

# ZNAČILNOSTI DROBIRSKEGA TOKA STOŽE POD MANGARTOM

## Debris Flow at Log pod Mangartom

Mihael Ribičič\*

### Povzetek

Na osnovi pregleda literature, ki zajema proučevanje drobirskih tokov (angleško: debris flows) in sorodnih pojavov, okarakteriziramo drobirski tok Stože pod Mangartom, njegove osnovne značilnosti ter podobnosti in razlike v primerjavi s proučevanimi pojavi drugje v svetu. Medtem ko je pri nas pojav redek, pa v svetu na vseh petih celinah v planinskem svetu pogosto nastopa. Zato so tipične značilnosti drobirskih tokov dobro znane. V besedilu te tipične značilnosti opišemo in jih nato primerjamo z dogodkom v Logu pod Mangartom. Na koncu poudarimo tudi posebnosti drobirskega toka Stože.

Primerjava je pokazala, da ima drobirski tok Stože pod Mangartom vse značilne lastnosti drobirskih tokov, ima pa tudi svoje posebnosti, od katerih je največja dvofaznost poteka.

### Abstract

This paper analyzes the Stože landslide from the aspect of debris flows described in world literature. The principal characteristics of the debris flow are compared with those of investigated phenomena around the world. The occurrence of debris flow is very rare in Slovenia, but quite frequent in mountainous areas all over the world. For this reason the typical characteristics of debris flow are well known. This article examines the typical characteristics of debris flows and compares them to the one in Log pod Mangartom. Finally, the particularities of the Stože debris flow are exposed.

A comparison shows that the Stože debris flow has all the typical characteristics of debris flows, as it displays certain particularities, such as two phases of the course of events.

## Kaj je drobirski tok?

Drobirski tok je v svetu pogost pojav. Pogosto je povzročal katastrofe, v katerih je umrlo več sto ljudi. Obsežna strokovna literatura, ki se o tem pojavu pojavlja v zadnjih dveh desetletjih, je ta prej misteriozni pojav v veliki meri že razjasnila, tako da razumemo, kako tak tok nastane in kateri so tisti dejavniki, s katerimi zmanjšamo možnost ali posledice katastrof. Preden bomo podrobneje opisali drobirski tok v Stožah pod Mangartom, podajamo nekaj splošnih značilnosti iz teorije drobirskih tokov. Najprej pa definicija:

**Drobirski tok je gravitacijski (hiperkoncentriran) tok mešanice zemljin, hribin (skal) vode in/ali zraka, ki je sprožen z nastankom plazu pri velikem vtoku vode.**

Njegove značilnosti določajo koncentracija toka, velikost zrn sedimenta in hidravlične značilnosti, kot je hitrost toka. Za obnašanje toka sta zelo pomembni vsebnost in količina drobnih delcev.

Drobirski tok je sestavljen iz treh procesov: sproženja, toka in odložitve (Shimokawa, 1997).

**Sproženje:** Večina se jih sproži z drsenjem sedimentov po hribinski podlagi, ko se napojijo z vodo. Na pobočju nastane plaz in s proučevanjem njegovih značilnosti lahko analiziramo vzroke nastanka, volumen mas v premikanju, geometrijo, geomorfološke in hidrološke značilnosti. Iz vzorcev z območja plazu lahko določimo še teksturo, gostoto, stopnjo infiltracije in strižno trdnost. Obvezna je tudi analiza padavin.

**Tok:** Pri potovanju drobirskega toka nastane po dolini oz. grapi rana v obliki kače. Tok lahko erodira dno in boke doline. Dodatno dvigovanje toka v boke lahko povzročajo centrifugalne sile. S pomočjo analize toka ocenimo njegove hidrološke in hidravlične značilnosti, kot so hitrost, največja višina seganja, največja izdatnost in delujoči tlak na okolico.

**Odložitev:** Del materiala se lahko že med potovanjem toka navzdol odloži kot grebeni ob grapi ali na dnu, večina pa se odloži v dolini. Končna oblika odloženega materiala je podobna jeziku z velikimi skalami na njem. Morfološke in geotehnične značilnosti omogočajo določitev potencialno ogroženega terena, kjer se material razlije.

## Dinamika drobirskih tokov

Dinamiko drobirskih tokov lahko opišemo z matematičnimi odnosi, ki so sorazmerno kompleksni in dajejo odnose med osnovnimi parametri, s katerimi opišemo drobirski tok. Ti pomembni parametri, ki jih pridobimo z laboratorijskimi ali in-situ (na mestu samem) modeli, so: gostota materiala, poroznost, strižna napetost, viskoznost, turbulenca, napetostno stanje. Pri dinamiki nas zanimajo povprečna hitrost toka, površinska hitrost in spreminjanje hitrosti toka z globino.

Obstajajo štirje glavni faktorji, ki določajo obnašanje toka: viskoznost, turbulenca, drsenje delcev med seboj in njihovi trki (Jan, Shen, 1997).

Če gledamo tok v celoti, lahko rečemo, da je v strižnem, plastičnem ali kvazistatičnem stanju. Teoretično lahko za strižni tok uporabimo soodvisnost, ki tak tekoči material opisuje z odnosom med strižnimi in tlačnimi napetostmi (Coloumbov strižni kriterij):

$$\tau = \tau_c + \sigma \tan \varphi,$$

$\tau$  – strižna trdnost

$c$  – kohezija

$\sigma$  – normalna napetost

$\varphi$  – kot notranjega trenja

Nasprotno kot pri strižnem stanju pa pri hitrih tokovih pridejo do večje veljave trki med trdnimi delci v toku. Tak tok je v stanju trkov. Strižna trdnost je odvisna od hitrosti toka in gostote, velikosti, razporejenosti in koncentracije trdnih delcev, kot tudi notranjega strižnega kota mešanice trdnih delcev in vode:

$$\tau = \alpha (du/dy)^2$$

$\tau$  – strižna trdnost

$\alpha$  – koeficient, odvisen od lastnosti trde komponente

$u$  – hitrost premikanja

$du/dy$  – spreminjanje hitrosti z oddaljenostjo od gladine toka

Koeficient  $\alpha$  nadalje izrazimo z enačbo:

$$\alpha = a_1 \cdot \rho_s \cdot \lambda^2 \cdot d^2 \cdot \sin \varphi_d$$

$a_1$  – empirična konstanta

$\rho_s$  – gostota delcev

$d$  – premer delcev

$\varphi_d$  – dinamični kot notranjega trenja

$\lambda$  – koeficient koncentracije zrn, pri čemer je

$$\lambda = [(C_m/C)^{1/3} - 1]^{-1}$$

$C_m$  – največja koncentracija sedimenta

$C$  – dejanska volumska koncentracija

Če je tok v viskozno-plastičnem stanju (blatni tokovi), strižno trdnost izrazimo s:

$$\tau = \tau_y + \mu \cdot (du/dy)$$

$\tau_y$  – Birghamova strižna trdnost

$\mu$  – Birghamova viskoznost

Kadar se drobirski tok zaradi vsebnosti večjih kosov kamnine v veliki meri razlikuje od blatnega toka, kjer prevladujejo glinaste drobne frakcije, je treba pri njem upoštevati tako medsebojne trke med delci, viskoznost celotne tekočine kot tudi koncentracijo sedimenta, ki je mnogo večja kot pri blatnem toku.

Postavljena je teorija, ki temelji na kvadratičnem modelu, ki vključuje striženje, viskoznost, trke in napetosti zaradi turbulence, torej vse bistvene komponente, s katerimi opisujemo drobirski tok:

$$\tau = \tau_y + \mu_d(du/dy) + (\mu_c + \mu_t)(du/dy)^2$$

$\mu_d$  – dinamična viskoznost

$\mu_c$  – parameter disperzije ( $\mu_c = a_1 \cdot \rho_s \cdot \lambda^2 \cdot d^2$ )

$\mu_t$  – parameter turbulence ( $\mu_t = \rho_m \cdot l_m^2$ )

$\rho_m$  – gostota mešanice

$l_m$  – povprečna oddaljenost med delci

Zgornje izpeljave so pomembne za razumevanje problematike drobirskih tokov, v praktične namene pa večinoma niso uporabne. Za boljše razumevanje se izvajajo tudi fizikalni modeli, v katerih se uporablja ali material, vzeti iz odloženega drobirskega toka, ali pa modelni material. Na kratko podajamo primer enostavnega fizikalnega modeliranja.

Fizikalni modeli, ki dajo najboljše teoretične rezultate, so narejeni s tokom namočenega peska (dvofazni hiperkoncentriran linearen tok) po nagnjeni žlebasti ploskvi, ki ima lahko različno hrapavost. Dvofazni tok pomeni, da nastopata dve snovi – voda in pesek. Hiperkoncentriran tok pomeni, da suhemu pesku toliko časa dodajamo vodo, dokler ni popolnoma prepojen z vodo in nato v kratkem časovnem razdobju, ki traja samo nekaj sekund, preide iz mirujočega stanja v gibajoče, ko se obnaša kot tekočina.

Problem fizikalnih modelov pa je, da v veliki meri odstopajo od realnih razmer v naravi in so enako kot zgoraj opisani matematični pristopi v praksi manj uporabni.

Če opazujemo dve okrogli zrna v enakomernem toku namočenega peska, lahko ugotovimo spremembo sil in momenta pri njenem trku. Poleg tega je treba upoštevati možnost drsenja delcev enega ob drugem (koeficient trenja ob drsenju), prenosa trka med več zrn (za katere so poskusi pokazali, da imajo velik vpliv) itd. Vsekakor pa so tako poskusi na poenostavljenih modelih kot tudi matematične izpeljave pokazali, da imajo največji vpliv na obnašanje toka trki med trdnimi delci v njem (Hashimoto, 1997).

Tokovi se med seboj ločijo:

- po hitrosti: od zelo počasnih laminarnih do hitrih turbulentnih,
- po sestavi: od blatne tekoče mase iz finih delcev do kamninskih tokov z večjimi skalami.

Vsak tok ima svoje stanje (režim), s tem da so v naravi le redko čista stanja. Glede na stanje toka lahko ločimo:

- *kvazistatični režim* – majhna hitrost in koeficient disperzije, nepomembni trki; delci se med seboj tesno dotikajo in polzijo drug ob drugem;
- *makroviskozni režim* – večji kosi kamnine, ki pa se na splošno med seboj ne dotikajo; po začetku gibanja ti kosi kamnine niso več v stiku;
- *režim trkov delcev* – kadar je tok hiter in ima medzrnska tekočina majhen vpliv, gonilno silo predstavljajo trki delcev;
- *režim turbulentnega toka* – nepravilnost kanala, po kateremu teče tok; trki med delci povzročijo turbulenco.

## Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom

Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom bomo v nadaljnjem tekstu prikazovali s poševnimi črkami.

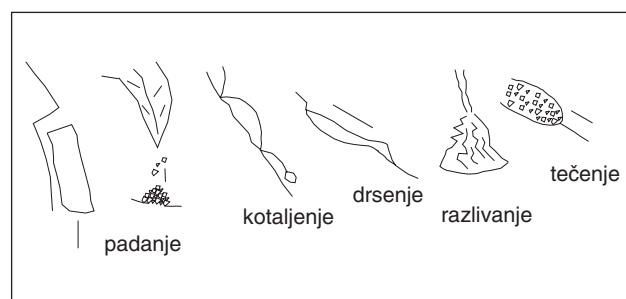
*Drobirski tok, ki se je sprožil na Stožah, uvrščamo po novjših definicijah v plazove (Fell in sod., 2000). V plazenja vključujemo zelo raznolike pojave, ki se med seboj močno razlikujejo.*

Na sliki 1 prikazujemo skupine najbolj značilnih plazenj. Glede na vrsto premikanja jih delimo na:

- padanje (podori, padanje grušča),
- prevračanje (kotaljenje skal in kamnov po strmih brežinah),
- drsenje (plazenje zemljinskih ali hribinskih mas po šibki ploskvi),
- razširjanje (zlivanje različnih zemljinskih mas ob vznožjih pobočij),
- tečenje (različni blatni in drobirski tokovi).

*Plaz Stože pod Mangartom uvrščamo v zadnjo skupino – tečenje (slika 2).*

Za plazove, ki spadajo po vrsti premikanja v skupini padanje in prevračanje, velja, da je njihov sprožitelj pogosto



*Slika 1. Po novih klasifikacijah so v plazenje uvrščeni zelo raznoliki pojavi, ki opisujejo gravitacijsko pomikanje zemljinskih in hribinskih mas po pobočjih*

*Figure 1. According to new classifications, the term "landslide" includes highly diversified phenomena involving the gravitational sliding of soil and rock masses down slopes*

potres. Za plazove, ki spadajo v skupine drsenje, razširjanje in tečenje, pa so najpogostejši sprožitelj močne padavine.

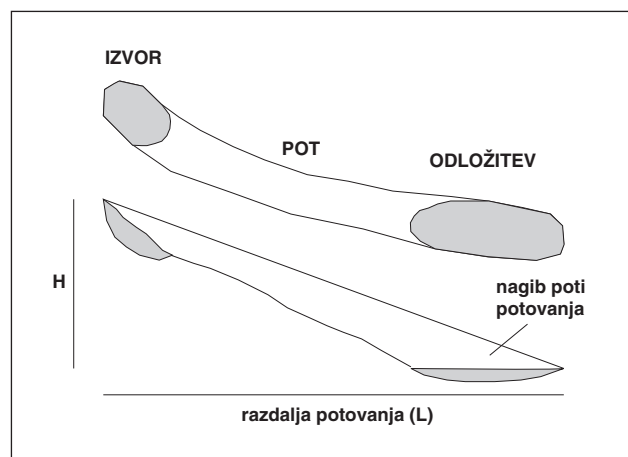
Čim hitrejšje je gibanje plazu, tem bolj je lahko ogrožujoč.

*Ocena hitrosti gibanja drobirskega toka na Stožah je okoli 8 m/s.*



Slika 2. Drobirski tok Stože pod Mangartom se je obnašal kot fluidni tok. Ostanki tega toka so se razlili v dolini v Zgornjem Logu

Figure 2. The debris flow of the Stože landslide behaved like fluid flow. The remains were deposited in a valley near Zgornji Log



Slika 3. Težka napovedljivost drobirskega toka je tudi posledica velike oddaljenosti od mesta izvora do mesta razlivanja

Figure 3. The behaviour of debris flow is difficult to predict primarily due to the long distance from its place of origin to the place of its spreading

Drug pomemben dejavnik stopnje ogrožanja pa je oddaljenost mesta, od koder se plaz sproži, od območja odlaganja (slika 3). Predvsem za tokove velja, da je lahko območje odlaganja tudi več 10 kilometrov od izvora. V takem primeru je izjemno težko napovedati možnost nastanka plazu na izvoru toka, kdaj se bo sprožil in do kje bo potoval. To velja tudi za drobirski tok pod Mangartom. Pot drobirskega toka od izvora na območju Stož pa do Zgornjega Loga, kjer se je tok razlil, je bila okoli 3 km.

## Vzrok nastanka drobirskih tokov

Drobirski tokovi nastajajo v planinskem svetu na vseh petih celinah sveta. Tudi drobirski tok Stože je nastal v planinskem svetu.

Sproženje drobirskih tokov je vedno vezano na izjemne padavine: ali intenzivne dolgotrajne ali ekstremno močne kratkotrajne (npr. utrganje oblaka). Po podatkih Hidrometeorološkega zavoda RS je v oktobru in novembru padlo 1600 mm dežja na kvadratni meter, po vsej verjetnosti pa ga je v predelu, kjer je prišlo do nastanka plazov in drobirskega toka, padlo še mnogo več. Te izjemne padavine so bile tudi osnovni vzrok sproženja plazenja in kasnejšega nastanka drobirskega toka pod Mangartom.

## Faze poteka drobirskih tokov

Drobirski tok ima, kot smo že nakazali v uvodu, tri časovno zaporedne faze (Shimokawa, 1997):

- sproženje plazov,
- potovanje drobirskega toka,
- odlaganje materiala v dolini.

Vsaka od faz ima in je imela tudi pri drobirskem toku Stože svoje značilnosti.

### Sproženje drobirskega toka

Tesno je povezano s pojavom plazenja. Najprej s strmega pobočja kot plaz zdrsnejo mase, ki pustijo erozijsko depresijo na strmem pobočju, s katerega spolzijo. Tako zelo značilno depresijo opazujemo tudi na območju Stož (slika 4). Območje akumulacije splazele mase je veliko okoli 20 ha, široko 400 m in z višinsko razliko 1100 m.

Za plazenje na pobočju je treba določiti velikost, dolžino, globino območja plazovitih mas, njihovo namočenost in geomehanske lastnosti plazečih se mas. Na plaz na Stožah se zato izvajajo obsežne sondažne vrtine, na osnovi katerih bodo natančno določene dimenzije in lastnosti plazov Stože.

Pri drobirskih tokovih je pomembno, da poiščemo povezavo med količino padavin, premikanjem in njihovim sprože-

Preglednica 1. Delitev plazov po hitrosti premikanja  
Table 1. Landslides according to sliding speed

kategorija	značilna hitrost (m/s)	človeška reakcija	značilna vrsta plazenja
izjemno hiter	10 m/s	je ni	hribinski podor
zelo hiter	5 m/s	je ni	drobirski tok
hiter	3 m/minuto	evakuacija	usad
srednje hiter	1,8 m/uro	evakuacija	preperinski plaz
počasen	13 m/mesec	saniranje	drobirski plaz
zelo počasen	1,6 m/leto	saniranje	glinast plaz
izjemno počasen	16 mm/leto	je ni	globok plaz



Slika 4. Območje Stož je predstavljalo prvotno akumulacijo drobirskega toka (označeno z zeleno barvo), ki je zdrsel 15. 11. 2000

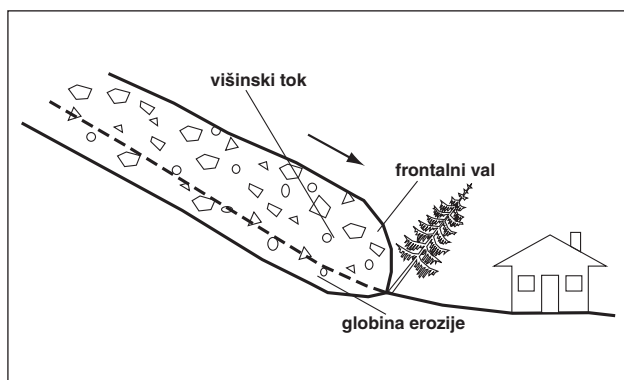
Photo 4. The Stože area was the location of the original accumulation of debris (designated in green), which began to slide on 15 November 2000

njem. V svetu obstajajo območja, kjer je ta odvisnost visoka in je možno nastanek novega drobirskega toka napovedati glede na količino in intenzivnost padavin. Tudi za drobirski tok na Stožah izvajamo geodetske meritve premikov in beležimo količine padavin na območju Zgornjega Loga, vendar zaradi kompleksnih razmer neposredne odvisnosti proženja drobirskega toka od padavin verjetno ne bo mogoče postaviti.

### Potovanje drobirskega toka

Čelo toka izgleda kot val plime, ki vdira v ozek zaliv (slika 5). Drobirski tok lahko erodira dno doline in njene boke. Po grapi nastane rana v obliki kanala. Tu merimo hidravlične in hidrološke značilnosti, kot so hitrost toka, največja višina, oblika čela toka itd.

Drobirski tok na Stožah je v zgornjem delu Mangartskega potoka, ki je nagnjen pod 10 %, odlagal material na obeh bokih (slika 6) in na dnu struge potoka v debelini od 6 do 10 m. Ko se je struga za mostom v Mlinču zožila in strmo prevesila v ozko grapo s povprečnim padcem 18 %, je začel tok erodirati dno in boke, tudi v debelini prek 10 m (slika 7).



Slika 5. Drobirski tok se pri svojem drvenju z veliko hitrostjo (5–10 m/s) »hrani« z odloženim materialom z dna struge, pri čemer čelo toka narašča in ruši vse pred sabo

Figure 5. Rushing downhill at great speed (5–10 m/s), the debris flow gathers materials deposited on the bottom of the stream bed as the flow front continues to rise and destroy everything on its path



Slika 6. Pri svojem potovanju drobirski tok odlaga material tudi na obeh bokih, posebno kjer se dolina razširi. Primer takega odlaganja je viden v zgornjem delu Mangartskega potoka do mosta pod Mlinčem

Figure 6. As it travels downhill, the debris flow deposits materials on both banks, particularly in places where the valley widens. Such deposits are visible in the upper part of the Mangart stream down to the bridge below Mlinč



Slika 7. Drobirski tok pri hitrem gibanju po strugi potoka erodira dno in s tem se njegova masa povečuje. Taka intenzivna erozija je bila v spodnjem delu Mangartskega potoka

Figure 7. As it rushes down the stream bed, the debris flow erodes the stream bottom and its mass increases. Such intensive erosion occurred in the lower part of the Mangart stream

### Odložitev toka

Odložitev oz. razlitje toka je največkrat pahljačasto, ko se strma grapa, po kateri drvi, odpre v bolj ravninski svet. Če se dolina razširi, se material odlaga tudi ob obeh robovih vodotoka, kjer lahko z velikimi skalami tvori robne nasipe vzdolž vodotoka. Od morfološke oblike terena na območju, kjer drobirski tok zgubi energijo, je odvisno, kakšna bo oblika odloženega materiala.

*Enako se je zgodilo tudi z drobirskim tokom v Logu. Od mostu v Zgornjem Logu se je drobirska tekoča masa pahljačasto razlila ob strugi Predelice, ki ima tu padec 2 % (slika 8).*

### Vrste drobirskih tokov

Na osnovi številnih opazovanj različnih drobirskih tokov je bilo ugotovljeno, da se pojavljajo v veliko različnih oblikah. Na posameznih območjih Kitajske lahko v deževni dobi nastopijo zelo veliki drobirski tokovi iz iste ogromne akumulacije (površine do 50 km<sup>2</sup>), in to večkrat v istem letu. Pretok teh tokov lahko doseže tudi do 2000 m<sup>3</sup>/s. Na drugih planinskih območjih v svetu (ne pa na vulkanskih območjih) so pretoki toka nižji, manjši od 100 m<sup>3</sup>/s in se ponavadi zgodijo le enkrat v kratkem razdobju, npr. v enem letu. Površine območja akumulacije so ponavadi manjše od 1 km<sup>2</sup>. Čim večji je drobirski tok, hitrejši je (~10 m/s), frontalni val je višji in večje skale nosi s seboj (Davies, 1997). Čim večji je, tem bolj je podoben vodnemu toku, medtem ko pri manjših tokovih hitrost tečenja zmanjšuje trenje med zrni. Manjši tokovi so makrovizkozni in zahtevajo dovolj drobne frakcije v masi celotnega toka.

V Evropi (Avstrija, Francija, Italija in Švica) so tipični pojavi drobirskih tokov dogajajo v alpskem svetu v strmih grapah, pri čemer je v primerjavi z drugimi deli sveta v materialu malo finih delcev, so pa lahko veliki skalni bloki. Druga značilnost je hitrost toka, večja od povprečne.

*Drobirski tok na Stožah je tipičen alpski drobirski tok z obema značilnostima. Tok je nosil velike skale (slika 9) in je bil sestavljen predvsem iz grobega materiala (slika 10). Njegova hitrost je bila okoli 8 m/s, medtem ko je tipična hitrost drobirskih tokov okoli 5 m/s.*



*Slika 8. Ko drobirski tok preide iz ozke in strme grape na ravnino, se razlije v obliki pahljače. To se je zgodilo tudi na območju Zgornjega Loga, ko se dolina odpre*  
*Figure 8. When debris flow leaves a narrow, steep gorge and enters open, flat land, it spreads out in the form of a fan. This occurred in the area of Zgornji Log, where the valley widens*



*Slika 9. Drobirski tok pod Mangartom je nosil s seboj velike skale, kar je tipično za drobirskie tokove alpskega tipa*  
*Figure 9. The debris flow below Mangart carried boulders along its path, a typical occurrence in mountainous regions*



*Slika 10. Za alpske drobirskie tokove je značilna sestava tekoče mase, v kateri je veliko grobega materiala, samci in skale*  
*Figure 10. Debris flows in mountainous areas are comprised of liquid masses carrying a great deal of coarse materials, boulders and rocks*

### Posebnosti drobirskega toka Stože

V dosedanjem tekstu smo poudarili nekatere podobnosti drobirskega toka na Stožah s podobnimi pojavi v svetu, za katere obstaja obsežna literatura, v nadaljevanju pa podajamo še njegove posebnosti.

Njegova velika posebnost in odstopanje od tipičnih alpskih drobirskih tokov je **dvofaznost poteka**.

**Prva faza** je bil zdrs drobirskih mas iz prvotne akumulacije na Stožah (slika 4) v strugo Mangartskega potoka 15. 11. 2000 okoli 12.45 do mostu na cesti Predel–Strmec oz. odcepa ceste na Mangartsko planino in nato do izliva Mangartskega potoka v Predelico. Na tem območju je struga Mangartskega potoka razmeroma široka in položno nagnjena, kar je povzročilo, da je prvi drobirski tok zgubil energijo in se ustavil. K zmanjšanju energije je v veliki meri prispevalo zoženje doline pri mostu čez Mangartski potok. Drobirski tok se je tu samo deloma pretil prek mostu na cesti Predel–Strmec, ki se je ob tem porušil, v strmo grapo Mangartskega potoka do sotočja s Predelico, kjer se je ustavil (slika 11). Če se to ne bi zgodilo (če bi bila struga Mangartskega potoka v zgornjem delu strmejša in ožja), bi bila katastrofa mnogo hujša, saj bi drobirski tok že



Slika 11. Geodetska situacija, ki prikazuje prvotno in sekundarno akumulacijo drobirskega toka Stože  
 Figure 11. Geodetic map showing the original and secondary accumulations of the Stože debris flow

15. 11. 2000 pridrvel v dolino popolnoma nenajavljen in z mnogo večjo energijo.

**Druga faza** je sledila 17. 11. 2000 ob 00.05. Material prvega toka z že prvotno veliko vsebnostjo vode se je, ker je zaprl strugo Mangartskega potoka, takrat močno naraslega zaradi intenzivnega deževja, dodatno razmakal še 35 ur in 20 minut in se nato iz **sekundarne akumulacije** v zgornjem delu Mangartskega potoka sprožil kot drugi drobirski tok, ki je zdrvel najprej po zelo strmi strugi Mangartskega potoka pod mostom in cesto Predel-Strmec in nato naprej po še vedno strmo nagnjeni strugi Predelice do Zgornjega Loga. Tu se dolina odpre in drobirski tok se je pahljačasto razlil ter pri tem v trenutku izgubil največjo energijo, tako da je nehal obstajati kot drobirski tok (Majes in sod., 2000).

Iz proučevanja gruščnatih tokov v svetu je znano, da nenadna sprožitev drobirskega toka nastane, ko splazela, z vodo popolnoma saturirana kamninska masa v samo nekaj sekundah preide iz trdne oblike, tako da se kosi kamnine ob prvem premiku med seboj razmaknejo, kar povzroči, da se začne obnašati kot fluid. Začetni energiji tega prehoda v fluidno fazo lahko redko botruje tudi šibek zunanji dogodek, kot je potres, ki pa ga v primeru drobirskega toka na Stožah 17. 11. 2000 ob 00.05 ni bilo. Zato je verjetnejši scenarij, da je kamninska masa iz prvega drobirskega toka nenadno prestopila v tekočinsko obliko – sama ali pa pod »udarcem« manjšega plazu iz prvotne akumulacije na Stožah, iz katere so se po 15. 11. prav gotovo sprožale nove količine splazelih mas.

## Obramba pred drobirskimi tokovi

Za drobirski tok na Stožah pod Mangartom je še prezgodaj govoriti o sanacijskih ukrepih. To bo možno, ko bodo končane terenske raziskave in matematično modeliranje potovanja drobirskega toka. Tukaj zato podajamo osnovne metode sanacij, ki se uporabljajo v svetu.

Rešitve, ki jih uporabljajo v obrambo pred drobirskimi tokovi, delimo v dve kategoriji (Armanini, 1997):

- aktivni ukrepi,
- pasivni ukrepi.

Aktivni ukrep je zmanjšanje možnosti nastanka drobirskega toka s povečevanjem stabilnosti sedimentov, ki predstavljajo možen izvor nastanka toka. Najpogosteje se uporabljajo trije načini (Okubo in sod., 1997):

- preprečevanje vtekanja vode v območje kritičnih sedimentov in njihovo dreniranje,
- pogozdovanje,
- stabilizacija brežine (če je možno).

Pasivni ukrepi pa so vezani na ustavljanje ali zmanjševanje moči drobirskega toka z gradnjo zaščitnih struktur (zadrževalne pregrade, usmerjevalni nasipi, umirjevalni bazeni):

- zmanjševanje hitrosti toka,
- zmanjševanje erozivnosti toka v dnu struge grape,
- zmanjševanje pretoka toka,
- preusmerjanje smeri toka.

Problem teh zaščitnih objektov je, da tudi če poznamo hitrost toka, njegov največji pretok in druge pomembne parametre, še vedno ostajajo neznanke za pravilno dimenzioniranje ukrepov v hudourniški grapi, po kateri lahko steče drobirski tok.

Najbolj uporabne so zadrževalne pregrade, predvsem pregrade z režo in pregrade z jekleno mrežno strukturo (razbijajoči toka). Kadar dimenzioniramo pregrade za zaščito pred drobirskimi tokovi, je treba upoštevati, da so hidrodinamični tlaki, ki jih drobirski tokovi povzročajo, zelo visoki in je zato treba izdelati izredno močne pregrade. Erozijska dna, ki jo povzročajo drobirski tok, lahko povzročijo porušitev zadrževalne pregrade.

V novejšem času obstajajo nove metode ukrepov za preprečevanje drobirskih tokov. Delimo jih lahko na »hardware«, to so različne gradbene konstrukcije, in na »software«, to so alarmni sistemi, evakuacija, predpisi o uporabi prostora.

Vrste »hardware« del:

- preprečevanje nastanka drobirskega toka –preprečevanje erozijskih in plazovitih procesov na izvornem območju),
- zajemanje mase drobirskega toka (pregrade, za katere se ujame masa drobirskega toka ali vsaj njen del),
- vodenje toka (stranski zidovi in včasih tudi dno, po katerem teče drobirski tok),
- usmerjanje toka (obrambni zaščitni zidovi, ki preusmerijo tok),
- razprševanje toka na večjo površino (tok preusmerimo na območje, kjer se razlije na večjo površino),
- akumuliranje mase toka (akumulacijski bazeni).

V alpskem svetu so v hudourniških grapah (oblike »V«) najprimernejše zaporedne zadrževalne pregrade.

Z zaporedjem pregrad dosežemo:

- zmanjšanje hitrosti in s tem moči drobirskega toka,
- preprečitev erozije dna struge in naraščanja mase drobirskega toka,
- zmanjšanje količine toka, ker se posebno velike skale ujamejo za pregrade.

Drobirski tok se lahko popolnoma razbije in ustavi, v vsakem primeru pa je njegova razdiralna moč manjša.

## Sklepne misli

Dosedanje raziskave na območju Stož kažejo, da se lahko v bližnji prihodnosti enega ali nekaj let drobirski tok s Stož ponovi, saj je nad sedanjim splazelim območjem po oceni še okoli 1.500.000 m<sup>3</sup> labilnih mas v počasnem premikanju. Zato bo treba s sanacijskimi ukrepi, podobnimi kot so opisani v zadnjem poglavju, preprečiti oz. vsaj zmanjšati nevarnost njegove ponovitve. Treba pa bo tudi naš celoten alpski prostor ponovno ovrednotiti glede nevarnosti nastanka drobirskih tokov, da ne bi nepripravljeni doživeli podoben dogodek.

## Literatura

1. Shimokawa, E., 1997. Observation And Measurment For Debris Flow (Introduction to Chapter 1); Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
2. Jan, C-D., Shen, H.W., 1997. Review of Dynamic Modeling Of Debris Flows; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
3. Hashimoto, H., 1997. A Comparison Between Gravity Flows of Dry Sand and Sand-Water Mixtures; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
4. Fell, R., Hungr, O., Leroueil, S., Riemer, W., 2000. Keynote lecture – Geotechnical Engineering of the Stability of Natural Slopes, and Cuts and Fills in Soil. GeoEng 2000. – An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne.
5. Davies, T. R., 1997. Large And Small Debris Flow S – Occurrence And Behaviour; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima
6. Majes in sod., 2000. Plaz pod Mangartom. Poročilo ekspertne skupine za področje geotehnike, imenovane s strani poveljnika Civilne zaščite R Slovenije takoj po nastanku toka.
7. Armanini, A., 1997. Control Measures for Debris Flow; Recent Developments on Debris Flows (Introduction to Chapter 3), Springer-Verlag, Kagoshima.
8. Okubo, S., Ikeya, H., Ishikawa, Y., Yamada, T., 1997. Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flow; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.