

RAZPRAVE

**POBOČNI PROCESI IN DROBIRSKI TOK V LOGU
POD MANGARTOM**

AVTOR

Matija Zorn*Naziv: univerzitetni diplomirani geograf in profesor zgodovine, asistent**Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija**E-pošta: matija.zorn@zrc-sazu.si**Telefon: 01 470 63 48**Faks: 01 425 77 93*

AVTOR

Blaž Komac*Naziv: univerzitetni diplomirani geograf, asistent**Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija**E-pošta: blaz.komac@zrc-sazu.si**Telefon: 01 470 63 57**Faks: 01 425 77 93*

UDK: 911.2:551.435.62(497.4 Log po Mangartom)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Pobočni procesi in drobirski tok v Logu pod Mangartom

Avtorja najprej podajata predlog poenotene terminologije pobočnih procesov na kopnem, opišeta temeljne vzroke in povode zanje, v posebnem poglavju pa prikažeta pogloblitve pokrajinske učinke pobočnih procesov. V drugem delu članka opišeta vzroke, značilnosti in posledice drobirskega toka, ki je nastal v dolini Koritnice v Julijskih Alpah novembra 2000.

KLJUČNE BESEDE

geomorfologija, pobočni procesi, drobirski tok, izrazoslovje, Julijske Alpe, Posočje, Log pod Mangartom

ABSTRACT

Slope processes and the debris flow in Log pod Mangartom

The authors propose a Slovenian land mass wasting terminology. The most important but basic causes and triggers and the main geomorphic effects are described in the subsequent text. The second part of the article brings an intensive geomorphic action case-study describing a debris flow that occurred in the Koritnica valley, Julian Alps in November 2000.

KEY WORDS

geomorphology, slope processes, debris flow, terminology, Julian Alps, Soča valley, Log pod Mangartom

Uredništvo je prispevek prejelo 2. aprila 2002.

1 Uvod

Na površju Zemlje gravitacija deluje na vse delce in jih sili v nižjo lego. V naravi je to najbolje vidno ob premeščanju gradiva na pobočjih. Matična kamnina je ponavadi dovolj trdna, da kljub gravitaciji določen čas ostane na svojem mestu, kjer pa je pobočje strmo ali pa kamnina poškodovana, pride do premeščanja kamninskih blokov (Strahler in Strahler 1992, 287).

Z izrazom »pobočni procesi« imenujemo vse pojave premeščanja gradiva, ki nastanejo zaradi vpliva gravitacije in so pomemben dejavnik denudacije površja (Strahler in Strahler 1992, 287).

Poleg izraza »pobočni procesi« pozna geografska literatura še sopomenki »graviklastični procesi« (Natek 2002) in »premikanje zemeljskih gmot« (Gams 1989a, 122; Gams 1989b, 171). Hidrotehnična stroka raje uporablja termin »masovno odnašanje« (Mikoš 2000, 109), kar je neposreden prevod angleškega izraza *mass wasting* oziroma nemškega izraza *Massenabtrag*, in termin »težnostna erozija« (Mikoš 2000, 103–104). V geološki literaturi zasledimo termine, kot so »težnostna«, »gravitacijska« in »pobočna premikanja« (Skaberne 2001, 89).

Za uporabo v geomorfologiji in geografiji sta najprimernejša termina »pobočni procesi« in »graviklastični procesi«. Pri prvem že samo ime pove, da gre za procese, ki se dogajajo na pobočjih, drugi termin pa razloži, da je glavni dejavnik procesov gravitacija, ki premika delce navzdol. Pri terminu »masovno odnašanje« se glede uporabnosti v geografiji pojavljajo pomisleki. Problematična je beseda »masovno«, saj iz nje ni jasno razvidno, ali gre za maso v smislu »teže« ali za maso v smislu »gmote«. Vprašanje pa je tudi, če ne bi bilo bolje uporabljati besedo »masno« namesto besede »masovno«, ki lahko opisuje velike količine. Tudi izraz »premikanje zemeljskih gmot« ni najbolj primeren, ker besedo »zemeljski« lahko razumemo v smislu prsti in preperine, ne pa tudi v smislu trdne kamnine.

V preglednici 1 so na preprost način genetsko (na podlagi nastanka), opisno in slikovno opredeljene nekatere vrste pobočnih procesov. Preglednica podaja pregled pobočnih procesov, ki je nastal na podlagi izkušenj s terena in študija literature. Upoštevati je treba, da se pri številnih geomorfniških oblikah in procesih posamezne vrste premikanja prepletajo (plaz preide v drobirski tok). Tako je na enem mestu praktično nemogoče zajeti vse pobočne procese, lahko pa, glede na načine premikanja, izpostavimo najznačilnejše.

V naslovu preglednice smo izpostavili, da se opisane vrste premikanj po pobočjih dogajajo zgolj v kopenskem (subaeralnem) okolju. Pobočni procesi namreč potekajo tudi v podvodnih (subakvatičnih) okoljih, na primer turbiditni (kalni) tokovi in prekoncentrirani vodni tokovi. Podvodni pobočni procesi so pomembnejši v kamninskem zapisu Zemljine zgodovine in običajno obsežnejši od kopenskih (Skaberne 2001, 90–91, 97).

Od pobočnih procesov iz preglednice 1 je v nadaljevanju podrobneje opisan drobirski tok. Ta pojav v angleški literaturi imenujejo *debris flow* (Summerfield 1994). Izraz so prevzeli tudi v italijansko literaturo (Castiglioni 1982). V nemški literaturi sta uveljavljena izraza *die Mure* oziroma *der Murgang* (Mikoš 2000, 106). Hidrotehniko so izraz poslovenili v »murasti tok« (Brilly 2000, 26), uporabljajo pa tudi termin »drobirski tok« (Mikoš 2001). V gozdarskem izrazoslovju uporabljajo termin »hudourniški izbruh« (Horvat 2001), v geološkem pa termina »gruščnati tok« (Ribičič in Vidrih 2001) in »drobirski tok« (Ribičič 2001; Skaberne, 2001). V geografski literaturi uporabljamo izraze »blatni tok« (Gams 2001), »blatno-gruščnati tok« (Komac 2001a; Komac 2001b; Zorn 2001, 61) in »drobirski tok« (Komac 2001c; Komac in Zorn 2002). Ker se je večina strokovnjakov opredelila, da je najboljši prevod angleškega termina *debris flow* izraz »drobirski tok«, smo se zavoljo enotne terminologije odločili za uporabo tega termina.

1.1 Vzroki in povodi za nastanek pobočnih procesov

Za razumevanje neprestanega geomorfnege dogajanja, katerega del so pobočni procesi, je pomembno razlikovanje med vzroki in povodi za pobočne procese. Na prvi pogled so ti procesi posledica potresov

ali močnejših padavin, toda pri teh gre le za tako imenovane sprožitelje (povode). Delujejo razmeroma kratek čas in odločajo le o času sprožitve gradiva, ne pa tudi o tem, kaj in koliko gradiva se bo sprožilo. O sprožitvi odloča splet dlje časa trajajočih dejavnikov (vzrokov), ki s hitrostjo in intenzivnostjo delovanja vplivajo na to, ali se bo del pobočja tudi resnično premaknil, ko bo nastopil »sprožitelj« (na primer potres), ali pa bo ta potres le še eden od vzrokov, ki počasi načenjajo stabilnost pobočja. Nek dogodek je torej povod le v tistem trenutku, ko dejansko pride do sprožitve gradiva, v ostalem času pa je le delček v mozaiku vzrokov, ki pripeljejo do sprožitve.

S sistemsko teorijo, ki se je uveljavila tudi v geomorfologiji, lahko zgornjo razlago opredelimo tudi drugače. Površje, ki predstavlja »supersistem«, je hierarhično urejen splet geomorfni sistemov v različnih merilih. V širšem merilu velja omeniti fluvialni in kraški geomorfni sistem, v manjšem merilu pa je za razvoj površja pomemben geomorfni sistem pobočje. Tudi na pobočju so manjši geomorfni sistemi, ki delujejo na območju sprožitve, območju prenosa in območju akumulacije. Gre za odprte sisteme, v katerih se pretakata snov in energija, zato jih lahko opredelimo za kaskadne (Summerfield 1994, 9). Pri posameznih sistemih iznos (*output*) iz enega sistema pomeni vnos (*input*) v drugega (Chorley 1967, 78).

Odnoseno gradivo je iznos iz sistema, ki deluje na območju sprožitve, hkrati pa vnos v sistem, ki deluje na območju akumulacije. Premeščanje gradiva iz enega sistema v drugega je del neprestanega geomorfnega dogajanja.

Za iznos iz sistema na območju sprožitve je potreben povod. Do iznosa pride, ko zunanje okoliščine, ki vplivajo na sistem (na primer potresi, vremenska dogajanja, človek), pripeljejo sistem do praga (Chorley 1967, 79; Summerfield 1994, 10), na katerem pride do nenadne spremembe in prehoda v novo stanje dinamičnega ravnovesja (Chorley 1967, 86).

Dejavniki, ki dlje časa delujejo na potencialno mesto sprožitve in s svojim delovanjem v sistemu krhajo ravnovesje, so »vzroki« za nastanek pobočnih procesov. Tisti dejavnik, ki dokončno podre dinamično ravnovesje v sistemu oziroma sistem sune prek praga v novo stanje, pa je »povod«. Po sprožitvi se na območju sprožitve vzpostavi novo dinamično ravnovesje, ki vztraja toliko časa, dokler »vzroki« ne privedejo novega sistema do novega praga, »povod« pa nato spet čezenj.

Površje je odprt sistem, v katerem se vedno znova vzpostavlja dinamično ravnovesje, tako da vsaki spremembi zunanjih okoliščin sledi niz prilagoditev celotnega sistema, na pobočjih tudi z njihovim podiranjem, in ponovna vzpostavitev ravnovesja v skladu z novimi okoliščinami.

Poglavitni vzroki za različne pobočne procese so (Zorn 2001, 16–20):

- notranji ali endogeni vzroki:
 - premikanje litosferskih plošč:
 - neotektonsko dviganje gorovij,
 - potresi;
- zunanji ali eksogeni vzroki:
 - vremenska dogajanja:
 - padavine,
 - nihanje ter spremembe pH in kemične sestave podtalnice,
 - spomladansko taljenje ledu v razpokah,
 - taljenje snega in ledu,
 - odlaganje drobnozrnatih delcev na drsnih ploskvah,
 - preperevanje kamnine (kamnina razpada v manjše delce):
 - mehanično,
 - kemično,
 - erozija:
 - ledeniška,
 - rečna,
 - vetrna;

- biogeni vzroki:
 - biološko preperevanje:
 - korenine dreves se razraščajo med nezveznostmi v kamnini ter zaradi debeljenja pritiskajo in širijo razpoke,
 - nabrekanje tkiv mahov in lišajev v razpokah in porah;
 - zunajzemeljski vzroki:
 - motnje pri gibanju Zemlje (vpliv na podnebne spremembe);
 - premikanje zemeljskih tečajev (vpliv na podnebne spremembe),
 - trčenje nebesnih teles:
 - neposredni vpliv (rušitev pobočij),
 - posredni vpliv (podnebne spremembe);
 - antropogeni vzroki:
 - neposredni vzroki:
 - gradnja na nestabilnih pobočjih,
 - posegi v pobočja, gradnja usekov, povečanje naklona pobočij,
 - akumulacijska jezera,
 - spremenjene vodne razmere,
 - pretirana raba prostora,
 - miniranje,
 - vojaški posegi,
 - posredni vzroki:
 - propadanje gozdov,
 - spremembe podnebja:
 - ekstremni podnebni dogodki,
 - spremembe padavinskih režimov,
 - umikanje ledenikov in permafrosta.
- Poglavitni povodi za nastanek pobočnih procesov so (Zorn 2001, 21):
- vremenska dogajanja:
 - ekstremne padavine (močne in/ali dolgotrajne):
 - nenaden dvig podtalnice,
 - poplave,
 - hitre temperaturne spremembe:
 - taljenje snega,
 - umikanje ledenikov in permafrosta v poznem pleistocenu, danes pa v višjih nadmorskih višinah in višjih zemljepisnih širinah,
 - spomladansko odtaljevanje razpok;
 - potresi;
 - trčenje nebesnih teles;
 - antropogeni posegi:
 - spodkopavanje pobočij in gradnja usekov,
 - povečanje naklona pobočij,
 - pretirana raba prostora:
 - gradnja naselij na nestabilnih območjih,
 - gradnja infrastrukturnih objektov (ceste, železnice, smučarske proge),
 - sečnja gozdov ali drugi posegi v vegetacijo,
 - povzročanje tresljajev (promet, miniranje),
 - rudarjenje,
 - pretirana paša (kmetovanje),
 - nenaden dvig podtalnice (akumulacijska jezera),

- povečan odtok vode, sprememba oziroma usmeritev odtokov padavinske vode na nestabilno območje, odnašanje preperine,
- vojaški posegi (raketiranje, bombardiranje).

1.2 Pokrajinski učinki pobočnih procesov

Pobočni procesi v pokrajini povzročajo spremembe v vseh treh območjih svojega delovanja: na mestu nastanka, na območju svoje poti v dolino, pa tudi na območju, kjer se gradivo ustavi. Njihove posledice so vidne v naravi (fizičnogeografski učinki), vplivajo pa tudi na človeka (družbenogeografski učinki).





Fizičnogeografski učinki pobočnih procesov so (Zorn 2001, 99–103):





- neposredni učinki (nastanejo zaradi premikanja gradiva po pobočju):
 - spremembe reliefnih oblik na mestih sprožitve,
 - nastanek tenzijskih (napetostnih) razpok, vzporednih z odlomno ploskvijo,
 - poškodbe na območju poti:
 - reliefne poškodbe,
 - poškodbe na prsti in vegetaciji,
 - poplave in udarni valovi,
 - zračni udar;
- posredni učinki (nastanejo po odložitvi gradiva):
 - kupi premaknjena gradiva na pobočjih in v dnu dolin (sprememba morfologije območja),
 - jezera za odloženim gradivom:
 - jezerski sedimenti (na primer jezerska kreda),
 - zamočvirjena območja za pregradami odloženega gradiva,
 - preboji odloženega gradiva (nastanejo pogosto v obliki »katastrofalnih« dogodkov, ki celo bolj preoblikujejo pokrajino kot pobočni procesi (udarni valovi, povečana erozijska moč vode, nastajanje fluvialnih teras ...)),
 - sprememba hidroloških razmer na mestu odložitve:
 - izviri pod melišči oziroma pod akumuliranim gradivom,
 - prestavitev vodotokov zaradi zasutja stare struge,
 - spremembe v odtoku,
 - spremembe prsti in vegetacije,
 - sprememba mikroklimе:
 - sprememba ekspozicije in naklona manjših reliefnih oblik in s tem temperaturnih razmer,
 - lokalne zaježitve hladnega zraka v konkavnih oblikah,
 - povečanje vlage v zraku zaradi nastanka jezer ali močvirnih območij, stoječe vode vplivajo tudi na temperaturo v okolici.

Učinki pobočnih procesov na človeka so (Zorn 2001, 107–114):

- neposredni učinki (nastanejo zaradi premikanja gradiva):
 - poškodbe alpinističnih smeri, planinskih in zavarovanih plezalnih poti (zavarovana plezalna pot na Krn, 12. 4. 1998),
 - poškodbe infrastrukturnih objektov (podora »Dvojčka« v Trenti),
 - poškodbe stanovanjskih in drugih objektov (Log pod Mangartom, november 2000),
 - poplave in udarni valovi (dolina Vaiont v Italiji leta 1963, dolina Podvolovljek (Tratičnikov plaz, november 1990)),
 - zasutje krajev (naselje Yungay pod vulkanom Huascarán v Peruju leta 1970) ali delov mest z zemeljskimi plazovi (potres v Salvadorju 13. 1. 2001);
- posredni učinki (nastanejo po odložitvi gradiva):
 - vpliv na kulturno pokrajino (opuščanje obdelave, ogozdovanje) in razmestitev naselij,
 - pregrade in zamočvirjena območja za njimi kot reliefne prepreke za komunikacijo:

Preglednica 1: Nekatere vrste nepokopskih pobočnih procesov (prirejeno po Thomson in Turk 1993, 391; Summerfield 1994, 169; Zorn 2001, 7).

načini premikanja gradiva	opis premikanja	vrste pobočnih procesov	vsebnost vlage	hitrost premikanja	opis	komentar	sediment	skica
tok	Delci se pomikajo po pobočju neodvisno drug od drugega in ne kot sprijeta gmota. Tok je značilen za nesprijete sedimente in preperino.	polzenje	nizka	ekstremno do zelo počasno	Gibanje je počasno in očem neprepoznavno.	V naravi ga opazimo na podlagi »pijanih dreves«, nagnjenih drogov ...	/	
		soliflukcija	visoka	ekstremno do zelo počasno	Premikanje z vodo nasičene prsti po stalno zmrznjeni podlagi.	Pojavi se že na blagih pobočjih, predvsem v periglacialnih območjih.	/	
		blatni tok	ekstremno visoka	počasno do zelo hitro	Tok drobnega gradiva (nad 80 % glinastih delcev), nasičenega z vodo. Tok se vede kot viskozna tekočina.	Pojavita se v povezavi z usadom ali plazom (Log pod Mangartom, 15.–17. 11. 2000). Značilna sta za aridna območja s kratkimi obdobji močnih nalinov.	sediment blatnega toka	
		drobirski tok	visoka	zelo hitro	Tok drobnob- in grobozrnatega gradiva (20 do 80 % gradiva je večjega od peščenih delcev).		sediment drobirskega toka (debrit)	
plazenje	Gradivo se pomika v blokih. Značilno je za preperino in nesprijete sedimente ter trdne kamnine.	usad	zmerna	počasno	Plazenje manjšega obsega (nekaj m ²), ki obsega le travno rušo in do 1 m debelo plast preperine. Premika se v enem kosu in skoraj brez deformacij.	Haloze, 3.–4. 6. 1989: prek 5000 na okrog 106 km ² (47 usadov na km ²)	plazovina	

		zemeljski plaz	nizka do zmerna	počasno do zelo hitro	Gmota zdrsne po pobočju po drsni ploskvi, ki poteka po meji med dvema plastema in je vzporedna s pobočjem, ali pa zdrsne debelejša plast, ki se premakne po več drsni ploskvah polkrožne oblike, ki niso vzporedne s pobočjem. Večina gmote ostane nepremešane.	Na primer plaz nad Logom pod Mangartom, ki je pozneje prešel v drobirski tok (15.–17. 11. 2000), plaz nad Lokavcem v Vipavski dolini (november 2000), Macesnikov plaz pod Olševo (jesen 1990).	
		kamniti zdrs	nizka	zelo počasno do ekstremno hitro	Zdrs trdne kamnine po eni ali več nezveznostih. Pozneje ponavadi zaradi morfologije pobočij preide v padanje.	Na primer klinasti zdrs z grebena Šije v dolini Lepene (12. 4. 1998); zdrs po plastovitosti na pobočju Javorščka v Bovški kotlini (8. 8. 1950).	
padanje	Gradivo prosto pada v zraku. Značilno je za trdne kamnine.	skalni odlom <hr/> skalni podor	nizka	ekstremno hitro	Gradivo prosto pada ali se prevrača po pobočju. Pri razlikovanju med obema vrstama premikanja gre najpogosteje za subjektivno kvantitativno opredelitev količine gradiva. Mejna vrednost nastopi pri nekaj tisoč m ³ .	Nastane na strmih pobočjih gorskega sveta (na primer jugozahodna stena Krna, Osojnica v dolini Tolminke 12. 4. 1998), v priobalnih območjih (klifi) in na brežinah rek (na primer v Čezsoči 12. 4. 1998).	 

- prometne prepreke,
- politična, kulturna in jezikovna meja (pri Sidesu v Švici, kjer podorno gradivo deli francosko govoreči del kantona Valais od nemško govorečega dela; ali gozd na podornem gradivu pri Flimsu v Švici, ki deli nekdanje retoromansko območje od nemškega oziroma katoliškega od protestantskega; močvirno območje podora Pletzach pa je bilo do leta 1504 deželna meja med Bavarsko in Tirolsko),
- izraba gradiva v industriji,
- hidroenergetska izraba,
- območja pobočnih procesov kot turistična območja (velika doživljajska vrednost),
- pobočni procesi, ohranjeni v krajevnih in ledinskih imenih (Plaz oziroma Na Plazu v Podljubelju, Plazne pri Izlakah, Plazovje pri Laškem, območje Schütt oziroma Podertje v Spodnji Ziljski dolini, ledinska imena Plazič/Vallone Blasic južno nad Reklansko dolino/Val Raccolana, Plaznica/Blasnitzen pri Železni Kapli/Eisenkappel, Begunjski plaz, Šentanski plaz in Birški plaz v Karavankah, v Atlasu Slovenije (1996) je devet domačij z imenom Plaznik in štiri z imenom Plazovnik),
- pobočni procesi, ohranjeni v pripovedkah, pesmih in legendah (pripovedka o nastanku Rabeljskega jezera, ki jo je upesnil Simon Gregorčič).

2 Pobočje Stovžja – november 2000

Začelo se je 15. novembra 2000, nekaj čez 14. uro, ko se je na območju Šteng pod Stovžjem utrgal plaz in kasneje kot drobirski tok stekel po dolini Mangartskega potoka, uničil most na predelski cesti in se ustavil na sotočju Mangartskega potoka in Predelice. Okrog 1,5 km dolga in več metrov debela gmota je bila iz nekaj sto tisoč kubičnih metrov gradiva, natančna količina ni znana.



Slika 1: Pogled na Stovžje in Log pod Mangartom z Jerebice (2126 m) 25. 8. 2001.

Zaradi visokih temperatur je snežilo le nad 2500 m. Obilno deževje v nižjih legah in velik pretok Mangartskega potoka sta v 36 urah dodobra razmočila gmoto plazu v dolini. V Logu je novembra 2000 padlo 1234 mm padavin, kar je približno polovica povprečnih letnih padavin in štirikrat toliko kot dolgoletno novembrsko povprečje (Cegnar 2000, 7).

Gmota se je zaradi prepojenosti z vodo tekočinila in 17. novembra nekaj minut čez polnoč drugič premaknila. Drobirski tok je v nekaj minutah dosegel Log. Umrlo je 7 ljudi, porušenih in poškodovanih pa je bilo 18 stanovanjskih in 8 gospodarskih objektov. Na objektih je nastalo 500 milijonov tolarjev škode, na cestni infrastrukturi 1,2 milijarde, na drugi infrastrukturi 800 milijonov in na kmetijskih zemljiščih 100 milijonov tolarjev (Poročilo 2001, 10). Že naslednji dan so oblasti iz doline Koritnice izselile vse prebivalce in omejile dostop.

Poglavitni razlog za plazenje na tem območju je pestra geološka zgradba. V zgornjem triasu se je na plasti masivnega dolomita odložilo od 100 do 200 m julsko-tuvalskih rabeljskih (tamarskih) plasti, ki jih sestavljajo apnenec, lapornati apnenec, laporovec in higroskopični skrilavi glinavec. Predvsem slednja sestavina je pomembna za pobočne procese, saj skrilavi glinavec zaradi delovanja vode razpade v glino. Glino sestavljajo minerali glin, ki vpijajo vodo in ob tem nabrekajo. Rabeljske plasti so znane po pogostih pojavih plazenja, na Stovžju pa so k sprožitvi plazov pripomogli tudi skladna zgradba strmega pobočja (27°) in številni izviri na stiku zgoraj ležečega glavnega dolomita z rabeljskimi plastmi. Poglavitni povod za nastanek drobirskega toka so bile obilne padavine z intenzivnostjo prek 300 mm na dan.

2.1 Območje sprožitve

Jedro in ključ za razumevanje pojava sta, kot smo videli, skrita na območju njegove sprožitve, nastanka. Območje Počivalnika, Šteng in Stovžja je bilo že v preteklosti nekaj posebnega, kot je posebno vsako območje v pretežno karbonatnem gorskem in visokogorskem svetu, ki je bogato z vodo. Prav blizu Mangartske planine so bili na stiku močno pretirtega in prepustnega dolomita s slabše prepustnim ledeniškim gradivom in rabeljskimi plastmi v podlagi številni izviri. Območje je poraščal gorski bukov gozd, v višjih legah iglavci in v najvišjih ruševje. Človek je v preteklosti posegal v gozdni ekosistem (oglarstvo), kar dokazujejo ledinska imena. Na Počivalniku so po goloseku v prvi polovici dvajsetega stoletja zasadili smrekov gozd. Vprašanje je, ali so človekovi posegi zgolj kvarno vplivali na stabilnost pobočja, dejstvo pa je, da so se zaradi njih spreminjale gladina talne vode in napetostne razmere v bolj ali manj preperelih kamninah. Pri tem je treba poudariti, da so za nastanek pojava odločilni fizičnogeografski dejavniki (geološka zgradba, podnebne in vremenske razmere).

Drugi plaz se je sprožil dan in pol kasneje in preoblikoval pobočje v višinah med 1400 in 1600 m, kjer je danes za 1,2 milijona kubičnih metrov manj gradiva. Material, ki ga je plaz sprožil, je stekel kot drobirski tok in s seboj v dolino odnesel tudi gmoto prvega plaz. Približno 300.000 kubičnih metrov gradiva je bilo le premaknjenega v sekundarno lego, vendar je ostalo na plazišču. Prevladujejo zaglinjen grušč, slabo sprijeto morensko gradivo in laporovec (Majes 2001, 86). Po splazitvi je vseskozi prihajalo do večjih ali manjših premikov po pobočju navzdol, tudi v obsegu nekaj deset metrov. Večji premik je bil na primer opažen januarja leta 2001, ko se je velika gmota z ruševjem poraslega pobočja premaknila nižje, na območje, kjer običajno uspeva bukov gozd. Ocenjuje se, da je danes skupaj s potencialno nevarnimi sedimenti ledeniške morene in pobočnega grušča pod Vršičem na pobočju še vedno 1,5 milijona kubičnih metrov že premaknjenih gmot.

Ker je prišlo do splazitve na obsežnem območju (25 ha) in je bilo pobočje prizadeto v velike globine (tudi nekaj 10 m), so ob krajeh nastali tudi več kot 10 metrov visoki in strmi robovi, ki pa so se obdržali le nekaj dni. Pojav začasne stabilnosti izkoriščajo gradbeniki pri izkopu gradbenih jam, saj lahko v tem času zgradijo podporne zidove. Sčasoma so se zaradi izpostavljenosti eksogenim procesom razrahljale kohezivne vezi, ki so omogočale stabilnost strmih pobočij in iz strmega klifnega pobočja so nastala blažja pobočja z bolj zaobljenimi robovi.

Razmočen material se je od podlage krhal v grudah, kosih, in se v plazju oziroma toku preoblikoval. Pobočni procesi in premikanja so omogočili nastanek tako imenovanih glinastih bomb (Petkovšek 2001, 116). Nekatere so majhne in obrušene v prodnikom podobne oblike, druge pa velike, s premerom prek enega metra. Z razpadanjem večjih glinastih bomb ali večjih kosov glinavca so na pobočju plazišča nastali piramidasti stožci.

Drobnejše razmočeno gradivo je po plazišču in ob njegovem kraju teklo v obliki manjših blatnih tokov, ki so se na koncu razprostirli z značilnimi jeziki. V večjem obsegu so nastali na pobočju nad Mangartsko planino (Komac 2001a; Komac 2001b).

2.2 Območje premikanja toka

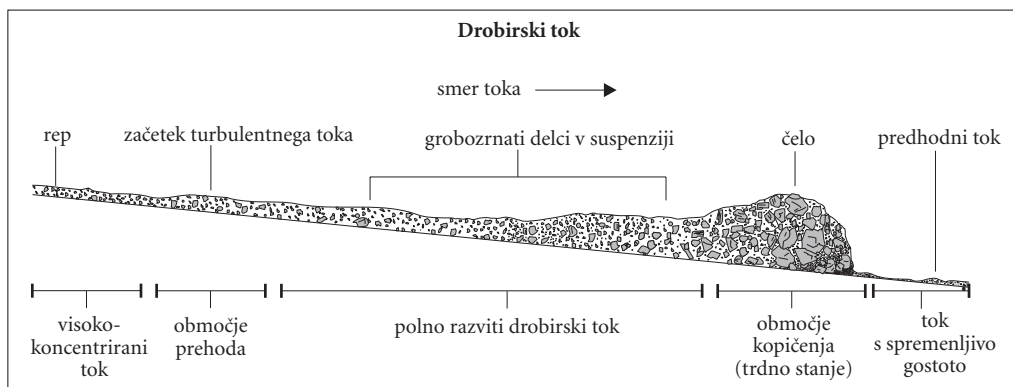
Gradivo je bilo po splazitvi razmočeno, s premikanjem pa je postalo tekoče, zato je bilo po njem težko, včasih nemogoče hoditi. Raziskave so pokazale, da postane gradivo nestabilno in se lahko utekočini, ko vsebuje tretjino vode. Z izsuševanjem površine je nastajala skorja, ki jo je bilo mogoče ob večjih obremenitvah, z gradbenimi stroji, še na začetku poletja 2001 predreti.

Drobirski tok je močno preoblikoval površje in povsem spremenil zunanjo podobo pokrajine. Ločimo lahko več različnih geomorfni oblik oziroma njihovih sprememb, ki so nastale na območju splazitve na Stovžju, območju potovanja toka po dolinah Mangartskega potoka, Predelice in deloma Koritnice ter območju akumulacije v dolinah Predelice in Koritnice.

Po sprožitvi 15. 11. 2000 se je del gradiva spremenil v drobirski tok in se ustalil v dolini Mangartskega potoka pri sotočju s Predelico, kjer je čelo segalo 10 m visoko. Slabe vremenske razmere takrat niso omogočale pregleda nad celotnim območjem, vendar redke fotografije in terenski ogledi pričajo, da je gmota zapolnila strugo do iste višine, kot smo jo lahko opazovali čez dva dneva. Zanimivo je dejstvo, da so bila med gradivom tudi številna debela in kosi lesa, saj je bilo odnesenega okrog 25 ha gozda. Kljub temu je bil delež lesa in drugega organskega gradiva v primerjavi s celotnim gradivom neznamen. Po pričevanju je nad gmoto nastalo jezerce.

Ni še povsem jasno, ali je drugi drobirski tok, ki je v noči s 16. na 17. november 2000 dosegel dolino Koritnice, nastal zaradi utekočinjenja gmote, ki je splazela prvi dan, ali zaradi sunka novega plazju s pobočja Stovžja. Prevladuje mnenje, da je bilo odločilno namakanje splazele gmote z obilnimi padavinami in Mangartskim potokom (nekaj kubičnih metrov na sekundo), vendar nekateri znaki kažejo na drugo možnost. Nad desnim zavojem toka pod Mangartsko planino je bilo mogoče na pobočju razločiti dve fazi sedimentacije, ki sta lahko le posledica dveh zaporednih pojavov.

Drobirski tok je uporabil pot prvega in praktično nikjer ni segel nad njegov pretežno akumulacijski rob. Po prvih ocenah naj bi imel tok zaradi obilice skalovja, ki ga je nosil s seboj, veliko erozijsko



Slika 2: Drobirski tok (prirejeno po Ritter in ostali 1995, 118).

moč, celo tako, da bi bil sposoben erodirati živoskalno dno. Kasnejši ogledi pa so pokazali, da je njegova erozijska moč segala le do triasnega glavnega dolomita v podlagi, ki je bila odnesena le tam, kjer je bila kamnina preperela.

Tok je z dna dolin in pobočij postrgal preperelo kamnino, prsti in rastje ter s tem bistveno spremenil videz pokrajine. Presenetljivo je bila asfaltirana cesta, ki vodi na Mangartsko sedlo, zasuta, vendar je ostala nepoškodovana, razen na mestih, kjer je potekala prečno na dolino in jo je tok presekal. To pomeni, da sta v dolini Mangartskega potoka nad predelsko cesto prevladali globinska erozija in bočna akumulacija gradiva, na pregibu pod njo, kjer se strmec doline nenadoma poveča, pa je bilo erozijsko delovanje okrepljeno.

Zaradi velike hitrosti ($10 \text{ m}^3/\text{s}$), njegove židkosti in velike količine gradiva je tok dosegel veliko vztrajnost, ki je v zavojih povzročila značilno nadvišanje. Prišlo je tudi do povečanja akumulacije na zunanjem robu zavoja. Izračuni z modeli so pokazali, da se čelo toka usmerja po obstoječih geomorfni oblikah, predvsem strugah (Majes 2001, 83). Zaradi visoke gostote je sposoben prenašati velike kamninske bloke, njegov nanos pa se razprostire v obliki pahljače in do določene višine zapolni konkavne reliefne oblike. Nazadnje priteče blatni tok, ki je vse redkejši in vedno bolj podoben poplavnim vodam.

2.3 Območje akumulacije

Kot smo omenili, je gradivo zastajalo že med samim potovanjem toka po dolini navzdol. Ocenjujejo (Majes 2001, 90), da je v dolini Mangartskega potoka pod planino in v dolini Predelice obstalo približno 400.000 m^3 gradiva. Večina ga je obstala na sotočju Mangartskega potoka in Predelice in nižje od njega. V dnu doline Koritnice med sotočjem s Predelico in sotočjem z Možnico se je odložilo približno 700.000 m^3 gradiva in jo zatrpalo nekaj metrov na debelo.

Pod Logom je nastal obsežen vršaj, ki je za krajši čas zajezil Koritnico in Fratarico. Sprva je nanos vseboval veliko drevesnih debel, ki pa so bila v nasprotju s tistimi v prvem plazu (15. 11. 2001) zaradi prenosa po dolini Predelice prelomljena in obrušena, celo zmleta, in redko daljša od 4 m. V dolini Koritnice je bilo mogoče najti tudi glinaste bombe.

Zaradi visokega pretoka vode se je veliko gradiva premaknilo po dolini navzdol v obliki suspenzije. V Kobaridu so v dneh po drobirskem toku z 8112 g/m^3 izmerili njeno največjo koncentracijo sploh (Uлага 2000, 39).

Po večurnem prehodu celotnega toka se je začela rečna sedimentacija, ki so jo pospešili visoki pretoki: Soča je pri Logu Čezsoškem med 6. in 8. novembrom 2000 dosegla 5 do 10-letne visoke vode (Polajnar 2000, 41). Visoke vode so premeščale nanose drobirskega toka in jih niže akumulirale. Podobno je bilo že leta 1986, ko so zaradi obilnega deževja nekateri potoki z dolomitnega obrobja doline Koritnice na debelo zasuli dotedanje struge njenih pritokov.

Spomladi je bilo najintenzivnejše valjenje proda po spodnji dolini Predelice, kar je večkrat ogrozilo na novo postavljen montažni most v Logu. Dež in taljenje snega sta sprala blatno-rjave drobnozrnate nanose, zato je kmalu prevladal bel dolomitni grušč. Sčasoma se je sediment zaradi izpiranja in izgubljanja drobnejših frakcij posedel, vendar je bil še dolgo vlažen in nevezan. Bregovi strug, ki so jih zaradi usmerjanja vodotokov izkopal v gradivo, so se posedali, na umetnih terasah so nastajale značilne razbremenitvene razpoke. Pred tem je potekalo zanimivo in izjemno intenzivno dogajanje. Višinska razlika med začetkom in koncem korit pri Novem mostu (pri odcepu v dolino Možnice) je bila pred zasutjem 27 m. Zaradi zamaška iz velikih skal in drevja, ki je nastal v koritih, se je nanos drobirskega toka ustavil nad njimi. Novo nasuto dno nad koriti je bilo za slabih 10 m višje. Zanimivo je, da zaradi izjemno visoke kalnosti še dan po drobirskem toku ni bilo povsem jasno, ali je nad koriti nastalo jezero blatne vode, ali pa je šlo za grobozrnate nanose. Voda je skozi korita odnašala le drobnejše gradivo in ga odlagala na sotočju Možnice in Koritnice. Čelo novega prodnega nanosa je potovalo s hitrostjo približno 1 km na dan.

Potem ko so visoke vode odtekle in je reka urezala novo strugo, je ustvarjala značilne meandre in velikokrat spremenila potek struge. Terasa, ki so ob tem nastale, so se spreminjale tudi zaradi poseda-



BLAŽ KOMAC

Slika 3: Vršaj pod Gorenjim Logom (Log pod Mangartom) 19. 11. 2000.



MATIJA ZORN

Slika 4: Jezik nanosa drobirskega toka nad Gorenjim Logom (Log pod Mangartom) 30. 11. 2000.

nja, razpok in zmrzovanja gradiva. Območje so dodatno preoblikovali še z ravnanjem, odvažanjem in nasipanjem gradiva. Po odstranitvi zamaška iz korit se je povečala zadenjska erozija, s tem pa poglobljanje struge in odnašanje gradiva. Na bregovih Koritnice nad koriti je bila razkrita jezerska kreda.

2.4 Sklep

V dolini Koritnice med Logom in Novim mostom se je odložilo 700.000 m³ gradiva. Kasneje so uredili sotočje Predelice in Koritnice, preoblikovali strugo Koritnice in del gradiva iz doline Predelice odpeljali v dolino Koritnice, kar pa so nekateri kritizirali (Matos 2001; Roš 2001, 61). Dejstvo pa je, da bi bilo območje tem bolj varno, čim več gradiva bi odpeljali stran. Tudi načrtovana gradnja pregrade v dolini Mangartskega potoka, pregrade za razbijanje drobirskega toka v dolini Predelice in usmerjevalnega objekta nad Logom v skupni vrednosti več kot 20 milijonov evrov bi pripomogla k večji varnosti.

V dolini Koritnice je novembra 2000 v naseljih Log pod Mangartom in Strmec na Predelu ter zaselku Pustina živel 151 (142) prebivalcev v 65 (58) gospodinjstvih (v oklepaju je stanje novembra 2001). Starostna sestava gospodinjstev je bila razmeroma neugodna že pred uničujočim drobirskim tokom, ko je umrlo sedem ljudi. Povprečna starost prebivalcev je bila višja od 50 let, povprečno gospodinjstvo pa je imelo 2,3 (2,5) člana. Novembra 2000 je bilo na tem območju triindvajset (20) enočlanskih gospodinjstev. Dvočlanskih gospodinjstev je bilo 17 (13) s povprečno starostjo članov 64 let. Deset (10) gospodinjstev je bilo tričlanskih s povprečno starostjo članov 40 let in 11 (11) gospodinjstev štiričlanskih s povprečno starostjo članov 30 let. V štirih (4) gospodinjstvih je živel po pet prebivalcev s povprečno starostjo 29 let.

Drobirski tokovi so se v Sloveniji pojavljali tudi že prej. Literatura poroča o dogodkih v Polhograjskem hribovju leta 1924 (Horvat 2001, 93). Nekateri viri navajajo, da podoben pojav Loga ni prizadel že najmanj 200 let (Komac 2001, 62), po nekaterih virih pa je do tega prišlo že pred približno stode-setimi leti. Časopis *Edinost* je 26. avgusta 1891 zapisal, da je Log prizadela podobna ujma že leta 1891. V Logu je »... *debel pesek* ...« zasul mlin in žago, ki sta stala pri sotočju Predelice in Koritnice. Gostilničarju Ferdinandu Štruklju je voda odnesla »... *ves vrt do ogla hiše, ter mu podsula pol hleva. Na drugi strani je podsulo tudi vso hišo* ...«. Pod Logom je ujma odnesla na samem stoječo hišo, »... *od katere ni ne duha ne sluha* ...« in po vsej verjetnosti za daljši čas pretrgala cestno povezavo med Bovcem in Predelom.

Preučevalci zgodovine območja navajajo (tako pravi tudi domačin Fedja Klavora), da je plaz v dolini Mangartskega potoka zasul nahajališča glinje že pred približno tristo leti. To potrjujejo tudi vzorci sedimenta iz vrtin, ki so jih v dolini Mangartskega potoka izvrtali v okviru sanacijskih del leta 2001.

Glino so uporabljali za lončarstvo v Strmcu, ki se je po tem dogodku nenadoma končalo. Med ljudmi se je ohranilo le ime »lončarska pot« za najkrajšo povezavo med Logom in Strmcem. Na intenzivnost geomorfnega dogajanja kažejo številna ledinska imena (Meli), manjši plazovi, ki so jih pred letom 2000 na Stovžju opažali pastirji z Mangartske planine, in učinki številnih snežnih plazov, ki so dosegli dno doline Mangartskega potoka (Pavšek 2000).

Čeprav je pokrajina močno spremenjena, bo čez nekaj let le pozoren opazovalec opazil, da je odloženo gradivo posledica recentnega geomorfnega procesa.

3 Viri in literatura

Atlas Slovenije. Ljubljana 1996.

Brilly, M. 2000: Po naravni ujmi v Logu pod Mangartom. *Delo* (29. 11. 2000) 42, 277.

Castiglioni, G., B. 1982: Geomorfologia. Torino.

Cegnar, T. 2000: Klimatske razmere jeseni 2000. Mesečni bilten MOP HMZ RS 7, 11.

Chorley, R., J. 1967: *Models in Geomorphology, Models in Geography*. London.

- Edinost, glasilo slovenskega političnega društva tržaške okolice (26. 8. 1891).
- Gams, I. 1989a: Terminologija premikanja zemeljskih gmot. Ujma 3.
- Gams, I. 1989b: Termini za premikanje zemeljskih gmot. Geografski vestnik 61.
- Gams, I. 2001: Mangartski plaz v luči plazovne terminologije. Ujma 14–15.
- Horvat, A. 2001: Hudourniški izbruh izpod Mangarta. Ujma 14–15.
- Jurkovšek, B. 1987: Osnovna geološka karta 1: 100.000. Tolmač lista Beljak in Ponteba. Beograd.
- Komac, B. 2001a: Ko se strese zemlja. Grif 34.
- Komac, B. 2001b: Ko se strese zemlja. Grif 35.
- Komac, B. 2001c: Geografski vidiki nesreče. Ujma 14–15.
- Komac, B., Zorn, M., 2002: Recentni pobočni procesi v Zgornjem Posočju. Geografski obzornik 49,1.
- Majes, B. 2001: Analiza plazov in možnosti njegove sansacije. Ujma 14–15.
- Matos, U. 2001: Plaz očitkov. Medmrežje: <http://www.mladina.si/tehdnik/200142/clanek/plaz/> (23. 8. 2002).
- Mikoš, M. 2000: Izrazje na področju erozijskih pojavov. Gradbeni vestnik 49, 5.
- Mikoš, M. 2001: Značilnosti drobirskih tokov. Ujma 14–15.
- Natek, K. 2002: Geomorfologija – predavanja v študijskem letu 2000/01. Medmrežje: <http://www.ff.uni-lj.si/geo/Pedagosko/gradiva/geomorfologija/geomorfo-predavanja.htm> (23. 8. 2002).
- Pavšek, M. 2000: Fizičnogeografska pogojenost snežnih plazov v slovenskih Alpah s posebnim ozirom na preventivo. Magistrska naloga, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Petkovšek, A. 2001: Geološko geotehnične raziskave plazov. Ujma 14–15.
- Polajnar, J. 2000: Izredne hidrološke razmere v novembru. Mesečni bilten MOP HMZ RS 7, 11.
- Poročilo o uresničevanju Zakona o ukrepih za odpravo posledic plazov Stože v občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000. Poročevalec Državnega zbora RS 66, 118 (31. 7. 2001).
- Ribičič, M. 2001: Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom. Ujma 14–15.
- Ribičič, M., Vidrih, R. 2001: Gruščnati tok v Logu pod Mangartom. Proteus 63, 6.
- Ritter, D., F., Kochel, R. C., Miller, J. R. 1995: Process geomorphology. Dubuque.
- Roš, K., 2001: Domačini izrinjeni iz odločanja o usodi Loga pod Mangartom: leto dni po plazov. Delo (29. 11. 2001) 43, 275.
- Skaberne, D. 2001: Predlog slovenskega izrazoslovja pobočnih premikanj – pobočnega transporta. Geologija 44.
- Strahler, A. H., Strahler, A. N. 1992: Modern Physical Geography. New York.
- Summerfield, M. A. 1994: Global Geomorphology – An Introduction to the Study of Landforms. New York.
- Thompson, G. R., Turk, J. 1993: Modern Physical Geology. Philadelphia.
- Uлага, F. 2000: Koncentracija suspendiranega materiala v vodotokih. Mesečni bilten MOP HMZ RS 7, 11.
- Zorn, M. 2001: Gorski relief kot posledica skalnih podorov. Diplomsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.

4 Summary: Slope processes and the debris flow in Log pod Mangartom

(translated by the authors)

The article lists causes (endogenic, exogenic and anthropogenic) and triggers (i. e. weather action, earthquakes, anthropogenic intervention) of slope process in detail. It further discusses the relationship between both terms mentioned above by the system theory analysis. Physical geographical consequences of slope processes are also enumerated. The table with distinction of genetic (according to type of movements: flow, slide, fall) and descriptive slope processes that is a new contribute to Slovenian slope processes terminology was made.

The second part of the article is a case study describing tragic events in the Log pod Mangartom village, Slovenia in November 2000 where the debris flow occurred after a combination of slope processes.

On the elevation 1,300–1,700 m an landslide that has reached the Predelica valley and ruined the bridge on Strmec-Predel road appeared on 15th November 2000. During the same day the second landslide emerged above the first one and stopped in the Mangart stream valley. As reports from eyewitnesses say water had been collecting in the mass. About 36 hours later, on 17th November 2000, the threshold was crossed and water reached about one third of the total volume the bulk became fluent and moved towards Log pod Mangartom as a debris flow. The flow only needed about 5 minutes to reach the village as literature cites its average speed of 10 m/s. The majority of the material was sedimented in a fan at the upper part of the village where it filled up a 10–15 m deep gorge and the first and the second river Koritnica terraces. About 700,000 m³ of material were deposited there.

The main trigger of the event was large quantity of precipitation in autumn 2000. In Log pod Mangartom the average monthly precipitation is 206 mm while the average November precipitation is 299 mm. In Log pod Mangartom 1,234 mm of rain was measured in November 2000. That is about a half of the average annual precipitation and four times higher value than the November average amount.

The main causes of the debris flow are specific geological features of the area. The landslide took place in Triassic stratum that are called by the Rabelj settlement, Italy (Cave del Predil). They are formed of limestone, marly limestone and slate clays. The latter are thought to be the main cause of the debris flow as they usually decompose when exposed to water.

The debris flow consequences were tragic. Seven people died, 18 residential buildings and eight farm buildings were damaged or ruined. The total damage was estimated to exceed 10 million EUR. People had to move from their homes for few months and the international border pass Predel was closed for some time. The landscape has changed and the changes differ according to prevailing geomorphic processes.