

PLAZOVITOST V POMURJU

Dr. Blaž Komac

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13,
SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
e-naslov: blaz.komac@zrc-sazu.si

Dr. Matija Zorn

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13,
SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
e-naslov: matija.zorn@zrc-sazu.si

Izvleček

V slemenasto-dolinastem reliefu Pomurja se zemeljski plazovi najpogosteje prožijo na strmih pobočjih, ki jih gradijo laporovec, pesek, peščenjak, prod in konglomerat. Povečini niso veliki, ogrožajo pa predvsem prometnice in nekatere stanovanjske hiše. Za Pomurje smo s pomočjo treh različnih metod izdelali zemljevide plazovitosti, jih ovrednotili, izbrali najnatančnejšega in z njegovo pomočjo izračunali tako imenovano relativno plazovno stopnjo. Ta omogoča kvantitativno opredelitev pomena posameznega geomorfnega procesa za oblikovanje površja. V terciarnih gričevjih severovzhodne Slovenije redki večji dogodki kot so zemeljski plazovi pomembno prispevajo k oblikovanju reliefa; povprečno prispevajo k preoblikovanju površja ravno toliko, kot sicer manj intenzivna, a stalno potekajoča erozija prsti. V nekaterih pokrajinah severovzhodne Slovenije so zemeljski plazovi prevladujoč geomorfni in geografski dejavnik in jih lahko po pravici imenujemo plazovite pokrajine.

Ključne besede: geografija, geomorfologija, naravne nesreče, zemeljski plazovi, zemljevidi plazovitosti, zemljevidi ogroženosti, Pomurje, Prekmurje.

LANDSLIDES IN THE POMURJE REGION

Abstract

In the ridge-valley-like relief of the Pomurje region landslides mostly occur on steep slopes formed of marls, sand, sandstone, gravel and conglomerate. Landslides are usually not very large. They mostly threaten roads and particular dwellings. We have elaborated different landslide susceptibility maps with three different methods for the Pomurje region. The most accurate map was selected for calculation of the relative landslide rate. The calculation of the relative landslide rate enables quantitative determination of morphogenetic importance of individual geomorphic process. Rare but relatively large geomorphic events, such as landslides, are an important geomorphic factor in tertiary hills of north-eastern Slovenia; on average, they contribute to relief formation as much as less intensive but permanent soil erosion. Landslides are the main relief formation factor in some regions, so we may rightly term them landslide regions.

Key words: geography, geomorphology, natural disasters, landslides, susceptibility maps, risk maps, Pomurje region, Prekmurje region.

1. Uvod

V Sloveniji nastajajo zemeljski plazovi predvsem v hribovitih in gričevnatih pokrajinah. Pogosti so v Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alpah ter Karavankah, značilni so za Škofjeloško, Idrijsko, Cerkljansko in Posavsko hribovje ter za nekatera flišna območja kot so Koprška in Goriška brda ter Vipavska dolina. Zemeljski plazovi nastajajo tudi na območjih, kjer so na površju metamorfne kamnine (Pohorje, Kobansko, Karavanke) ali glinavci (okolica Ljubljane), relief pa preoblikujejo tudi v gričevjih severovzhodne Slovenije, ki jih gradijo laporovec, pesek, peščenjak, prod in konglomerat. Tako so plazovita tudi nekatera območja v Pomurju. Plazenju so manj podvržene kraške pokrajine, kotline, široke doline in ravnine.

Plazovitost Pomurja smo ugotavljali s pomočjo različnih statističnih metod, na podlagi katerih smo izdelali več zemljevidov plazovitosti Slovenije (Zorn in Komac 2008b). Ti zemljevidi, čeprav izdelani za državno raven, so odlična podlaga za ugotavljanje plazovitosti tudi na regionalni ravni. Pri izdelavi smo uporabili deterministično metodo ponderiranja ter statistični logaritemsko metodo in metodo faktorja verjetnosti. V prispevku predstavljamo uporabljene metode in rezultate modeliranja, ki smo jih ovrednotili z vidika pomena plazenja za razvoj reliefa. Potrdili smo lahko velik pomen zemeljskih plazov za oblikovanje reliefa v terciarnih gričevjih severovzhodne Slovenije, kar so pred nami na podlagi sledov geomorfni procesov v naravi ugotavljali že drugi avtorji. Tudi v Pomurju se je torej izkazalo, da imajo enkratni, veliki geomorfni procesi, kot so zemeljski plazovi, pri oblikovanju reliefa prav tako pomembno vlogo kot stalno potekajoči, vendar manj opazni geomorfni procesi, kot je erozija prsti.



Slika 1: Za Pomurje je značilen slemenasto-dolinasti relief, kot je na primer v Lendavskih goricah. (Foto: M. Garbajs, arhiv GIAM ZRC SAZU)

2. Uporabljene metode za izdelavo zemljevidov plazovitosti

Zemljevide plazovitosti najlažje izdelamo z **metodo ponderiranja** (angleško *weight of evidence*; Zorn in Komac 2004; Komac in Zorn 2005a; Komac in Zorn 2007, 142–148). Postopek je z matematičnega vidika preprost, vendar je za interpretacijo zemljevida treba

dobro poznati geomorfne procese, njihove vzroke, dinamiko in posledice. Za vsakega od vplivnih dejavnikov najprej izdelamo zemljevid nevarnosti. S standardizacijo absolutne vrednosti spremenimo v relativne, tako da vrednosti sloja delimo z njegovo najvišjo vrednostjo. Na ta način lahko med seboj primerjamo različne zemljevide. Nato je treba vsak dejavnik ponderirati ali obtežiti glede na njegov pomen za plazenje. Za plazenje vemo, da sta na primer neopornost kamnin in naklon površja pomembnejša od vloge rabe tal. Sledi faza kombiniranja delnih zemljevidov, v kateri seštejemo posamezne sloje in seštevke delimo s številom slojev. Dobljeni indeks izraža možnost plazenja. Najvišjo vrednost imajo območja, ki so v prav vseh slojih uvrščena v najvišjo kategorijo. Številčni razpon med 0 in 1 nato ob upoštevanju statistične razporeditve razdelimo na kategorije, ki predstavljajo možnost nastanka zemeljskih plazov (Perko 1992; Pečnik 2002).

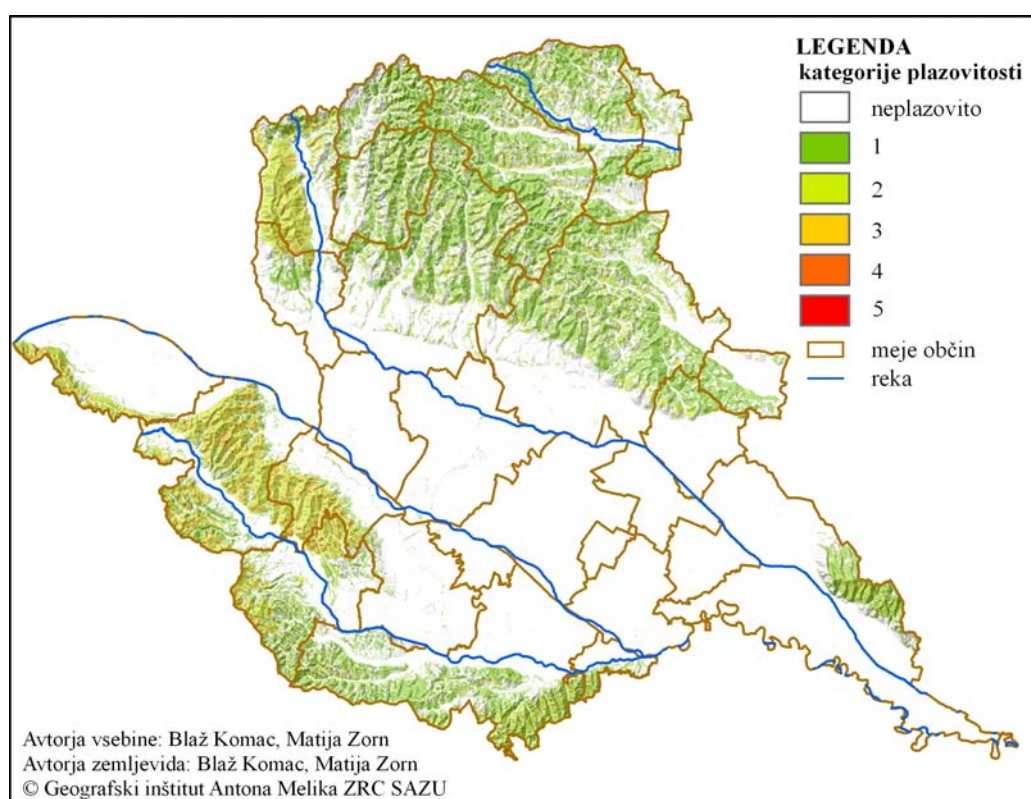
Uteži lahko določimo tudi kvantitativno, na primer s statistično analizo. Pogosto uporabljamo **logaritemsko metodo** indeksiranja (angleško *landslide index method*; na primer Ruff in Czurda 2008; Zorn in Komac 2008b). Metoda temelji na primerjanju zemljevida plazov z zemljevidi, ki prikazujejo različne vplivne dejavnike. Primerjavo naredimo v geografskem informacijskem sistemu s prekrivanjem podatkovnih slojev, nato izračunamo pogostnost oziroma gostoto plazov v določenih razredih vplivnih dejavnikov in jo nazadnje primerjamo s pogostnostjo zemeljskih plazov na celotnem preučevanem območju. Naslednji korak je izdelava zemljevidov z utežmi ali s ponderji, ki smo jih izračunali s pomočjo naravnega logaritma ($\ln$). Pozitivne vrednosti imajo območja, kjer je gostota zemeljskih plazov nadpovprečna, negativne vrednosti pa območja, kjer je gostota zemeljskih plazov podpovprečna. Na ta način za vsak vplivni dejavnik izdelamo delni zemljevid, ki za vsak razred vplivnega dejavnika prikazuje izračunane uteži. Delne zemljevide nazadnje seštejemo. Končni zemljevid prikazuje, kje je večja in kje manjša verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov. Podobno metodologijo sta za Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji uporabila Komac in Ribičič (2008).

Metoda faktorja verjetnosti (angleško *certainty factor*; Zorn in Komac 2008b) spada med tako imenovane mehke statistične metode. Izračunavanje faktorja verjetnosti omogoča primerjavo in kombiniranje različnih oziroma heterogenih podatkov (Chung in Fabbri 1993). Tako kot pri že opisani logaritemski metodi moramo predpostaviti, da lahko nevarnost opredelimo na podlagi statističnega razmerja med preteklimi dogodki in različnimi podatkovnimi sloji, ki predstavljajo vplivne dejavnike. Faktor verjetnosti sta prva uporabila Shortliffe in Buchanan (1975), pozneje pa še Heckerman (1986) ter za preučevanje zemeljskih plazov Chung in Fabbri (1993), Binaghi in ostali (1998), Luzi in Pergalani (1999) ter Lan in ostali (2004). Faktor verjetnosti dobimo tako, da najprej izračunamo verjetnost nastanka plazov v posameznih predhodno določenih razredih podatkovnih slojev vplivnih dejavnikov. Tako dobimo delne zemljevide in jih primerjamo z zemljevidom, ki prikazuje zemeljske plazove. Tako dobimo nov podatkovni sloj, ki prikazuje informacije o vplivnem dejavniku, na primer naklonu, in legi zemeljskih plazov. Zdaj lahko izračunamo gostoto zemeljskih plazov v posameznem razredu podatkovnega sloja vplivnega dejavnika in tudi pogostnost oziroma gostoto zemeljskih plazov na celotnem preučevanem območju, tako da primerjamo površino plazov s površino celotnega preučevanega območja. Nazadnje izračunamo vrednosti faktorja verjetnosti za vse celice digitalnega modela oziroma za posamezne kategorije vplivnih dejavnikov. Podatkovne sloje, ki prikazujejo izračunane vrednosti faktorja verjetnosti nazadnje paroma združimo in v zadnjem koraku še preverimo natančnost modela.

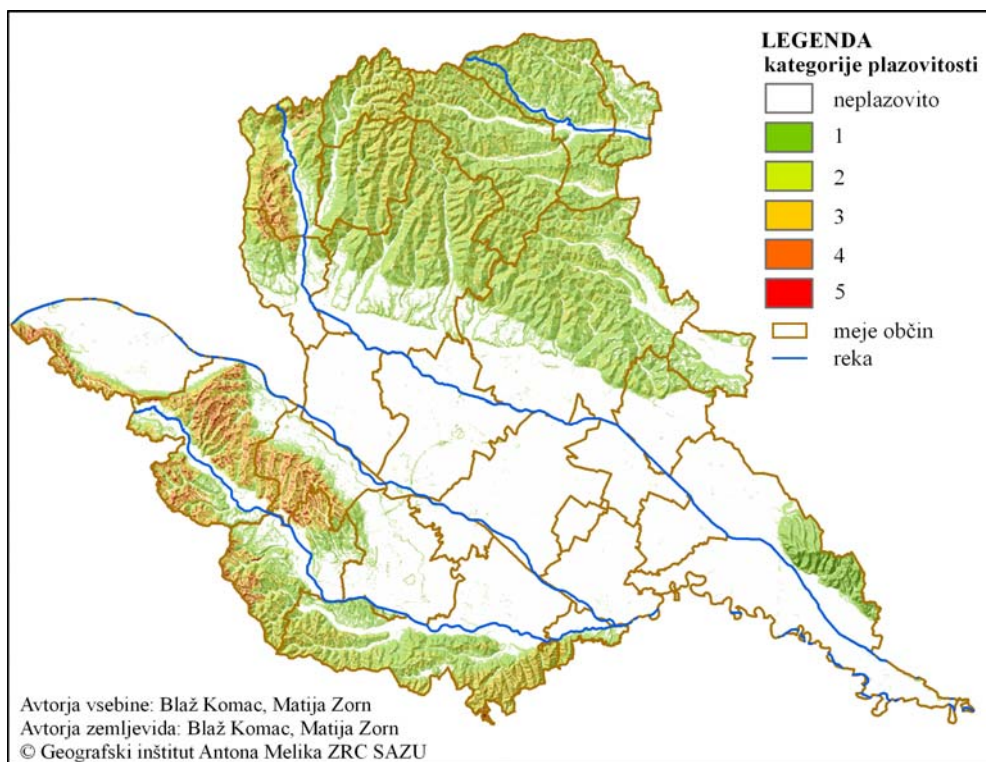
3. Plazovitost Pomurja

Za podrobnejšo preučitev smo izbrali 27 občin v Pomurju, ki obsegajo 1.337,5 km² ozemlja. Na tem območju je v Nacionalno podatkovno bazo zemeljskih plazov (Komac in ostali 2008) vključenih le 84 zemeljskih plazov z znano lokacijo ali 2,6 % vseh zemeljskih plazov z znano lokacijo vključenih v bazo. Poleg tega smo za modeliranje uporabili še nekaj fizičnogeografskih prvin pokrajine (vplivnih dejavnikov), ki vplivajo na plazenje: kaminsko sestavo, naklon površja, ukrivljenost površja, ekspozicijo površja, rabo tal in maksimalne štiriindvajseturne padavine (Zorn in Komac 2008b).

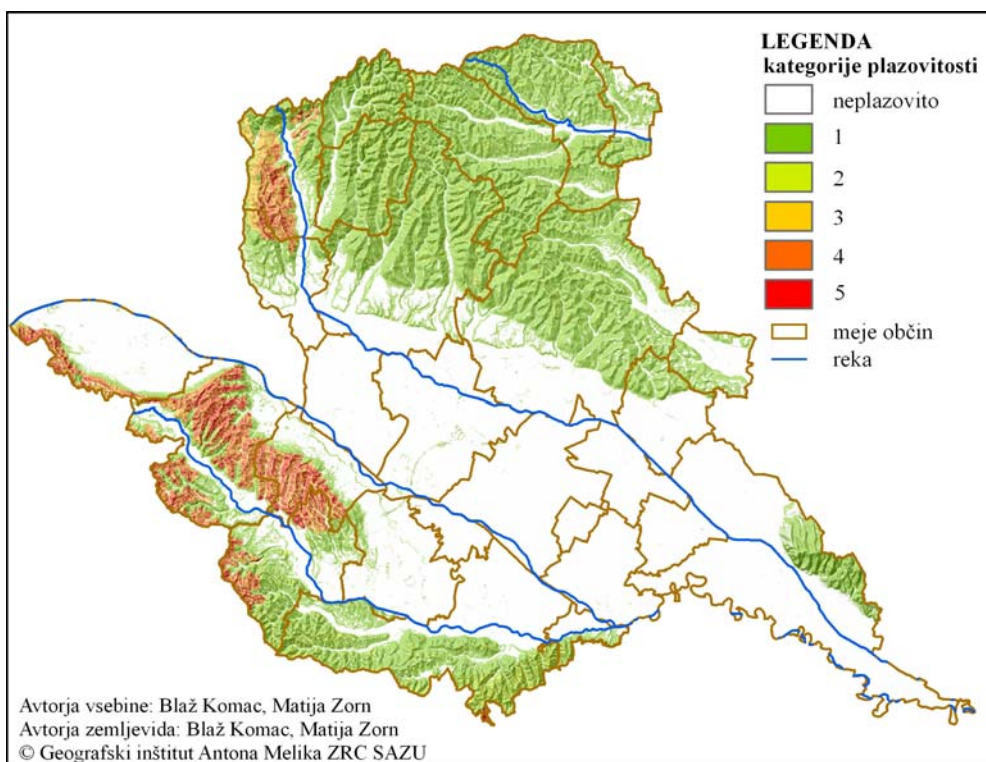
Zemljevide plazovitosti za Pomurje, izdelane z opisanimi metodami, smo razdelili v pet razredov, kjer številka 1 označuje najnižjo, številka 5 pa najvišjo plazovitost. Rezultati, pridobljeni z različnimi metodami se precej razlikujejo, saj metode različno upoštevajo uporabljene podatkovne sloje.



Slika 2: Zemljevid plazovitosti, izračunan z metodo ponderiranja.



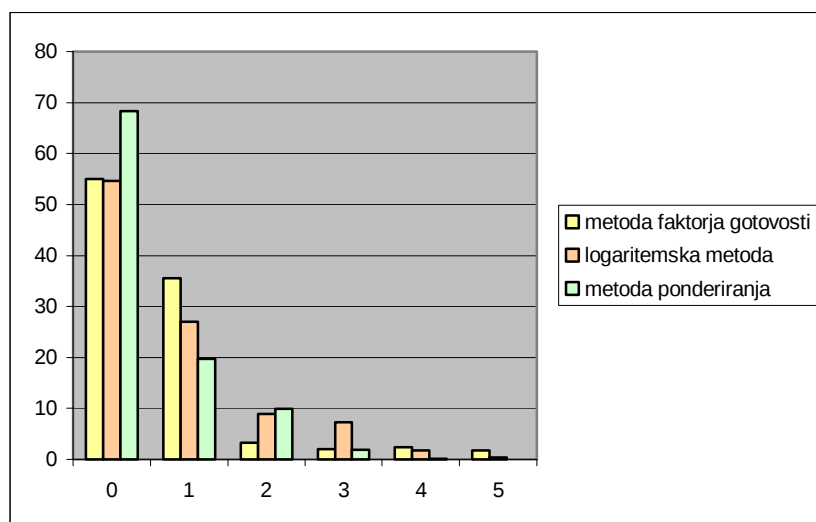
Slika 3: Zemljevid plazovitosti, izračunan z logaritemsko metodo.



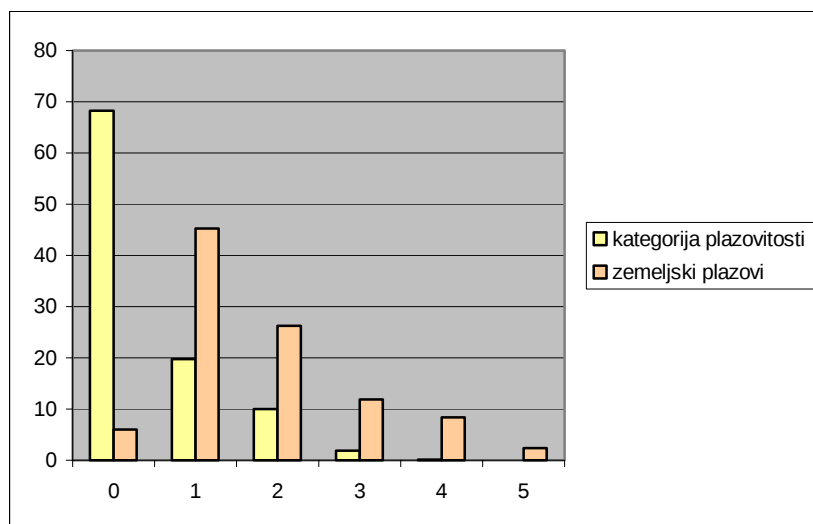
Slika 4: Zemljevid plazovitosti, izračunan z metodo faktorja verjetnosti.

V Pomurju je zelo močno plazovitega (5. kategorija plazovitosti) med 0,01 % in 1,8 % ozemlja, močno plazovitega (4. kategorija plazovitosti) med 0,1 % in 2,44 % ozemlja, zmerno plazovitega (3. kategorija plazovitosti) med 1,9 % in 7,3 % ozemlja, plazovitost pa je nizka (1. in 2. kategorija plazovitosti) na 90,5 % do 98,0 % ozemlja.

Natančnost metod smo preverili z izračunom razmerja med površino zgornjih treh razredov plazovitosti in površino plazov na teh območjih. Pri metodi faktorja verjetnosti obsegajo ta območja 6,3 % površine, na njih pa je 16,7 % plazov. Pri logaritemski metodi obsegajo plazovita območja v najvišjih razredih 9,5 % površine, na njih pa je le 4,8 % plazov. Pri deterministični metodi obsegajo plazovita območja komaj 2,0 % površine, na njih pa je kar 22,6 % plazov. Za celo Slovenijo se je na primer kot najboljša izkazala logaritemska metoda (Zorn in Komac 2008b).



Slika 5: Delež površine plazovitih območij v Pomurju po kategorijah plazovitosti, izračunani z različnimi metodami.



Slika 6: Primerjava površine kategorij plazovitosti, izračunanih z deterministično metodo, in površine zemeljskih plazov v posameznih razredih (ha).

Največja težava takšnih ocen oziroma zemljevidov plazovitosti je pomanjkanje natančnih podatkov o značilnostih plazov, okoliščinah pri katerih so se sprožili ter o razmerju med površino preučevanega območja in površino zemeljskih plazov na njem. V primeru Pomurja je površina celic z zemeljskimi plazovi komaj 0,004 % celotne površine. To pomeni, da na podlagi poznavanja le nekaj tisočin ozemlja sklepamo na razmere na celotnem območju, na območjih z največjo plazovitostjo pa na plazenje sklepamo na podlagi poznavanja razmer na 2 % ozemlja.

Kljub temu je pozitivno, da je delež (površine) zemeljskih plazov v primerjavi s celotno površino razreda plazovitosti najvišji v 4. in 5. razredu plazovitosti. To je znak, da uporabljena metoda kljub vsemu omogoča dovolj zanesljivo oceno plazovitosti.

Modeliranje naravnih procesov je koristno, kdaj pa celo potrebno ali nujno. Zavedati pa se moramo, da rezultati modeliranja ne prikazujejo dejanskega stanja v naravi, saj je model le ocena ali približek razmer. Modeli so "... 'dobra stvar', ki pa potrebuje stalen razvoj ...", vendar "... zaradi nezadovoljivih rezultatov ne smemo biti preveč razočarani, saj so modeli še vedno v fazi razvoja in tudi nezadovoljivi rezultati lahko pokažejo v katero smer mora iti njihov razvoj. Od modelov pa ne smemo pričakovati, da bodo [popolnoma, opomba avtorjev] posnemali naravo. Mišljeni so, da stvarnost poenostavijo ..." (Boardman 2006, 77).

Zemljevidi plazovitosti bi zagotovo pripomogli k varnejšemu bivanju prebivalstva in jih zato tudi potrebujemo, vendar pa so le eden od pripomočkov za boljše razumevanje dogajanja v naravi, zato so zelo pomembne naslednje faze, zlasti 'umerjanje' zemljevida s podatki s terena in njegova interpretacija, ki mora temeljiti na dobrem poznavanju preteklih pojavov na določenem mestu. Šele tako razložen, strokovno podprt in s terenskimi podatki opremljen zemljevid je uporaben za načrtovanje rabe prostora. To seveda pomeni, da je zemljevid tem boljši, čim več izkušenj in različnih (strokovnih) pogledov ga je obogatilo. Boljšemu razumevanju problematike, prikazane na zemljevidih, je namenjeno naslednje poglavje.



Slika 7: Območje zemeljskega plazu v Podlogu pri Pečarovcih pred sprožitvijo. (Foto: R. Vidak)



Slika 8: Zemeljski plaz v Podlogu pri Pečarovcih je po sprožitvi meril 30 m² in je bil globok 1,5 m. (Foto: R. Vidak)

4. Pomen plazovitosti za razvoj reliefa v Pomurju

Pomurje je z vidika geomorfnih procesov in tudi plazenja zelo slabo preučeno. Literature je nekoliko več, če upoštevamo raziskave v sosednjih slovenskih terciarnih gričevjih, zlasti v zahodnem delu Slovenskih goric in v Halozah. Če v nasprotju s slovenskimi alpskimi pokrajinami oziroma z zahodno Slovenijo (Komac in Zorn 2007) za vzhodni del Slovenije še vedno nimamo natančnega pregleda pobočnih pojavov in procesov, pa lahko kljub manjšim relativnim višinam ter količini in intenzivnosti padavin ugotovimo nesporno velik pomen teh geomorfnih procesov za oblikovanje reliefa v gričevnatih pokrajinah. Zemeljski plazovi spadajo *"... med najbolj značilne in pogoste geomorfne pojave na gričevnatem obrobju Panonske kotline, zgrajenem iz slabo do zmerno sprijetih, glinastih in peščenih oligocenskih ter miocenskih sedimentov. Skoraj ob vsakem močnejšem poletnem neurju se sprožijo desetine ali celo stotine zemeljskih plazov ... V geografski literaturi so številne študije o posledicah takšnih ujm ..."* (Natek 1996, 141). Širše o zemeljskih plazovih v Panonskem svetu so pisali Sore (1963), Radinja (1974; 1983) in Natek (1990), vendar se njihove študije nanašajo predvsem na zahodni del slovenskih panonskih pokrajin.

Natek (1996, 143–144) ugotavlja, da so plitvi zemeljski plazovi *"... poleg polzenja najbolj razširjena oblika premikanja delcev po pobočjih in eden najpomembnejših geomorfnih procesov v gričevnatem svetu na obrobju Panonske nižine ..."*, a nadaljuje, da medtem ko so zemeljski plazovi *"... na haloških pobočjih zelo pogosti, jih v srednjih in vzhodnih delih Slovenskih goric [zahodni del območja našega preučevanja, opomba avtorjev] skorajda ni. Po pripovedovanju domačinov se tam manjši zemeljski plazovi pojavljajo le včasih ob novogradnjah na pobočjih, ob širjenju poljskih poti in na omejkih, na spodnjem robu njiv. Glavna razloga za te razlike sta kamninska podlaga ... in bistveno večja strmina pobočij v Halozah ..."*. Večji zemeljski plazovi so značilni za Voglajnsko in Sotelsko gričevje ter severne dele Slovenskih goric, kjer so *"... pogosto povezani s fluvioerozijskimi oblikami in se pojavljajo predvsem v dolinskih zatrepih ..."* (Natek 1996, 144).

Redke zapise o recentnih geomorfnih procesih v Pomurju najdemo pri Gamsu (1959a, 35; 1959b, 234), ki ugotavlja, da je erozija prsti velik gospodarski problem na Goričkem. V osrednjem Goričkem je posebej značilno polzenje zemlje, ki da se pojavlja predvsem na *"... mokrotnih tleh, ki so navadno vegasta ..."* (Gams 1959b, 239–241). V povezavi s plazenjem pravi, da so usadi geomorfni proces *"... značilen in pogost ne samo po Goričkem, ampak tudi drugod po subpanonskem gričevju ..."*, ker imajo *"... v slabo sprijetih ali nesprijetih sedimentih dobre pogoje ..."* za nastanek (Gams 1959a, 35–36). *"... Usadi so na Goričkem manjši, a številni. Poleg 'kulturnih usadov' na spodnjih robovih njiv, ki so značilni tudi za druge slovenske pokrajine, se pogosto javljajo tudi v gozdu, največkrat na rahlo sprijetih, včasih pa tudi na kompaktnih sedimentih. ... Ugodno za polzenje zemlje in usade je na Goričkem splošno živahno menjavanje terciarnih in kvartarnih glinenih, ilovnatih, peščenih in prodnatih sedimentov ..."* (Gams 1959b, 241).

Olas (1996a, 22) ugotavlja, da so podobne razmere v Porabju, ki je nadaljevanja Goričkega: *"... v njegovem gričevnatem delu ni naselja, kjer v bližnji preteklosti po usadih ne bi bilo ogroženo stanovanjsko ali gospodarsko poslopje ..."*. Na osrednjem Goričkem je *"... močno razširjeno polzenje zemlje, ki ga domačini poznajo po nazivu – zemlja se potegne ..."* (Olas 1996a, 22). Po Olasu (1996a, 25) sta erozija prsti in *"polzenje zemlje"* najintenzivnejši v osrednjem in zahodnem Goričkem ter v Lendavskih gorica, kjer je naklon površja tudi do 20°. Za Lendavske gorice so usadi značilni *"... predvsem v času spomladanskih odjug in močnejših deževij, ko je zemlja napita in težka ..."* (Olas 1996b, 33). Med drugimi je o povodih za plazenje na Goričkem pisal tudi

Vidak (2007, 50–52) in sklenil, da so med najpogostejšimi: posegi človeka, obilne padavine, zastajanje vode v pobočnih kotanjah, povečana infiltracija itd.; najpomembnejša vzroka sta naklon in litološka sestava.



Slika 9: Nastanek usadov je pogosto povezan s poseganjem človeka v pobočja. (Foto: R. Vidak)

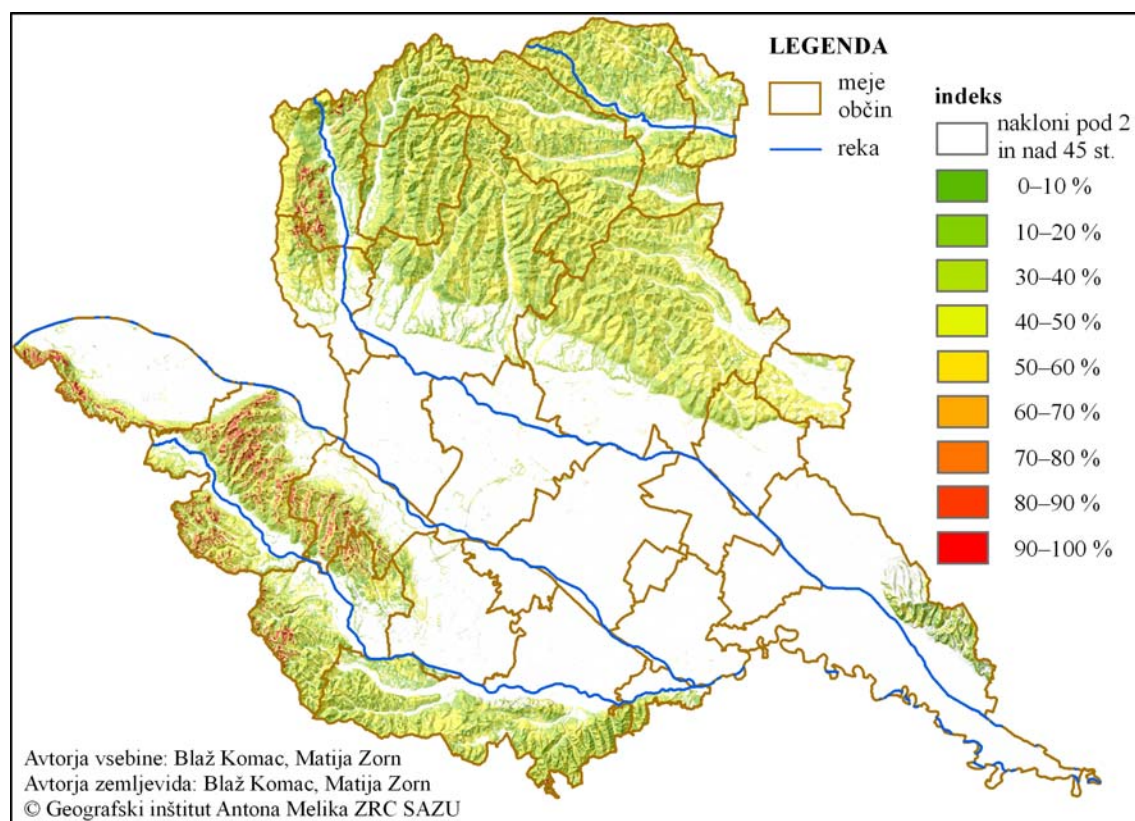
O geomorfnih procesih v Slovenskih goricah je pisal Kert (1959, 150–152): "... Endogena dinamika je v Slovenskih goricah povsod podrejena eksogeni. ... Denudacija je intenzivna in daje v kombinaciji z erozijo najvidnejši pečat morfogenezi Slovenskih goric ...", rezultat pa je relief za katerega je značilna "... majhna reliefna višina, lepe zaobljene oblike vzpetin in široka dna rečnih dolin ...". Omenja tudi zemeljske plazove, za katere ugodni pogoji "... so zlasti tam, kjer potekajo zemeljske plasti vzporedno s strmino pobočja. ... Prožijo pa se zemeljski plazovi največ ob pomladanskem in jesenskem deževju ...; vzrok za proženje plazov so tudi pod pobočjem tekoče vode, ki s svojo bočno erozijo izpodjedajo pobočja in odnašajo oporo višje ležečim skladom. ... Verjetno pa moramo iskati vzroka plazovom tudi v razpokanosti prepereline zaradi poletne suše; po razpokah pronica voda do prve vrzeli med plastmi, jo izpira ter rahlja zvezo med spodnjimi in zgornjimi skladi. Če voda v taki vrzeli zamrzne, deluje še z razgonilno silo ..." (Kert 1959, 151).



Slika 10: Zahodno od regionalne ceste Pečarovci–Šalamenci je pri zaselku Severjeva Graba nastal plaz z od 2 do 4 m visokim in 25 m dolgim odlomnim robom. (Foto: R. Vidak).

V Ljutomersko-Ormoških gorica oziroma vzhodnih Slovenskih gorica usade omenja Belec (1968, 19). Melik (1957, 248) prav tako pripisuje usadam poglavitno vlogo v izoblikovanosti reliefa v Slovenskih gorica. Ferlinc (1994, 27) vzhodno od Maribora loči dve vrsti plazov: večje zemeljske plazove, pri katerih je plazenje počasnejše in dolgotrajno, ter manjše usade, ki se sprožijo ob močnejših padavinah. V povezavi s slednjimi je zapisal: »... Po obilnem deževju se je preperinska plast glinene sestave napojila z vodo in zaradi teže in vzgona splazela po podlagi. V podlagi so neprepustne kamnine, po katerih se pretaka pobočna voda. Ob kontaktu je glina zelo razmočena (nizke strižne lastnosti) in plazina splazi po gladki površini tudi zaradi vzgona, saj se teža preperine zmanjša za težo vode ... Večina plazov je nastala v tesni povezavi z grapami ...« (Ferlinc 1994, 23–24). Zato se na »... pobočjih nagnjenih nad 20 stopinj ... potencialni nevarnosti plazov skoraj ne moremo izogniti ...« (Ferlinc 1994, 27).

Na vprašanje razmerja med plazenjem in drugimi geomorfnimi procesi smo poskušali odgovoriti s kvantitativnim pristopom, ki sta ga predlagala Cendrera in Dramis (1996). Ta omogoča primerjavo učinkov ali intenzivnosti erozije in zemeljskih plazov oziroma ovrednotenje pomena zemeljskih plazov v erozijsko-denudacijskem geomorfnem sistemu. Za izračun smo uporabili povprečne letne podatke o eroziji na različno poraščenih tleh (Komac in Zorn 2005b; Zorn in Komac 2005; Zorn 2007; Zorn 2008) in podatke o zemeljskih plazovih, za katere smo privzeli dogovorno, tridesetletno povratno dobo. Izračunali smo tako imenovano relativno plazovno stopnjo, to je razmerje med količino gradiva, ki se premika s plazenjem, in intenzivnostjo denudacije. Podatke smo ovrednotili še glede na naklon, rezultate pa prikazali na zemljevidu (slika 11).



Slika 11: Relativna plazovna stopnja glede na naklon površja v Pomurju.

Preglednica 1: Površina območij v Pomurju glede na naklon.

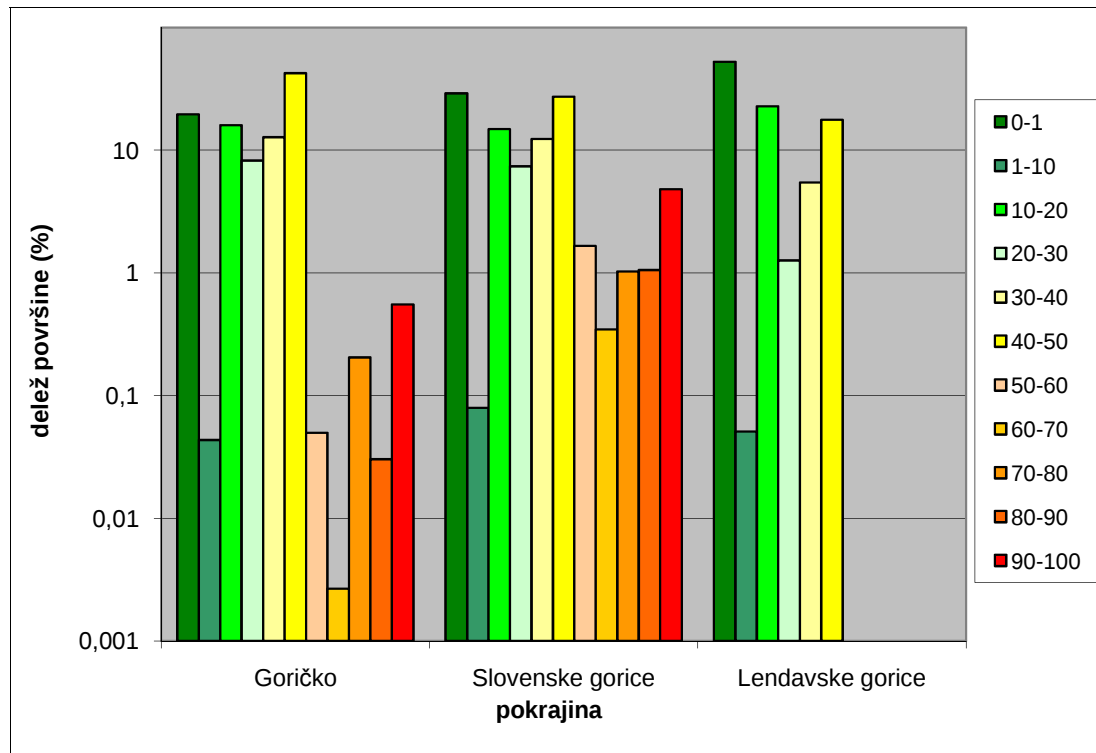
naklonski razred (stopinje)	0–1	1–2	2–6	6–12	12–21	21–32	32–45	45–75	75–91
površina [%]	~ 0,0	~ 0,0	32,9	48,9	16,9	1,3	~ 0,0	~ 0,0	~ 0,0

Povprečni naklon preučevanega območja je 6°, višek pa 47°. Zemeljski plazovi najpogosteje nastanejo pri naklonu 9°, večina (48,9 %) zemeljskih plazov v Pomurju nastane pri naklonu med 6° in 12°, tretjina (32,9 %) pri naklonu od 2° do 6°, pri naklonih med 12° in 21° pa nastane 16 % plazov. Nad naklonom 21° nastane le dober odstotek plazov.

Preglednica 2: Površina plazovitih območij v Pomurju glede na relativno plazovno stopnjo.

relativna plazovna stopnja [%]	1–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
površina [%]	0,1	20,5	10,8	16,2	48,0	0,7	0,2	0,6	0,5	2,5

Približno polovica Pomurja ima relativno plazovno stopnjo med 40 in 50, torej na tem ozemlju zemeljski plazovi in usadi h geomorfnim procesom prispevajo med 40 % in 50 %, preostanek gradiva pa v nižje lege premestijo drugi erozijsko-denudacijski procesi. Obenem pa ima velika večina Pomurja relativno plazovno stopnjo nižjo od 40 %, kar pomeni, da zemeljski plazovi tu le izjemoma oziroma redko prispevajo k preoblikovanju površja več kot ostali erozijsko-denudacijski procesi. Relativna plazovna stopnja je najvišja na zahodnem Goričkem in v Slovenskih goricah. Plazovitost je zelo pomemben geomorfn proces v Slovenskih goricah (plazovitih je približno desetina površine), manj na Goričkem (plazovit je odstotek površin) in v Lendavskih goricah.



Slika 12: Plazovitost v pomurskih gričevnatih pokrajinah, izražena z deležem površine v posameznih razredih relativne plazovne stopnje.

Erozija je na nagnjenem površju stalen in razmeroma intenziven geomorfni proces. Za morfogenezo gričevnatih in hribovitih pokrajin vzhodne Slovenije, pa so poleg erozije zelo pomembni tudi zemeljski plazovi in usadi, ki predvsem preoblikujejo pobočja grap v povirjih. Na zemljevidih (slike 2, 3 in 4) in na grafikonu (slika 12) izstopa nizka plazovitost v Lendavskih goricah, kar pa ni toliko posledica litoloških ali reliefnih značilnosti, ampak predvsem posledica pomanjkljivosti podatkov o zemeljskih plazovih na tem območju v Nacionalni podatkovni bazi zemeljskih plazov. Če bi bili v podatkovno bazo vnesena večina pojavov na tem ozemlju, bi bili rezultati modela bližje stanju v naravi, na zemljevidih prikazana plazovitost pa višja od sedanje.

Zaradi redkosti in navidezni neopaznosti zemeljskih plazov v hitro obnavljajoči se pokrajini pogosto nimamo pravega vtisa o njihovem dolgoročnem vplivu na oblikovanje reliefa, ki pa je nesporen. Že večji zemeljski plazovi, ki v določeni pokrajini nastanejo redkeje kot enkrat na pet let, so geomorfni proces, ki odločilno vpliva na oblikovanje pobočij (Selby 1974; Crozier 2004b, 636). S tega vidika so zemeljski plazovi običajen naravni proces, ki omogoča premeščanje preperelega oziroma mobilnega gradiva v nižje lege. Tudi velike ujme, pri katerih se naenkrat sproži veliko zemeljskih plazov in usadov, kakršna je bila ujma v Halozah leta 1989, so z vidika naravnih procesov "*... le ... silovita pospešitev geomorfnih procesov, ki so v nekaj urah premaknili tolikšne množine materiala kot v stoletjih ali morda tisočletjih normalnega vsakodnevne dogajanja ...*" (Natek 1990, 12; Natek 1996, 145).

5. Sklep

Na podlagi naših izračunov in ugotovitev drugih avtorjev lahko potrdimo, da so zemeljski plazovi v Pomurju oziroma v "*... v subpanonskih gričevnatih pokrajinah ... značilna pokrajinska poteza ...*" (Radinja 1983, 68), ki bistveno vpliva na oblikovanje reliefa. Tudi v Pomurju lahko torej govorimo o "usadnih pobočjih" (Meze 1963, 117; Natek 1989, 66; Natek 1990, 9) in tudi o "plazovitih pokrajinah" ali o "usadnih pokrajinah" (Radinja 1974, 81). Plazoviti ali usadni pokrajini sta predvsem Slovenske gorice in zahodno Goričko, zato tudi v reliefu Pomurja govorimo o plazovnih pokrajinah, ki jih ne moremo dobro razumeti brez upoštevanja "plazovne geomorfologije" ali celo "plazovne geografije" (Crozier 2004a; Crozier 2004b) kot dela fizične geografije.

Rezultati modeliranja, ki so predstavljeni v prispevku, so dober temelj za nadaljnje raziskave geomorfnih procesov na tem območju in tudi za natančnejše terensko delo.

Članek je eden prvih poskusov kvantitativnega ugotavljanja pomena plazovitosti za razvoj reliefa pri nas. Nadejamo se, da bomo s pomočjo terenskih meritev geomorfnih procesov in predstavljenih kvantitativnih metod kar najbolj točno ocenili intenzivnost geomorfnih procesov v destrukcijskem rečno-denudacijskem reliefu, kot so to v precejšnji meri že uspeli narediti za kraški relief (Mihevc 1996; Mihevc, Slabe in Šebela 1998; Mihevc 2007). V tem oziru je ob še vedno odprtem vprašaju recentne morfogeneze znova posebej zanimivo vprašanje razvoja obravnavanega površja v preteklih obdobjih, zlasti pri tem mislimo na učinke sprememb rabe tal na geomorfne procese, kar smo že raziskali na primeru Zgornjega Posočja (Zorn in Komac 2008b), in na razvoj rečno-denudacijskega površja v pleistocenu. Takrat je zaradi pogostega zmrzovanja in odtajanja tal s polzenjem, erozijo in z njo povezanimi usadi ter s soliflukcijo prišlo do hitrega širjenja povirnih delov dolin in nastanka lijakastih dolinskih zatrepov. Ti procesi so bili značilni za rečno-denudacijski relief v Sloveniji, najbolj pa izraženi v hribovjih. Opisani so bili na primeru Škofjeloškega hribovja (Šifrer 1982), kjer o intenzivnosti teh procesov poleg širokih povirij priča tudi pod njimi

ohranjeno gradivo. Z njim so zasuti zgornji deli dolin, v krajših dolinah pa so pod njimi nastali obsežni vršaji.

V članku smo nakazali odgovor na vprašanje, v kolikšni meri so ti procesi vsaj v nekaterih pokrajinah še v današnji dobi pomembni za razvoj površja. Ugotovili smo, da so pobočni procesi v gričevnatih pokrajinah Pomurja (in severovzhodne Slovenije) tudi v sodobnosti verjetno najpomembnejši preoblikovalni dejavnik reliefa. Indeks plazovitosti kaže na to, da so v gričevjih severovzhodne Slovenije procesi plazenja vsaj približno enakovredno preoblikujejo površje kot erozijski procesi.

Viri in literatura

- Belec, B. 1968: Ljutomersko-Ormoške gorice – agrarna geografija. Založba Obzorja, Maribor.
- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F., Rampini, A. 1998: Slope instability zonation: A comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Natural hazards* 17, Amsterdam.
- Boardman, J. 2006: Soil erosion science: Reflections on the limitation of current approaches. *Catena* 68, 2–3, Amsterdam.
- Cendrero, A., Dramis, F. 1996: The contribution of landslides to landscape evolution in Europe. *Geomorphology* 15, 3–4, Amsterdam.
- Chung, C. F., Fabbri, A. G. 1993: The representation of geoscience information for data integration. *Natural resources research* 2, 2, Dordrecht.
- Crozier, M. J. 2004a: Landslide. V: *Encyclopedia of geomorphology*, 2. zvezek. Routledge, London.
- Crozier, M. J. 2004b: Magnitude–frequency concept. V: *Encyclopedia of geomorphology*, 2. zvezek. Routledge, London.
- Ferlinc, D. 1994: Inženirskogeološka analiza plazenja na območju vzhodno od Maribora. Diplomsko delo. Odsek za geologijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- Gams, I. 1959a: Nekateri geomorfološki problemi Pomurja. V: *Geografski zbornik. Obmurska založba, Murska Sobota*.
- Gams, I. 1959b: Geomorfologija in izraba tal v Pomurju. *Geografski zbornik* 5, Ljubljana.
- Heckerman, D. E. 1986: Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors. V: *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland, Amsterdam.
- Kert, B. 1959: Geomorfologija severozahodnih Slovenskih gor. *Geografski zbornik* 5, Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005a: Geografska analiza naravnih nesreč v domači pokrajini – primer zemeljskih plazov. *Geografija v šoli* 15, 3, Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005b: Soil erosion on agricultural land in Slovenia - measurements of rill erosion in the Besnica valley. *Acta geographica Slovenica* 45, 1, Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15, Ljubljana.
- Komac, M., Fajfar, D., Ravnik, D., Ribičič, M. 2008: Nacionalna podatkovna baza zemeljskih plazov. V: *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*, Ljubljana.
- Komac, M., Ribičič, M. 2008: Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji 1 : 250.000, Ljubljana.
- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., Li, R. H. 2004: Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunan, China. *Engineering geology* 76, Amsterdam.

- Luzi, L., Pergalani, F. 1999: Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: the 'Oltre Po Pavese' Case History (Regione Lombardia – Italy). *Natural Hazards* 20, 1, Amsterdam.
- Melik, A. 1957: Štajerska s Prekmurjem in Mežiško dolino. Slovenska matica, Ljubljana.
- Meze, D. 1963: H geomorfologiji Voglajnske pokrajine in Zgornjega Sotelskega. *Geografski zbornik* 8, Ljubljana.
- Mihevc, A. 1996: Brezstropna jama pri Povirju. *Naše jame* 38, Ljubljana.
- Mihevc, A. 2007: The age of karst relief in West Slovenia. *Acta carsologica* 36, 1, Ljubljana.
- Mihevc, A., Slabe, T., Šebela, S. 1998: Jama brez stropa – podedovani element v kraški morfologiji; primer s Krasa. *Acta carsologica* 27, 1, Ljubljana.
- Natek, K. 1989: Vloga usadov pri geomorfološkem preoblikovanju Voglajnskega gričevja. *Geografski zbornik* 29, Ljubljana.
- Natek, K. 1990: Geomorfološke značilnosti usadov v Halozah. *Ujma* 4, Ljubljana.
- Natek, K. 1996: Ogroženost in regeneracijske sposobnosti površja severovzhodne Slovenije na osnovi regeneracije površja v Halozah po katastrofalnem neurju julija 1989. V: *Spodnje Podravje s Prlekijo. 17. zborovanje slovenskih geografov. Zveza geografskih društev Slovenije*, Ljubljana.
- Olas, L. 1996a: Goričko. V: *Regionalnogeografska monografija Slovenije, 9. del: Severni Subpanonski svet*. Geografski inštitut ZRC SAZU, Ljubljana.
- Olas, L. 1996b: Lendavske gorice. V: *Regionalnogeografska monografija Slovenije, 9. del: Severni Subpanonski svet*. Geografski inštitut ZRC SAZU, Ljubljana.
- Pečnik, M. 2002: Možnosti nastanka zemeljskih plazov na osnovi geomorfoloških značilnosti površja v Zgornji Savinjski dolini. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- Perko, D. 1992: Naravne nesreče in digitalni model reliefa. *Ujma* 6, Ljubljana.
- Radinja, D. 1974: Usadi na Sotelskem v pokrajinski luči. V: *Voglajnsko-sotelska Slovenija. 9. zborovanja slovenskih geografov. Geografsko društvo Slovenije*, Ljubljana.
- Radinja, D. 1983: Usadi v subpanonski Sloveniji. V: *Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Slovenska akademija znanosti in umetnosti*, Ljubljana.
- Ruff, M., Czurda, K. 2008: Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria). *Geomorphology* 94, 3–4, Amsterdam.
- Selby, M. J. 1974: Dominant geomorphic events and landform evolution. *Bulletin of the international association of engineering Geology* 9, 1, Krefeld.
- Shorthliffe, E. H., Buchanan, G. G. 1975: A model of inexact reasoning in medicine. *Mathematical biosciences* 23, New York.
- Sore, A. 1963: Zemeljski plazovi na Zgornjem Sotelskem. *Geografski zbornik* 8, Ljubljana.
- Šifrer, M. 1982: Kvarterni razvoj Škofjeloškega hribovja. *Geografski zbornik* 22, Ljubljana.
- Vidak, R. 2007: Ogroženost cest pred plazovi med Stanjevci in Pečarovci. Diplomsko delo. Oddelek za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- Zorn, M. 2007: Ali se zavedamo hitrosti erozijskih procesov – primer iz slovenske Istre. *Dela* 28, Ljubljana.
- Zorn, M. 2008: Erozijski procesi v slovenski Istri. *Geografija Slovenije* 18, Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2004: Deterministic modeling of landslide and rockfall risk. *Acta geographica Slovenica* 44, 2, Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2005: Erozijski procesi na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji. *Ujma* 19, Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2008a: Response of soil erosion to land use change with particular reference to the last 200 years (Julian Alps, Western Slovenia). XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Ljubljana.
- Zorn, M., Komac, B. 2008b: Zemeljski plazovi v Sloveniji. *Georitem* 8, Ljubljana.

LANDSLIDES IN THE POMURJE REGION

Summary

In Slovenia, landslides appear mostly in mountain and hilly regions, such as Julian Alps, Kamnik-Savinja Alps, Karavanke mountains, Škofja Loka hills, Idrija, Cerklje and Rovte hills as well as in flysch regions (Koprška brda hills, Goriška brda hills). They are also very frequent in eastern Slovenia where tertiary marls and sandstones are the dominant rocks.

In the ridge-valley-like relief of the Pomurje region, especially in its northern part (Goričko hills) and south-western part (Slovenske gorice hills) landslides are a frequent natural phenomena. Despite this fact they have not been thoroughly studied in relevant professional literature up to now. They have only been mentioned in several geomorphological descriptions of the area and studies of Quaternary relief formation.

The majority of landslides in the Pomurje region are small and they are triggered by human activity. But the main cause for landsliding is geologic structure since landslides mostly occur on marl, sand, sandstone, gravel and conglomerate that are the most frequent rocks in the area. The second main triggering factor is the steepness of slopes: landslides mostly occur at relative low inclination, that is at about 9 degrees, while the majority of them are triggered at inclinations below 21 degrees. Landslides are usually shallow and not very large. They mostly threaten roads and particular dwellings.

We have elaborated different landslide susceptibility maps with three different methods (weight of evidence, logarithm, certainty factor) for the Pomurje region (figures 2, 3, 4). This region occupies 1337.5 km² and there are 27 municipalities. In this area only 84 landslides with known location are mentioned in the National landslide inventory. We determined that about 1 % of the area is highly susceptible to landsliding, while 90 % of the area is safe from landslides. Despite lack of relevant data on landslides the landslide maps are a relatively relevant source for determining the landslide susceptibility. The results should be treated with care, taking into account the fact that the maps are models of reality and an approximation of the extent and intensity geomorphic processes.

With the help of the maps and relevant literature (chapter 4) we were able to give evidence of importance of landsliding for relief formation in the research area. Especially, landslides are important for evolution of upper parts of the ravines and valleys where they are the major sediment transport factor. Although landslides are relatively rare comparing to constant process of soil erosion they make an important contribution to overall denudation. They only represent a strong acceleration of geomorphic processes, being able to move the same quantity of mobile material that would be otherwise transported to lower position by "normal", usual geomorphic processes, such as soil erosion, in tens, hundreds or thousands of years. This process is also the reason why the headwaters or the upper parts of ravines are relatively wide and flat.

The most accurate landslide map for the area, i.e. the deterministic map, was then selected for calculation of the relative landslide rate that enabled quantitative determination of morphogenetic importance of individual geomorphic process. The relative landslide map is presented on a map (figure 11). We determined that in major part of the region landslides are approximately equally important as soil erosion, while in some parts (western Goričko hills,

northern Slovenske gorice hills) landslides are more important for relief evolution than soil erosion.

We concluded that rare but relatively large geomorphic events, such as landslides, are an important geomorphic factor in tertiary hills of north-eastern Slovenia; on average, they contribute to relief formation as much as less intensive but permanent soil erosion. Landslides are the main relief formation factor in some regions, so we may rightly term them landslide regions. This information is important for understanding the relief evolution in Pleistocene era as well as for determination of land use changes importance on the geomorphic system.