, če je bila v labilnem ravnovesju. V trdih hribinah se lahko pojavi različno nihanje posameznih blokov in nato zdrs po razpoki, ki je nagnjena v smeri pobočja navzdol. Ob nihanju stiki med zobci na stičnih ploskvah postanejo manj tesni ali pa se celo pojavijo preskoki. Zobci, ki predstavljajo hrapavost ploskve, se lahko pri tem lomijo in strižna trdnost na ploskvi se občutno zmanjša (slika 6). Ali bo hribinski blok zdrsel, je odvisno tudi od valovitosti razpoke (premik se lahko zgodi samo za nekaj centimetrov ali decimetrov, dokler vzboklina gornjega dela ploskve ne naleže na vzboklino spodnje). Slika 7 kaže dogajanja ob potresu v strukturi znatih in razpokanih kamnin.

Eden najpogostejših premikov zemeljskih mas ob potresu pa nastane, kadar je zemljina ali hribina prepojena z vodo.

Preglednica 3. Razmere, ki ojačajo potresne učinke, in razmere, ki povzročajo plazenje

Table 3. Conditions, amplifying seismic intensities and conditions that trigger earthquakes

razmere, ki ojačajo potresne učinke	razmere, ki povzročajo plazenje
zelo razčlenjen teren: strma pobočja, globoke grabe ipd.	teren konkavne oblike, ki povzroča stekanje padavinskih voda
tla, sestavljena iz različnih plasti, ki poševno prehajajo med seboj in padajo v smeri pobočja	tla, sestavljena iz različnih plasti, med njimi iz plasti z majhnimi strižnimi lastnostmi
preperinski pokrov, ki po svojih seizmičnih lastnostih zelo odstopa od kompaktne podlage	preperinski pokrov, ki se po svojih strižnih lastnostih zelo razlikuje od lastnosti kamninske podlage
debel preperinski pokrov slabih geotehničnih lastnosti	debel preperinski pokrov slabih geotehničnih lastnosti
območja, ki so na meji stabilnosti (plazovi, labilna preperina, usadi, stropi kraških jam, previsi, skalne stene)	območja, ki so na meji stabilnosti (labilna preperina, krušljive stene, stropi kraških jam, previsi, skalne stene)
cone v bližini litoloških mej kamnin z različnimi seizmičnimi lastnostmi	cone v bližini litoloških mej, kjer se izmenjujejo prepustne in neprepustne kamnine
z vodo prepojene zemljine	z vodo prepojene zemljine ali pod ravnijo podtalne vode
bližina prelomov, prelomnih con, zelo razpokane kamnine	bližina prelomov, prelomnih con, zelo razpokane kamnine

Preglednica 4. Opis hribin in zemljin na inženirsko geološki karti Slovenije
Table 4. Description of rocks and soils on the engineering geological map of Slovenia

uvrstitev	naziv	O P I S	ocena plazenja pri največji možni stopnji potresa		prirastek seizmičnosti (EMS)
			PLAZOVI	PODORI	
	zelo trdne	zelo trde in kompaktne magmatske kamnine Pohorja (tonalit)	majhna	srednja	0
HRIBINE	trdne	apnenci in dolomiti prevladujejo, ponekod z vključki različnih klastičnih kamnin	majhna	velika	0 do 1
	srednje trdne	peščenjaki, laporji in skrilavci in njihove metamorfne različice; andezitske, keratofirske in tufske kamnine	velika	majhna	0,5 do 1,5
POLHRIBINE	polhribine	zbiti peski, meljevci, glinovci, laporji - slabo litificirani	zelo velika	ni možnosti	1 do 2
	prodne zemljine	zasipi večjih rek, ki imajo v zaledju kompaktne kamnine	ni možnosti ¹	ni možnosti	do 1
ZEMLJINE	mešane zemljine	zasipi počasneje tekočih vodotokov; ponekod prevladujejo glinasto-meljne-peščene zemljine; ponekod glinasti, meljni in peščeni prodi	ni možnosti ¹	ni možnosti	1 do 2
	močvirsko jezerske zemljine	zelo rahlo odloženi sedimenti jezersko-močvirnega ali morskega nastanka	ni možnosti ¹	ni možnosti	2 do 3

Ob potresu narastejo vzgonski in strujni tlaki, ki lahko sprožijo zdrs.

Našteti vplivi so zelo kratkotrajni in trajajo samo dokler tla ob potresu nihajo. Zaradi tega tudi potrese uvrščamo med sprožitelje plazenja, ne pa med njihove osnovne vzroke nastanka.

Pri potresu se sprožijo primarni, sekundarni in površinski valovi. Površinski valovi so podobni valovanju, ki nastane, kadar vržemo kamen v vodo, in povzročajo največjo škodo. Kako velika bo, je odvisno od intenzitete potresa, pa tudi od lokalnih razmer, ki lahko seizmične tresljaje ojačajo ali zmanjšajo.

Na splošno velja, da se bo intenziteta potresa povečala na tistih območjih, ki so iz kamnin, ki rade tudi plazijo, (če pri tem ne upoštevamo ravninskega sveta, kjer razen neposredno ob vodotokih plazov ne more biti). V preglednici 3 naštevamo razmere, ki povzročijo ojačenje potresnih valov in s tem večje rušilne učinke potresa, in razmere, ki povečujejo možnost nastanka plazov. Teren izbiramo glede na primernost za gradnjo ali druge človeške dejavnosti, tako da se izogibamo območjem, kjer so razmere za pojav plazov in so učinki potresa ojačeni. Če se jim ne moremo izogniti, moramo pri posegih v teren uporabiti dodatne varnostne ukrepe.

Določitev tveganja nastanka plazov ob potresu za slovensko ozemlje

Ali lahko spoznanja, ki smo jih zapisali v dosedanjem besedilu, uporabimo tudi za bolj konkretne ugotovitve? Ali lahko za slovensko ozemlje, če poznamo geološko zgradbo kamnin in potresno dejavnost, opredelimo, kakšno je tveganje sproženja plazov ob potresih? Poskusimo.

Za sprožitev nestabilnega pojava ob potresu na določeni točki Slovenije so poleg intenzitete potresa posebno pomembne inženirsko geološke lastnosti terena in njegove morfološke značilnosti (7). Iz geološke karte (3, 8) smo

pripravili posebno inženirsko geološko karto, ki opredeljuje kamnine, iz katerih je slovenski teren, glede na nevarnost nastanka plazov in seizmične lastnosti tal. Za združevanje smo uporabili analize o prostorskih pojavih plazenja v Sloveniji za potrese, našteje v poglavju o kratkem opisu najpomembnejših potresov v Sloveniji.

Kamnine smo združevali glede na občutljivost za plazenje in potres. Inženirsko geološka karta (2, 17) (slika 8), ki je nastala po takih merilih, združuje hribine in zemljine Slovenije v 7 skupin.

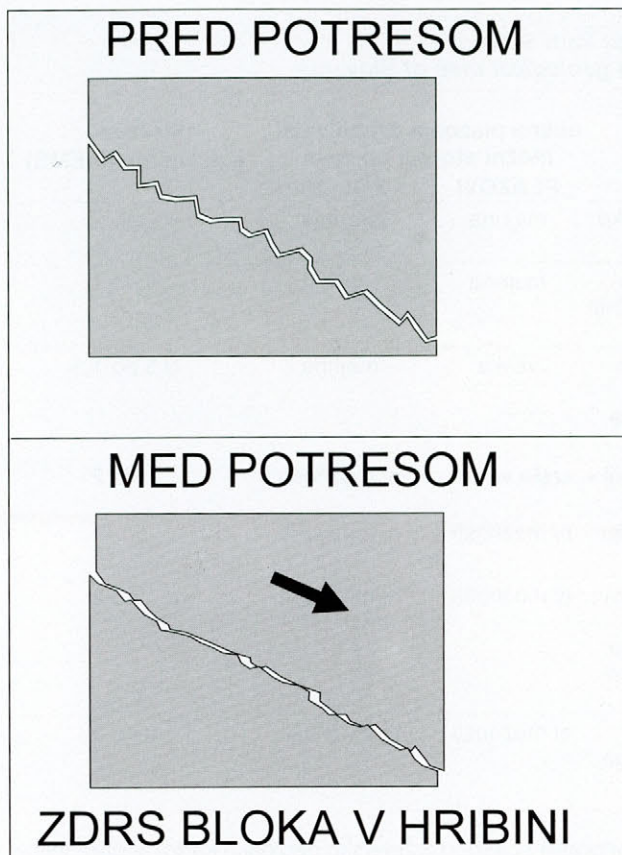
Po stabilnosti oziroma možnosti pojava plazenja, razvrščamo v preglednici 4 našteje kamnine v tri skupine (majhna, srednja in velika možnost plazenja). Pri tem smo ločili možnost nastanka klasičnih zemljinjskih plazov od možnosti nastanka kamninskih podorov.

Podobno smo skupine kamnin ocenili po seizmičnosti. Pri tem smo primerjali prirastek seizmičnosti po EMS - lestvici glede na najbolj trdno hribino - magmatske kamnine. Prirastek seizmičnosti glede na zelo trde hribine je 0 do 3

Preglednica 5. Tveganje nastanka plazov v kamninah zaradi potresa
Table 5. Risk of earthquake-triggered landslides in various rocks

KAMNINA	STOPNJA TVEGANJA NASTANKA PLAZOV		
	intenziteta potresa po EMS - lestvici		
	VII	VIII	IX
zelo trdne hribine	ni tveganja	zelo majhna	zelo majhna
trdne hribine	zelo majhna	zelo majhna	majhna
srednje trdne hribine	majhna	srednja	velika
polhribine	srednja	velika	zelo velika
ZEMLJINE	ni tveganja	ni tveganja	ni tveganja

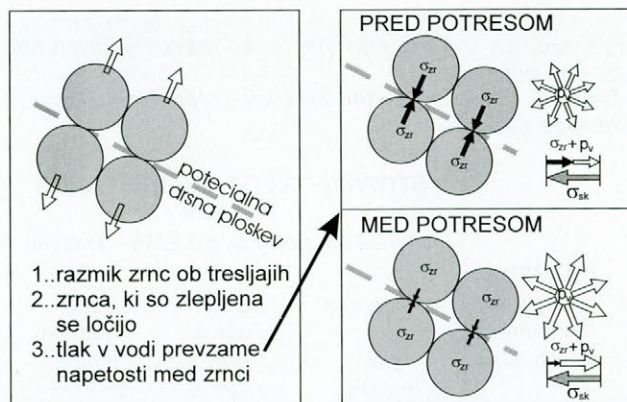
¹ Zemljine na ravninskem svetu lahko plazijo samo neposredno ob vodotokih oziroma kjer vanje posega človek.



Slika 6. Zdrs ob razpoki
Figure 6. Rock sliding

stopnje lestvice. Na podlagi primerjave lahko ugotovimo različno občutljivost terena glede na posledice potresa. Pri dejanskem potresu so lokalne razmere zelo spremenljive, vplivajo pa še številni drugi dejavniki, zato je navedena lestvica le splošni vodič.

Kakšna bo možnost pojava plazjenja in podorov, je odvisno tudi od nagiba terena. Na splošno velja, čim bolj strm je teren, večja je možnost nastanka plazu ali podora. S pomočjo digitalnega reliefa Slovenije smo pripravili digitalni model nagibov, ki opredeljuje površino terena glede na nagnjenost brežin. Za običajno plazenje, ki je najbolj značilno za območje Slovenije, je tak digitalni model nagibov premalo natančen, kajti čim slabše so geotehnične lastnosti določene kamnine, manjši so nagibi pobočij. Zelo



Slika 7. Dogajanja ob zrnih v zemljinah in razpokah v hribinah

Figure 7. Occurrences in grain media and in rock fracture areas

primeren pa je za določitev potencialnih območij podorov v Sloveniji.

Zaradi boljšega poznavanja seizmičnosti Slovenije so bile pripravljene seizmične karte povratnih dob potresov (slika 9) za različna časovna obdobja (10, 16). V našem primeru smo uporabili karto za povratno dobo 500 let, ki je predpisana za uporabo v gradbeništvu. Vrednost kart je v napovedih, saj dajejo oceno verjetnosti pojavljanja potresnih sunkov na določenem območju v prihodnosti. Pripravljene so na podlagi žariščnih con potresov, ki so ovrednoteni z največjimi magnitudami. Iz njih so bile po metodi ekstremnih vrednosti izračunane maksimalne intenzitete za različna območja in različne povratne dobe potresov. Na prvem slovenskem posvetovanju o zemeljskih plazovih, ki je bilo 17. in 18. novembra 1994 v Idriji, smo za temelj uporabili karto za povratno dobo potresov tisoč let (17).

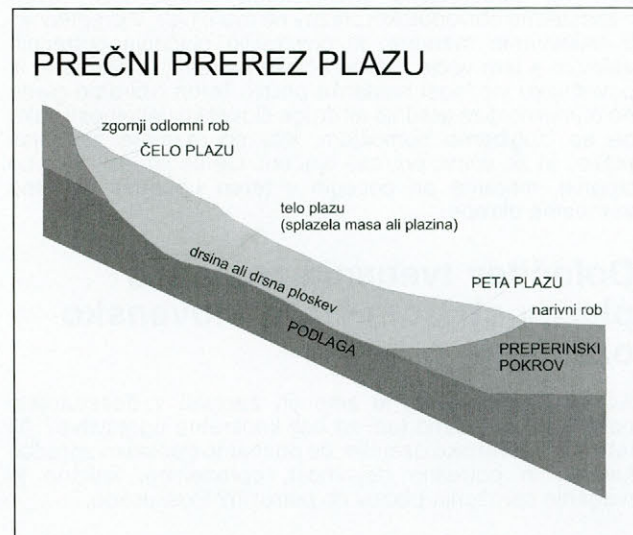
Intenzitete na karti so v stopnjah EMS - lestvice. Plazenje se predvidoma začne pri VII. stopnji. Na karti vidimo, da je potresna ogroženost večjega dela naše države VII. stopnje in več, v posameznih predelih celo do VIII. in IX. stopnje. Na kratko bomo opisali posamezne stopnje, ki so povezane s pojavi in spremembami v naravi in so predvidene za posamezna območja v Sloveniji.

VII. stopnja po EMS - lestvici. Na vodni gladini nastanejo valovi, voda postane zaradi vzburkanega dna kalna. Spremeni se vodostaj vodnjakov in izdatnost izvirov. Redkeje se pojavijo novi izviri ali presahnejo stari. Tu in tam zdrsnejo peščene ali prodne brežine.

VIII. stopnja po EMS - lestvici. Na strminah kotanj in nasipov cest nastanejo manjši zdrsni zemljin. Razpoke v tleh so široke do nekaj centimetrov. Pojavijo se novi zbiralniki vode. Ponekod se napolnijo suhi vodnjaki ali presušijo dotedanji. Marsikje se spremeni izdatnost izvirov in vodostaj v vodnjakih.

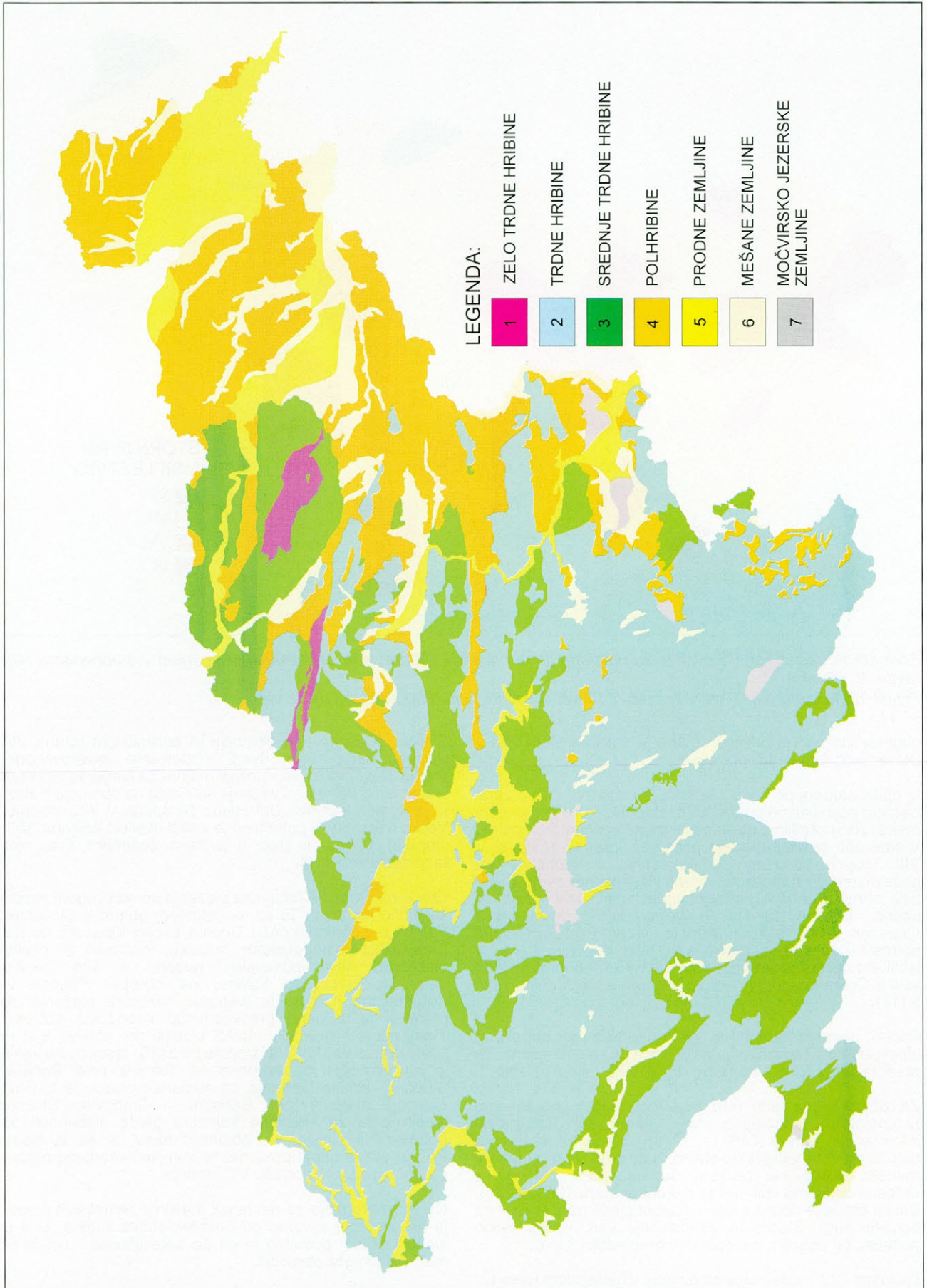
IX. stopnja po EMS - lestvici. V ravninskih predelih so pogosta poplavljanja in nanosi peska in blata. Razpoke v tleh so široke do enega decimetra, na pobočjih in brežinah pa tudi več. Poleg teh nastane tudi več manjših razpok. Skalovje se ruši. Pogosti so usadi, udori in osipi zemljin. Na vodni gladini nastanejo veliki valovi.

Če združimo ugotovitve vseh treh kart skupaj - seizmološke karte Slovenije za povratno dobo 500 let, inženirske geološke karte Slovenije in karte nagibov pobočij - si lahko

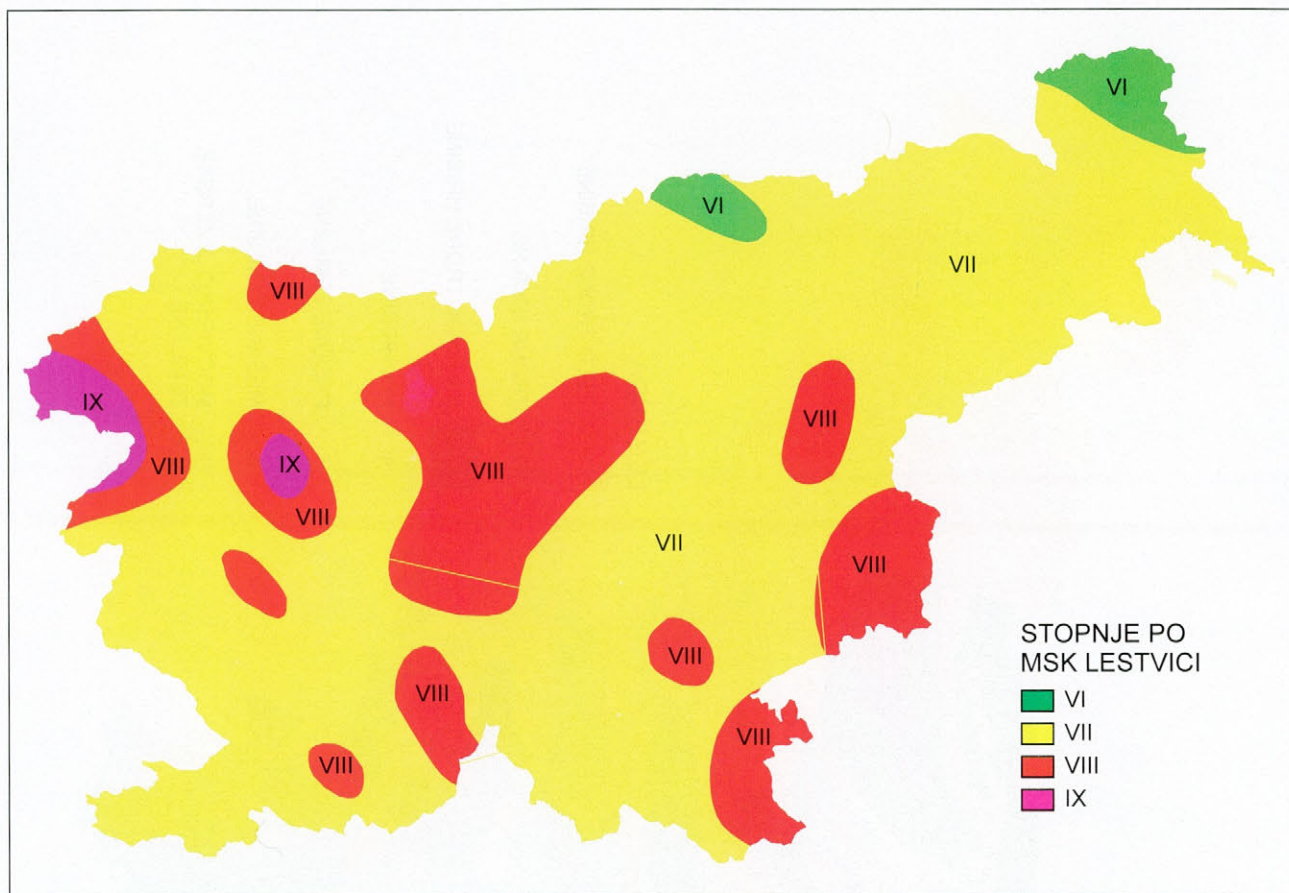


Slika 8. Prečni prerez plazu

Figure 8. Typical cross-section of landslide



Slika 9. Inženirsko geološka karta Slovenije (avtorja: M. Ribičič, R. Vidrih)
 Figure 9. Engineering geological map of Slovenia



Slika 10. Potresna karta Slovenije za povratno dobo potresov 500 let, ki je predpisana za uporabo v gradbeništvu (10) (avtor: V. Ribarič)

Figure 10. Macroseismic intensity map of Slovenia (return period 500 years) (10)

odgovorimo na vprašanje: kakšna je splošna stabilnost v Sloveniji ob močnejših potresih.

Iz opisa stopenj po EMS - lestvici je razvidno, da se zdrs začne pojavljati pri potresih VII. stopnje. To so posamezni manjši zdrs zemljin z najslabšimi geotehničnimi lastnostmi. V skalnatih predelih padajo posamezni kamni in skale. V VIII. stopnji so zdrs že pogostejši in nastajajo na gričevnatem in hribovitem terenu. V alpskem svetu in na zelo strmih pobočjih začnejo padati skale in pojavijo se podori. Izredno številni in veliki pojavi nestabilnosti nastanejo pri potresih IX. stopnje ali več. Pri tako močnih potresih ponavadi zdrsnejo vsa tista pobočja, ki so v labilnem stanju. Nevarnost pojavov velikih podorov je zelo velika. Opisane ugotovitve so prikazane v preglednicah 5 in 6 (17).

Podori, padanje kamnov in skal so značilni za hribovit in alpski svet, kjer so pobočja zelo strma ali celo navpična. Te predele smo izločili s pomočjo digitalnega reliefa terena.

Za združitev naštetih treh kart med seboj uporabljamo računalniško tehnologijo, tako imenovani Geografski informacijski sistem (GIS) (1, 12, 18). Osnovne karte smo najprej prevedli v digitalno obliko. Nato smo jih spremenili v rastrsko obliko, kar pomeni, da smo karte prikazali s celicami določene velikosti (v našem primeru 100 x 100m). Vsaka celica je dobila svojo vrednost glede na uvrstitev na osnovni karti. Sledilo je združevanje kart, vsako celico posebej, po pogojih, navedenih v preglednici 5 in 6.

Rezultati GIS modeliranja so opisani v nadaljnjem besedilu in predstavljeni na kartah (sliki 10 in 11).

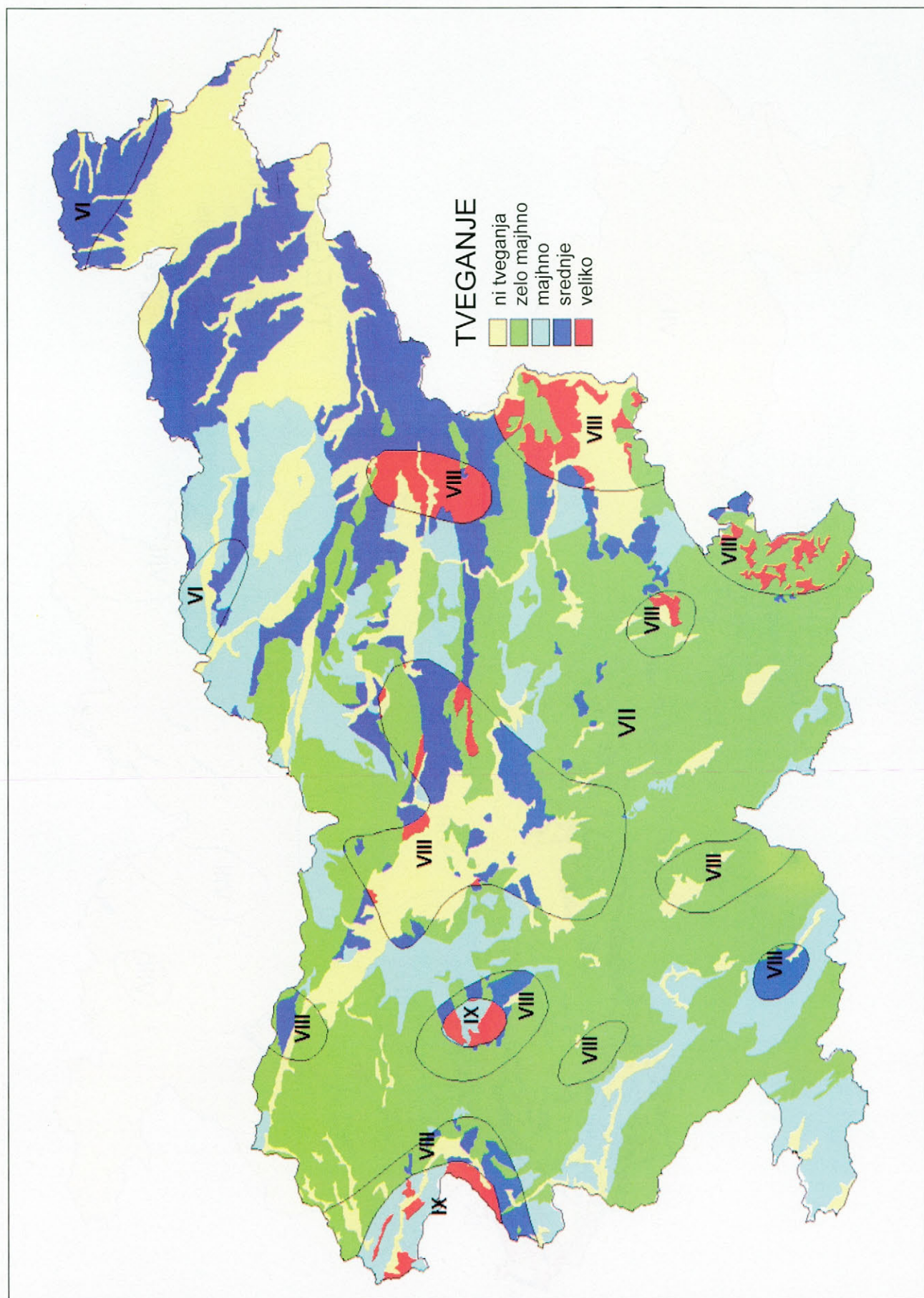
Najbolj plazovita območja Slovenije so v njenem severovzhodnem delu - Goričko, Prekmurje in Slovenske

gorice. Toda na tem območju je seizmičnost terena VII. stopnje, zaradi tega uvrsti modeliranje severovzhodni predel Slovenije uvrsti v predel majhnega tveganja za pojav plazanja ob potresu. Tveganje se zveča na območju Halož, ki je iz istih kamnin. Del Halož že spada v VIII. stopnjo. Veliko tveganje za polhrbine je v širši okolici Ljubljane (VIII. stopnja), vendar k sreči ti terciarni sedimenti niso zelo razprostranjeni (14).

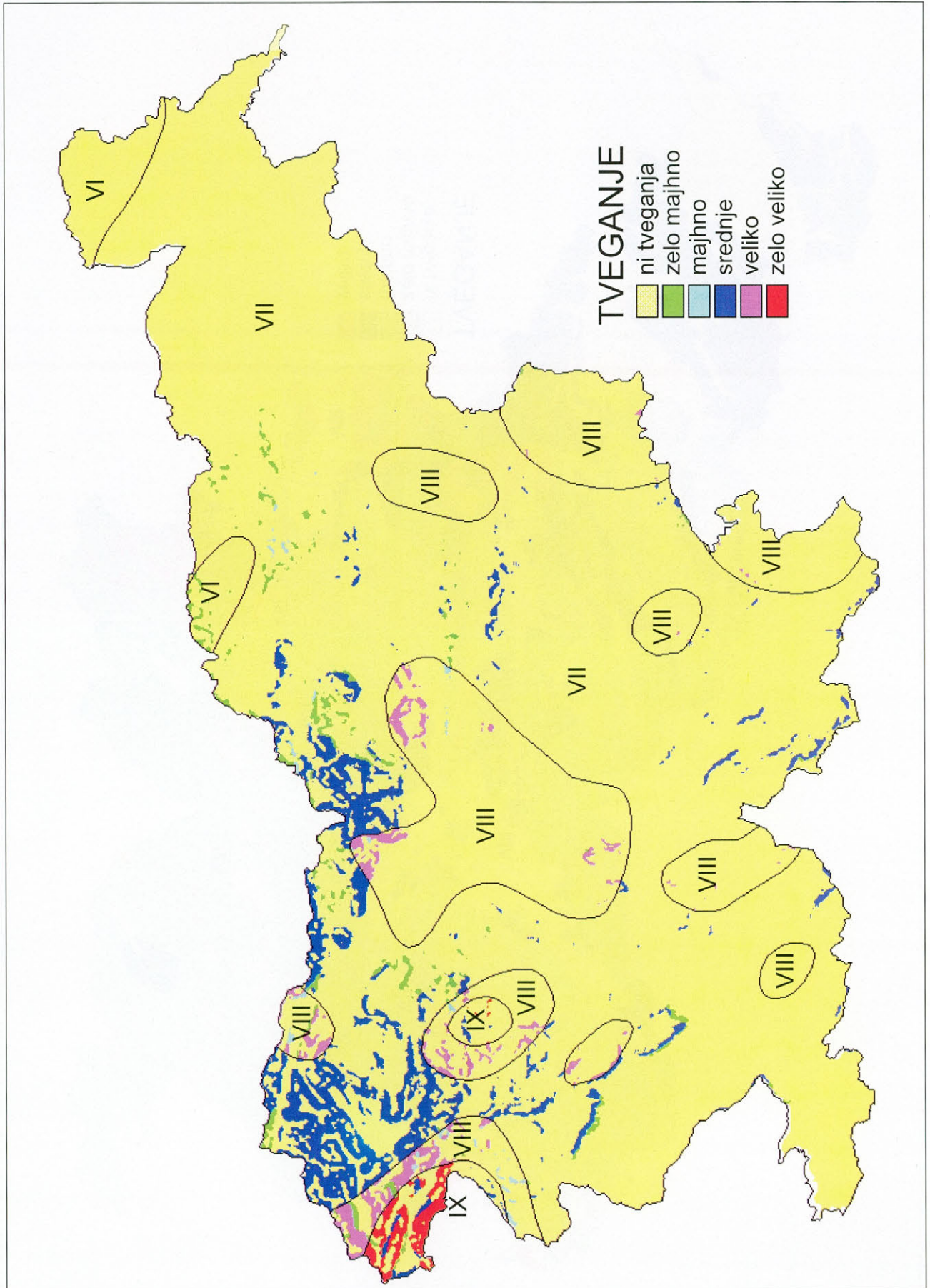
Glede na tveganje nastanka plazanja so na drugem mestu klastične kamnine. Te so na celotnem območju Slovenije. Več jih je v obalnem pasu, Brkinih, okolici Vipavske doline, Škofjeloško-polhograjskem hribovju, hribovjih v okolici Ljubljane, litijsko-posavskih gubah, v širši okolici Velenjsko-Šoštanske kotline, na obrobju Pohorja in Kobanskem. Kakšno je tveganje nastanka plazanja ob potresu, je odvisno predvsem od intenzitete potresa. Tveganje je največje v okolici Ljubljanske kotline, kjer je lahko potres več kot VIII. stopnje po EMS - lestvici. Še večje je na območju jugovzhodno od Tolmina proti Beneški Sloveniji. Enako tveganje za nastanek plazov je tudi na območju hribovja med Cerknim in Grahovim. Stopnja tveganja je za klastične kamnine glede stabilnosti ob potresih najmanjša v obalnem pasu, ki je iz flišev. Pričakovati je samo posamezne manjše nestabilne pojave ob pričakovanem potresu VII. stopnje.

Največje tveganje za nastanek številnih zemeljskih plazov je na območju severno od Brežiško-Krške kotline, ki je iz slabo vezanih polhrbin in ga po seizmičnosti uvrščamo med dejavnejša območja.

Ravninske terene, ki gradijo zemljine, je treba glede tveganja nastanka plazov ob potresu drugače opredeliti. V ravninskih delih naravnih pojavov nestabilnosti o potresih skorajda ni, razen manjših zdrsov neposredno ob



Slika 11. Karta tveganja nastanka zemeljskih plazov zaradi potresov (avtorja: M. Ribičič, R. Vidrih)
 Figure 11. Risk map of earthquake-triggered landslide occurrences in Slovenia



Slika 12. Karta tveganja nastanka podorov zaradi potresov (avtorja: M. Ribičič, R. Vidrih)
 Figure 12. Risk map of earthquake-triggered rockfall occurrences in Slovenia

Preglednica 6. Tveganje nastanka podorov v kamninah zaradi potresa**Table 6. Risk of earthquake-triggered rock falls in various rocks**

KAMNINA	STOPNJA TVEGANJA NASTANKA PODOROV		
	intenziteta potresa po EMS - lestvici		
	VII	VIII	IX
zelo trdne hribine	majhna	srednja	velika
trdne hribine	srednja	velika	zelo velika
srednje trdne hribine	zelo majhna	majhna	srednja
polhribine	ni tveganja	zelo majhna	zelo majhna
ZEMLJINE	ni tveganja	ni tveganja	ni tveganja

vodotokih, ki globoko zarežejo svojo strugo. Mnogo pogosteje se lahko poruši ravnotežje na zemeljskih objektih, ki jih je zgradil človek. Tako lahko pričakujemo najbolj kritične pojave na terenih, kjer so rahlo odloženi jezerski in morski sedimenti. Izstopa območje Ljubljanskega barja in severnega dela Krško-Brežiške kotline, kjer je možnost nastanka potresa IX. stopnje.

Plazovi v Sloveniji, ki se lahko sprožijo ob potresu, večinoma ne ogrožajo človeških življenj. Drugače velja za podore. Kamninski podori so nenaden pojav in jih je zelo težko napovedati. Precejšnji del Slovenije je iz karbonatnih kamnin, v katerih ni klasičnih zemeljskih plazov, je pa zato možnost nastanka podorov. S pomočjo digitalne karte nagibov pobočij lahko opredelimo območja, kjer se v Sloveniji podori lahko pojavijo. Podori so namreč značilni za planinske hribovite dele, kjer so skoraj navpične brežine. Če združimo inženirsko geološko karto z digitalnim modelom nagibov, ugotovimo, da so območja podorov omejena na Julijske Alpe in Karavanke, na ožje cone Trnovskega gozda, Hrušice in Nanosa, predele, kjer se Sava prebija skozi karbonatno hribovje proti Zidanemu Mostu, delno na Pohorju in deloma v hribovju ob Kolpi v južni Sloveniji. Najbolj so ogrožena življenja v predelih, kjer so naselja in infrastrukturni objekti postavljeni ob rekah, ki so urezale ozke doline s skoraj navpičnimi pobočji. Glede na intenziteto potresa je tveganje največje v Soški dolini, k sreči pa je dolina redko poseljena.

Sklep

V članku smo obravnavali nastanek plazenja ob potresih. Predstavili smo podatke o potresni dejavnosti v Sloveniji, opisali najpomembnejše potrese in osnovne značilnosti pojavljanja plazov in podorov ob potresu. Na koncu smo dodali še praktični del - splošno napoved možnosti plazenja in podorov v Sloveniji za splošno oceno tveganja stabilnosti ob potresih, ki so močnejši od VII. stopnje po EMS - lestvici. Na kartah v prilogah je tveganje nastanka podorov in tveganje nastanka plazov (sliki 10 in 11) ob največjem možnem potresu na določenem območju Slovenije. Ta splošna opredelitev je predstavljena v stopnjah tveganja od najmanjšega do največjega. Tako analizo je seveda treba narediti, če se pojavi močan potres, posebej zanj in pri tem upoštevati vse lokalne geološko-seizmične razmere, ki jih opredelimo s tako imenovano seizmično mikrorajonizacijo. V prihodnosti bo zagotovo treba pripraviti karte tveganja tudi za posamezna območja Slovenije. Za to bo treba najprej pripraviti kataster plazov Slovenije in dobro poznati

seizmične lastnosti tal. Za vsak izbran teren bo treba nato statistično ugotoviti, kateri so najpomembnejši dejavniki, ki povzročajo plazenje. S pomočjo analize evidence plazov in dejavnikov, ki jih povzročajo, bo možno pripraviti karto verjetnosti pojavov plazenja tudi za tiste dele terena, ki trenutno niso v stanju plazenja. Če bomo karto ogroženosti nastanka plazenja prekrili s karto naselij, karto cest, karto vodotokov ipd., bomo dobili nove karte o tem, kolikšno je tveganje za človeka in različne objekte (ceste, hiše itd.) na terenu.

Zadnji potres v Posočju je sprožil zelo številne podore in nekaj plazov, kot je bilo napovedano na obeh kartah tveganja. Nekaj najbolj značilnih pojavov je na fotografijah, podrobneje o posledicah tega potresa v naravi pa več v prihodnji številki.

Literatura

1. Buser, I., Ribičič, M., Hobljaj, R., 1996. Določevanje stabilitetnih razmer pri gradbenih posegih v prostor s pomočjo GIS tehnologije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995-1996, Zbornik referatov simpozija, 125-132, 1 pril., Ljubljana.
2. Drobne F., Ivanković J., Ribičič M., 1976. Inženirskogeološke posebnosti slovenskega ozemlja. 8. Jug. geol. kon., 51-58, Bled.
3. Drovenik F., Drovenik M., Premru U., Miklič F., Bidovec M., Karer M., 1980. Metalogenetska karta SR Slovenije. Geološki zavod Ljubljana - IGGG.
4. Lapajne, J., 1987. Veliki potresi na Slovenskem - I. Ujma 1, 55 - 58, Ljubljana.
5. Lapajne, J., 1988. Veliki potresi na Slovenskem - II. Ujma 2, 70 - 75, Ljubljana.
6. Lapajne, J., 1989. Veliki potresi na Slovenskem - III. Ujma 3, 55 - 61, Ljubljana.
7. Petkovšek B., Volk J., Hafner J., Fifer K., 1993. Ogroženost Republike Slovenije pred zemeljskimi plazovi. Geološki zavod Ljubljana - IGGG, Interno poročilo.
8. Različni avtorji: Osnovne geološke karte ozemlja Slovenije v merilu 1:100 000. Izdal: Zvezni geološki zavod v Jugoslaviji, 1967-1988, Beograd.
9. Ribarič, V., 1980. Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976, kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obzolja Vzhodnih Alp. Potresni zbornik, 17 - 81, Tolmin.
10. Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za povratno dobo potresov 500 let. Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
11. Ribičič, M., Božovič, M., 1975. Poročilo o ogledu plazovitih področij na Kozjanskem. Geološki zavod Ljubljana - IGGG, Interno poročilo.
12. Ribičič, M., Šinigoj, J., 1996. Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995-1996, Zbornik referatov simpozija, 115-124, 8 pril., Ljubljana.
13. Ribičič, M., Vidrih, R., 1997. Sproženje plazov ob potresu leta 1995 na Kozjanskem. Drugo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Šmarje pri Jelšah 19-20.06.1997, Zbornik (v tisku), Ljubljana.
14. Ribičič, M., 1997. Kataster plazov. Drugo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Šmarje pri Jelšah 19-20.06.1997, Zbornik (v tisku), Ljubljana.
15. Ribičič, M., 1997. Osnovni pojmi in definicije o plazenju ter sorodnih pojavih. Drugo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Šmarje pri Jelšah 19-20.06.1997, Zbornik (v tisku), Ljubljana.
16. Vidrih, R., Godec, M., Lapajne, J., 1991. Potresna nevarnost Slovenije. Republiški štab za civilno zaščito, str. 46, Ljubljana.
17. Vidrih, R., Ribičič, M., 1994. Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija 17.-18. 11. 1994, Zbornik, 33 - 52, Idrija.
18. Žepič, F., Šinigoj, J., Hafner, J., Ribičič, M., 1994. Geological pilot project. Planning Project for the Institutional Aspects of the Implementation of the Geographic Information Centre of the Republic of Slovenia, Cooperation Netherland-Slovenia, Arhiv IGGG, Ljubljana.

Opomba: Pri pripravi digitaliziranih kart, predstavljenih v članku, so poleg njihovih avtorjev sodelovali še Jasna Šinigoj, Mare Komac, Igor Buser in Janez Hafner.