

ZNAČILNOSTI DROBIRSKIH TOKOV

Characteristics of Debris Flows

Matjaž Mikoš* UDK 551.3

Povzetek

V gorskih območjih postajajo drobirski tokovi zaradi podnebnih sprememb vse bolj nevaren dejavnik tveganja. Drobirski tok lahko opišemo kot hitro masno gibanje zemeljskih gmot ali erozijskega drobirja zaradi delovanja težnosti ob izraziti prisotnosti vode. Vzrok proženja takih tokov je lahko plazenje tal na pobočju, erodiranje odložene plazovine v strmem dolinskem dnu oz. v strugah vodotokov ali erodiranje oz. spiranje ogolelih tal. Drobirski tok lahko erodira dolinsko dno in brežine ter premešča ogromne količine sedimentov. V strugi, po kateri je potoval, se ustvari dobro viden erozijski rob med strugo in nedotaknjeno okolico (pobočji). Glede na način gibanja jih delimo na tokove v makroviskozno-režimu, prehodnem režimu ali inertnem (vztrajnostnem) režimu. Za opis njihove dinamike so na voljo različni eno- in dvodimenzijski matematični modeli.

Vzroki novembrskega zemeljskega plazu Stože pod Mangartom in drobirskega toka, ki je zahteval smrtne žrtve in povzročil občutno gmotno škodo, so verjetno dolgotrajno deževje v jeseni leta 2000 in intenzivne kratkotrajne padavine v dneh med 14. in 17. novembrom 2000 ter neugodna geološka sestava pobočja, ki se je porušilo in splazelo v obliki drobirskega toka.

Abstract

Debris flows are becoming an increasingly more dangerous hazard in mountainous regions of the world; this may also be due to climate changes. Debris flow can be described as a rapid movement of earth masses or debris with significant water content due to gravity forces. The possible causes of debris flow initiation are: land sliding down slopes, erosion of landslide deposits on steep valley bottoms or in stream or torrent channels, ero-

sion and washing of bare soils, or a combination of these. A debris flow can erode a valley bottom or a stream channel and its banks, and transport huge amounts of sediments. In a stream channel through which a debris flow has moved, a well-defined erosional scar between the channel and the untouched slopes can be observed. Debris flows can be classified according to their mode of movement into three distinct regimes: the macro-viscous regime, transitional regime and the inert regime. For modelling of debris flows, different one- and two-dimensional mathematical models have been developed and relatively successfully used for real case studies. Nevertheless, utmost caution should be used when applying them, because actual situations in nature are often much more complex than those assumed in mathematical two-phase models.

The main cause of the large landslide in Stože above the Mangart alpine meadows and the subsequent debris flow, which occurred just after midnight on 17 November, 2000, claiming 7 deaths and causing large material damage in the area of the alpine village of Log pod Mangartom, was the unfavourable geological setting of the slopes built of clayey talus debris overlaying morainic material. This slope ruptured after a long-lasting period of rain in the autumn of 2000 (more than 1600 mm of precipitation between 1st September, 2000, and 31 November, 2000). As a consequence of the high potential energy of sliding masses which have their failure scar at an elevation of 1600 m.a.s.l., and an intensive, short period of rainfall (showers) in the period between November 14th and November 17th, this landslide changed into a debris flow which travelled several kilometres and for several hours, reaching the Koritnica River valley 1000 altitude meters lower and devastating the alpine village of Log pod Mangartom.

Uvod

Murasti tokovi (nemško Murgang) ali hudourniške lave (francosko lave torrentielle, italijansko lava torrentizia) se v slovenskem izrazoslovju na področju gozdarstva pojavijo kot oblika premikanja zemeljskih gmot ali masnega gibanja erozijskega drobirja po hudourniških strugah (angleško mass movements) (primerjaj Gams, 1989; Mikoš, 2000). V sedimentologiji so taki tokovi v splošnem imenovani drobirski tokovi (angleško debris flow) in lahko nastopijo ne le v strugah, temveč tudi na pobočjih. Drobirski tok bi torej lahko opisali kot hitro masno gibanje zemeljskih gmot ali erozijskega drobirja zaradi delovanja težnosti ob izraziti prisotnosti vode, in sicer kot nekakšen prehod od zemeljskega plazenja ali plazenja tal (angleško land sliding) z manjšo vsebnostjo vode h gibanju sedimenta (plavin) v hudourniških in rečnih strugah s prevladujočo prisotnostjo vode (angleško sediment laden flows) v času nastopa hudourniških in rečnih poplav. Posebnost drobirskega toka je tudi to, da običajno vsebuje razen vode in erozijskega drobirja (skale, kamenje, grušč, pesek, melj, glina) pomembne količine humusa (zemlja) in drugih organskih snovi (drevje, grmovje, vejevje). Pomembna je tudi zrnavostna sestava erozijskega drobirja. Kadar gre za grobo sestavo drobirja,

govorimo o gruščnatem toku, kadar pa gre za mešanico vode in drobnih zrn drobirja (mulj), govorimo o blatnih (v sedimentologiji tudi muljastih) tokovih (npr. Coussot, 1997).

Drobirski tokovi so med najbolj nevarnimi naravnimi tveganji, ki jim je izpostavljen človek in njegovo imetje. Lahko bi jih uvrstili v skupino nenadnih pojavov, kamor bi uvrstili še npr. podore, morske potresne valove (tsunami) in potrese (npr. Brilly in sod., 1999). Na Japonskem je v 20 letih (1967–1987) zaradi naravnih nesreč umrlo 4598 ljudi, od tega 1257 (27 %) zaradi delovanja drobirskih tokov (Takahashi, 1991). V Avstriji so hudourniške poplave in hudourniški izbruhi skupaj z drobirskimi tokovi zahtevali v 20 letih (1971–1991) 46 žrtev, uničili ali poškodovali so 3674 zgradb in uničili 4273 ha produktivnih tal (Embleton-Haman, 1997). V svetu je v zadnjih desetletjih opazno povečevanje števila smrtnih žrtev in materialne škode zaradi premikanja zemeljskih gmot. Drobirski tokovi imajo pri tem velik delež. Vzrok je po eni strani splošno segrevanje ozračja (globalne podnebne spremembe), kar povzroča tajanje sicer trajno zmrznjenih tal (permafrost), ki postanejo nestabilna in so zato vir nastanka drobirskih tokov. Po drugi strani je vzrok spremenjeni vzorec razporeditve padavin, ko v sicer statistično gledano povprečnem hidrološkem letu vse pogosteje prihaja do zelo intenzivnih kratkotrajnih

* izr. prof. dr., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, mmikos@fgg.uni-lj.si

neviht, toplih zim z malo snežnih padavin in do vmesnih dolgotrajnih obdobji deževja ob sicer ne bistveno spremenjeni letni količini padavin.

Drobirski tokovi se v geomorfologiji že več kot stoletje obravnavajo kot prevladujoč dejavnik nastanka naplavin-skih vršajev v gorskih območjih. Napredek na področju raziskovanja drobirskih tokov pa je možno opaziti šele od osemdesetih let 20. stoletja. Do danes sta bili npr. organizirani dve mednarodni konferenci, posvečeni zmanjševanju tveganja zaradi drobirskih tokov, prva v San Franciscu, ZDA (Chen, 1997), in druga v Taipeiju, Tajvan (Wieczorek in Naeser, 2000). Problematiki drobirskih tokov je bilo namenjene več pozornosti v devetdesetih letih 20. stoletja, tudi zaradi mednarodnega desetletja zmanjševanja posledic naravnih nesreč – npr. mednarodna delavnica v Kagoshimi na Japonskem leta 1993 (Armanini in Michiue, 1997).

Drobirski tok lahko v enostavnem primeru določimo kot hiperkoncentrirani tok mešanice vode in sedimentov, torej kot dvofazni tok. Značilnosti drobirskega dvofaznega toka določajo med drugim koncentracija sedimenta v vodi (prostorninska gostota), zrnavost sedimenta in hidravlične razmere (npr. pretočna hitrost in globina). S tako poenostavitvijo dejanskih razmer v naravi, ko drobirski tokovi razen

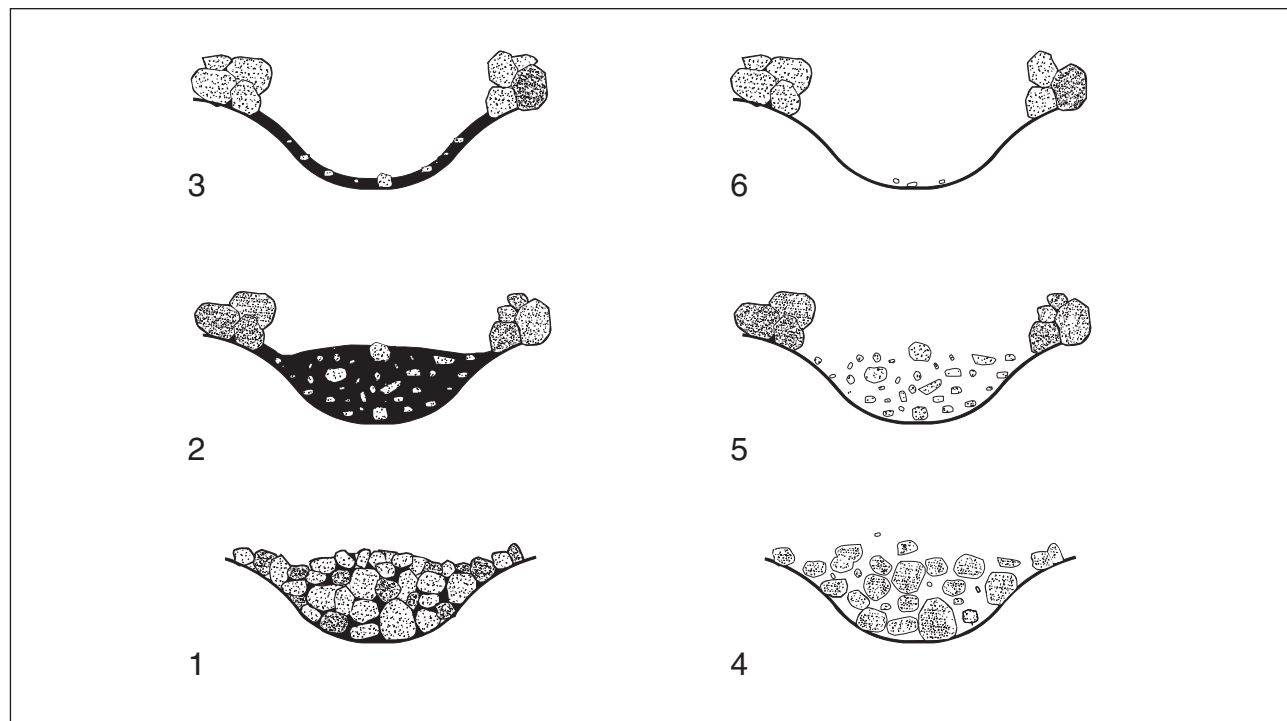
vode in erozijskega drobirja s seboj nosijo precejšen delež organskih primesi (predvsem podrtega ali izruvanega drevoja, grmovja in podrasti ter humusa) in so torej v svoji sestavi izrazito trifazni, precej nenatančno opišemo resnična dogajanja. Gibanje drobirskih tokov torej uvrščamo v področje dinamike nenevtonskih tekočin, kjer je nujno dobro poznati reološke značilnosti obravnavanega erozijskega drobirja. To področje se dinamično razvija in nadaljnji razvoj je še kako nujen.

Glede na nastanek in razvoj je možno drobirski tok podobno kot večino erozijskih procesov deliti na tri dele oziroma ga opisati, kakor da bi bil sestavljen iz treh procesov: proženja, gibanja in odlaganja.

Procesi pri nastopu drobirskih tokov

Proces proženja drobirskega toka

Vzrok proženja drobirskega toka je lahko plazenje tal po pobočju, erodiranje odložene plazovine v strmem dolinskem dnu, erodiranje ali spiranje ogolelih tal oz. kombinaci-



Slika 1. Shematski prikaz gibanja drobirskega toka po strugi v treh značilnih prečnih prerezih:

a) za blatni drobirski tok

1) grobozrnato (skalnato) čelo toka

2) slabo prebran material za čelom toka in obrobni narivi, ki jih je za seboj pustilo čelo toka

3) po prehodu čela toka je v sredini odložen drobnejši in na robovih grobejši material

b) za skalnati drobirski tok

4) grobozrnato (skalnato) čelo toka, kjer posamezne skale trkajo druga ob drugo

5) slabo prebran material za čelom toka med čistim grobozrnatim materialom na robovih, ki ga je za seboj pustilo čelo toka

6) po prehodu čela toka je grobejši material odložen le na robovih

Figure 1. Schematic presentation of a moving debris flow in a channel, shown in three typical cross sections:

a) muddy debris flow

1) coarse, bouldery front of the wave

2) poorly sorted material behind the wave front, with levees previously deposited by the wave front,

3) after the debris wave passed, finer-grained deposits remained in the middle between the coarse debris levees;

b) stony debris flow

4) the coarse front of the flow, with colliding rocks

5) poorly sorted material behind the wave front between clean, coarse-grained debris levees deposited previously by the wave front

6) after the debris wave passed, only coarse-grained debris levees have remained

ja zgoraj navedenih vzrokov. Neposredni vzrok je odvisen od geomorfoloških in hidroloških značilnosti, geotehničnih (reoloških) lastnosti sproščene erozijskega materiala in značilnosti padavin ter redkeje potresov kot mehanizmov proženja.

Večinoma se drobirski tokovi prožijo zaradi zasičenosti zemljine z vodo. V tem primeru je napoka plazu v izvoru drobirskega toka jasno vidna. Taka napoka lahko omogoči oceniti mehanizem proženja in obnem geometrijo, prostornino in velikost plazine (izvora) ter prečnega prereza, debelino in sestavine mase v izvoru pri danih geomorfoloških in hidroloških značilnostih. Meritve padavin so zelo pomemben element pri analizi proženja drobirskega toka ali pri napovedi, kdaj lahko pride do proženja, saj se drobirski tokovi večinoma prožijo ob nevihtah (ekstremne kratkotrajne intenzitete padavin). Drobirski tok nastane, ko se dovolj velika količina vode vpije v pore med delci zemljine in se pomeša z zemeljsko maso, ki se začne gibati. V tem pojavu lahko razlikujemo dve skupini procesov:

a) Gosto zbit in povezan zemeljski blok se začne gibati zaradi določenega vzroka in je tako nepovezan, da izgubi notranjo stabilnost in začne teči. V tem primeru količina vode v masi ne zadošča za zasičenje por, katerih delež se zaradi gibanja povečuje, tako da je takoj po nastanku gibanja zemeljske gmote treba dodati nove količine vode ali pa mora samo gibanje gmote povzročiti dotok nove vode. V to skupino spadajo naslednji vzroki nastanka drobirskih tokov: splazeli zemeljski blok se med gibanjem spremeni v drobirski tok, porušitev naravne pregrade iz odloženih mas erozijskega drobirja povzroči drobirski tok, dno erozijskega jarka ali hudo-

urniške struge postane nestabilno in povzroči nastanek drobirskega toka, ko se pojavi površinski vodni tok.

b) Zelo porozen in nepovezan zemeljski blok se premakne, začne gibati in se preoblikuje v drobirski tok z zmanjševanjem efektivne poroznosti. V tem primeru količina vode, ki je zaprta v zemeljskem bloku, lahko zadostuje za zasičenje por takega bloka v gibanju. Blatni ali gruščnati drobirski tok, ki bi nastal iz občutljivih glin v plazini, bi se uvrstil v to skupino.

Proces gibanja drobirskega toka

Drobirski tok lahko erodira dolinsko dno in brežine ter premešča ogromne količine sedimentov. Predvsem drobirski tokovi velikih dimenzij erodirajo dno, po katerem tečejo, in naraščajo vzdolž poti. V strugi se ustvari dobro viden erozijski rob med strugo in nedotaknjeno okolico (pobočji). Na zunanjih straneh krivin se zaradi centrifugalnih sil erozijski rob, ki nastane ob prehodu čela drobirskega toka, poviša. Ta rob omogoča izmeriti geometrijske značilnosti in preoblikovanje struge, po kateri je stekel drobirski tok, ter oceniti hidrološke in hidravlične značilnosti drobirskega toka, kot so hitrost, maksimalna gladina toka, maksimalni pretok in tlak udarnega vala pri prehodu čela drobirskega toka. Čelo drobirskega toka je strmo, globina toka se pri prehodu čela spremeni nenadoma, največji kamni in skale potujejo na čelu toka, ki vsebuje malo vode in bi ga lahko imenovali tudi kamniti tok. Za čelom vala teče mnogo bolj blaten tok materiala, katerega pretok počasi upada, značilno prihaja do valovanja ali pulziranja v pretoku s spremenljivo hitrostjo gibanja, gostoto toka in koncen-



Slika 2. Plaz Stože pod Mangartom in Mangartska planina po drobirskem toku dne 17. novembra 2000 (foto: M. Mikoš, 28. 11. 2000)

Figure 2. Stože landslide and Mangart alpine meadows after the debris flow on 17 November, 2000 (photo: M. Mikoš, 28 November, 2000)

tracijo trdnih snovi v toku. Po prehodu čela vala se pretočni prerez bistveno zmanjša, lahko niha, a vztrajno upada.

Primeri drobirskih tokov na Japonskem kažejo, da je nekaj časa pred nastopom drobirskega toka vodna gladina v strugi upadala, vodni tok je bil blaten z nekaj peska in proda. Tik pred prihodom čela drobirskega toka se je gladina blatnega vodnega toka dvignila in tudi vsebnost proda v njej. Ko je strugo doseglo čelo drobirskega toka, se je nenadoma povečala vsebnost velikih kamnov in sama globina toka, po njenem prehodu pa je vsebnost velikih kamnov v toku hitro upadla ob sočasnem znižanju njegove gladine.

Proces odlaganja drobirskega toka

Čprav lahko drobirski tok del mase odloži v krivini ali v manj strmih oz. širših delih struge med svojim gibanjem, se večina sedimentov premesti do prehoda v položnejši dolinski del, kjer se ustvari vršaj. Ko se iz strmejše struge prelije v položnejše dolinsko dno, se upočasni in odloži. Glede na način njihovega gibanja jih lahko delimo na tokove v makroviskozno režimu, prehodnem režimu ali v inertnem (vztrajnostnem) režimu. Način gibanja je načeloma določen s prostorninsko vsebnostjo vode v mešanici vode in sedimenta ter z zrnastostno sestavo sedimenta. Če je vode dovolj in je sediment drobnozrnat, nastane viskozna gmota vode in sedimenta, v kateri viskozne sile prevladujejo nad vztrajnostnimi silami. Posamezna grobejša zrna so obdana z viskozno tekočino, v kateri so v vodi pomešana drobna zrna drobirja. Dinamična viskoznost take mešanice lahko doseže

vrednosti več 100 Pa • s. Kadar vode ni veliko in je sediment grobozrnat, se zrna drobirja gibljejo pod vplivom težnosti tako, da se medsebojno drgnejo, trkajo in brusijo, zato pri gibanju prevladujejo vztrajnostne sile nad viskozni silami.

Modeliranje drobirskih tokov

V praksi se že uporabljajo različni eno- in dvodimenzijski matematični modeli, ki opisujejo gibanje drobirskih tokov in s pomočjo katerih poskušamo določiti meje območij tveganja. V ZDA je razširjen npr. dvodimenzijski in dvofazni model FLO 2D, ki ga v Evropi uporabljajo npr. v Švici in Avstriji (Steinwendtner, 2000). Kljub razširjeni uporabi je treba take modele uporabljati zelo previdno in samo ob sočasnem upoštevanju zanesljivih terenskih podatkov, laboratorijskih raziskav lastnosti erozijskega drobirja in predvsem ob sočasnem sodelovanju izkušenih strokovnjakov, ki poznajo lokalne razmere in so odgovorni za izdelavo načrta tveganja za določeno izbrano območje (Scheuringer, 2000). Dvodimenzijski modeli drobirskih tokov so razviti za modeliranje dvofaznih mešanic vode in sedimenta, v naravi pa drobirski tokovi praviloma vsebujejo tudi pomemben delež organskih snovi, predvsem dreves, grmovja in druge podrasti ter humusa. Tako moramo govoriti o trifazni mešanici. Primesi drevja pogosto povzročijo začasne zajeze drobirskega toka in zato tudi drugačno dinamiko otekanja, kot pokaže dvofazni model.

Ker je za drobirske tokove redko značilno stalno in enakomerno gibanje, je nujno uporabljati matematične modele, ki upoštevajo nestalnost (pulziranje) tega pojava. V primerjavi s tokom s prosto gladino čiste vode brez sedimentov, kjer je upor toka te vode v glavnem posledica turbulentnih strižnih napetosti na ostenju toka in so tako mehanizmi prenašanja energije in energijskih izgub v bistvu univerzalni, je upor drobirskega toka odvisen od relativne pomembnosti različnih strižnih napetosti z različnimi vzroki. Tako lahko za opis drobirskega toka uporabimo enodimenzijske enačbe za nestalni tok (Saint-Venantova dinamična enačba gibanja in enačba ohranitve mase), v kateri dodamo dodatni trenjski člen v dinamični enačbi (Jin in Fread, 1999). Pri določitvi tega novega člena moramo upoštevati različne strižne napetosti, ki določajo upor drobirskega toka. Tako lahko upoštevamo viskozno notranje trenje newtonske tekočine, trenjske izgube zaradi trkov med delci sedimenta v mešanici vode in sedimenta, in nehidrostatično razporeditev pornih tlakov v nehomogeni dvofazni mešanici. Oblika enačbe je odvisna od makroviskozne ali vztrajnostnega režima drobirskega toka. Najenostavnejša oblika določanja strižnih napetosti v drobirskem toku je uporaba Manningove enačbe in kombiniranega koeficienta upora drobirskega toka (pseudomanningov koeficient n , ki združuje reološke značilnosti drobirskega toka in upor drobirskega toka v enem koeficientu), ki je podoben Manningovemu koeficientu, ki se uporablja pri toku čiste vode. V tem primeru se energijske izgube računajo po obrazcu:

$$l_{\text{trenja}} = \frac{n^2 Q^2}{S^2 R^{4/3}},$$

kjer je n pseudomanningov koeficient ($\text{s/m}^{1/3}$), Q pretok (m^3/s), S velikost pretočnega prereza (m^2), R hidravlični radij (m). Vrednosti pseudomanningovega koeficienta n za drobirski tok se gibljejo med $0,10 \text{ s/m}^{1/3}$ in $0,14 \text{ s/m}^{1/3}$.

Drobirski tok v Logu pod Mangartom dne 17. 11. 2000

Podrobneje so razmere v času nastanka drobirskega toka in posledice plazu Stože pod Mangartom predstavljene v drugih prispevkih v tej številki Ujme. Posebej zanimivo os-



Slika 3. Struga Mangartskega potoka nad cesto Strmec–Predel po drobirskem toku dne 17. novembra 2000 (foto: M. Mikoš, 28. 11. 2000)

Figure 3. Channel of the Mangart stream above the Strmec–Predel regional road after the debris flow on 17 November, 2000 (photo: M. Mikoš, 28 November, 2000)

taja odprto vprašanje posrednih in neposrednih vzrokov za nastanek drobirskega toka. O potresu dne 12. 4. 1998 kot posrednem vzroku splazitve je možno razmišljati predvsem v povezavi s spremembo poti prenikanja vode v podtalje kot posledico premikov površja ob glavnem potresnem sunku, kar je možno vrednotiti s pomočjo daljinskega zaznavanja (npr. European Remote-Sensing Satellites 1 in 2). Popotresni sunki po tem datumu in tudi v času splazitve pobočja Stože in drobirskega toka v tednu od 14. do 17. 11. 2000 so bili vsi majhne magnitude (do 2. stopnje po Richterjevi lestvici) in zato premalo intenzivni, da bi bili neposreden povod splazitve. Mnogo bolj verjeten vzrok za nastanek drobirskega toka se zdi razmočenost pobočnih gruščev in morenskega materiala na pobočju Stože zaradi dolgotrajnega deževja v jeseni 2000 ter dodatnega zamakanja in razmakanja odložene plazovine med 15. in 17. 11. 2000. Na terenu so bili odvzeti vzorci plazovine na Stožah in odložene plazovine v dolini Koritnice. Geomehanske raziskave, tudi reoloških lastnosti omenjenega materiala, so v teku in bodo pomagale podrobneje razložiti nastanek plazu in njegovo preoblikovanje v drobirski tok. Ko bodo na voljo rezultati geofizikalnih raziskav in geološkega vrtnja na plazu, bo možno podrobneje sestaviti vzroke in potek splazitve. Reološke značilnosti materiala, predvsem mejna strižna trdnost τ_y (Pa) ter dinamična ali Binghamova viskoznost μ (Pa \cdot s), ki je po konsistenci zelo spominjal na zelo viskozno svežo betonsko mešanico s prostorninsko gostoto okoli 2200 kg/m³, pa bodo omogočile vpogled v dinamiko drobirskega toka. Iz pričevanj očitvidcev in vidnih posledic sklepamo, da je čelo drobirskega toka potovalo zelo hitro (morebiti med 8 m/s in 10 m/s) in povzročilo največje razdejanje na svoji poti, predvsem ko je silovito bruhnilo iz soteske Predelice nad Gorenjim Logom. Mase, ki so se valile v dolino Koritnice in po njej proti Soči, so tekle bistveno počasneje od čela drobirskega toka in se med potjo postopoma tudi odlagale. Prve fotogrametrične izmere kažejo na približno 1 milijon m³ splazelih mas, ki so se večinoma odložile v dolinskem dnu ob reki Koritnici od izlivnega dela Predelice do HE Možnica. Višji pretoki Koritnice in Predelice so omenjene mase sproti spirali naprej in jih bodo tudi v prihodnje, tako da v naslednjih letih lahko računamo na zelo povečan dotok plavin v reko Sočo. Razmere bodo na neki način podobne razmeram na reki Tolminki po zelo povečanem dotoku plavin zaradi podorne erozije ob potresu 1998 (Mikoš in Fazarinc, 2000).

Sklepne misli

O vzrokih in dinamiki plazu Stože pod Mangartom in drobirskega toka še vedno nismo rekli zadnje besede. Na razpolago je še premalo kakovostnih podatkov, da bi lahko povedali celotno zgodbo in ne bi nehote končali v prehitrem razmišljanju in zato napačnem sklepanju. Za poglobljeno

analizo tega pojava izvajamo vrsto terenskih in laboratorijskih raziskav. Kakovostna sanacija razmer po kateri koli naravni nesreči mora sloneti le na znanstveno utemeljenih in strokovnih odločitvah in ne na občutkih ali površnem poznavanju problemov in pojavov. Pojav drobirskega toka je v Sloveniji sicer redek in zato v strokovnih krogih v glavnem prezrt, vendar se moramo glede na pričakovane spremembe v hidrološkem kroženju vode pripraviti na možne ponovne izbruhe hudournikov ali plazenje pobočij, ki jih bodo spremljali drobirski tokovi. Plaz Stože pod Mangartom in dogodki v novembru 2000 so žal dobra priložnost in šola za seznanjanje in učenje o tem razdiralnem naravnem pojavu.

Literatura:

1. Armanini, A., Michiue, M., (urednika), 1997. Recent Developments on Debris Flows. Lecture Notes in Earth Sciences 64, Springer Verlag, Berlin, 226 str.
2. Brilly, M., Mikoš, M., (c)raj, M., 1999. Vodne ujme: varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Univerzitetni učbenik. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 186 str.
3. Chen, C. – L., (urednik), 1997. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. ASCE, New York, 817 str.
4. Coussot, P., 1997. Mudflow Rheology and Dynamics. IAHR/AIHR Monograph, A.A. Balkema, 255 str.
5. Embleton-Hamann, C., 1997, Austria. V: Embleton, C., Embleton-Hamann, C. (urednika), Geomorphological Hazards of Europe. Developments in Earth Surface Processes 5, Elsevier, 1–30.
6. Gams, I., 1989. O terminologiji premikanja zemeljskih gmot. Geografski vestnik, 51, 171–176.
7. Jin, M., Fread, D.L., 1999. 1D Modeling of Mud/Debris Unsteady Flows. Journal of Hydraulic Engineering, 125, 827–834.
8. Mikoš, M., 2000. Izrazje na področju erozijskih pojavov. Gradbeni vestnik, 49, 102–114.
9. Mikoš, M., Fazarinc, R., 2000. Earthquake-induced erosion processes in two alpine valleys in Slovenia. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2000 – Villach, Tagungspublikation, Band 2, 143–154.
10. Scheuringer, E., 2000. Über die Anwendung von Modellen in der Wildbach- und Lawinenverbauung am Beispiel des Einödbaches in Rauris. Wildbach- und Lawinenverbau, 64, Heft 142, 77–84.
11. Steinwendtner, H., 2000. Simulation des Einödbaches/Rauris am Schwemmkegel bei Beaufschlagung durch einen Murgang. Wildbach- und Lawinenverbau, 64, Heft 142, 65–76.
12. Takahashi, T., 1991. Debris Flow. IAHR/AIHR Monograph, Balkema, 165 str.
13. Wieczorek, G.F., Naeser, N.D., (urednika), 2000. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, 608 str.