

Intenzivne padavine kot sprožilni dejavnik pri pojavljanju plazov v Sloveniji

Rainstorms as a landslide-triggering factor in Slovenia

Marko KOMAC

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana; marko.komac@geo-zs.si

Ključne besede: padavine, intenziteta, plazovi, sprožitev, Slovenija
Key words: rainfall, intensity, landslide, triggering, Slovenia

Izvleček

Padavine igrajo eno ključnih vlog pri sprožanju plazov. Pri analizi pojavljanja plazov na območju Slovenije se je pokazalo, da so intenzivne kratkotrajne padavine (maksimalne dnevne padavine za obdobje 100-ih let) v kombinaciji z geološko podlago pomemben dejavnik, ki vpliva na prostorsko in s tem tudi na časovno pojavljanje plazov. Vpliv padavin na pojavljanje plazov je bil analiziran tudi z vidika povprečnih letnih padavin v istem 30-letnem obdobju. Rezultati analiz so pokazali, da kratkotrajne padavine z intenziteto med 100 in 150, najverjetneje pa nekeje nad 130 mm v enem dnevu močno vplivajo na povečanje pojavljanja plazov. Pri povprečnih letnih padavinah je mejna vrednost nad 1000 mm, čeprav ni jasnih dokazov o neposrednem vplivu povprečnih padavin na pojavljanje plazov oz. je ta vpliv zanemarljiv.

Abstract

Rainfall plays an important role in the landslide triggering processes. Analyses of landslide occurrence in the area of Slovenia have shown that areas where intensive rainstorms occur (maximal daily rainfall for the 100 years period), and where the geological settings are favourable, abundance of landslide can be expected. This clearly indicates the spatial and temporal dependence of landslide occurrence upon the intensive rainfall. Regarding the landslide occurrence, the intensity of maximal daily and average annual rainfall for the 30 years period were analysed. Results have shown that daily rainfall intensity, which significantly influences the triggering of landslides, ranges from 100 to 150 mm, most probably above 130 mm. Despite the vague influence, if any at all, of the average annual rainfall, the threshold above which significant number of landslides occurs is 1000 mm.

Uvod

Pojavljanje plazov, tako prostorsko kot tudi časovno, je povezano s številnimi dejavniki, razdeljenimi v dve skupini. Med *povzročitelje plazenj*, ki skozi daljše časovno obdobje pogojujejo razmere za nastanek plazov sodijo dejavniki lastnosti kamnin, naklon, ukrivljenost in orientacija terena, nadmorska višina lokacije, oddaljenost od geoloških

mej, strukturnih elementov in od površinskih tokov, dolžina toka površinske vode ter tip rabe tal. Sprožitelj plazenj so trenutni dogodki, ki tako intenzivno vplivajo na razmere nekega območja, da za stalno spremenijo njegovo stanje in povzročijo splazitev mase (Komac, 2005). *Sprožilci*, ki so lahko posledica človeškega delovanja ali naravnih pojavov, se delijo na *pripravljalne* (sečnja gozda, vkopi, obremenitve brežin in razbre-

menitve vznožij) in *sprožilne* dejavnike (intenzivne padavine, erozija in tresenje tal oz. seizmična aktivnost območja).

Intenzivne kratkotrajne padavine so vzrok nastanka mnogih, predvsem plitvih preperinskih oz. zemljinskih plazov. Ta pojav je posledica nenadnega močnega nihanja pornega tlaka in naknadno njegovega povečanja v površinskih plasteh. Povečan porni tlak lahko povzroči popolno dezintegracijo zemljine, ki nato nenadoma, kot blatni tok zdrsi po pobočju. Povečan porni tlak zmanjša medzrnske sile vzdolž obstoječe drsne ploskve, kar poveča možnost zdrsa (Craig, 1987). Nastanek plazov tako ni neposredno povezan z nivojem podtalnice, kljub temu pa igra začetna vsebnost vode v kamnini (zemljini) pomembno vlogo pri sprožitvi plazov, saj zmanjša potrebno kritično količino padavin (Berardi et al., 2005). V Sloveniji so v zadnjih nekaj letih intenzivne kratkotrajne padavine sprožile številne plazove preperinskega pokrova. Do sedaj še ni bilo opravljene nobene analize, ki bi nakazala na kritične količine padavin (v nadaljevanju se te vedno nanašajo na sprožitev plazov), pri katerih je možno pričakovati povečano pojavljanje plazov.

Craig (1980) je ocenil kritično količino padavin na okoli 100 mm/24 h. Larsen & Simon (1993) sta ugotovila, da se v Portoriku kritična količina dnevni padavin giblje med 100 in 200 mm oz. je ta izražena z večurnim močnim deževjem intenzitete 14 mm/h. Za območje Britanske Kolumbije navaja Chatwin (1994) kritične količine padavin okoli 120 mm/24 h. González-Díez (1995) navaja, da se za območje Cantabrije v Španiji kritične količine padavin gibljejo nad 100 mm/24 h. Gallart & Clotet (1988) ter Corominas & Moya (1999) navajajo, da se za območje vzhodnih Pirenejev kritične količine padavin gibljejo med 180 in 190 mm v 24-36-ih urah. Glade (1998) navaja minimalno in maksimalno kritično količino padavin. Za minimalno je določil količino padavin okoli 20 mm/24 h, za maksimalno kritično, torej tako pri kateri se bodo skoraj zagotovo pojavili plazovi pa od 140 do 300 mm/24 h, odvisno od območja. Analize so bile opravljene za tri območja v Novi Zelandiji. McSaveney et al. (2000) navajajo kot kritično količino padavin, pri kateri se je v Novi Zelandiji sprožil drobirski tok, okoli 130 mm/2 h. Montgomery et al. (2000) so kot kritične količine padavin

na območju zvezne države Oregon ocenili vrednosti med 140 in 160 mm/24 h. Marquès et al. (2001) navajajo za območje Montserrat kot kritično količino padavin 171 mm/19 h. Casadei et al. (2003) omejujejo tri kritične količine padavin za območje San Matea v Kaliforniji. Te so približno 125, 135 in 75 mm/24 h. Pri slednji količini je opazno predhodno povečanje padavin, kar je omogočilo sprožitev plazov pri nižji kritični količini. Ruiz & Garcia (2003) navajata kot kritično količino padavin 130 mm/24 h. Podatki se nanašajo na otok Majorka. Coe (2005) je določil kritični količini, pri katerih sta bila sprožena dva drobirska tokova v zvezni državi Colorado. Prvi se je sprožil pri intenziteti 2 mm/15 min (8 mm/h), drugi pa pri intenziteti padavin 15 mm/23 min (39 mm/h). Zêzere et al. (2005) podaja različne vrednosti kritičnih količin padavin na območju Lizbone. Te se gibljejo med 62 in 164 mm/24 h.

Vpliv povprečnih letnih padavin ni povsem razjasnjen. V primeru, da se daljša obdobja zmerne deževja večidel odražajo v količini povprečnih letnih padavin, lahko trdimo, da količina povprečnih letnih padavin vpliva bolj na pojavljanje globokih plazov. Vpliv dolgotrajnih zmernih padavin na pojavljanje globokih plazov so dokazali številni avtorji (Campbell, 1975; Crozier, 1986; Terlien, 1988; Van Asch et al., 1999; Guzzetti et al., 2004; Shakoar & Smitthmayer, 2005).

Poleg zgoraj omenjenih, številni avtorji, Carrara (1991), Montgomery et al. (1994 in 1998), Terlien et al. (1995), Wisner (1998), Griffiths et al. (1999) in Laprade et al. (2000) pripisujejo pri časovnem pojavljanju plazov velik pomen. Povezava med padavinami in pojavljanjem plazov je očitna. Katere so torej kritične količine padavin, ki so vzrok opaznemu povečanju števila plazov v Sloveniji, ali so te količine znatno drugačne od predstavljanih in katere kamnine so (najbolj) izpostavljene dejavniku padavin? Prispevek bo v nadaljevanju poskušal odgovoriti na zastavljena vprašanja.

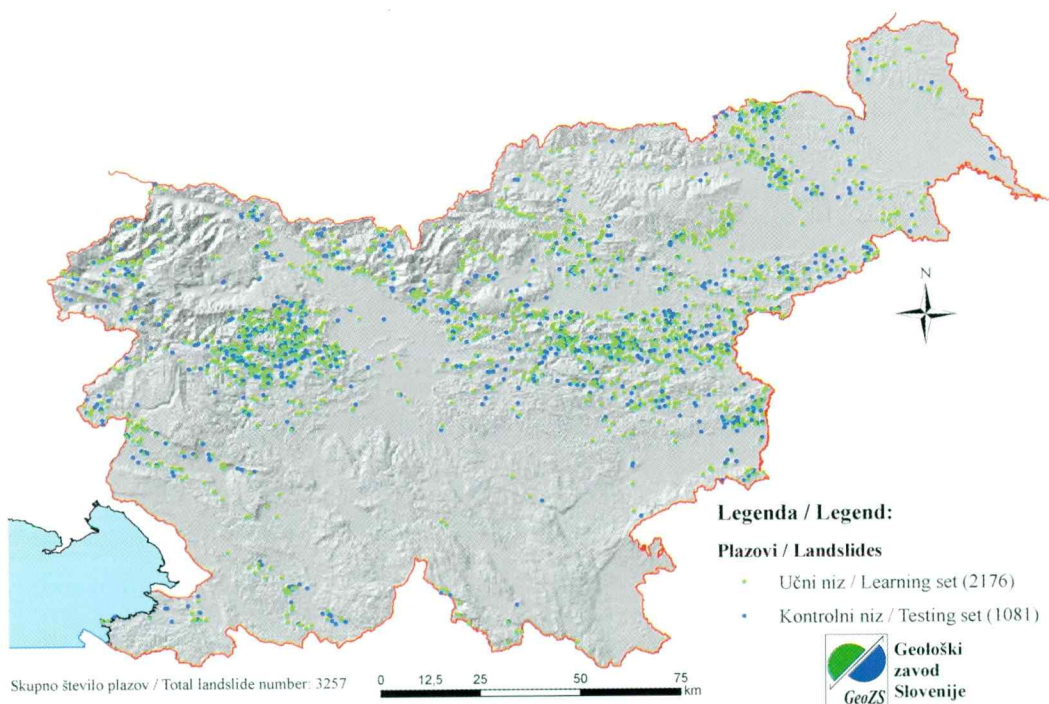
Podatki

V okviru projekta "Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih pla-

zovih in vključitev v bazo GIS_UJME" so bili za območje Slovenije iz različnih virov (MORS, DRSC, MOP, GeoZS in IRGO) zbrani obstoječi podatki o plazovih. Tako je bilo skupaj zbranih podatkov o 6602-h plazovih, od tega je bilo 3257 plazov z znano lokacijo, informacije o podrobnem opisu so večinoma manjkale (npr. o tipu in hitrosti plazenja ter o sprožitelj). Trenutno je to najobsežnejša, a vsebinsko ne najbolj popolna baza plazov v Sloveniji (Komac et al., 2005). Podatki o plazovih so bili uporabljeni v analizah kot en tip plazov, kljub dejstvu da pripadajo različnim tipom plazov. Pri vzroku sprožitve (povzročitelju) je bilo privzeto, kot da so vsi plazovi posledica padavin, kljub dejstvu, da niso. Njihov pravi delež ni znan, verjetno pa je prevladujoč. Vzrok temu je bilo pomanjkanje podrobnejših podatkov o plazu. V okviru omenjenega projekta je bila populacija plazov zaradi izdelave modela napovedi območij večjih verjetnosti pojavljanja plazov in kontrole njegove pravilnosti razdeljena na učni (2156 plazov; v 20-ih primerih se dva plazova pojavljata znotraj ene celice, kar pomeni, da sta bila združena pri pretvorbi v rastrsko obli-

ko) in kontrolni niz (1081 plazov). Za analize predstavljene v tem prispevku so bili uporabljeni le plazovi učnega niza (označeni z zeleno barvo na Sliki 1).

Vir podatkov za izdelavo inženirsko-geološke karte Slovenije je bila geološka karta Slovenije 1 : 250.000 (Buser, v tisku). Sorodni litološki členi so bili s pomočjo strokovne ocene združeni na podlagi dveh kriterijev, zrelosti in litifikacije kamnine ter vsebnosti drobne glinaste frakcije v strukturi kamnine (Ribičič et al., 2003; Komac et al., 2005). Oznaka DecKl je numerični zapis že opisanih dveh kriterijev, ob upoštevanju še tipa nanosa (le pri zemljinah). Pri združevanju kamnin po podobnih inženirsko-geoloških lastnostih je bilo treba upoštevati geološko kompleksnost slovenskega ozemlja. Zelo redko nastopa sama samo ena litološka homogena kamnina. Največkrat nastopa menjavanje različnih litoloških različic med seboj, ali pa med prevladujočo kamnino nastopajo vložki, plasti ali žile druge kamnine. Zaradi tega se pri uvrščanju ni vedno možno držati klasifikacij, ki so postavljene v številni literaturi. Preglednica 1



Slika 1. Lokacije plazov, vključenih v analize pojavljanja.

Fig. 1. Landslide locations, included in the analyses.

Preglednica 1. Litostratigrafski členi Geološke karte Slovenije 1 : 250.000 (Buser, v tisku) in njihova inženirsko-geološka klasifikacija (DecKl in IG) (Ribičič et al., 2003).

Table 1. Lithostratigraphic units of Geological Map of Slovenia 1 : 250.000 (Buser, in print) and their engineering-geological classification (DecKl and IG) (Ribičič et al., 2003)

DecKl	OPIS	IG
113	aluvij (prod, pesek, melj in glina - kvartar)	3
111	glina (kvartar)	1
113	recentni morski sedim.-kvartar	3
122	pobočni grušč (kvartar)	5
123	vršaj (grušč, prod in melj - kvartar)	6
121	deluvij (pretežno glina s kosi različnih kamnin - kvartar)	4
141	rudniški odval (antropogeni recentni sedim.)	10
112	glina, šota (barjanski sedim. - kvartar)	2
112	glina, melj in šotna preperina (barjanski in jezerski sedim. - kvartar)	2
113	prod in pesek (starejši nanosi) - kvartar	3
112	zaglinjen melj (kopna in barjanska puhlica - kvartar)	2
113	rečni nesprjeti sedimenti v terasah (prod, pesek, melj in glina - kvartar)	3
204	rečni sprjeti sedimenti v terasah (konglomerat z vložki prod - kvartar)	14
123	morene - tuf (kvartar - pleistocen)	6
111	rjava glina, terra rossa in ilovica (kvartar in pliocen)	1
111	glina in preperina z roženci (kvartar in pliocen)	1
131	glina, zaglinjen melj s prodniki kremen - silikatnih kamnin (pliocen in pleistocen)	7
133	kremenov prod, pesek in melj (zg. pliocen)	9
601	bazalni tuf in bazalt (sr. pliocen)	27
133	prod, pesek in peščena glina (sr. pliocen)	9
132	peščeni lapor, glina in droben prod (sp. pliocen)	8
131	glina, melj in pesek (pliocen)	7
132	pesek in glina (zg. miocen in sp. pliocen)	8
132	glineni lapor, pesek, prod in glina (zg. miocen - panonij)	8
202	glineni lapor in apnenec (zg. miocen - sarmatij)	12
203	lapor, pesek, prod, peščenjak in konglomerat (zg. miocen - sarmatij)	13
405	litotamnijski apnenec, lapornati apnenec in lapor (sr. miocen - badenij)	22
201	lapor (sr. miocen - badenij)	11
401	litotamnijski apnenec (sr. miocen - badenij)	18
203	pesek, melj, peščenjak, meljevec in konglomerat (sr. miocen - badenij)	13
203	pesek, peščenjak in lapor (sr. in sp. miocen - eggenburgij-karpatij)	13
204	konglomerat, peščenjak in lapor (sr. in sp. miocen - eggenburgij-karpatij)	14
204	konglomerat iz granodiorita in metamorfnih k. - radeljske plasti (sp. miocen - ottangij)	14
406	litotamnijsko-lepidociklinski apnenec, pesek, melj in glina (sp. miocen - ottangij-eggenburgij)	23
201	lapornata glina - sivica (sr. in zg. oligocen - rupelij - eggerij)	11
601	menjavanje andezitnega tufa, tufita in laporja (sr. oligocen - rupelij)	27
603	dacit (sr. oligocen - rupelij)	28
604	granodiorit in kremenov diorit (sr. oligocen - rupelij)	29
603	tonalit (sr. oligocen - rupelij)	28
203	prod, pesek, lapor, lapornati apnenec, peščenjak, glina in premog "pseudosoteške plasti" (sr. oligocen - rupelij)	13
203	lapor, peščenjak in grebenski apnenec - gornjegrajske plasti (sr. oligocen - rupelij)	13
407	apnenčevo-dolomitni konglomerat - škofjeloški in okoninski konglomerat (sr. oligocen - rupelij)	24
203	lapor, peščenjak, glinovec in premog - soteške plasti (zg. eocen)	13
302	menjavanje laporja, glinovca in peščenjaka, vložki apnenčevih breč - fliš (sr. eocen)	16
401	alveolinsko-numulitni apnenci (sp. eocen)	18
401	združeni alveolinsko-numulitni apnenci (sp. eocen - zg. paleocen)	18
302	menjavanje peščenjaka, laporja in glinovca, pogosti vložki apnenčevih breč - fliš (zg. paleocen)	16
401	mikritni skladovit apnenec - vremske in kozinske plasti (sp. paleocen - zg. kreda - danij - maastrichtij)	18
405	rdeči in zelenkasti lapor ter lapornati apnenec - sabotinske plasti (zg. kreda - sp. paleocen)	22
405	rdeči in sivi lapornati apnenec ter lapor (turonij-kampanij)	22
302	menjavanje laporja, glinovca in peščenjaka - fliš (zg. kreda - maastrichtij)	16
406	debelozrnata apnenčeva breča s poredkimi vložki fliša (zg. kreda - maastrichtij)	23
405	ploščasti volčanski apnenec z roženci; rdeči lapornati apnenec in lapor (zg. kreda - coniacij - campanij)	22
401	rudistni in kalkarenitni apnenec - lipiška formacija (zg. kreda - coniacij - campanij)	18
402	ploščasti apnenec z roženci - dutoveljska formacija (zg. kreda - campanij)	19
405	ploščasti apnenec z roženci v menjavi z rdečim laporjem (zg. kreda - zg. cenomanij - turonij)	22
401	rudistni in mikritni apnenec - sežanska formacija (zg. kreda - turonij)	18
402	ploščasti apnenec z roženci - komenske plasti (zg. kreda - zg. cenomanij - turonij)	19
403	mikritni skladovit apnenec in bituminozni dolomit (sp. kreda in nižji del zg. krede)	20
302	menjavanje glinovca in kalkarenita, pole roženca - fliš (zgornji del, spodnji in nižji del zgornje krede - aptij - cenomanij)	16

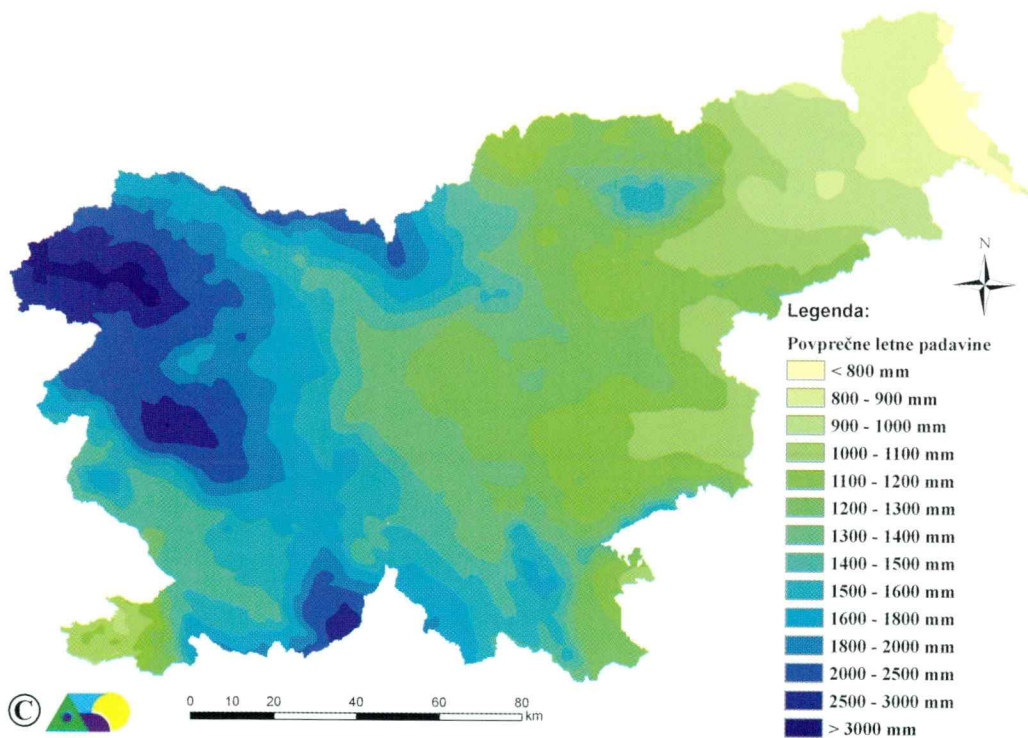
DecKl	OPIS	IG
302	spodaj menjavanje apnenca in dolomita, navzgor mikritni apnenec (sp. kreda - berriasij - barremij)	16
403	menjavanje laporja, glinovca in kalkarenita - fliš (sp. kreda - valanginij - hauterivij)	20
302	ploščasti biancone apnenec z roženci (zg. jura - sp. kreda - tithonij - berriasij)	16
601	serpentin (sp. kreda ???)	19
403	menjavnaje dolomita in apnenca (zg. del zg. jure - zg. kimmeridgij - tithonij)	20
401	oolitni in mikritni apnenec (zg. del zg. jure - zg. kimmeridgij - tithonij)	18
401	mikritni in oolitni skladoviti apnenec (sp. del in zg. del jure - sp. kimmeridgij - oxfordij)	18
401	grebenski apnenec s koralami, hidrozoji in morskimi gobami (sp. del zg. jure - sp. kimmeridgij - oxfordij)	18
406	rdečkasti in sivkasti gomoljasti apnenec tipa ammonitico rosso , apnenčeva breča, lapor in glinovec (zg. in sp. jura)	23
301	skrilavi glinovec z roženci, marogasti lapor in apnenec (sr. in zg. jura - dogger in malm)	15
401	masivni krinoidni in oolitni apnenec (lias, dogger)	18
403	mikritni in oolitni apnenec, bituminozni dolomit (zg. lias - dogger)	20
403	mikritni in oolitni apnenec, apnenčeva breča in bituminozni dolomit (sp. in sr. lias)	20
402	mikritni in kalkarenitni ploščasti apnenec z roženci (lias)	19
403	apnenec, dolomit in apneni-dolomitna breča (tras, jura)	20
401	grebenski apnenec s koralami (zg. trias - retij)	18
403	skladoviti dachsteinski apnenec s prehodi v dolomit (zg. trias - norij-retij)	20
404	skladoviti glavni dolomit (zg. trias - norij-retij)	21
404	ploščasti in skladoviti baški dolomit z roženci (zg. trias - norij-retij)	21
301	glinovec, peščenjak, tuf, tufit, breča, ploščasti apnenec, dolomit v menjavi z laporjem, boksit - borovniške plasti (zg. trias - karnij)	15
405	lapornati apnenec, lapor, skrilavi glinovec (zg. trias - karnij)	22
405	ploščasti apnenec in dolomit z roženci, lapor, lapornati apnenec - tamarska formacija (zg. trias - karnij)	22
406	roženec, ploščasti apnenec, glinovec in meljevec (zg. trias - karnij)	23
301	menjavanje glinovca in peščenjaka, v vrhnjem delu je ploščasti apnenec - amfiklinske plasti (zg. trias - karnij)	15
403	masivni debeložrnati dolomit in apnenec (zg. trias - cordevol)	20
403	masivni wettersteinski apnenec in dolomit., skladoviti apnenec (zg. in sr. trias - cordevol-ladinij)	20
404	masivni dolomit, podrejeno apnenec (zg. in sr. trias - norij-anizij)	21
402	ploščasti mikritni apnenec z gomolji roženca - poključka formacija (sr. in zg. trias)	19
601	keratofir, kremenov keratofir, porfir, porfirit in njihovi tufi (sr. trias - ladinij)	27
601	diabaz, spilitiziran diabaz in njuni tufi (sr. trias - ladinij)	27
301	skrilavi glinovec, meljevec, ploščasti apnenec z roženci, lapor, droba, peščenjak, konglomeratna breča, tuf (sr. T - ladinij)	15
404	skladoviti in masivni dolomit, podrejeno apnenec (sr. trias - anizij)	21
406	dolomit, sljudnati meljevec, peščenjak, glinovec, oolitni apnenec in dolomit, lapor, lapornati apnenec (sp. trias)	23
404	skladoviti dolomit, podrejeno apnenec (zg. perm)	21
303	rdeči in sivi peščenjak, glinovec in konglomerat - grödenska formacija, v Karavankah v spodnjem delu trbiška breča (sr. P)	17
604	porfiroidni granit z enklavami diabaza, granodiorit (perm)	29
401	grebenski neoschwagerinski apnenec, apnenčeva breča (sr. perm)	18
401	svetli do rdečkasti apnenec Dolžanove soteske in trogkofelski apnenec (sp. perm)	18
301	menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat, vložki apnenca (sp. perm)	15
301	menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat (sp. prem in zg. karbon)	15
301	menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat, vložki apnenca (zg. karbon)	15
301	menjavanje skrilavega glinovca in drobe, breča, vložki laminiranega apnenca (sp. karbon)	15
401	spodaj skladoviti apnenec, v srednjem delu grebenski apnenec, zgoraj skladoviti mikritni apnenec (devon)	18
501	filitoidni skrilavec z vložki diabaza in marmoriziranega apnenca - štalenskogorska formacija (devon - silur)	25
601	diabaz in njegov tuf (devon - silur)	27
501	kremenovo-sericitni filit z vložki marmorja (silur - ordovicij)	25
501	kloritno-amfibolov in biotitno kloritni skrilavec z vložki amfibolita (kambrij)	25
502	stanzolitov in almandinov blestnik s prehodi v gnajs (predkambrij)	26
502	gnajs s prehodi v blestnik (predkambrij)	26
602	diaforit (predkambrij)	28
401	marmor (predkambrij)	18
602	amfibolit s prehodi v eklogit (predkambrij)	28
502	biotitno-muskovitni blestnik s prehodi v gnajs (predkambrij)	26
502	muskov.-biotit. gnajs, distenov protasti in očesni gnajs, pegmatitne žile (predkambrij)	26

podaja seznam litostratigrafskih enot, ki se pojavljajo na geološki karti Slovenije 1 : 250.000 (Buser, v tisku) (stolpec OPIS) in njihovo inženirsko-geološko klasifikacijo (stolpca DecKl in IG) (Ribičič et al., 2003).

Lastnik podatkov povprečnih letnih padavin za referenčno obdobje med leti 1961–1990 je MOP–ARSO. Referenčno obdobje (1961–1990) je določila Svetovna meteorološka organizacija (Zupančič, 1995). Isti avtor navaja, da so podatki o povprečnih letnih padavinah koristni pri ocenah vodnih zalog v podtalnici, obenem pa opozarja, da je za analize v drugih vejah znanosti koristnejši podatek o padavinah krajših časovnih intervalov. Karta povprečnih letnih padavin je imela v izvirniku ločljivost 100 metrov. Natančnost podatkov ni znana, dejstvo pa je, da so padavine podvržene vplivom vetra in temperatur. Iz povedanega sledi, da so lahko podatki prostorsko precej spremenljivi in je smiselnost določitve natančnosti vprašljiva. Slika 2 prikazuje povprečne letne padavine za obdobje od 1961 do 1990 za

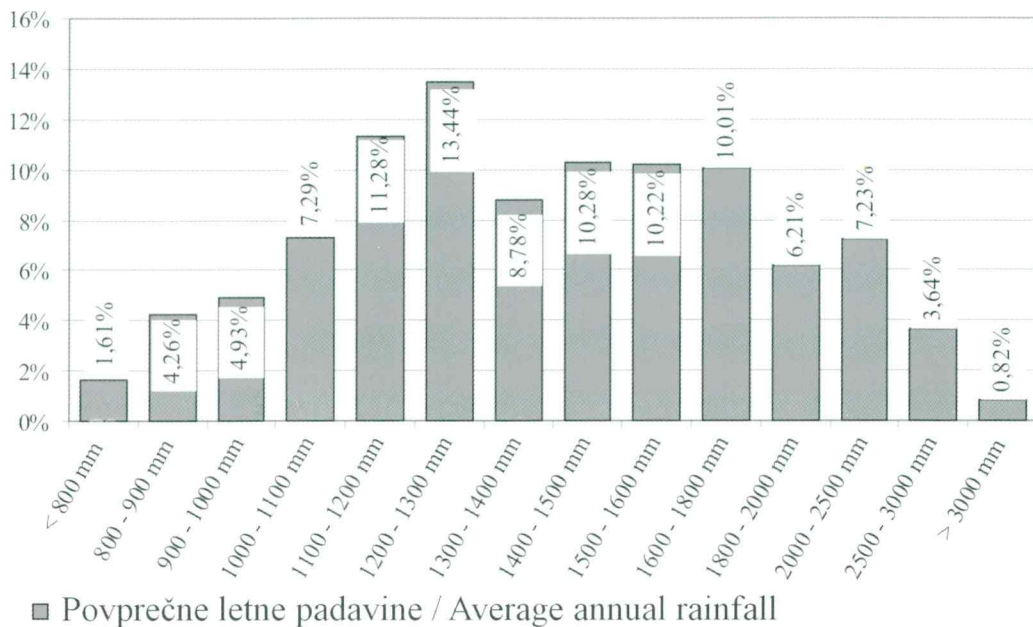
celotno Slovenijo, slika 3 pa porazdelitev deležev vrednosti povprečnih letnih padavin za isto območje.

Tudi podatki maksimalnih 24-urnih padavin s povratno dobo 100-tih let so last MOP–HMZ (MOP–ARSO, 2002). Pri obravnavi teh podatkov je treba upoštevati enaka odstopanja kot pri karti povprečnih letnih padavin za obdobje 1961–1990. Karta je izdelana na osnovi meritev v padavinski mreži, ki vključuje preko 200 merilnih točk. Analiza ekstremnih vrednosti po Gumbelu (1958) daje rezultate v obliki precej grobih ocen in je močno odvisna od dolžine niza podatkov. Pri analizi je upoštevana le ena najvišja vrednost v časovno neodvisnem vzorcu, to je v enem letu. Frekvenca pojavljanja izrednih dogodkov ni upoštevana. Kljub temu pa karta podaja dobro oceno prostorske porazdelitve maksimalnih 24-urnih padavin in dobro oceno velikostnega razreda (Zupančič, 2001; osebni kontakt). Karta maksimalnih 24-urnih padavin za Slovenijo je prikazana na sliki 4, slika 5 pa



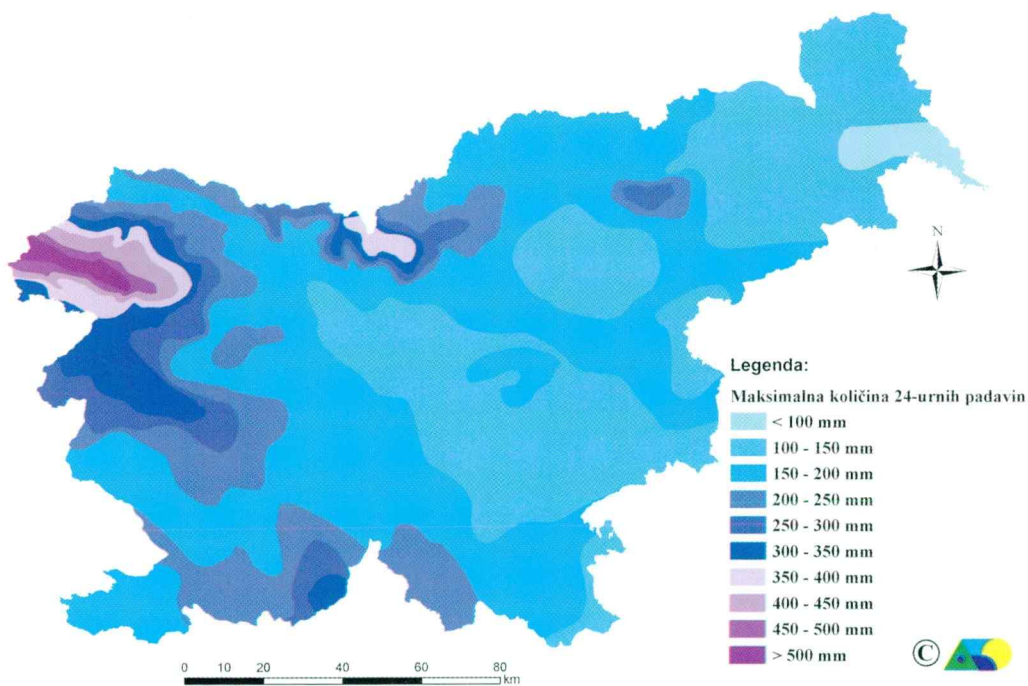
Slika 2. Povprečne letne padavine v Sloveniji za obdobje 1961–1990 (v mm).

Fig. 2. Average annual rainfall in Slovenia for the period of 1961–1990 (in mm).



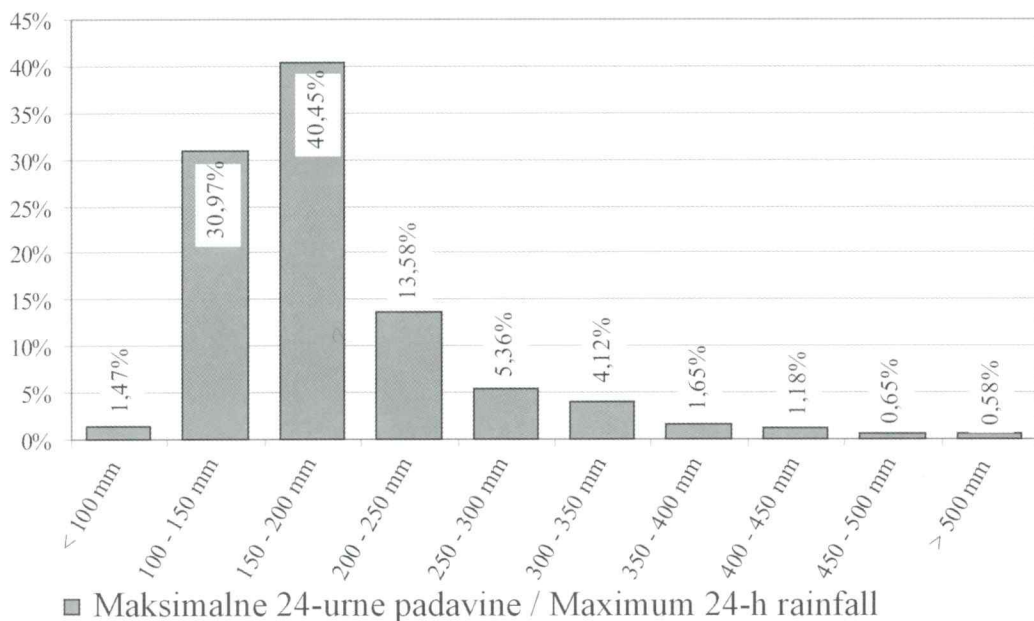
Slika 3. Porazdelitev vrednosti povprečnih letnih padavin za območje Slovenije.

Fig. 3. Distribution of average annual rainfall intensities for Slovenia.



Slika 4. Karta maksimalnih 24-urnih padavin s povratno dobo 100-tih let (v mm/24h).

Fig. 4. Map of maximum 24-h rainfall with a 100 years return period (in mm/24h).



Slika 5. Porazdelitev vrednosti maksimalnih 24-urnih padavin za območje Slovenije.

Fig. 5. Distribution of maximum 24-h rainfall intensities for Slovenia.

prikazuje porazdelitev deležev vrednosti maksimalnih 24-urnih padavin za isto območje. Korelacija med podatki povprečnih letnih padavin in maksimalnih 24-urnih padavin je visoka (0,767), kar kaže na odvisnost letnih povprečnih padavin od maksimalnih 24-urnih.

Metodologija

V prispevku je bila analizirana frekvenca prostorskega pojavljanja plazov na enoto površine v odvisnosti od geoloških (litoških) lastnosti in količinami padavin, povprečnih letnih in maksimalnih 24-urnih. Rezultat med frekvenco pojavljanja plazov in količinami padavin podaja dobro osnovo za določitev mejnih količin padavin, ki vplivajo na povečanje pojavljanja plazov, tako v daljšem časovnem obdobju (povprečne letne padavine), kot tudi v krajšem časovnem obdobju (maksimalne 24-urne padavine). Rezultati slednjih so tudi bolj zanesljivi, saj je korelacija z nastankom plazov verjetnejša tudi s časovnega vidika, obenem pa je stopnja evapotranspiracije pri kratkotrajnih intenzivnih padavinah zanemarljiva v primerjavi s količino padavin (Janža, 2005; osebni kontakt).

Na podlagi izkušenj nekaterih avtorjev (Stančič & Veljanovski, 1998, 2000a, 2000b; Veljanovski, 1999; Komac, 2003, 2005) pri uporabi neparametrične metode testiranja χ^2 (hi kvadrat) pri klasificiranih prostorskih podatkih, je bila za pojavljanje plazov v odvisnosti od tipa inženirsko-geološke enote in kritičnih količin padavin izbrana prav omenjena metoda. Temelji na primerjavi dejanskih (izmerjenih) in pričakovanih (teoretičnih) frekvenc pojavov in je primerna za testiranje normalno porazdeljenih nominalnih/kategoričnih spremenljivk (Davis, 1986). Pričakovane frekvence pojavov plazov v določenem razredu spremenljivke (dejavnika) so torej odvisne od površine istega razreda, saj je privzeto, da je verjetnost pojava enaka po vsem obravnavanem območju. Večja ko je razlika med dejanskimi in pričakovanimi frekvencami, večji je χ^2 in bolj opazovana spremenljivka vpliva na pojavljanje odvisne spremenljivke, v danem primeru na pojavljanje plazov. V nadaljnjem besedilu so v preglednicah podane vrednosti df , p in χ^2 . Oznaka " df " predstavlja stopnje prostosti (*ang. degrees of freedom*) v statistični metodi, uporabljeni za analizo podatkov. Oznaka " p " predstavlja stopnjo tveganja, s katero je bila trditev H_0 zavrnjena (porazdelitev vzorca se ujema s porazdelit-

vijo populacije). χ^2 predstavlja rezultat statistične primerjave dejanske frekvence s pričakovano pri testu χ^2 . Kot še sprejemljiva stopnja zaupanja α je bila privzeta vrednost 95 %. Z odebeljenim tiskom so označeni razredi, kjer je število plazov statistično značilno večje kot bi bilo pričakovati na podlagi naključne prostorske porazdelitve plazov. S poševnim tiskom so označeni razredi, v katerih je število plazov blizu statistično značilno večjega.

Vse predstavljene analize so bile opravljene v GIS-u. Zaradi celične (rastrske) obdelave/analize prostorskih podatkov, je bila velikost osnovne celice določena na 25×25 metrov.

Rezultati in diskusija

Analiza pojavljanja plazov po posameznih inženirsko-geoloških enotah

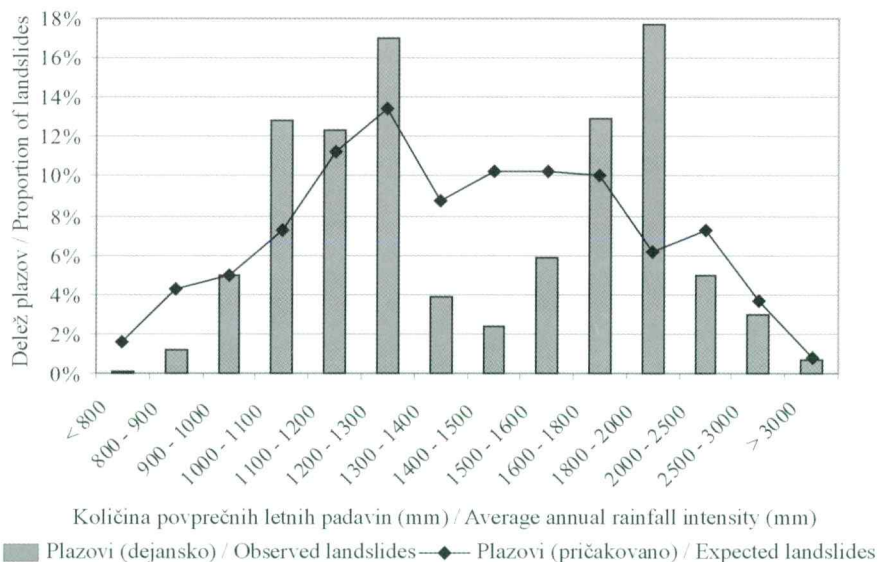
Preglednica 2 predstavlja poleg inženirsko-geološke oznake in litološkega opisa enote še povzetek rezultatov testa χ^2 , število pojavov v posamezni enoti z oznako IG 1 – IG 29 ter razvrstitev enot na podlagi statistike (testa χ^2) in strokovne ocene. V stolpcu "RANG" je podana vrednost razreda, v ka-

terege je bila uvrščena enota na podlagi pojavljanja plazov in strokovne ocene (popravka). Višja vrednost predstavlja večjo verjetnost pojavljanja plazov. Pri enotah, kjer je pojavljanje plazov precej drugačno od statističnega rezultata, je bila enota razvrščena na podlagi strokovne ocene (Komač et al., 2005). V večini primerov popravkov so bile enote uvrščene višje na lestvici možnosti plazenj, kot pa so nakazovali rezultati statistike. Na koncu preglednice je podana obrazložitev strokovne odločitve.

Analiza pojavljanja plazov po razredih povprečnih letnih padavin

Preglednica 3 in slika 6 v nadaljevanju podajata rezultate analize pojavljanja plazov po razredih količin povprečnih letnih padavin za območje Slovenije.

Značilno različno pojavljanje plazov od pričakovanega se kaže v dveh intervalih, od 1000 do 1300 mm/leto in med 1600 in 2000 mm/leto. Nenavaden vpliv tega dejavnika se razjasni ob analizi vrednosti dejavnika padavin znotraj posameznih inženirsko-geoloških enot. Količina povprečnih letnih padavin v Sloveniji proti vzhodu pada, grobo gledano pa se v isti smeri tudi povečuje možnost nastanka plazov zaradi geoloških vpli-



Slika 6. Pojavljanje vseh plazov (Plazovi (dejansko) in Plazovi (pričakovano)) po razredih količin povprečnih letnih padavin za območje celotne Slovenije.

Fig. 6. Observed and expected landslide distribution according to the average annual rainfall intensity classes in Slovenia.

Preglednica 2. Razvrščene inženirsko-geološke enote na podlagi χ^2 testa (Komac et al., 2005).

Rezultati testa χ^2 nimajo negativnih vrednosti, zato so bile pred tistimi vrednostmi, kjer je razlika med pričakovanim in dejanskim številom plazov v inženirsko-geološki enoti negativna, informativno podane oznake (-).

Table 2. Engineering-geological units, ranked upon the χ^2 test (Komac et al., 2005). Since the results of χ^2 test do not have negative scores, the sign (-) was informatively placed before the scores of units where the number of expected landslides is higher than the number of observed landslides.

DecKl	Litološki opis	χ^2	IG	Št. plazov	RANG (stat. z eksp. popr.)
403	apnenci in dolomiti (KAR – karbonatne k.)	(-)222,154	20	99	2
113	menj. različnih zemljin (prod, pesek, glina itd.) (ZEM – R – ravninske zemljine)	(-)128,890	3	129	1
401	skladoviti in grebenski apnenci (KAR)	(-)115,504	18	43	2
404	dolomiti (KAR)	(-)37,382	21	101	2
111	pretežno glinaste zemljine (ZEM – R)	(-)16,839	1	4	1
112	barjanske, jezerske zemljine (glina, melj, šota) (ZEM – R)	(-)16,398	2	9	1
133	prodinate zemljine (ZEM – K)	(-)9,478	9	40	5 ¹
604	granodiorit in porfiroidni granit (MAG – magmatske k.)	(-)8,997	29	4	2
602,	amfibolit, serpentin, diaforit, tonalit, dacit, granodiorit				
603	(MAG)	(-)7,982	28	8	2
402	ploščasti apnenci (KAR)	(-)3,346	19	6	2
501	metamorfni skrilavci ali filiti (MET – metamorfne k.)	(-)1,261	25	26	5 ²
502	blestniki in gnajsi (MET)	(-)0,180	26	41	3
202	glinaste in lapornate polhribine ter apnenec (POL – polhribine)	0,136	12	1	6 ³
123	grušnate zemljine (prevlad. debela fr.), morene (ZEM – P – pobočne zemljine)	1,475	6	39	4
302	lapor in peščenjak (fliš) z vložki drugih kamnin (KLA – klastične kamnine)	1,695	16	207	5 ⁴
406	apnenci z vložki drugih kamnin (KAR)	2,779	23	72	4
131	glinaste zemljine (ZEM – K – kamenotvorne zemljine)	4,239	7	35	5
122	grušnate zemljine (z glinasto komponento) (ZEM – P)	9,565	5	47	6
141	rudniški odvali – halde (ZEM – A – antropogene zemljine)	10,628	10	2	5 ⁵
407	apnenčevi konglomerati in breče (KAR)	14,418	24	9	2 ⁶
121	glinaste – deluvialne, proluvialne zemljine (ZEM – P)	15,832	4	18	5
204	konglomerat (POL)	35,149	14	128	5 ⁷
601	keratofirji, diabazi in druge magmatske kamn. s tufi (MAG)	40,687	27	81	4
132	menjavanje fino in grobozrnatih zemljin (ZEM – K)	55,914	8	60	6
405	apnenci z laporji (KAR)	57,215	22	121	5 ⁸
303	peščenjaki in konglomerati z vložki drugih kamnin (KLA)	183,962	17	97	6
201	glinaste in lapornate polhribine (POL)	211,651	11	91	6
203	menjavanje različnih polhribin (lapor, pesek, peščenjak, konglomerat, prod, glina itd.) (POL)	220,084	13	186	6
301	(skrilavi) glinovci z vložki drugih kamnin (KLA)	702,556	15	455	6 ⁹

Razred 114 je bil priključen razredu 113, razred pa 142 ne nastopa na Geološki karti Slovenije 1 : 250.000. Popravki razvrstitve inženirsko-geoloških enot v preglednici 2 (stolpec RANG) na osnovi strokovne ocene: 1 – V prodnatih zemljinah se plazovi ne pojavljajo, ker te ne ležijo na nagnjenem terenu. Kljub temu pa so te zemljine močno nagnjene k plazanju, če se nahajajo na območjih z naklonom, večjim od 5°. Enota IG 9 je bila uvrščena v 5. razred.

2 – Po strokovni oceni je enota IG 25 bolj plazovita kot kaže statistika, zato je bila uvrščena v 5. razred.

3 – Po strokovni oceni je enota IG 12 zelo plazovita, zato je bila uvrščena v 6. razred.

4 – Po strokovni oceni je enota IG 16 bolj plazovita kot kaže statistika, zato je bila uvrščena v 5. razred.

5 – Če se enota IG 10 pojavlja na nagnjenem terenu je verjetnost pojavljanja plazov zelo velika. Enota je bila uvrščena v 5. razred.

6 – V apnenčevem konglomeratu se pojavljajo vložki glinovcev in nekatere nevezane kamnine, kar je posledica grobege merila karte (1 : 250.000). Zaradi tega se v tej enoti, ki je sama po sebi trdna in ni podvržena plazanju, pojavlja »preveč« plazov. Enota IG 24 je bila uvrščena v 2. razred.

7 – Konglomerati so trdne kamnine, ki ležijo na razmeroma ravnem terenu, kjer so plazovi redki. Visoka statistična ocena je verjetno posledica prisotnosti prevojev (teras) ali pa zaradi vključitve litostratigrafske enote, ki med drugimi vsebuje lapor v enoto IG 14. Ker so območja z majhnimi nakloni izločena iz modela napovedi, s čimer so ravninsko ležeči konglomerati avtomatično izločeni. Enota IG 14 je bila na podlagi statistike uvrščena v 5. razred.

8 – Po strokovni oceni je enota IG 22 bolj plazovita kot kaže statistika, zato je bila uvrščena v 5. razred.

9 – Po strokovni oceni je enota IG 15 zelo plazovita, zato je bila uvrščena v 6. razred.

vov (inženirsko-geoloških lastnosti kamnin). Zato prvi vrh povprečnih letnih padavin povzroča pojavljanje plazov bolj na vzhodu države (večinoma v kvartarnih in terciarnih kamninah), drugi pa v zahodnem delu države (večinoma v triasnih in premo-karbon-

skih skladih). Slika 7 ter preglednici 4 in 7 potrjujeta zgornjo domnevo. Guzzetti et al. (2004) so ugotovili, da je količina 1000 mm padavin v 45 dneh botrovala ugodnim razmeram za nastanek plazov pri kasnejših intenzivnejših kratkotrajnih padavinah.

Preglednica 3. Pojavljanje vseh plazov po razredih povprečnih letnih padavin za območje celotne Slovenije.

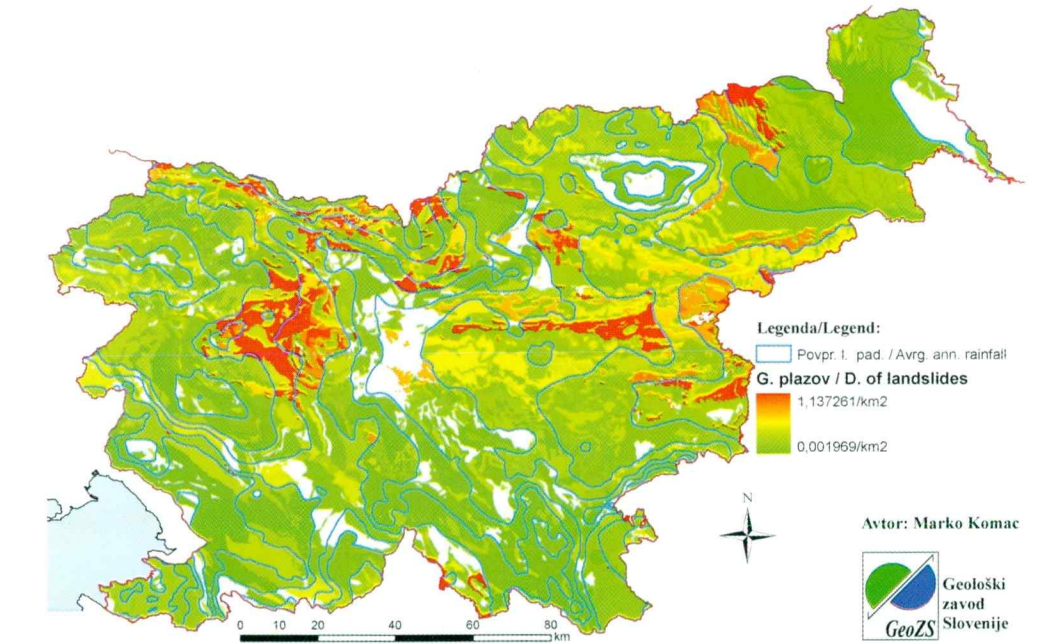
Table 3. Landslide distribution according to the average annual rainfall intensity classes for Slovenia.

$\chi^2 = 736,8426$	df = 13	p < 0,000000		
Povprečne letne padavine (mm/leto)	Dejansko (D)	Pričakovano (P)	D-P	$\chi^2=(D-P)^2/P$
< 800	5,000	34,675	-29,675	25,3955
800 - 900	21,000	91,732	-70,732	54,5392
900 - 1000	110,000	106,328	3,672	0,1268
1000 - 1100	240,000	157,171	82,829	43,6505
1100 - 1200	264,000	243,014	20,986	1,8123
1200 - 1300	407,000	289,533	117,467	47,6574
1300 - 1400	91,000	189,290	-98,290	51,0378
1400 - 1500	83,000	221,472	-138,472	86,5773
1500 - 1600	128,000	220,288	-92,288	38,6637
1600 - 1800	296,000	215,809	80,191	29,7979
1800 - 2000	343,000	133,867	209,133	326,7145
2000 - 2500	97,000	155,874	-58,874	22,2370
2500 - 3000	62,000	78,380	-16,380	3,4231
> 3000	8,000	17,566	-9,566	5,2097
Σ	2155,000	2155,000	0,000	736,8426

Analiza pojavljanja plazov po razredih maksimalnih 24-urnih padavin

Preglednica 5 in slika 8 v nadaljevanju podajata rezultate analize pojavljanja plazov po razredih količin maksimalnih 24-urnih padavin za območje Slovenije.

Preglednica 5 kaže splošno podobo vpliva 24-urnih padavin na pojavljanje plazov. Tako so za vse plazove skupaj značilne sprožilne količine enodnevnih padavin z intenziteto nad 150 mm. Znotraj inženirsko-geoloških enot se plazovi pojavljajo značilno različno od pričakovanega v območju maksimalnih



Slika 7. Gostota plazov po razredih povprečnih letnih padavin in po inženirsko-geoloških enotah (št. plazov/km²). Padavine so tu predstavljene le z izohietami, vrednosti pa so podane na sliki 2.

Fig. 7. Landslide density map according to the average annual rainfall intensity classes and to engineering-geology units (No. landslides/km²). Rainfall intensity classes are represented with isohiets, and their values are shown in the Figure 2.

Preglednica 4. Rezultati statistične primerjave dejanske frekvence pojava s pričakovano pri testu χ^2 po razredih povprečnih letnih padavin (mm/leto) in po razredih inženirsko-geoloških enot. V prvem stolpcu so podane oznake inženirsko-geoloških enot (IG), v prvi vrstici pa količine letnih povprečnih padavin v mm/leto (PAD). Kombinacije, ki ne obstajajo, so označene z “-”, značilne vrednosti so označene z debelim tiskom. Rezultati so grafično prikazani na sliki 7.

Table 4. Results of statistical comparison of observed vs. expected landslide frequency (χ^2 test) according to the average annual rainfall intensity classes (mm/year) and to engineering-geology units. The first column defines engineering-geological units (IG), and the first row defines rainfall intensity classes (PAD). Nonexisting combinations are marked with “-”, significant values are marked with bold text. Graphical display of results is shown in Figure 7.														
IG/PAD < 800	800 - 900	900 - 1000	1000 - 1100	1100 - 1200	1200 - 1300	1300 - 1400	1400 - 1500	1500 - 1600	1600 - 1800	1800 - 2000	2000 - 2500	2500 - 3000	3000 - 3500	> 3500
IG 1	-	-	(-0,39	(-2,01	(-4,12	(-7,77	(-1,71	(-0,73	(-0,29	(-0,13	-	-	-	-
IG 2	(-1,4	(-3,01	(-0,6	(-2,17	(-0,35	-	(-6,39	(-3,95	(-1,3	(-0,24	(-0,01	0,000	-	-
IG 3	(-22,5	(-52,3	(-26,71	(-13,19	(-16,2	(-1,08	(-21,1	(-15,3	(-2,77	7,650	0,200	(-0,94	0,450	(-0,52
IG 4	-	-	(-0,1	(-0,54	1,270	3,410	(-0,12	0,810	20,980	3,100	1,640	5,090	-	-
IG 5	-	-	-	(-0,01	(-0,33	1,910	(-0,22	(-0,56	35,600	(-0,04	19,810	(-0,06	0,010	(-0,89
IG 6	-	-	-	(-0,22	(-1,42	(-0,06	(-1,71	(-1,27	(-0,04	14,690	(-0,44	(-1,95	5,680	9,380
IG 7	-	(-0,11	0,000	8,190	(-0,94	28,600	(-1,68	(-1,23	(-0,48	-	-	-	-	-
IG 8	-	1,530	(-0,03	118,190	15,590	(-0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
IG 9	(-3,15	(-9,36	0,010	(-0,27	0,100	(-1,26	(-0,86	(-0,45	-	-	-	-	-	(-0,05
IG 10	-	-	-	-	-	10,560	-	-	-	-	-	-	-	-
IG 11	-	-	-	8,600	18,330	242,420	(-0,16	0,000	47,370	(-0,28	-	-	-	-
IG 12	-	0,170	-	0,000	(-0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IG 13	-	0,000	(-0,02	45,870	32,960	226,380	0,860	0,470	69,140	3,470	0,810	(-0,28	0,000	-
IG 14	-	-	2,970	86,100	23,410	0,580	(-3,58	(-7,59	0,020	(-0,24	-	(-0,45	0,000	(-0,03
IG 15	-	-	-	37,340	2,490	46,360	53,780	(-5,74	3,570	243,730	985,790	15,240	1,750	-
IG 16	-	-	(-0,74	(-0,66	(-4,84	(-2,65	0,700	2,920	(-0,56	16,110	4,710	0,720	0,090	0,620
IG 17	-	-	-	(-0,01	(-0,08	4,350	(-0,65	0,010	(-0,84	32,270	365,760	30,640	-	-
IG 18	-	-	2,050	1,670	(-2,17	0,190	(-19,2	(-35,5	(-35,4	(-30,23	(-10,44	(-13,1	(-2,27	-
IG 19	-	-	-	2,130	0,910	-	(-0,12	(-1,78	(-1,34	0,060	0,260	(-3,2	(-0,99	-
IG 20	-	-	-	(-1,02	(-2,95	(-14,29	(-36,2	(-40,2	(-43,1	(-36,67	(-20,03	(-30,5	(-4,15	(-4,69
IG 21	-	-	-	(-1,87	(-4,65	(-2,13	(-8,3	(-8,8	(-21,2	(-0,5	4,410	(-7,67	(-8,08	(-2,08
IG 22	-	0,000	205,060	35,580	3,080	12,530	(-0,22	(-1,41	(-0,64	(-1,33	(-0,51	(-4,22	0,100	(-0,2
IG 23	-	-	-	(-0,46	(-1,59	3,170	0,000	(-4,75	(-1,5	41,210	3,460	(-0,04	(-2,54	(-0,35
IG 24	-	-	-	-	2,330	1,860	(-0,56	(-0,16	(-0,43	44,800	-	(-0,08	(-0,12	-
IG 25	-	(-0,51	-	-	(-6,22	(-1,87	(-1,08	99,920	(-0,66	-	-	-	-	-
IG 26	-	-	-	7,980	9,540	(-2,35	(-6,23	(-3,89	(-1,48	-	-	-	-	-
IG 27	-	(-0,14	-	(-0,3	3,260	21,220	(-2,93	(-2,96	0,000	15,000	217,050	(-0,16	(-0,03	-
IG 28	-	-	-	(-0,2	(-0,04	(-0,82	(-6,71	(-3,92	(-0,48	(-0,03	-	-	-	-
IG 29	-	-	-	(-0,03	(-0,37	(-1,16	(-0,45	(-2,72	(-5,22	-	-	-	-	-

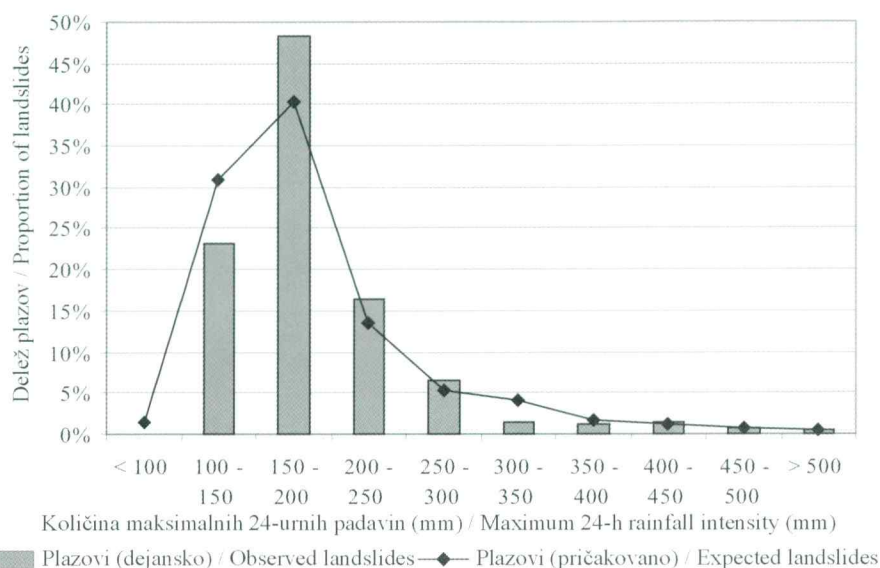
Preglednica 5. Pojavljanje vseh plazov po razredih maksimalnih 24-urnih padavin za območje Slovenije.

Table 5. Landslide distribution according to the maximum 24-h rainfall intensity classes in Slovenia.

$\chi^2 = 166,5906$	df = 9	p < 0,000000		
Maksimalne 24-urne padavine (mm/24h)	Dejansko (D)	Pričakovano (P)	D-P	$\chi^2=(D-P)^2/P$
< 100	1,000	31,779	-30,779	29,8109
100 - 150	500,000	667,609	-167,609	42,0798
150 - 200	1043,000	872,039	170,961	33,5167
200 - 250	352,000	292,862	59,138	11,9419
250 - 300	143,000	115,588	27,412	6,5007
300 - 350	31,000	88,772	-57,772	37,5972
350 - 400	28,000	35,559	-7,559	1,6069
400 - 450	33,000	25,361	7,639	2,3010
450 - 500	16,000	13,996	2,004	0,2868
> 500	9,000	12,434	-3,434	0,9486
Σ	2156,000	2156,000	0,000	166,5906

24-urnih padavin od 100 do 300 mm zaradi podobnega efekta kot je bil nakazan pri povprečnih letnih padavinah. Preglednica 6 in slika 9 potrjujeta domnevo, da so za pojavljanje plazov v kamninah, občutljivejših za plazenje (terciarni, triasni in permo-karbon-

ski skladi), dovolj nizke količine maksimalnih 24-urnih padavin. Očitno je, da igra količina med 100 in 150 mm v 24-ih urah ključno vlogo pri pojavljanju plazov, saj se nad to količino gostota plazov na površino enote občutno poveča, predvsem v skladih, ki so



Slika 8. Pojavljanje vseh plazov (Plazovi (dejansko) in Plazovi (pričakovano)) po razredih maksimalnih 24-urnih padavin za območje celotne Slovenije.

Fig. 8. Observed and expected landslide distribution according to the maximum 24-h rainfall intensity classes in Slovenia.

navedeni v preglednici 7 (večinoma kvartarne, terciarne, triasne in permo-karbonski-estariosti) (rdeča območja na sliki 9).

Podatki o pojavljanju 25-ih plazov (Sotlar, 2005; osebni kontakt) in o prizadetih občinah (Radio Krka, 2005) ob obilnih padavinah med 20. in 22. avgustom 2005 ter podatki o vremenskih razmerah (Dolinar et al., 2005) so omogočili enostavno analizo prekrivanja, katere rezultati nakazujejo, da se pri dvodnevem intenzivnem deževju sprožilne količine padavin za prizadeto območje gibljejo med 130 in 180 mm. Ta rezultat kaže na pomembno vlogo že obstoječe vlage v tleh, ki močno zniža sprožilno količino padavin, ki je potrebna za pojav plazanja.

Analiza mejnih dnevnih količin padavin po posameznih litostratigrafskih enotah pokaže, da se pri nekaterih enotah začne pojavljati plazovi že nad 100 mm/24 h. Preglednica 7 podaja mejne količine padavin (v mm/24 h), pri katerih je možno pričakovati znatno povečanje pojavov plazov, za posamezne litostratigrafske enote Geološke karte Slovenije 1 : 250.000. Rezultati so nekoliko drugačni od tistih za posamezne inženirsko-geološke enote, kar je pričakovano, saj so tu enote podrobneje razdeljene. Enote, pri katerih je mejna količina padavin med 100 in 150 mm obsegajo 10,93 % Slove-

nije, enote, pri katerih je mejna količina padavin med 150 in 200 mm obsegajo 8,09 %, enote, pri katerih je mejna količina padavin med 200 in 250 mm obsegajo 2,5 %, enote, pri katerih je mejna količina padavin med 350 in 400 mm obsegajo 0,13 % in enote, pri katerih je mejna količina padavin med 400 in 450 mm obsegajo 0,05 % površine Slovenije.

Zaključki

Prostorske analize pojavljanja plazov so pokazale pričakovan rezultat, da intenziteta padavin vpliva na prostorsko (in časovno) pojavljanje plazov v Sloveniji, seveda ob predpogoju za pojavljanje plazov na za plazenje bolj občutljivih tleh. Obenem so rezultati pokazali, da se mejne količine padavin, ki značilno vplivajo na pojavljanje plazov gibljejo med 100 in 150 mm v 24-ih urah. Iz analiz so bili izvzeti ekstremni vremenski dogodki, torej redke intenzivne padavine (Zupančič, 2001). Pri podanih rezultatih je treba upoštevati razpon razreda količin padavin, ki je 50 mm in močne napake pri merjenju kratkotrajnih intenzivnih padavin, kar lahko vpliva na kakovost rezultatov. V primeru povprečnih letnih padavin, ki so

Preglednica 6. Rezultati statistične primerjave dejanske frekvence pojava s pričakovano pri testu χ^2 po razredih maksimalnih 24-urnih padavin (mm/24h) in po razredih inženirsko-geoloških enot. Rezultati so grafično prikazani na sliki 9. V prvem stolpcu so podane oznake inženirsko-geoloških enot (IG), v prvi vrstici pa količine maksimalnih 24-urnih padavin v mm/24h. Stolpec ZR predstavlja značilni razred padavin za posamezno IG enoto. Kombinacije, ki ne obstajajo, so označene z "-", značilne vrednosti so označene z debelim tiskom. Rezultati so grafično prikazani na sliki 9.

Table 4. Results of statistical comparison of observed vs. expected landslide frequency (χ^2 test) according to the maximum 24-h rainfall intensity classes (mm/24h) and to engineering-geology units. The first column defines engineering-geological units (IG), and the first row defines rainfall intensity classes (PAD). Column ZR represents significant rainfall intensity class. Nonexisting combinations are marked with "-", significant values are marked with bold text. Graphical display of results is shown in Figure 9.

IGPAD	< 100	100 - 150	150 - 200	200 - 250	250 - 300	300 - 350	350 - 400	400 - 450	450 - 500	> 500	ZR
IG 1	-	(-10,676	(-6,031	(-0,251	-	-	-	-	-	-	-
IG 2	(-2,881	(-2,325	(-16,385	8,303	(-0,027	-	-	-	-	-	200-250
IG 3	(-24,47	(-120,989	(-10,776	1,019	0,653	(-0,01	0,075	2,674	(-0,381	(-0,65	-
IG 4	-	0,116	5,408	10,771	0,120	30,026	-	-	-	-	150-200
IG 5	-	0,463	1,413	23,669	(-0,098	3,034	(-2,959	(-0,217	0,225	0,046	200-250
IG 6	-	(-3,605	1,107	3,313	0,000	(-3,224	(-0,226	7,904	2,370	0,573	400-450
IG 7	(-0,03	(-4,642	15,702	12,708	-	-	-	-	-	-	150-200
IG 8	-	12,010	83,286	-	-	-	-	-	-	-	100-150
IG 9	(-2,734	(-8,547	0,007	-	-	-	-	-	(-0,051	-	-
IG 10	-	(-0,165	31,173	-	-	-	-	-	-	-	150-200
IG 11	-	20,456	220,085	2,697	-	-	-	-	-	-	100-150
IG 12	-	0,157	(-0,021	-	-	-	-	-	-	-	-
IG 13	-	32,919	237,882	0,468	(-0,296	0,913	(-0,259	(-0,041	-	-	100-150
IG 14	-	45,002	8,268	(-0,032	-	(-0,272	(-0,415	(-0,072	0,451	(-0,232	100-150
IG 15	-	10,090	399,140	328,050	229,820	(-0,453	6,035	57,897	-	-	100-150
IG 16	-	(-8,062	0,551	0,079	51,224	(-7,923	(-0,036	9,349	2,452	0,848	250-300
IG 17	-	(-0,011	94,149	180,690	1,308	(-0,048	32,599	(-0,044	-	-	150-200
IG 18	-	(-6,474	(-56,3	(-44,043	(-7,795	(-8,537	(-0,384	(-0,282	-	-	-
IG 19	-	(-0,378	0,191	(-0,919	(-1,289	(-1,329	(-0,585	(-0,07	(-0,049	-	-
IG 20	-	(-37,636	(-101,59	(-54,919	(-16,701	(-18,602	(-5,51	(-1,981	0,097	(-2,222	-
IG 21	-	(-21,186	(-7,602	(-2,361	(-2,824	(-8,392	0,273	0,157	(-1,695	(-0,058	-
IG 22	-	53,067	62,522	(-2,424	(-4,857	(-2,026	0,685	(-0,561	(-0,365	1,450	100-150
IG 23	-	(-0,041	1,980	15,472	0,281	(-2,793	(-0,081	(-0,139	(-0,437	(-0,025	200-250
IG 24	-	2,188	19,576	(-0,268	-	0,000	(-0,07	(-0,033	-	-	150-200
IG 25	-	(-0,881	(-3,606	9,145	-	-	-	-	-	-	200-250
IG 26	-	(-1,143	(-0,92	3,400	(-0,496	-	-	-	-	-	200-250
IG 27	-	2,912	30,628	10,070	0,176	13,782	2,567	(-0,033	-	-	150-200
IG 28	-	(-0,364	(-7,145	(-3,216	(-0,077	-	-	-	-	-	-
IG 29	-	(-0,045	(-7,895	0,000	(-4,116	-	-	-	-	-	-

močno korelirane z maksimalnimi 24-urnimi padavinami, se mejne količine padavin, ki značilno vplivajo na pojavljanje plazov, gibljejo nad 1000 mm. Najverjetneje povprečne letne padavine ne vplivajo neposredno na pojavljanje plazov, če že, pa vplivajo le v kombinaciji z intenzivnimi kratkotrajnimi padavinami.

Rezultati analiz pojavljanja plazov kot posledica večdnevni padavin so pokazali, da se sprožilna količina pri 48-urnih padavinah giblje med 130 in 180 mm.

Vprašanje, ki se pojavlja pri vseh raziskavah sprožilnih količin padavin, je tudi kdaj natančno se je plaz sprožil in kakšna je bila kumulativna količina padavin do tistega trenutka? Podatki o količinah padavin se veči-

noma nanašajo na celotno obdobje intenzivnih padavin, kljub dejstvu, da se plazovi sprožajo že znotraj tega obdobja padavin.

Izostanek časovne komponente pri analizah 30-letnih podatkov o padavinah pomeni, da ni dejansko znano ali so bili pojavi plazov posledica intenzivnih kratkotrajnih padavin ali kakšnega drugega sočasnega dejavnika/sprožilca. Glede na indice pojavljanja plazov med obilnimi padavinami v avgustu 2005, bi bilo smiselno trditi, da ta povezava obstaja tudi pri 30-letnih podatkih in pojavih plazov. Razjasnjen tudi ni medsebojni odnos med obema tipoma padavin in njuno skupno delovanje na pojavljanje plazov. Kljub vsemu povezava med pojavljanjem plazov in padavinami nedvomno

Preglednica 7. Mejne količine dnevnih padavin (mm) za litostratigrafske enote, nad katerimi se značilno pojavljajo plazovi.

Table 7. Critical 24-h rainfall intensities (mm), above which significant occurrence of landslides can be expected for lithostratigraphic units.

Kamnina	Starost	Mejna količina padavin (mm)
Skrilavi glinovec, meljevec, ploščasti apnenec z roženci, lapor, droba, peščenjak, konglomerat, breča, tuf	sr. trias	100 - 150
Menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat, vložki apnenca	zg. karbon	100 - 150
Lapor, pesek, prod, peščenjak in konglomerat	zg. miocen	100 - 150
Lapor	sr. miocen	100 - 150
Keratofir, kremenov keratofir, porfir, porfirit in njihovi tufi	sr. trias	100 - 150
Lapornata glina – sivica	sr. in zg. oligocen	100 - 150
Glineni lapor, pesek, prod in glina	zg. miocen	100 - 150
Pesek, peščenjak in lapor	sr. in sp. miocen	100 - 150
Konglomerat, peščenjak in lapor – ivniške plasti	sr. in sp. miocen	100 - 150
Litotamnijski apnenec, lapornati apnenec in lapor	sr. miocen	100 - 150
Rdeči in sivi peščenjak, glinovec in konglomerat – grōdenska formacija, v Karavankah v spodnjem delu trbiška breča	sr. perm	150 - 200
Rudniški odval	antropogeni rec. sedim.	150 - 200
Deluvij (pretežno glina s kosi različnih kamnin)	kvartar	150 - 200
Menjavanje glinovca in peščenjaka, v vrhnjem delu je ploščasti apnenec – amfiklinske plasti	zg. trias	150 - 200
Glinovec, peščenjak, tuf, tufit, breča, ploščasti apnenec, dolomit v menjavi z laporjem, boksit – borovniške plasti	zg. trias	150 - 200
Menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat	sp. perm in zg. karbon	150 - 200
Glina, melj, pesek in premog	pliocen	150 - 200
Glina, zaglinjeni melj s prodniki kremenca in silikatnih kamnin	pliocen in pleistocen	150 - 200
Pesek, melj, peščenjak, meljevec in konglomerat	sr. miocen	150 - 200
Menjavanje andezitnega tufa, tufita in laporja	sr. oligocen	150 - 200
Pesek in glina	zg. miocen in sp. pliocen	150 - 200
Prod, pesek, lapor, lapornati apnenec, peščenjak, glina in premog “pseudosoteske plasti”	sr. oligocen	150 - 200
Serpentin	sp. kreda	150 - 200
Menjavanje skrilavega glinovca in kremenovega peščenjaka, kremenov konglomerat, vložki apnenca	sp. perm	200 - 250
Diabaz, spilitiziran diabaz in njuni tufi	sr. trias	200 - 250
Filitoidni skrilavec z vložki diabaza in marmoriziranega apnenca – štalenskogorska formacija	devon – silur	200 - 250
Pobočni grušč	kvartar	200 - 250
Menjavanje skrilavega glinovca in drobe, breča, vložki laminiranega apnenca	sp. karbon	350 - 400
Skrilavi glinovec z roženci, marogasti lapor in apnenec	sr. in zg. jura	400 - 450

obstaja in naloga nadaljnjih raziskav je, da se v analize vključi časovna komponenta in da se še podrobneje razjasni povezava med padavinami in pojavljanjem plazov v Sloveniji.

Literatura

Berardi, R., Mercurio, G., Cordano, E. & Bartolini, P. 2005: Dynamics of saturation phenomena and landslide triggering by rain infiltration in a slope. – 18th Int. Conference on Landslide Risk Management, Vancouver.

(<http://www.diseg.unige.it/staff/berardi/saturation.pdf>, 2005)

Buser, S.: Geološka karta Slovenije 1 : 250.000. – V tisku.

Campbell, R.H. 1975: Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains

and vicinity, southern California. – Professional Papers, USGS, 851, 50 pp., Washington D C.

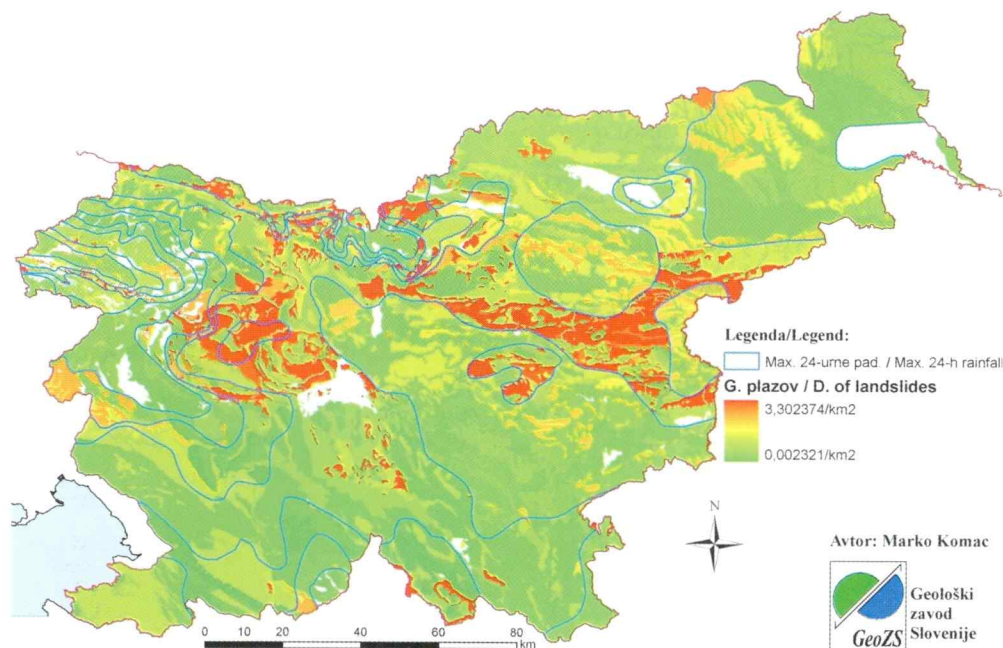
Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P. 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. – Earth Surface Processes and Landforms, 16, 427–445.

Casadei, M., Dietrich, W.E. & Miller, N.L. 2003: Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. – Earth Surface Processes and Landforms, 28, 925–950.

Chatwin, S.C. 1994: A Guide for Management of Landslide-Prone Terrain in the Pacific Northwest. – Land Management Handbook 18, British Columbia – Ministry of Forests and Range, 95 pp., Victoria.

(<http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/LMH18-06.pdf>, 2005)

Coe, J. 2005: Debris-flow triggers, thresholds, and initiation mechanisms in the intermountain west. – Geological Society of America, Abstracts with Programs, 37/6, p. 33, Boulder.



Slika 9. Gostota plazov po razredih maksimalnih 24-urnih padavin in po inženirsko-geoloških enotah (št. plazov/km²). Padavine so tu predstavljene le z izohietami, vrednosti pa so podane na sliki 4.

Fig. 9. Landslide density map according to the maximum 24-h rainfall intensity classes and to engineering-geology units (No. landslides/km²). Rainfall intensity classes are represented with isohiets, and their values are shown in the Figure 4.

Corominas, J. & Moya, J. 1999: Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin Eastern Pyrenees Spain. - *Geomorphology*, 30, 79-93.

Crozier, M.J. 1986: Landslides: Causes, consequences and environment. - Croom Helm, London.

Craig, R.F. 1987: Soil mechanics. - Chapman & Hall, London.

Caine, N. 1980: The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. - *Geografiska Annaler*, 62/A, 23-27.

Davis, J.C. 1986: Statistics and data analysis in geology. - John Wiley & Sons, 646 pp., New York.

Dolinar, M., Gregorič, G., Roethel-Kovač, M., Vertačnik, G. & Zupančič, B. 2005: Obilne padavine med 20. in 22. avgustom 2005. - Agencija Republike Slovenije za okolje, 8 str., Ljubljana. (http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme_in_podnebje/porocila_in_projekti/padavine2122_avg05.pdf, 2005)

Gallart, F. & Clotet, N. 1988: Some aspects of the geomorphic process triggered by an extreme rainfall event: the November 1982 flood in the Eastern Pyrenees. - *Catena Supplement*, 13, Elsevier, 75-95, Amsterdam.

Glade, T. 1998: Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. - *Environmental Geology*, 35/2-3, 160-174.

González-Díez, A. 1995: Cartografía de movimientos de ladera y su aplicación al análisis del desarrollo temporal de los mismos y de la evolución del paisaje - Doktorska disertacija (needitirano). Universidad de Oviedo, 415 pp. + priloge, Oviedo.

Griffiths, J.A., Collison, A.J.C. & Wade, S. 1999: The validity of using a simplified distributed hydrological model for estimation of landslide probability under a climate change scenario. - *GeoComputation 99*, Fredericksburg.

(http://www.geovista.psu.edu/geocomp/geocomp99/Gc99/048/gc_048.htm, 2001)

Gumbel, E.J. 1958: Statistics of extremes. - Columbia University Press, New York.

Guzzetti, F., Cardinal, M., Reichenbach, P., Cipolla, F., Sebastiani, C., Galli, M. & Salvati, P. 2004: Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, western Liguria, Italy. - *Engineering Geology*, 73/3-4, 229-245.

Komac, M. 2003: Napoved tveganja pred plazovi z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov : doktorska disertacija. Ljubljana: ŠM. Komac, 2003. XII, 235, 85 p., ilustr.

Komac, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 2005. SXXVC, 232, 52 p., ilustr.

Komac, M., Ribičič, M., Sinigoi, J., Krivic, M. & Kumelj, Š. 2005: Analiza pojavljanja

plazov v Sloveniji in izdelava karte verjetnosti plazenj. Projekt: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME, Fazno poročilo za leto 2005. - Geološki zavod Slovenije, 138 p., Ljubljana.

Laprade, W.T., Kirkland, T.E., Nashem, W.D. & Robertson, C.A. 2000: Seattle landslide study (Internal Report W-7992-01). - Shannon and Wilson Inc., 164 pp., Seattle.

Larsen, M.C. & Simon, A. 1993: A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico. - *Geografiske Annalen*, 75/A, 13-23.

Marquès, M.A., Martín, E. & Gascón, M. 2001: Episodio extremo y distribución espacial de movimientos de laderas en Montserrat (Barcelona España). - V Simposio Taludes y Laderas Inestables, 3, CEDEX, Sección de Edición, D.L. 2001, 1315-1326, Madrid.

McSaveney, M.J., Beetham, R.D., Leonard, G. & Basset, T. 2005: The 18 May 2005 debris-flow disaster at Matata. - Institute of Geological & Nuclear Sciences, Ltd., 4 str., Wellington. (www.gns.cri.nz, 2005)

Montgomery, D.R. & Dietrich, W.E. 1994: A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. - *Water resources research*, 30/4, 1153-1171.

Montgomery, D.R., Schmidt, K.M., Greenberg, H.M. & Dietrich, W.E. 2000: Forest clearing and regional sliding. - *Geology*, 28/4, 311-314.

Montgomery, D.R., Sullivan, K. & Greenberg, H.M. 1998: Regional test of a model for shallow landsliding. - *Hydrological Processes*, 12, 943-955.

MOP - ARSO 2002: Podatki o dnevnih padavinah. - arhiv Ministrstva za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo, Ljubljana.

Radio Krka 2005: 80 milijonov tolarjev državne pomoči v neurju prizadetim občinam. - Radio Krka Novo mesto d.o.o., Novo Mesto.

([http://www.radiokrka.com/default.cfm?Jezik=Si&Kat=020201&Bes=27380&M=8&Y=](http://www.radiokrka.com/default.cfm?Jezik=Si&Kat=020201&Bes=27380&M=8&Y=,), 2005)

Ribičič, M., Šinigoj, J. & Komac, M. 2003: New general engineering geological map of Slovenia. - *Geologija*, 46/2, 397 - 404.

Ruiz, R.M.M. & Garcia, J.G. 2003: Intense rainfall episodes are the principal triggering factor of landslide phenomenon in Tramuntana range (Majorca island). - 5th Plinius Conference on Mediterranean Storms, European Geosciences Union, Ajaccio.

(<http://www.cosis.net/abstracts/PLC5/00072/PLC5-A-00072.pdf>, 2005)

Shakoor, A. & Smithmyer, A.J. 2005: An analysis of storm-induced landslides in colluvial overlying mudrock sequences, southern Ohio, USA. - *Environmental Geology*, 78/3-4, 257-274.

Stančič, Z. & Veljanovski, T. 1998: Arheološki napovedovalni modeli in GIS. - V: uredniki Marko Krevs [et al.] Geografski informacijski sistemi v Sloveniji, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, 175-185, Ljubljana.

Stančič, Z. & Veljanovski, T. 2000a: Understanding Roman settlement patterns through multivariate statistics and predictive modelling. - *Beyond the map*, edited by Gary Lock., IOS Press, 147-156, Washington.

Stančič, Z. & Veljanovski, T. 2000b: Understanding Roman settlement patterns through multivariate statistics and predictive modelling. - *Geoarchaeology of the landscapes of classical antiquity*, edited by Frank Vermeulen & Morgan De Dapper, Stichting Babesch, 179-187, Leiden.

Terlien, M.T.J. 1988: The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds. - *Environmental Geology*, 35/2-3, 125-130.

Terlien, M.T.J., Van Asch, Th.W.J. & Van Westen, C.J. 1995: Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. - In: Carrara, A. & Guzzetti, F. (Eds.) *Geographical Information Systems in Assessing natural hazards*, Kluwer Academic Publishers, 55-77, Dordrecht.

Van Asch, Th.W.J., Buma, J. & Van Beek, L.P.H. 1999: A view on some hydrological triggering systems in landslides. - *Geomorphology*, 30/1-2, 25-32.

Veljanovski, T. 1999: Prostorsko modeliranje in napovedovanje lokacij arheoloških najdišč: diplomska naloga. - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 164 p., Ljubljana.

Wisher, P.A. 1998: Causes of Landslide Activity Following Heavy Precipitation in the Fall of 1995 and Spring of 1996 in Clearwater County near Orofino, Idaho (M.S. thesis). - Central Washington University, 125 p., Ellensburg.

(<http://www.serve.com/garden/aaron/thesis-mast.shtml>, 2002)

Zêzere, J.L., Trigo, R.M. & Trigo, I. F. 2005: Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationship with the North Atlantic Oscillation. - *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5 - Landslide and debris flows: analysis, monitoring, modelling and hazard, European Geoscience Union, 331 - 344.

Zupančič, B. 1995: Klimatografija Slovenije. Količina padavin: obdobje 1961 - 1990. - Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 366 p., Ljubljana.