

Vpliv talnih lastnosti na pojavljanje zemeljskih plazov v Sloveniji

The Impact of Soil Properties on Landslide Occurrence in Slovenia

Črt ŠUŠTAR¹, Milan KOBAL²

Izvleček:

Šuštar, Č., Kopal, M.: Vpliv lastnosti tal na pojavljanje zemeljskih plazov v Sloveniji; Gozdarski vestnik, 76/2018, št. 1. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 37. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Na podlagi baze Uprave RS za zaščito in reševanje smo analizirali, kako različni talni dejavniki (globina, organska snov, tekstura, sposobnost tal za zadrževanje vode ter razred/tip tal) vplivajo na pojavljanje zemeljskih plazov v Sloveniji. Sloje smo analizirali v programskem okolju GIS. Na osnovi statističnega χ^2 testa homogenosti smo ugotovili statistično značilen vpliv vseh talnih lastnosti, vključenih v analizo. Glede na globino tal se plazovi statistično značilno pogosteje od pričakovanega pojavljajo na tleh, globine 0–70 cm, glede na povprečno organsko snov gornjega horizonta tal na slabo in srednje humoznih tleh, glede na teksturo tal v razredih srednje težkih ter srednje težkih in težkih tal, glede na efektivno poljsko kapaciteto pa v srednjem razredu (80–150 mm). V primeru talnih tipov smo ugotovili, da je matična podlaga eden izmed glavnih vplivnih dejavnikov. V prihodnje predlagamo uporabo analiziranih talnih dejavnikov pri izdelavi kart verjetnosti za pojavljanje zemeljskih plazov, ki bi bile podlaga za izločanje varovalnih gozdov, ki ščitijo pred zemeljskimi plazovi.

Gljučne besede: zemeljski plazovi, varovalni gozd, talni dejavniki, kataster zemeljskih plazov, pedološka karta

Abstract:

Šuštar, Č., Kopal, M.: Possibilities and Limitations of Landslide Data Use for Identification of Protection Forests; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 76/2018, vol 1. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 37. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Using landslide database, we tested how different soil properties (soil type, depth, organic matter, texture, soil bonitet number and effective field capacity) affect the landslide occurrence. Our using the χ^2 test of homogeneity, the results showed that all the tested soil properties have a statistically significant impact on the landslide occurrence. In the case of the soil type analysis, we concluded that it correlates highly with the bedrock analysis. Analysis of the soil's depth showed that landslides occur more often than expected on the soils with depth class 0–70 cm, organic matter content classes 1–4 %, texture classes with moderately fine and moderately fine to fine texture, and soil water holding capacity 80–150 mm. We intend to use the tested soil properties for creating landslide hazard maps in the future analysis. These maps could apply as a tool for zoning of the protection forests that protect from the landslides.

Key words: landslides, protection forest, soil properties, landslide database, soil map

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Slovenija je zaradi svojih naravnih danosti podvržena plazenju (Ribičič in sod., 1994; Horvat, 1995). Pri določanju plazovitih območij, t.j. pri izdelavi kart verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, so vse pogosteje v uporabi različne statistične metode (Corominas in sod., 2014), ki

omogočajo identifikacijo vplivnih dejavnikov na plazenje. Pri tem je glavni vhodni podatek kataster plazov, ki jih v statistični analizi uporabimo pri določanju ogroženih območij. Takšne metode so bile že uporabljene tudi v Sloveniji (Mikoš in sod., 2004; Komac in sod., 2005; Mikoš in sod., 2008; Šinigoj in sod., 2013), vendar so zaradi razmeroma grobega merila (merilo 1 : 250.000 ali manjše) primerne le za uporabo na državni ravni. Enotne

¹ Č. Š., mag. inž. gozd., Šmartno 21, SI-1211 Ljubljana, Slovenija. sustar.crt@gmail.com

² doc. dr. M. K., univ. dipl. inž. gozd., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. milan.kobal@bf.uni-lj.si

metodologije za določanje ogroženih območij sicer še vedno nimamo, čeprav jo predvideva Zakon o vodah (Uradni list RS, 67/02).

V dosedanjih raziskavah so se kot najbolj vplivni dejavniki plazov izkazali geologija, naklon površja, raba tal, ukrivljenost površja, usmerjenost ter oddaljenost od strukturnih elementov (narivov in prelomov). Podatki o talnih lastnostih (pedološka karta), ki so se v tujini izkazale kot pomemben vplivni dejavnik (Budimir in sod., 2015), v Sloveniji (presenetljivo!) še niso bili vključeni.

Vplivne dejavnike ločimo na vzroke, ki so (načeloma) bolj trajne narave (npr. relief), in povode, katerih vrednost je v času spremenljiva (npr. talna voda). Stroge ločnice med njimi ni, nekatere dejavnike lahko opredelimo včasih kot vzrok, včasih kot povod. Obravnavano združeno so najpomembnejše skupine vplivnih dejavnikov relief, geologija, tla, hidrologija, geomorfologija, raba tal in antropogeni dejavniki, potresi in vulkani ter vreme in podnebje, pomen pa je v veliki meri odvisen od vrste plazov (Corominas in sod., 2014). V literaturi so povodi najpogosteje razdeljeni na padavine (oziroma hidrološke povode) in potrese (Budimir in sod., 2015).

1.1 Vpliv lastnosti tal na zemeljske plazove

1.1 Impact of soil properties on landslides

Talne lastnosti so ključnega pomena za plitve oziroma zemljinske plazove in so pogosto navedeni v literaturi kot vplivni dejavnik (Wiegand in Gartner, 2010; Budimir in sod., 2015). Neposredno odražajo lastnosti materiala, ki plazi, in posredno nakazujejo na tlotvorne dejavnike: matična podlaga, relief, podnebje, živi svet in voda v odvisnosti od časa (Stritar, 1991).

1.1.1 Globina tal

1.1.1 Soil depth

Vpliv globine tal na pojavljanje plazov ni enoznačen. Plazovi se pogosteje pojavljajo na globokih tleh, če so le-ta na pobočju (Rickli in sod., 2001; Meusbürger in Alewell, 2014). Globina tal deloma odraža sposobnost tal za zadrževanje vode, zato postanejo globlja tla nasičena z vodo in nestabilna pri večji mejni količini padavin, vendar pa je v takem primeru obtežba pobočja in potencialna masa za plazenje takšnih tal večja (Ray in sod., 2010). Globina lahko nakazuje tudi na dinamiko destruktivnih geoloških



Slika 1: Zemeljski usadi na območju preloma terena (foto: M. Kopal)

Figure 1: Shallow landslides in the area of the terrain fault (photo: M. Kopal).

procesov – na območju pojavljena plitvih tal je pogosto tudi površinska erozija, ki sproti odnaša preperino, zemljinski plazovi pa se pojavljajo redkeje (Meusburger in Alewell, 2014). Saro in sod. (2016) navajajo, da se večina plazov pojavi na tleh z razredom globine do 100 cm.

1.1.2 Organska snov v tleh

1.1.2 Soil Organic matter

Delež organske snovi v tleh vpliva predvsem na sposobnost tal za zadrževanje vode ter na tvorbo strukturnih agregatov. Višja vsebnost organske snovi vpliva na višjo sposobnost tal za zadrževanje vode, saj organski koloidi vežejo od 5- do 10-krat več vode kot mineralni koloidi (Čirič, 1986). To je predvsem posledica obstojnejših strukturnih agregatov, ki izboljšujejo stabilnost tal (Edwards, 1991; Frei in sod., 2003, cit. po Burri in sod., 2009; Burri in sod., 2009; Wiegand in Geitner, 2010). Caviezel in sod. (2014) navajajo, da povečevanje deleža organske snovi deluje ugodno le za primer erozije, mehanske lastnosti z organsko snovjo bogatih tal pa so slabše in nevarnost za proženje plazov večja.

1.1.3 Tekstura tal

1.1.3 Soil texture

Tekstura tal neposredno vpliva na sposobnost tal za zadrževanje vode ter na prepustnost tal za vodo, zato zelo vpliva na stabilnost tal in je pogosto uporabljen vplivni dejavnik v literaturi (Sidle in sod., 1985, cit. po Cimini in sod., 2016). Na splošno so tla z lažjo (peščeno) teksturo bolj prepustna in imajo manjšo sposobnost zadrževanja vode, tla s težjo (glineno) teksturo pa manjšo prepustnost in večjo sposobnost zadrževanja vode (Stritar, 1991). Tla z glineno teksturo so bolj podvržena plazenju zaradi dveh vzrokov: 1) glina tvori neprepustno plast, ki deluje kot drsna ploskev plazov, ko so tla nad njo nasičena z vodo (Meusburger in Alewell, 2014) in 2) glineni minerali izrazito nabrekajo in se krčijo (glede na vsebnost vode v tleh) in s tem povzročajo polzenje tal, lahko pa tudi plazenje (Ribičič, 2007).

1.1.4 Sposobnost tal za zadrževanje vode

1.1.4 Soil water holding capacity

Talne lastnosti, ki vplivajo na gibanje oziroma zadrževanje vode v tleh, posredno vplivajo tudi

na pojav plazov, saj tla, nasičena z vodo, postanejo nestabilna in zato podvržena plazenju (Van Asch in sod., 1999; Ribičič, 2007; Talebi in sod., 2007; Meusburger in Alewell, 2014; Budimir in sod., 2015). V času intenzivnih padavin tla izgubijo kohezivnost, poveča pa se tudi obtežba tal (Meusburger in Alewell, 2014). Na eni strani govorimo o sposobnosti tal za zadrževanje vode, na drugi pa o prepustnosti tal za vodo. Bolj prepustna tla in tla z višjo sposobnostjo za zadrževanje vode bodo postala nasičena pri večji mejni količini padavin kot tla z nižjo sposobnostjo zadrževanja vode in tla z nizko prepustnostjo, vendar pa večja sposobnost za zadrževanje vode pomeni tudi večjo potencialno obtežbo pobočja (Wiegand in Geitner, 2010; Caviezel in sod., 2014; Saro in sod., 2016). Izmed omenjenih dveh lastnosti je pomembnejša prepustnost tal za vodo, saj so padavinski dogodki, ki presegajo kapaciteto tal za zadrževanje vode, razmeroma pogosti (Caviezel in sod., 2014).

1.1.5 Talni tip

1.1.5 Soil type

Talni tip izraža več tlotvornih dejavnikov in lastnosti tal hkrati, ki posamično ali pa v določenih kombinacijah tvorijo labilna tla (Budimir in sod., 2015). Matična podlaga je eden izmed ključnih dejavnikov za pojav plazenja in se v literaturi pogosto uporablja kot samostojni vplivni dejavnik (Budimir in sod., 2015). Neposredno vpliva na sposobnost tal za zadrževanje vode, teksturo tal in mehanske lastnosti zemljine (Meusburger in Alewell, 2014). Tip tal opredeljuje tudi razvojno stopnjo tal, ki nakazuje na dinamiko geoloških destruktivnih procesov (Stritar, 1991). Pri nerazvitih tleh so procesi erozije razmeroma pomembnejši in sproti odnašajo preperino (Zorn in Komac, 2008). Na takšnih tleh lahko nastajajo kvečjemu hribinski plaziovi (Ribičič, 2007). V primeru razvitih tal pa se preperina dlje časa kopiči in erozijski procesi niso tako izraziti, večji pa je lahko vpliv plazov (Ribičič, 2007). Z višjo razvojno stopnjo se spreminjajo tudi druge talne lastnosti, kot so kapaciteta in prepustnost za vodo, količina organske snovi (se večajo), gostota tal (se manjša) itn. (Braun in sod., 2005; Burri in sod., 2009).

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Uporabljeni podatkovni sloji

2.1 Applied data layers

V raziskavi smo v okolju GIS analizirali pojavljanje zemeljskih plazov iz katastra plazov Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje URSZR na razredih različnih posameznih talnih lastnosti glede na Pedološko karto Slovenije v merilu 1 : 25000.

2.1.1 Baza zemeljskih plazov Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje

2.1.1 Landslide database by the Administration of the RS for Civil Protection and Disaster Relief

Podatki so zbrani iz različnih virov oziroma projektov, uporabljena je bila baza z datumom 25. 5. 2013. V bazi plazov je bilo lokacijsko kartiranih 4850 plazov, po odstranitvi dvojnikov (kriterij lokacije) pa jih je ostalo 4686 na območju celotne države (Slika 1). Iz analize smo izločili plazove, ki se pojavljajo na urbanih površinah oziroma na

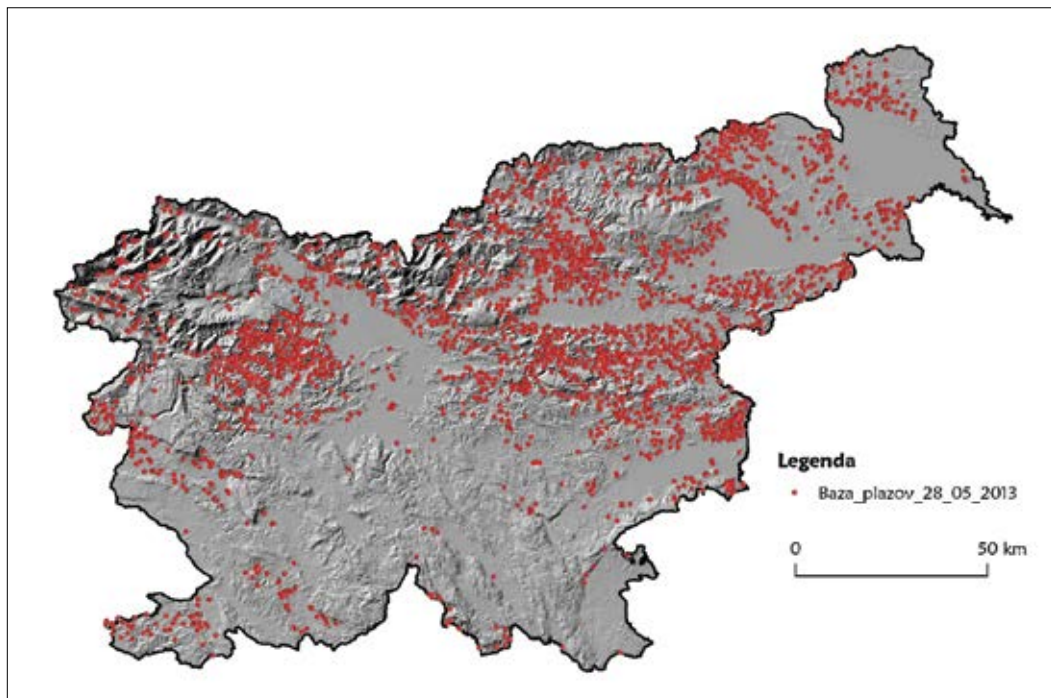
površinah, kjer posamezni talni parametri niso bili opredeljeni (urbane površine, nedoločljive talne lastnosti). Taki plazovi namreč nimajo vsebinske povezave s preiskovanimi talnimi lastnostmi. Zaradi nepopolnega ujemanja slojev talnih podatkov je tako v analizi ostalo različno število plazov (od 4391 do 4566).

2.1.2 Pedološka karta v merilu 1 : 25.000

2.1.2 Soil map in the scale of 1 : 25,000

Pedološka karta merila 1 : 25.000 (PK25000) je dostopna na spletni strani Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (<http://rkg.gov.si/GERK/>) in je sestavljena iz poligonov pedokartografskih enot (PKE). Poligoni PKE so bodisi homogeni (en talni tip, ki je v pedološki karti določen s pedosistematsko enoto PSE) ali pa sestavljeni iz dveh oziroma največ treh PSE. PSE so opredeljene po deležu razprostranjenosti znotraj posamezne PKE (Urbančič in sod., 2005).

Podatki o povprečni globini tal, povprečni organski snovi gornjega horizonta tal ter podatki povprečnega teksturnega razreda tal niso prosto



Slika 2: Lokacije plazov v bazi Uprave RS za zaščito in reševanje iz dne 28. 5. 2013

Figure 2: Landslide locations in the database by the Administration of the RS for Civil Protection and Disaster Relief.

dostopni v digitalni obliki, ampak obstajajo kot arhivske karte, kjer je kot avtor izvedenih podatkov naveden Šporar in sod. (2001). Zato smo arhivske karte v ArcGIS 10.5 georeferenciali, ker pa so podatki določeni na nivoju PKE, smo v ArcGIS 10.5 poligonom PKE v atributni preglednici le določili vrednosti kategorij posameznih talnih lastnosti. Kot kazalniki sposobnosti tal za zadrževanje vode smo v tej raziskavi uporabili efektivno poljsko kapaciteto tal (EPK), ki predstavlja rastlinam dostopno vodo v tleh. Podatke o PKE smo pridobili iz Atlasa okolja (www.gis.arso.gov.si/atlasokolja/) in jih vnesli v atributno preglednico pedološke karte PK25000. Nato smo v ArcGIS 10.5 naredili presek karte zemeljskih plazov in pedološke karte.

Pojavljanje plazov po talnih tipih smo prav tako izračunali iz preseka karte zemeljskih plazov in pedološke karte. Ugotovili smo podatke o pojavljanju plazov znotraj PKE. Tako ne vemo, v katerem PSE znotraj PKE se pojavlja določen plaz. Smo pa preko deležev posamezne PSE v PKE izračunali število plazov na posameznih PSE (Preglednica 1). Posledično število plazov v določeni PSE ni nujno celo število, plazovi pa so lahko pripisani tudi enotam, v katerih se niso pojavljali. PSE smo združili v skupine glede na tip matične podlage s pomočjo Slovenske klasifikacije tal (Prus in sod., 2015).

2.2 Statistične metode

2.2 Statistical methods

Za statistično analizo vpliva tal na pojav zemeljskih plazov smo na podlagi nekaterih dosedanjih raziskav (Komac in sod., 2005, Šinigoj in sod., 2013; Komac, 2005) izbrali neparametrično metodo, in sicer χ^2 (hi-kvadrat) test homogenosti oziroma neodvisnosti. Temelji na primerjavi izmerjenih in teoretičnih vrednosti pojavov in je primerna za testiranje normalno porazdeljenih

nominalnih in/ali kategoričnih spremenljivk. Teoretične frekvence plazov v posameznem razredu so odvisne od površine tega razreda, saj privzamemo, da je verjetnost za nastanek pojava enaka po vsem obravnavanem območju. Večja kot je razlika med dejanskimi in teoretičnimi frekvencami, višja je vrednost χ^2 , bolj je značilen vpliv neodvisne spremenljivke na odvisno.

Izračunali smo razlike med dejanskim in pričakovanim številom plazov v Sloveniji glede na talne lastnosti (χ^2_{SKUP} , Obrazec 1). Ničelna hipoteza je bila:

H_0 : spremenljivka ne vpliva značilno na pojavljanje plazov.

H_1 : spremenljivka značilno vpliva na pojavljanje plazov.

Splošen obrazec za test razlik med dejanskimi in pričakovanimi frekvencami preglednice z $r \times 2$ polji je (Kotar, 2011):

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_{ij} - f'_{ij})^2}{f'_{ij}}; df = (r - 1);$$

f_{ij} = dejanska frekvenca v polju ij ($i = 1$ do r , $j = 1$ do 2);

f'_{ij} = teoretična frekvenca v polju ij .

V primeru talnih dejavnikov, kjer smo ovrgli ničelno hipotezo o značilnosti vplivu dejavnika na pojavljanje zemeljskih plazov, smo testirali, kateri razredi se značilno razlikujejo od pričakovanih vrednosti s pomočjo post-hoc testa. Vsak posamezni razred smo z primerjali z vsoto preostalih razredov (Obrazec 1, $r = 2$). Pri ugotavljanju statistične značilnosti smo uporabili Bonferronijev popravek in dopustno stopnjo tveganja delili s številom razredov (McDonald, 2014).

Preglednica 1: Primer izračuna števila plazov v PSE.

Table 1: An example of calculation of landslide numbers in PSU (pedosystematic units)

PKE	Število plazov	PSE1	PSE1 (%)	Število plazov	PSE2	PSE2 (%)	Število plazov	PSE3	PSE3 (%)	Število plazov
1008	21	111	60	21 x 0,6 = 12,6	37	20	21 x 0,2 = 4,2	115	20	21 x 0,2 = 4,2

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Zemeljski plazovi v Sloveniji glede na povprečno globino tal

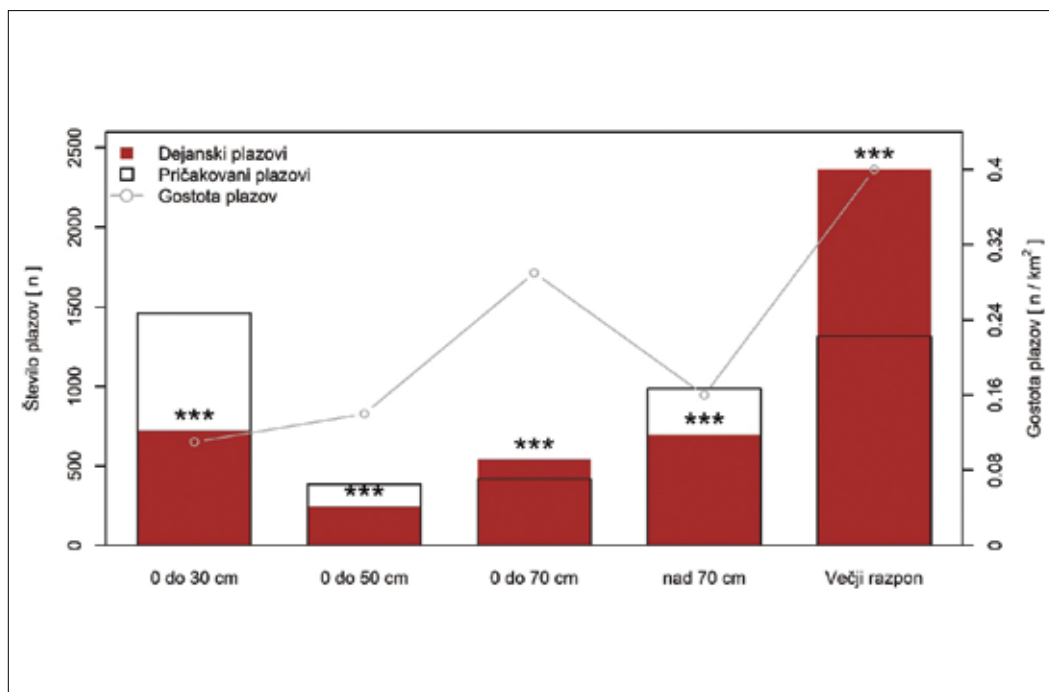
3.1 Landslides in Slovenia with regard to the mean soil depth

V Sloveniji se plazovi najpogosteje pojavljajo na tleh z večjim razponom globine (0,40 n/km²), sledijo tla z globino do 70 cm (0,29 n/km²), najmanj plazov se pojavlja na tleh, plitvejših od 30 cm (0,11 n/km²). Statistično značilno nad pričakovanim je število zemeljskih plazov na tleh z večjim razponom globin ter tleh z globino do 70 cm ($p < 0,001$), statistično značilno pod pričakovanim pa je število plazov na tleh z globino nad 70 cm ($p < 0,001$). Prav tako je statistično značilno pod pričakovanim število plazov na tleh, globine do 30 cm in do globine 50 cm ($p < 0,001$). Na podlagi χ^2 testa pojavljanja plazov lahko sklepamo, da povprečna globina tal statistično značilno vpliva na pojavljanje zemeljskih plazov v Sloveniji ($\chi_{\text{SKU}}^2 = 1384,2$; $p < 0,000$).

3.2 Zemeljski plazovi v Sloveniji glede na povprečno organsko snov gornjega horizonta tal

3.2 Landslides in Slovenia with regard to the mean organic matter content of the upper soil horizon

V Sloveniji se plazovi najpogosteje pojavljajo na slabo humoznih (0,31 n/km²) in srednje humoznih tleh (0,27 n/km²). Najmanj plazov se pojavlja na mineralnih tleh (0,02 n/km²). Statistično značilno nad pričakovanim je število zemeljskih plazov na slabo humoznih ($p < 0,001$) in srednje humoznih tleh ($p < 0,001$), statistično značilno pod pričakovanim pa je število plazov na mineralnih tleh ($p < 0,001$), humoznih ($p < 0,001$) in zelo humoznih tleh ($p < 0,001$). Na podlagi χ^2 testa pojavljanja plazov lahko sklepamo, da povprečna organska snov gornjega horizonta tal statistično značilno vpliva na pojavljanje plazov ($\chi_{\text{SKU}}^2 = 329,7$; $p < 0,000$).



Slika 3: Pojavljanje zemeljskih plazov glede na pričakovane frekvence po razredih povprečne globine tal (***) označujejo $p < 0,001$

Figure 3: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by mean soil depth classes (***) denote $p < 0.001$.

3.3 Zemeljski plazovi v Sloveniji glede na povprečni teksturni razred tal

3.3 Landslides in Slovenia with regard to the mean soil texture class

V razredu srednje težkih in razredu srednje težkih in težkih tal se v Sloveniji pojavlja 0,28 n/km². Najnižja je gostota pojavljanja plazov v razredu težkih tal, kjer se na 1 km² površine pojavi 0,08 plazov. Statistično značilno nad pričakovanim je število zemeljskih plazov v razredu srednje težkih ($p < 0,001$) in razredu srednje težkih in težkih tal ($p < 0,001$), statistično značilno pod pričakovanim pa je število plazov v razredu lahkih ($p < 0,001$), razredu lahkih in srednje težkih tal ($p < 0,001$) ter razredu težkih tal ($p < 0,001$). Na podlagi χ^2 testa pojavljanja plazov lahko sklepamo, da povprečni teksturni razred tal statistično značilno vpliva na pojavljanje zemeljskih plazov ($\chi_{SKU}^2 = 409,1$; $p < 0,000$).

3.4 Zemeljski plazovi v Sloveniji glede na efektivno poljsko kapaciteto tal EPK

3.4 Landslides in Slovenia with regard to the effective field capacity EFC

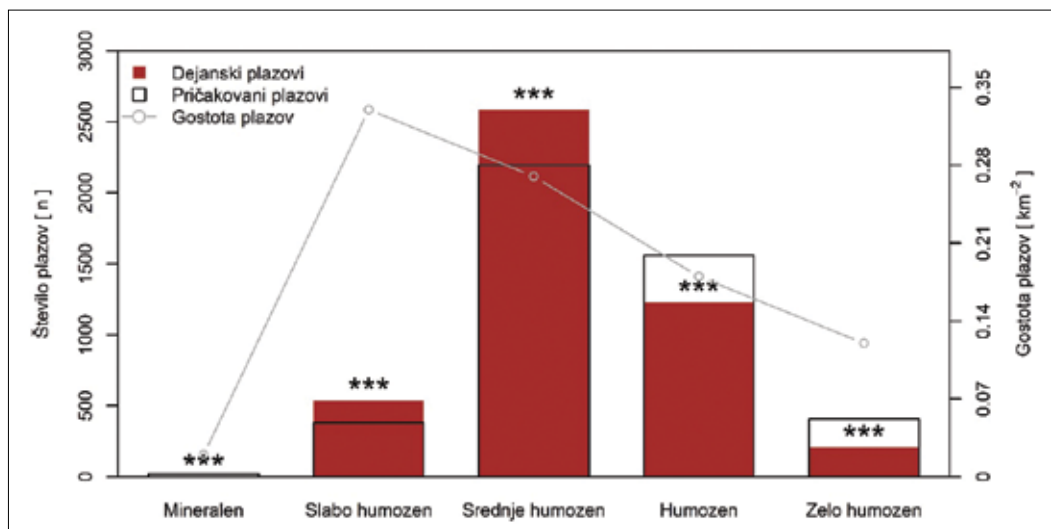
V Sloveniji se plazovi najpogosteje pojavljajo na tleh z EPK od 80 do 150 mm (0,38 n/km²). Sledijo tla z EPK od 150 do 230 mm (0,16 n/km²). Najmanj plazov se pojavlja na tleh, katerih EPK

je nad 230 m (0,10 n/km²) oz. tleh, katerih EPK je pod 30 mm (0,07 n/km²). Statistično značilno nad pričakovanim je le število zemeljskih plazov na tleh z EPK od 80 do 150 mm, v vseh drugih razredih tal EPK je pojavljanje zemeljskih plazov statistično značilno pod pričakovanim. Na podlagi χ^2 testa pojavljanja plazov lahko sklepamo, da EPK tal statistično značilno vpliva na pojavljanje plazov ($\chi_{SKU}^2 = 1188,7$; $p < 0,000$).

3.5 Zemeljski plazovi v Sloveniji glede na razred tal

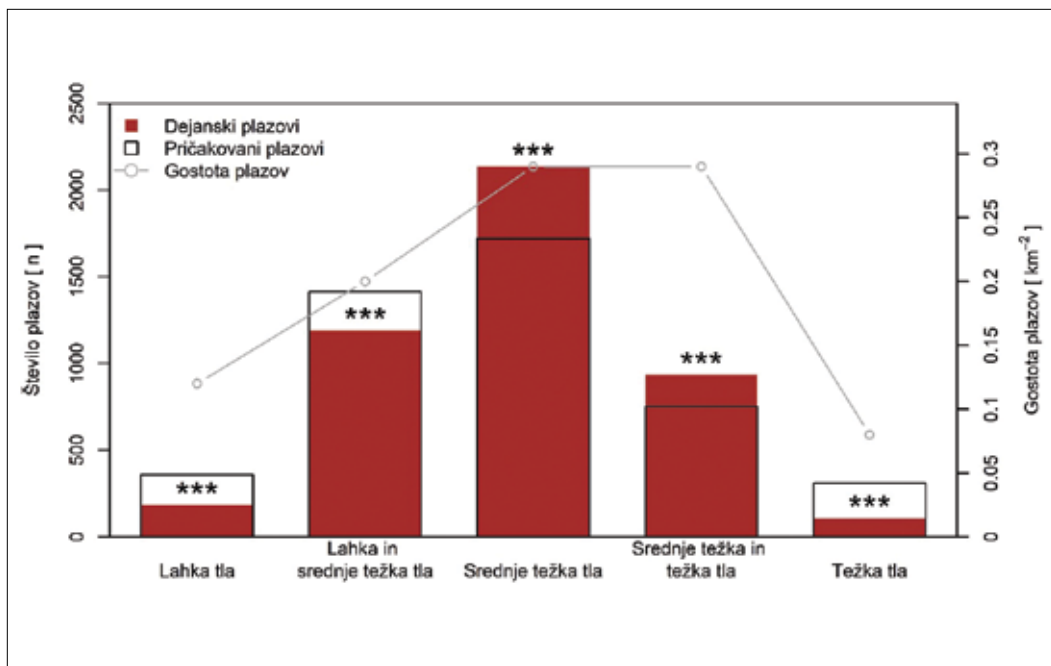
3.5 Landslides in Slovenia with regard to the class

V Sloveniji se v razredu kambičnih tal pojavlja 0,32 n/km², na psevdoglejenih tleh v povprečju 0,16 n/km², sledijo humusno-akumulativna tla, na katerih se v povprečju v Sloveniji pojavi 0,13 n/km². Najnižja je gostota pojavljanja plazov na eluvialno-iluvialnih tleh ter na oglejenih tleh (0,03 n/km²). Statistično značilno nad pričakovanim je le število zemeljskih plazov v razredu kambičnih tal ($p < 0,001$), na razredih drugih tal je število plazov statistično značilno pod pričakovanim. Na podlagi χ^2 testa pojavljanja plazov lahko sklepamo, da razred tal statistično značilno vpliva na pojavljanje zemeljskih plazov ($\chi_{SKU}^2 = 1044,4$; $p < 0,000$).



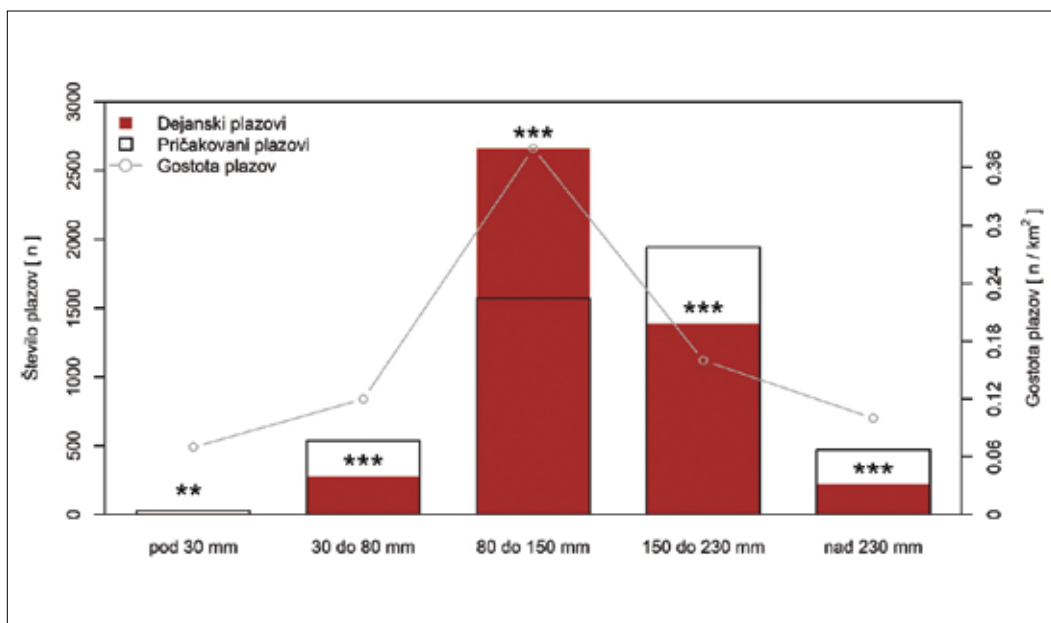
Slika 4: Pojavljanje zemeljskih plazov glede na pričakovane frekvence po razredih povprečne organske snovi gornjega horizonta tal (***) označujejo $p < 0,001$)

Figure 4: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by the classes of the mean organic matter content of the upper soil horizon



Slika 5: Pojavljanje zemeljskih plazov glede na pričakovane frekvence po povprečnih teksturnih razredih tal (***) označujejo $p < 0,001$)

Figure 5: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by the mean soil texture classes (***) denote $p < 0.001$)



Slika 6: Pojavljanje plazov glede na pričakovane frekvence po razredih EPK tal (** označujejo $p < 0,01$; *** označujejo $p < 0,001$).

Figure 6: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by the soil EFC classes (** denote $p < 0.01$; *** denote $p < 0.001$)

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

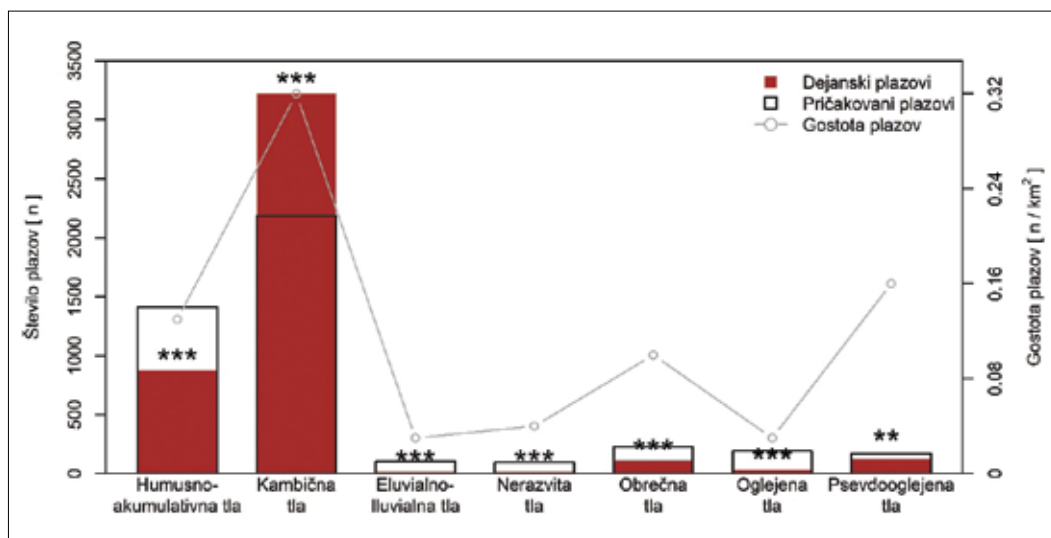
Rezultati χ^2 analiz so pokazali, da vse testirane talne lastnosti (globina tal, vsebnost organske snovi v gornjem horizontu tal, povprečni teksturni razred tal, efektivna poljska kapaciteta ter razred tal) statistično značilno ($p < 0,001$) vplivajo na pojavljanje plazov.

Najpogostejše se zemeljski plazovi pojavljajo na večjem razponu globine tal. Po pogostosti sedijo plazovi na tleh globine 0 do 70 cm (Slika 2). Ugotovitve se skladajo z dosedanjimi raziskavami (Rickli in sod., 2001; Meusburger in Alewell, 2014; Saro in sod., 2016), ki navajajo, da so plazovi pogostejši na globljih tleh. Na plitvejših tleh je erozija pomembnejši geološki destruktivni proces od plazov (Meusburger in Alewell, 2014), globlja tla pa se na plazovitih oziroma erodibilnih terenih ne razvijejo (Čirič, 1986). To je morebitni razlog, da se je v razredu z najglobljimi tlemi pojavilo statistično značilno manj plazov od pričakovanih.

Pri tem moramo upoštevati, da je prostorska ločljivost podatkov o globinah tal v primeru naše raziskave razmeroma nizka. Le-ta namreč v odvisnosti od reliefa variira bistveno hitreje, kot je to zajeto v kartografskih enotah (Corominas in sod.,

2014), kar je omejitvev pri analizi. Posledica tega je tudi razmeroma velik razred z večjim razponom globin tal, ki se pojavlja na razgibanem reliefu, kjer variabilnosti globin ni mogoče zajeti v dani prostorski ločljivosti pedološke karte. Analiza globin tal se delno sklada z analizo talnih tipov. V primeru analize talnih tipov smo ugotovili redkejšo pojavljanje na nerazvitih tleh in nekaterih vrstah humusno-akumulativnih tal, kar so tla z manjšimi globlinami.

Rezultati naše raziskave nakazujejo, da več organske snovi pomeni manjšo verjetnost za proženje plazov (Slika 4), kar je v skladu z navedbami v literaturi (Frei in sod., 2003, cit. po Burri in sod., 2009; Burri in sod., 2009; Wiegand in Geitner, 2010), vendar v nasprotju z navedbami Caviezel in sod. (2014). Poleg ugodnega učinka višje vsebnosti organske snovi zaradi boljše stabilnosti agregatov ter višje kapacitete za vodo (Čirič, 1986; Frei in sod., 2003, cit. po Burri in sod., 2009) je redkejšo pojavljanje plazov na humoznih tleh verjetno tudi posledica spleta ugodnih tlotvornih dejavnikov (npr. relief, podnebje). Podobno lahko redkejšo pojavljanje plazov na mineralnih tleh pojasnimo kot posledico dinamike geoloških destruktivnih procesov oziroma prevladujoče erozije (Ribičič, 2007).



Slika 7: Pojavljanje plazov glede na pričakovane frekvence po razredih tal (** označujejo $p < 0,01$; *** označujejo $p < 0,001$)

Figure 7: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by the soil class (** denote $p < 0.01$; *** denote $p < 0.001$).

Rezultati pojavljanja plazov glede na teksturo tal potrjujejo dosedanje ugotovitve iz tujine (Cimini in sod., 2016; Saro in sod., 2016; Anbalagan in sod., 2015), da so tla s finejšo teksturo bolj podvržena pojavu plazenja. Taka tla so namreč slabše odcedna v stanju nasičenosti z vodo in zato slabše stabilna. Na podlagi rezultatov pa ne moremo pojasniti, zakaj je manj plazov od pričakovanih na težkih tleh. Tla, bogata z glino, so namreč po tujih raziskavah (Ohlmacher in Davis, 2003; Mugagga in sod., 2012; Zung in sod., 2009) zelo podvržena plazenju. Eden od morebitnih vzrokov je, da se ta tla pogosteje pojavljajo na ravninah.

V literaturi so različne navedbe, kateri teksturni razredi so bolj podvrženi plazenju. Saro in sod. (2016) ter Anbalagan in sod. (2015) so ugotovili, da so plazenju bolj podvržena tla z ilovnato ter peščeno ilovnato teksturo, medtem ko Wischmeier in Mannering (1969) ter Horvat (2001) kot najbolj plazenju podvrženo opredeljujejo meljasto teksturo. Podobno navajajo Cimini in sod. (2016), da so tla s srednjo do fino teksturo tal bolj podvržena plazenju. Negativen vpliv fine teksture ublaži organska snov v tleh (Wischmeier in Mannering, 1969). Tla s fino teksturo imajo v povezavi z organsko snovjo odpornejše agregate (Burri in sod., 2009; Wiegand in Geitner, 2010), kar poveča tudi odpornost proti strižni sili (Frei in sod., 2003, cit. po Burri in sod., 2009). Tekstura tal vpliva tudi na koreninsko vezavo tal (arhitekturo, gostoto korenin), vendar zaradi veliko vplivnih dejavnikov in interakcij med njimi rezultati raziskav niso konsistentni (Reubens in sod., 2007).

Statistično značilno se več plazov od pričakovanih pojavi na tleh s srednjo efektivno poljsko kapaciteto EPK (Slika 6). Morebitnih razlogov za to je več, saj dejavnik poleg vododržnih lastnosti tal posredno odraža tudi druge tlottvorne dejavnike in razvojno stopnjo tal. Glede na to, da so padavinski pojavi, ki presegajo kapaciteto tal za zadrževanje vode, razmeroma pogosti (Caviezel in sod., 2014), so slednji vplivi pomembnejši za pojav plazov. Sklepamo, da se tla v razredih z višjim EPK globoka in se kot taka pojavljajo na bolj uravnanih reliefih, tla z nižjim pa so pogosto manj razvita oziroma tla, ki jih v prvi vrsti oblikuje erozija (Meusburger in Alewell, 2014). Te domneve so v skladu z ugotovitvami naše analize talnih tipov, globine tal in talnih števil.

Iz rezultatov analize pojavljanja plazov na različnih talnih tipih (Priloga 1) lahko povzamemo, da se razmeroma največ plazov pojavi na sedimentnih klastičnih matičnih podlagah, tako vezanih kot nevezanih (na evtričnih in distričnih rjavih tleh) (Priloga 1). Drugi najbolj izstopajoči tipi tal v razredu kambičnih tal so tla na mešanih matičnih podlagah (mešane karbonatne in nekarbonatne kamnine, mešane sedimentne kamnine), med katerimi so sedimentne klastične kamnine pogoste. Razmeroma najmanj plazov se je pojavilo na apnenčastih in dolomitnih matičnih podlagah. Enake ugotovitve glede matičnih podlag so tudi v dosedanjih raziskavah (Ribičič in Vidrih, 1994; Komac in sod., 2005, Šinigoj in sod., 2013; Zorn in Komac, 2008) na podlagi inženirsko-geoloških enot (IG). Vendar podatki o talnih tipih vsebujejo dodatne informacije (o drugih tlottvornih dejavnikih), ki jih geološka karta oziroma karta IG enot ne. Poleg tega je pedološka karta izdelana v finejšem merilu in je zato v nadaljnjih raziskavah bolj smiselna njena uporaba.

5 POVZETEK

V primeru talnih tipov smo ugotovili, da je matična podlaga eden izmed glavnih vplivnih dejavnikov, in potrdili ugotovitve dosedanjih raziskav (Ribičič in Vidrih, 1994; Ferme, 1995; Komac in sod., 2005, Šinigoj in sod., 2013; Zorn in Komac, 2008) na podlagi inženirsko-geoloških enot. Glede na globino tal se plazovi pogosteje od pričakovanega pojavljajo na tleh, ki so globoka 0–70 cm, glede na povprečno organsko snov gornjega horizonta tal pa na slabo in srednje humoznih tleh (1–4 % organske snovi). V primeru povprečne teksture tal smo ugotovili, da se plazovi pogosteje pojavljajo v razredih srednje težkih tal ter srednje težkih in težkih tal, glede na EPK pa v tretjem razredu (80–150 mm).

Pri analizi so bile glavne omejitve v kakovosti analiziranih slojev, baze plazov (nesistematično beleženje, manjkajoči podatki o vrsti, datumu in točni lokaciji sprožitve) in pedološke karte (merilo – lastnosti variirajo bolj, kot je to zajeto v uporabljenih slojih (Corominas in sod., 2014)).

Na podlagi opravljenih analiz ugotovljamo, da bi bilo v primeru varovalnih gozdov potrebno izločanje površin ločeno za različne naravne

nevarnosti. Kot podlaga za izločanje površin, ki varujejo pred zemeljskimi plazovi, bi lahko služila natančna karta verjetnosti pojavljanja plazov. Le-ta bi bila narejena s pomočjo statističnih metod na podlagi nacionalne baze plazov z možnostjo vključitve analiziranih talnih dejavnikov in drugih dejavnikov iz literature (Coraminas in sod., 2014).

5 SUMMARY

In the case of the soil types we found out, that parental material represents one of the main impact factors, and confirmed the findings of the former researches (Ribičič and Vidrih, 1994; Ferme, 1995; Komac et al., 2005, Šinigoj et al., 2013; Zorn and Komac, 2008) on the basis of the engineer and geological units. With regard to the soil depth, the landslides occur more often than expected on the soil with depth 0-70 cm, and with regard to the mean organic matter content of the upper horizon on the moderately or medium humous soil (1-4 % organic matter). In the case of the mean soil texture we found out, that landslides occur more frequently in the texture classes with moderately fine and moderately fine to fine texture, and in the case of effective field capacity in the third class (80–150 mm).

The main limitations of the analysis lay in the quality of the analyzed layers, landslide database (non-systematic recording, missing data on type, date, and accurate location of triggering), and pedological maps (scale – the characteristics vary more than included in the applied layers (Corominas et al., 2014)).

On the basis of the performed analyzes, we realize that in the case of protection forests elimination of areas separately for diverse natural hazards were needed. As the basis for elimination of areas, which protect against landslides, an accurate map of possible landslide occurrence could apply. It could be made with the use of statistical methods on the basis of the national landslide database making possible to include the analyzed soil data and other data from the literature (Corominas et al., 2014).

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Delo je nastalo s pomočjo sredstev Pahernikove ustanove. Zahvala velja tudi izr. prof. dr. Janezu Pirnatu za recenzijo magistrskega dela, na podlagi katerega je nastal ta članek. Prav tako se avtorja zahvaljujeta dr. Tomažu Kralju za recenzijo prispevka.

Zahvaljujemo se dr. Petru Frantar (ARSO) in Milici Slokar (URSZR) za posredovanje podatkov.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Anbalagan R., Kumar R., Lakshmanan K., Parida S., Neethu, S. 2015. Landslide Hazard Zonation Mapping Using Frequency Ratio and Fuzzy Logic Approach: A Case Study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2.1, 6: 1–17
- Braun S., Cantaluppi L., Flückiger W. 2005. Fine Roots in Stands of *Fagus Sylvatica* and *Picea Abies* along a Gradient of Soil Acidification. *Environmental Pollution*, 137, 3: 574–579
- Budimir M., Atkinson P., Lewis H. 2015. A Systematic Review of Landslide Probability Mapping Using Logistic Regression. *Landslides*, 12: 419–436
- Burri K., Graf F., Böll A. 2009. Revegetation Measures Improve Soil Aggregate Stability: A Case Study of a Landslide Area in Central Switzerland. *Forest Snow and Landscape Research*, 82, 1: 45–60
- Caviezel C., Hunziker M., Schaffner M., Kuhn N. J. 2014. Soil-Vegetation Interaction on Slopes with Bush Encroachment in the Central Alps—Adapting Slope Stability Measurements to Shifting Process Domains. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 4: 509–521
- Cimini D., Portoghesi L., Madonna S., Grimaldi S., Corona P. 2016. Multifactor Empirical Mapping of the Protective Function of Forests Against Landslide Occurrence: Statistical Approaches and a Case Study. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9: 383–393
- Corominas J., Van Westen C., Frattini P., Cascini L., Malet J. P., Fotopoulou S., Pitilakis K. 2014. Recommendations for the Quantitative Analysis of Landslide Risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 2: 209–263
- Edwards L. M. 1991. The Effect of Alternate Freezing and Thawing on Aggregate Stability and Aggregate Size Distribution of Some Prince Edward Island Soils. *Journal of Soil Science*, 42, 2: 193–204
- Ferme R., 1995. Možnosti proženja zemeljskih plazov. *Diplomska naloga, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Ljubljana*, 67 str.

- Frei M., Böll A., Graf F., Heinemann H. R., Springman S. 2003. Quantification of the Influence of Vegetation on Soil Stability. V: Proceedings of the International Conference on Slope Engineering. Hong Kong, University of Hong Kong, Department of Civil Engineering, 8, 10: 872–877
- Horvat A. 1995. Analiza erozijske in hudourniške problematike v Sloveniji. V: Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem. Jesenovec S. (ur.). Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov: 222–225
- Horvat A. 2001. Metode določanja erozijsko ogroženih območij: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 194 str.
- Komac M. 2005. Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov (Landslide Occurrence Prediction with Analysis of Satellite Images and other Spatial Data). Geological Survey of Slovenia, Ljubljana: 136–138
- Komac M., Ribičič M., Šinigoj J., Krivic M., Kumelj Š. 2005. Analiza pojavljanja plazov v Sloveniji in izdelava karte verjetnosti plazenj-fazno poročilo za leto 2005. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 138 str.
- Kotar M. 2011. Raziskovalne metode v upravljanju z gozdnimi ekosistemi. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba: 475 str.
- McDonald J.H. 2014. Handbook of Biological Statistics. 3rd ed.. Baltimore, Maryland, Sparky House: 299 str.
- Mikoš M., Batistič P., Đurovič B., Humar N., Janža M., Komac M., Petje U., Ribičič M., Vilfan, M. 2004. Metodologija za določanje ogroženih območij in način razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov: končno poročilo. Ljubljana, Univerza, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 165 str.
- Mikoš M., Bavec M., Budkovič T., Durjava D., Hribernik K., Jež J., Klabus A., Komac M., Krivic M., Kumelj Š., Maček M., Mahne M., Novak ., Otrin J., Petje U., Petkovšek A., Ribičič M., Sodnik J., Šinigoj J., Trajanova M. 2008. Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov: končno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 244 str.
- Mugagga F., Kakembo V., Buyinza M. 2012. A Characterisation of the Physical Properties of Soil and the Implications for Landslide Occurrence on the Slopes of Mount Elgon, Eastern Uganda. Natural Hazards, 60, 3: 1113–1131
- Ohlmacher G. C., Davis J. C. 2003. Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslide Hazard in Northeast Kansas, USA. Engineering Geology, 69, 3: 331–343
- Prus T., Kralj T., Vrščaj B., Zupan M., Grčman H. 2015. Slovenska klasifikacija tal: delovno gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 52 str.
- Ray R. L., Jacobs J. M., de Alba P. 2010. Impacts of Unsaturated Zone Soil Moisture and Groundwater Table on Slope Instability. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136, 10: 1448–1458
- Reubens B., Poesen J., Danjon F., Geudens G. Muys, B. 2007. The Role of Fine and Coarse Roots in Shallow Slope Stability and Soil Erosion Control with a Focus on Root System Architecture: A Review. Trees, 21, 4: 385–402
- Ribičič M. 2007. Inženirska geologija 1: skripta. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za Geologijo: 1 zv.
- Ribičič M., Buser I., Hobljaj R. 1994: Digitalno atributna/tabelarična baza zemeljskih plazov Slovenije za terenski zajem podatkov. V: Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. Janež J, Režun B. (ur.). Idrija, Rudnik živega srebra: 139–153
- Ribičič M., Vidrih R. 1994. Vpliv potresov na nastanek plazov v gozdnem prostoru. V: Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. Janež J, Režun B. (ur.). Idrija, Rudnik živega srebra: 33–46
- Rickli C., Zimmerli P., Böll A. 2001. Effects of Vegetation On Shallow Landslides: An Analysis of the Events of August 1997 in Sachseln, Switzerland. In International Conference on Landslides, Causes, Impacts and Countermeasures, Essen: 575–584
- Saro L., Woo J. S., Kwan-Young O., Mounj-Jin L. 2016. The Spatial Prediction of Landslide Susceptibility Applying Artificial Neural Network and Logistic Regression Models: A Case Study of Inje, Korea. Open Geosciences, 8, 1: 117–132
- Sidle R. C., Pearce A. J., O'Loughlin C. L. 1985. Hillslope Stability and Land Use. California, American Geophysical Union: 140 str.
- Stritar A. 1991. Pedologija. Kompandij. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 126 str.
- Šinigoj J., Komac M., Jemec Auflič M., Peternel T., Krivic M., Požar M., Podboj M., Bavec M., Jež J., Čarman M., Otrin J, Krajinik M. 2013. Sistem zgodnjega opozarjanja za primer nevarnosti proženja zemeljskih plazov – MASPREM. Model verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov za območje Slovenije: delovni paket 1 – končno. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 34 str.
- Urbančič M., Simončič P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarski vestnik, Gozdarski inštitut Slovenije: 100 str.
- Van Asch T. W., Buma J., Van Beek L. P. H. 1999. A View on Some Hydrological Triggering Systems in Landslides. Geomorphology, 30, 1: 25–32

Wiegand C., Geitner C. 2010. Shallow Erosion in Grassland Areas in the Alps: What We Know and What We Need to Investigate Further. V: Challenges for Mountain Regions: Tackling Complexity. Borsdorf A. (ur.). Wien, Böhlau: 77–83

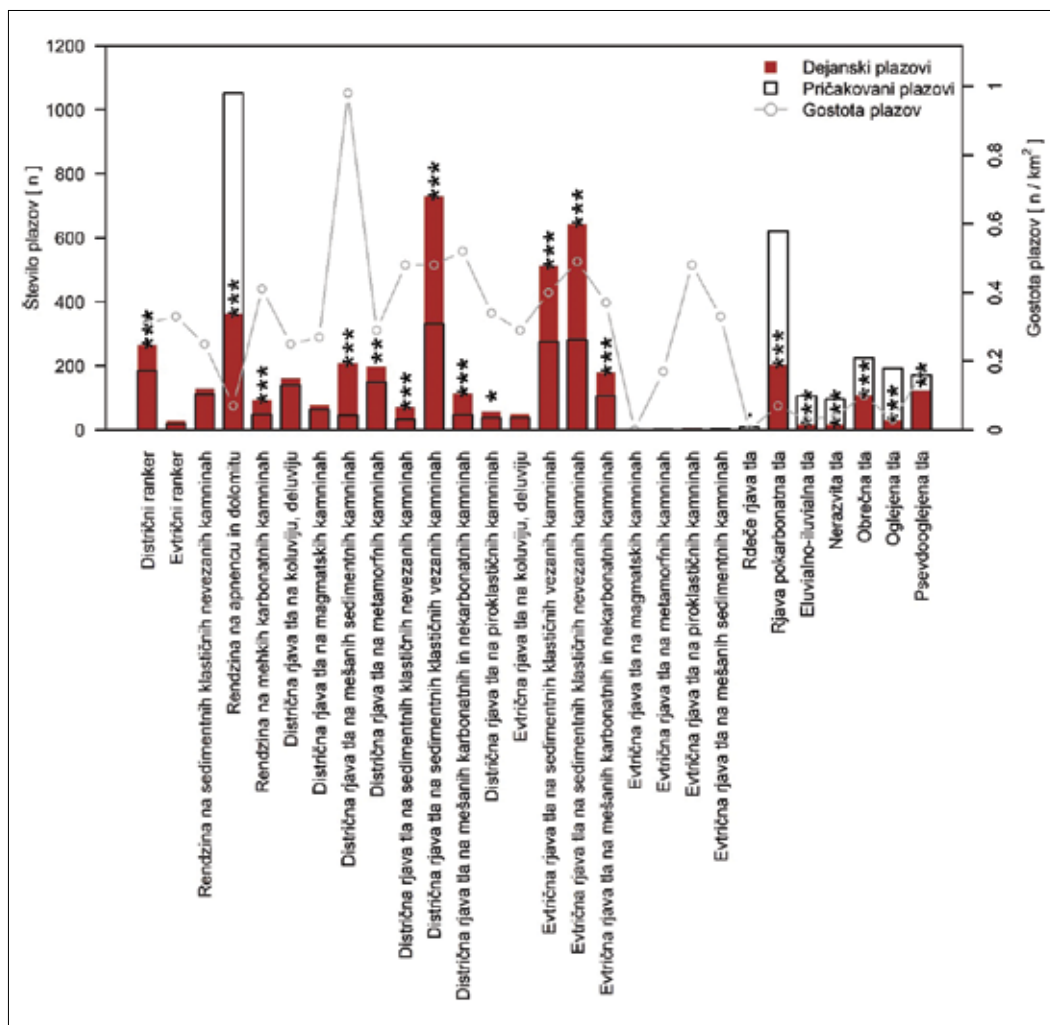
Wischmeier W. H., Mannering J. V. 1969. Relation of Soil Properties to Its Erodibility. Soil Science Society of America Journal, 33, 1: 131–137

Zakon o vodah (ZV-1). 2002. Ur. l. RS, št. 67/02

Zorn M., Komac B. 2008. Zemeljski plazovi v Sloveniji. (Georitom, 8). Ljubljana, Znanstveno raziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 159 str.

8 PRILOGE

8 ANNEXES



Slika 8: Pojavljanje plazov glede na pričakovane frekvence po talnem tipu (· označujejo $p < 0,10$; * označujejo $p < 0,05$; ** označujejo $p < 0,01$; *** označujejo $p < 0,001$)

Figure 8: Landslide occurrence with regard to the expected frequencies by soil type (· denote $p < 0.10$; * denotes $p < 0.05$; ** denote $p < 0.01$; *** denote $p < 0.001$)