

ANALIZA PLAZU IN MOŽNOSTI NJEGOVE SANACIJE

Analysis of Landslide and its Rehabilitation

Bojan Majes* UDK 551.2/.3(497.4 Log pod Mangartom)

Povzetek

Pod Stožami se je novembra 2000 v dveh dnevih sprožil plaz, ki je kot drobirski tok prizadel 4 km oddaljen Log pod Mangartom. Primanjkljaj 1.000.000 m³ mas na nadmorski višini med 1400 in 1600 m je pretežno odložen na nadmorski višini 630 m. Posledice plazu, ki je po dimenzijah – premaknjene mase na več kot 25 ha in odložene na več kot 15 ha – eden največjih v Sloveniji do sedaj, so katastrofalne. Življenje je izgubilo 7 ljudi, porušenih je 6 stanovanjskih in gospodarskih objektov in bolj ali manj poškodovanih še 23 objektov v Zgornjem Logu. S poružitvijo 2 mostov je bila prekinjena cestna povezava med Bovcem in Predelom, ki je življenjskega pomena za to območje. Zasuta in delno uničena je bila cesta na Mangart, večja škoda pa je bila storjena tudi na energetskih objektih. Neposredna škoda je bila ocenjena na skoraj 2 milijardi tolarjev. Na osnovi do sedaj izvedenih raziskav je ocenjeno, da je na plazišču še približno 3 milijone m³ mas, potencialno nevarnih za nastanek novih plazov. Kakšna bo sanacija posledic in kakšni ukrepi bodo izvedeni za zagotovitev varne vrnitve Ložanov na domove, je odvisno od rezultatov raziskav na plazišču.

Abstract

In November 2000, a huge landslide was triggered below Stože and, for two days, traveled a distance of 4 km as debris flow to the village of Log. Approximately 1,000,000 m³ of material was displaced from an altitude of 1400 to 1600 m and mainly deposited at an altitude of 630 m. The consequences of the landslide, which, by its size (materials from an area of over 25 hectares were displaced and deposited over more than 15 hectares) is one of the largest in Slovene history, are catastrophic. 7 persons lost their lives, 6 residential and farm buildings were destroyed, and another 23 buildings in the village of Gornji Log were more or less damaged. With 2 bridges ruined, the road connection between Bovec and Predel, which is of vital importance to the area, was cut off. The road to Mangart was partially or fully buried beneath earth or destroyed, and considerable damage was also caused to power supply facilities. Direct damages are estimated at almost 2 billion SIT. According to tests carried out so far, it is estimated that there is still approximately 3 million m³ of unstable material in the landslide area, which represents a potential danger of landslide recurrence. The elimination of consequences and the measures needed to ensure the safe return of inhabitants to their homes depend on the results of site investigations being performed in the landslide area.

Uvod

Opis območja

Območje pod Stožami, kjer se je 15. novembra 2000 prvič, 17. novembra pa še drugič sprožil izredno obsežen plaz, je v geomorfološkem smislu zelo razgibano (slika 1). Povprečen naklon pobočja pred splazitvijo je bil okoli 27°. Iz temeljnega topografskega načrta sta razvidni v tem prostoru dve izraziti hudourniški grapi, okrog katerih se je sprožil plaz. Primanjkljaj materiala po obeh plazovih se kaže med nadmorskima višinama 1400 in 1600 m. Vzhodna grapa (a) poteka od Stož (n. m. v. 1680 m) prek Šteng (n. m. v. 1500 m) in se združi z drugo grapo pri Počivalniku. Zahodna grapa (b) poteka od Malega Vršiča (n. m. v. 1650 m). Z nadmorske višine okoli 1280 m, kjer se obe grapi združita pod Počivalnikom, se je površinska voda iz obeh grap zlivala v Mangartski potok na nadmorski višini okoli 1220 m. Zahodno od Počivalnika, na zahodnem robu plazu, je še ena hudourniška grapa Š, ki poteka od nadmorske višine okoli 1500 m (Na skali) in se konča v strugi Mangartskega potoka na nadmorski višini 1185 m.

Prvi plaz 15. 11. 2000

Prvi plaz pod Stožami, ki se je sprožil v sredo, 15. 11. 2000, približno ob 13. uri, se je zaustavil ob sotočju Mangartskega potoka in Predelice (slika 2) na nadmorski višini okoli 905 m. Plazovina je z nadmorske višine med 1400 in 1600 m najprej zdrselo po pobočju do struge Mangartskega potoka na nadmorski višini 1200 m in verjetno takoj naprej po strugi do Predelice. Količina splazele mase, ki je potovala kot drobirski tok, ni znana. Čelo plazovine pri sotočju Mangartskega potoka in Predelice je bilo visoko okoli 10 m, plazov-

ina pa je bila odložena po in ob strugi Mangartskega potoka v dolžini 1450 m.

Drugi plaz 17. 11. 2000

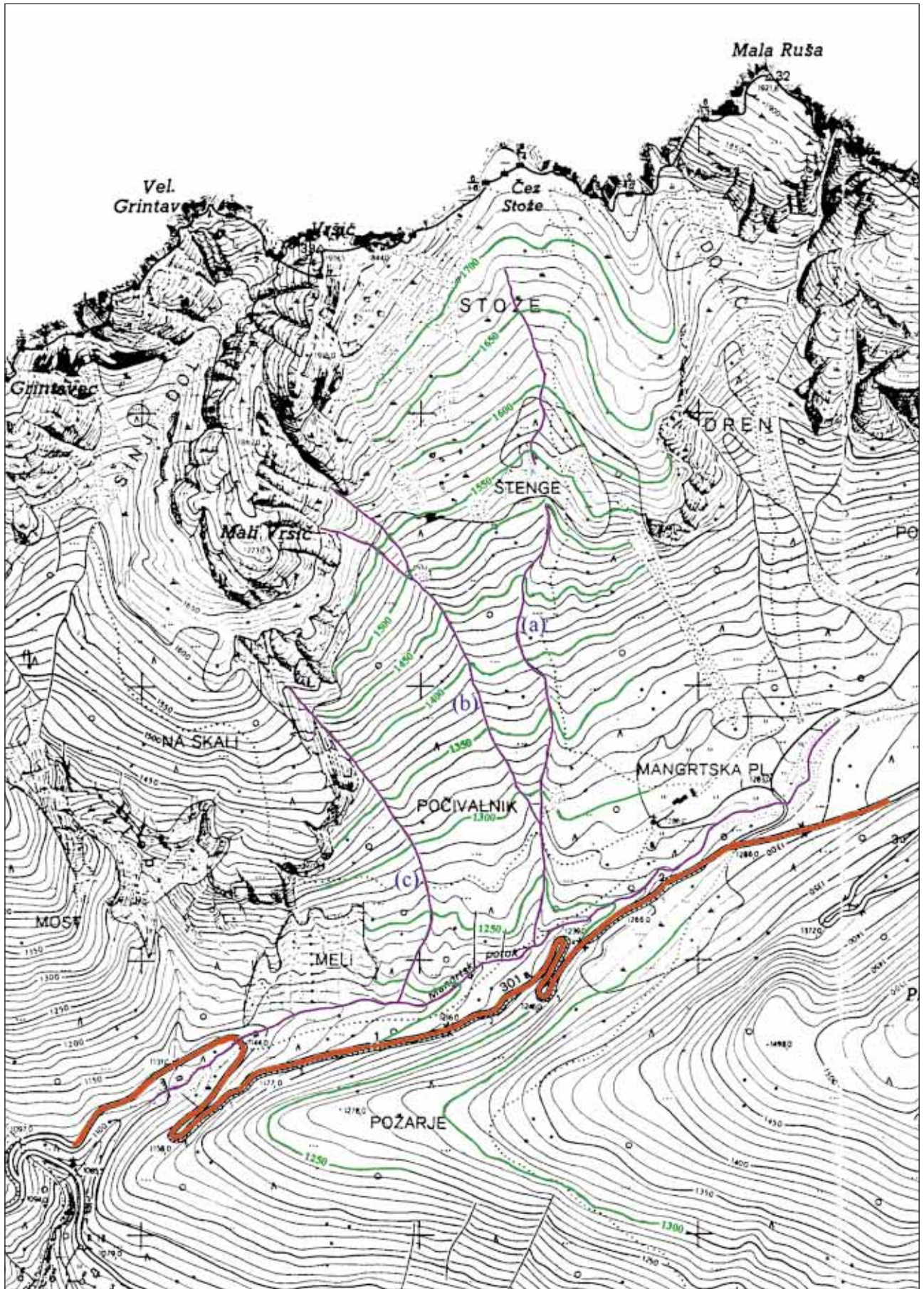
Drugi plaz se je sprožil v prvih minutah usodnega petka (17. 11. 2000 nekaj minut po polnoči). Dodatna splazela masa je potisnila pred seboj že razmočeno plazovino, odloženo vzdolž Mangartskega potoka po prvem plazu. Dodatne količine padavin med 15. in 17. novembrom ter pretežno zajezena voda Mangartskega potoka za plazovino pod Mangartsko planino so bile dovolj velike, da je vsa plazovina v obliki drobirskega toka krenila proti Logu pod Mangartom. Čelo plazovine se je zaustavilo nižje od MHE Moznica (nadmorska višina manjša od 600 m), kije bila zasuta nekaj metrov visoko.

Čelo drobirskega toka je, po pripovedovanju domačinov, potovalo od sotočja Mangartskega potoka in Predelice do Zgornjega Loga 4 do 5 minut (razdalja okoli 2200 m), torej s hitrostjo okoli 30 km/h. Vsa plazovina izpod Stož se je po Logu pod Mangartom razlila v nekaj urah.

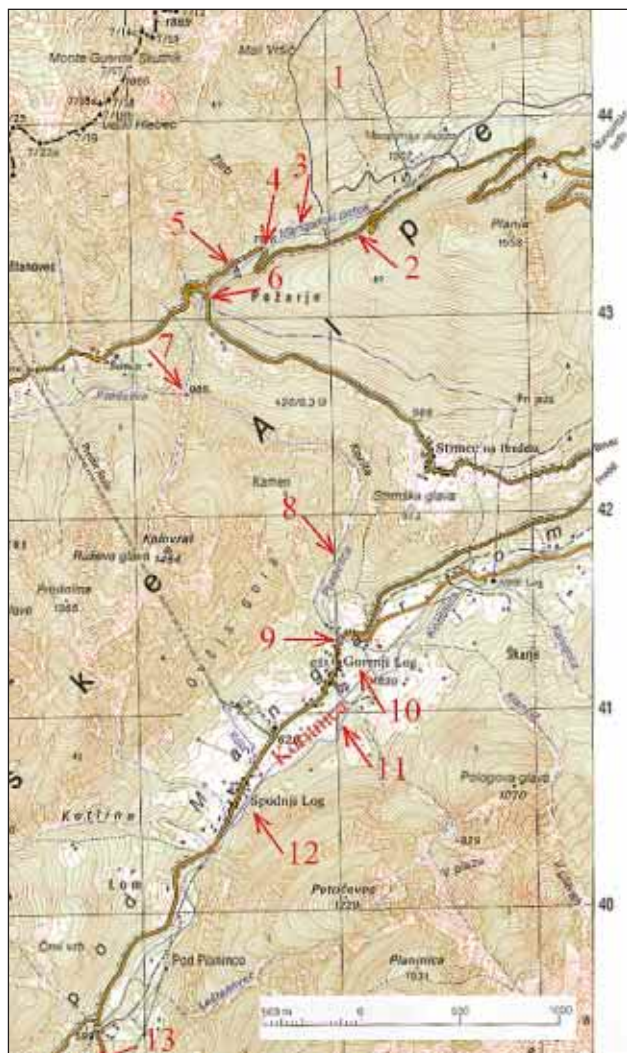
Razsežnost plazu

Dimenzije plazu pod Stožami in njegovih posledic v nižinskem delu v Logu pod Mangartom (obdelava: Geodetski inštitut Slovenije, objava: Poročilo ekspertne skupine za geotehniko z dne 25. 11. 2000) so bile ugotovljene na osnovi obdelave posnetkov iz zraka iz avgusta 2000 pred splazitvama in posnetkov iz helikopterja dne 19. 11. 2000 po obeh splazitvah, ki jih je posnel Geodetski inštitut Slovenije, in posnetkov iz letala, ki jih je 27. 11. 2000 posnel Geodetski zavod Slovenije.

* izr. prof. dr., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana



Slika 1. Temeljni topografski načrt vplivnega območja plazu Stože pod Mangartom
Figure 1. Basic topographic map of the influential area of the Stože pod Mangartom landslide



Slika 2. Državna topografska karta Republike Slovenije – Log pod Mangartom 039

Figure 2. National topographic map of the Republic of Slovenia – Log pod Mangartom 039

Območje plazu Stože

Ugotovljeno je bilo:

- da je površina plazišča večja od 20 ha (200.000 m²) in da se še širi,
- da je prostornina premaknjene gmote 1.500.000 m³,
- da je prostornina plazovine, ki je odnešena s plazišča, 1.000.000 m³,
- da je prostornina plazovine, premaknjene v drugačno lego, 500.000 m³,
- da je največja negativna razlika v višini površja tal pred in po splazitvi do 40 m,
- da je največja pozitivna razlika v višini površja tal pred in po splazitvi do 20 m,
- da je ostalo na plazišču še več kot 1.500.000 m³ labilnih mas, nevarnih za nastanek novega plazu in novega drobirskega toka.

Log pod Mangartom

Ugotovljeno je bilo:

- da je v Logu pod Mangartom odloženo 700.000 m³ plazovine (močno zagljenen, docela razmočen grušč),

- da je površina nanosa drobirskega toka večja od 15 ha (150.000 m²),
- da je bilo med 100.000 do 150.000 m³ drobnih frakcij (mulja) plazovine že odnešeno dolvodno po Koritnici in Soči.

Razliko med primanjkljajem materiala na plazu Stože (1.000.000 m³) in nanosom v Logu pod Mangartom (700.000 m³) ter dolvodno odnešeno količino muljastega materiala proti Soči (100.000 do 150.000 m³) v velikosti do 150.000 m³ je treba pripisati količini materiala, odloženega po strugi Mangartskega potoka in Predelice, in količini še nanešenega materiala v Spodnjem Logu, ki ni bil zajet v snemanje iz zraka.

Analiza plazu

Kronološki opis dogodkov

Na osnovi do sedaj zbranih podatkov lahko z dokaj veliko verjetnostjo zaključimo, da je pretežni del mas s pobočja pod Stožami zdrsel že po prvem plazu 15. 11. 2000. Najverjetneje je kot posledica velikih premikov na brežini (plaz) drobirski tok nastal že na pobočju. Znake drobirskega toka kažejo: plazovina, odložena vzdolž Mangartskega potoka po prvem plazu (slika 5); bolj ali manj enakomerno visoko erodirani brežini nad dnem struge Mangartskega potoka (slika 6) od zahodnega roba plazišča do okoli 200 m pred podrtim mostom pri Mlinču na cesti Bovec-Predel; relativno kratak čas potovanja čela plazovine do sotočja Mangartskega potoka s Predelico.

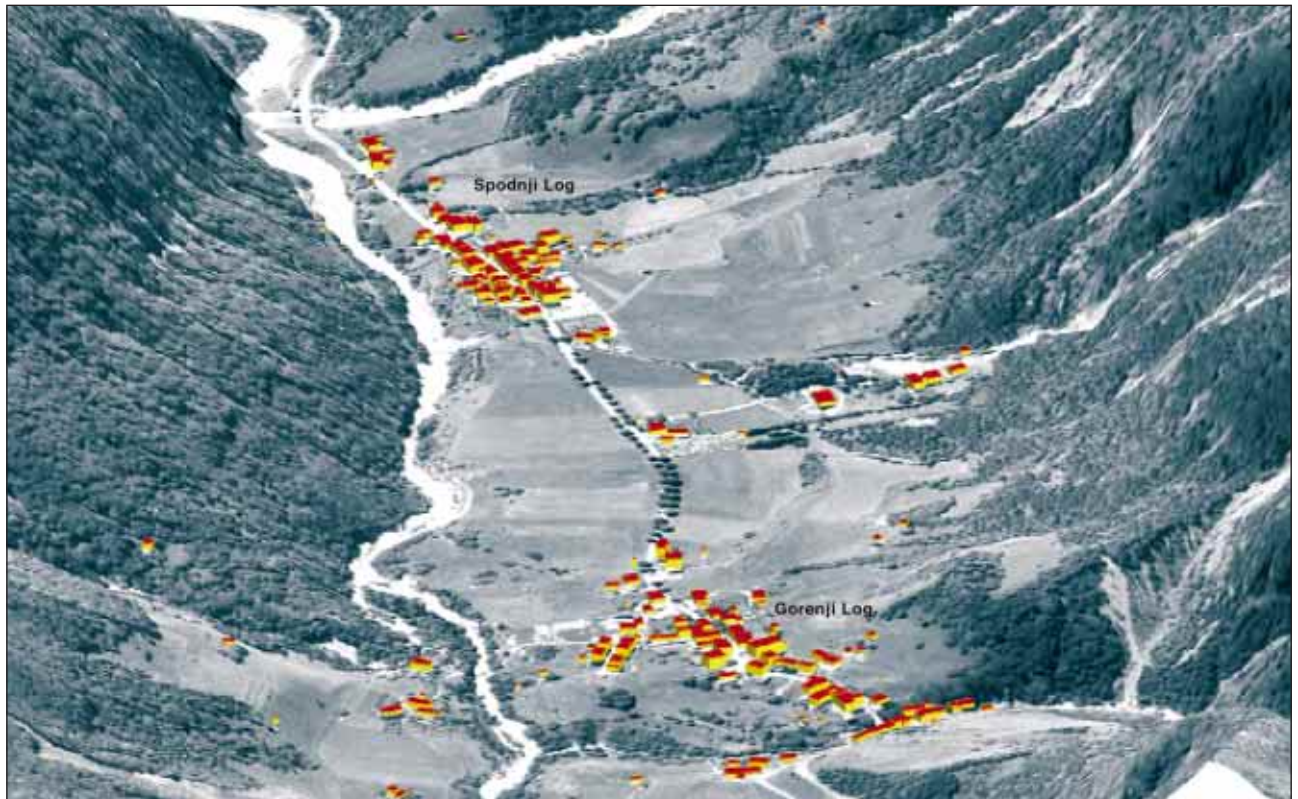
Most pri Mlinču na cesti Bovec-Predel je za krajši čas zaustavil čelo drobirskega toka. Posledica te kratkotrajne zaustavitve plazovine so bistveno višje erodirane brežine nad Mangartskim potokom pred cesto Bovec-Predel in zasutje ceste na Mangart in ceste Bovec-Predel pred in za porušnim mostom pri Mlinču (sliki 7 in 8).

Po podatkih Darka Pretnarja iz Soškega gozdnega gospodarstva iz Tolmina je bilo pobočje pod Stožami do nadmorske višine 1500 m (pod Štengami) pogozdno, nad Štengami do vrha pobočja (Čez Stože) pa je pobočje prekrivalo alpsko ruševje s posameznimi smrekami in macesni (slika 9).

Iz razpoložljive fotodokumentacije je razvidno, da je bilo pobočje pod Stožami 15. 11. 2000 že praktično enako razgaljeno (sliki 10 in 11) kot kasneje po drugem plazu 17. 11. 2000. Plazovina je 15. 11. 2000 »odtekla« mimo stabilnega grebena pod Počivalnikom po skrajno zahodni hudourniški grapi Š in po grapah (b) in (a) vzhodno od Počivalnika. V strugi Mangartskega potoka je pod Počivalnikom nastala zajezev.

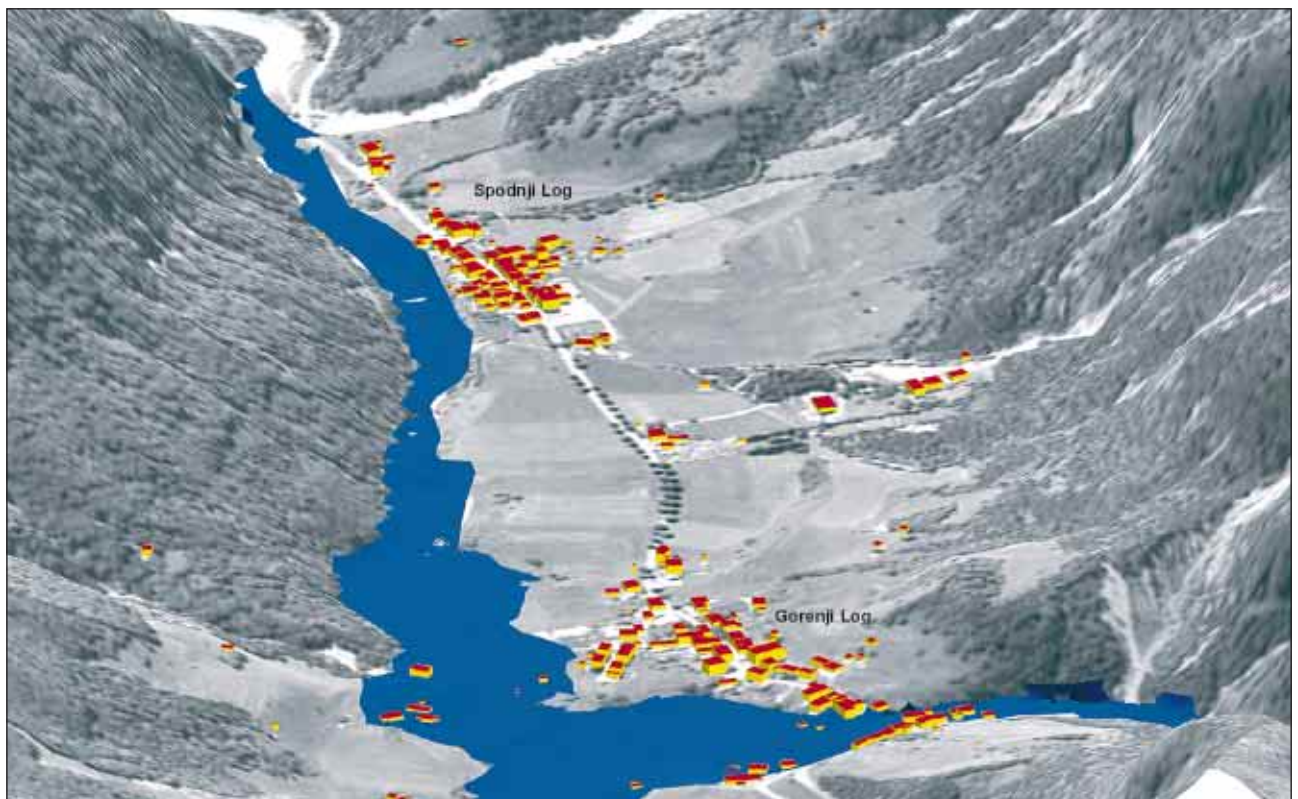
Po drugem plazu, ki se je sprožil nad odlomnim robom prvega plazu, je s pobočja pod Stožami odneslo predvsem material nad Počivalnikom, in sicer po hudourniških grapah (a) in (b) proti zahodnemu vznožju plazišča, proti Mangartski planini (slika 12).

Dodatno splazela masa s pobočja še višje pod Stožami je potisnila pred seboj plazovino v strugi Mangartskega potoka pod vzhodnim vznožjem stabilnega grebena pod Počivalnikom in vso razmočeno plazovino, odloženo po strugi Mangartskega potoka do sotočja s Predelico. Močne padavine med prvim in drugim plazom in zastala voda v strugi Mangartskega potoka za plazom pod Mangartsko planino (slika 13) so pripomogle k temu, da je vsa splazela masa v obliki novega drobirskega toka prihrumela v Log pod Mangartom. Po podatkih (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije) je bila v obdobju 1960-1990 povprečna letna količina padavin v Logu pod Mangartom 2475 mm/m². Oktobra in novembra 2000 je v Logu pod Mangartom padlo 1760 mm/m² dežja, v zadnjih treh dneh pred prvim plazom



Slika 3. Log pod Mangartom pred nesrečo (obdelava: Geodetski inštitut Slovenije, osnovni podatki: Geodetska uprava Republike Slovenije)

Figure 3. Log pod Mangartom before the disaster (processed by: the Slovene Institute for Geodesy; basic data: Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)



Slika 4. Log pod Mangartom po nesreči 19. 11. 2000 (obdelava: Geodetski inštitut Slovenije, osnovni podatki: Geodetska uprava Republike Slovenije)

Figure 4. Log pod Mangartom after the disaster, 19 November 2000 (processed by: the Slovene Institute for Geodesy; basic data: Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)



Slika 5. Struga Mangartskega potoka pri zajetju MHE Log po prvem plazju (foto: I. Mlekuž, 16. 11. 2000)
Figure 5. Bed of the Mangart stream at the catchment of the Log power plant after the first landslide (photo: I. Mlekuž, 16 Nov. 2000)



Slika 8. Zasuta cesta Bovec-Predel po prvem plazju (foto: B. Vlaj, 16. 11. 2000)
Figure 8. Bovec-Predel road covered with debris material after the first landslide (photo: B. Vlaj, 16 Nov. 2000)



Slika 6. Struga Mangartskega potoka pri zajetju MHE Log po drugem plazju (foto: I. Mlekuž, 19. 11. 2000)
Figure 6. Bed of the Mangart stream at the catchment of the Log power plant after the second landslide (photo: I. Mlekuž, 19 Nov. 2000)



Slika 9. Pogled na pobočje pod Stožami pred plazovi (foto arhiv: I. Mlekuž)
Figure 9. View of the slope below Stože before the landslides (photo archives: I. Mlekuž)



Slika 7. Struga Mangartskega potoka pred mostom pri Mlinču po prvem plazju (foto: B. Vlaj, 16. 11. 2000)
Figure 7. Bed of the Mangart stream in front of the bridge at Mlinč after the first landslide (photo: B. Vlaj, 16 Nov. 2000)

pa 400 mm/m². Manjša zajezev Mangartskega potoka pod Mangartsko planino je ostala še skoraj mesec dni po drugem plazju.

Splazela masa s pobočja pod Stožami v obliki drobirskega toka je imela v Zgornjem Logu razdiralno moč, v nekaj urah pa se je razlila po površini, večji od 15 ha (slika 14).

Terenske raziskave

Inženirskogeološko kartiranje plazišča

Prve podatke o geološki sestavi tal in o tektonskih razmerah na območju plazu smo povzeli delno po osnovni geološki karti, list Beljak – Ponteba (Geološki zavod Ljubljana, 1986), delno pa po manuskriptni geološki karti, izdelani v merilu 1 : 25.000 (dr. Bogdan Jurkovšek). V času med 21. in 23. 11. 2000 so plazišče pregledali inženirski geologi (dr. Borut Petkovšek, Igor Špacapan in Branimir Vlaj) in izdelali inženirskogeološko karto širšega vplivnega področja plazu Stože.

Na osnovi obdelave posnetkov iz zraka je v drugi polovici decembra 2000 Geodetski inštitut Slovenije izdelal karakteristične vzdolžne in prečne profile pobočja pod Stožami in struge Mangartskega potoka od Mangartske planine do porušenega mostu pri Mlinču ter situacijo z vrisanimi izolijnimi stanja po splazitvi. Na teh geodetskih podlogah je bilo konec decembra 2000 opravljeno ponovno inženirskogeološko kartiranje plazu (Igor Špacapan in Rajko Petrica).



Slika 10. Pogled na čelo plazu ob Mangartskem potoku (foto: F. Koren, 16. 11. 2000)
Figure 10. View of the front of the Mangart Stream (photo: F. Koren, 16 Nov. 2000)



Slika 13. Zaježitev (akumulacija) Mangartskega potoka pod Mangartsko planino (foto: I. Mlekuž, 23. 11. 2000)
Figure 13. Barrage (accumulation) of the Mangart stream below the Mangart mountain pasture (photo: I. Mlekuž, 23 Nov. 2000)



Slika 11. Pogled na plaz nad Počivalnikom (foto: I. Mlekuž, 16. 11. 2000)
Figure 11. View of the landslide above Počivalnik (photo: I. Mlekuž, 16 Nov. 2000)



Slika 14. Pogled na Gorenji Log iz zraka (foto: B. Vlaj, 22. 11. 2000)
Figure 14. Airshot of the village of Gorenji Log (photo: B. Vlaj, 22 Nov. 2000)



Slika 12. Pogled na plaz nad Počivalnikom (foto: I. Mlekuž, 19. 11. 2000)
Figure 12. View of the landslide above Počivalnik (photo: I. Mlekuž, 19 Nov. 2000)



Slika 15. Različni materiali na površju plazišča (foto: B. Pulko, 1. 12. 2000)
Figure 15. Different materials on the surface of the landslide area (photo: B. Pulko, 1st Dec. 2000)

Prvi inženirskogeološki ogledi so bili opravljene z obrobja plazju, drugo inženirskogeološko kartiranje pa je bilo narejeno na plazišču. Na plazišču so bili prvi terenski ogledi narejeni šele v začetku decembra 2000. Takrat so bili s površine plazišča odvzeti tudi prvi vzorci materialov za laboratorijske raziskave, pri tem pa so pomagali gorski reševalci in policijski helikopter. Podrobneje je bila zasnovana tudi izvedba geofizikalnih raziskav plazišča. Raznolikost materialov na površju plazišča je vidna s slik 15 in 16. Na sliki 15 je viden podorni in pobočni grušč na centralnem delu površja, v desnem spodnjem kotu slike je prinešen blok kamnine, na desni strani slike pa je vidna strma brežina ledeniške morene na vzhodnem delu plazišča. Na sliki 16 je prikazan tekoči material, ki se pojavlja lokalno na površju plazišča, predvsem pa na vzhodni strani plazišča proti Mangartski planini.

Geofizikalne raziskave na plazišču

V decembru 2000 je Geoinženiring iz Ljubljane na centralnem delu plazišča izvedel prve terenske raziskave. Izvedene so bile geofizikalne preiskave, katerih namen je bil ugotavljanje zgradbe plazišča na podlagi preiskav fizikalnih



Slika 16. Razmočen material na površju plazišča proti Mangartski planini (foto: B. Pulko, 1. 12. 2000)

Figure 16. Liquid materials on the surface of the landslide area moving towards the Mangart mountain pasture (photo: B. Pulko, 1st Dec. 2000)

lastnosti snovi (npr. elastične lastnosti, električna specifična upornost). Uporabljena je bila seizmična refrakcijska metoda, kjer se v izbranih prečnih in vzdolžnih profilih po plazišču pod površjem plazju določijo meje med različno trdnimi in deformabilnimi plastmi. Praviloma imajo zemljine v primerjavi s kamninami nižje hitrosti širjenja valovanja. Pri zemljinah, zasičenih z vodo, ali v zemljinah pod gladino talne vode so hitrosti valovanja večje kot pri suhih nezasičenih zemljinah. Iz preliminarnih rezultatov izvedenih seizmičnih raziskav plazišča Stože lahko na osnovi izmerjenih hitrosti longitudinalnega valovanja (v_p) zaključimo, da so v centralnem delu plazju prisotne vsaj tri različne plasti: pretežno suh, deloma zaglinjen grušč ($v_p \approx 500$ m/s), slabo sprijeta morena ($1500 < v_p < 2000$ m/s) oz. sprijeta morena ($2000 < v_p < 3000$ m/s) ter karbonatna kamnina – verjetno lapornati apnenec ($2500 < v_p < 4000$ m/s).

Vzporedno s seizmičnimi preiskavami so bile izvedene tudi geoelektrične raziskave, in sicer na dva načina: izvedeno je bilo električno upornostno sondiranje in zvezno električno upornostno sondiranje. Prve raziskave so bile izvedene v podporo interpretaciji rezultatov seizmičnih raziskav za boljše litološko (geološko) določitev različnih plasti, druge preiskave – zvezno sondiranje – pa z namenom, da se po globini ločijo plasti oz. območja z različnimi električnimi specifičnimi upornostmi. Pri uporabljeni tehniki je bil globin-

ski doseg raziskav do 25 m. Iz rezultatov geoelektričnih raziskav lahko ločimo 5 skupin materialov na plazju: gline in razmočen zaglinjen grušč ($\rho < 100$ ohm), zaglinjen grušč, glinovec, razpokan in preperel lapornati apnenec ($100 < \rho < 200$ ohm), lapornati apnenec, delno glinovec in sedimenti morene ($200 < \rho < 400$ ohm), morena z veliko gruščja, dolomit in kompakten apnenec ($400 < \rho < 800$ ohm) ter suh pobočni grušč in dolomit ($\rho > 800$ ohm).

Iz preliminarnega poročila Geoinženiringa so na območjih, kjer so bile izvedene geofizikalne raziskave, razvidne ocenjene debeline različno trdnih in deformabilnih plasti. Grobo povzeto je kamnita podlaga v osrednjem delu plazju med 20 in 30 m pod sedanjim površjem plazju oz. do 50 m in več pod prvotnim površjem terena pred nastankom plazju. Debelina močno zaglinjene in razmočene morene je med 10 in 20 m. Rezultati izvedenih geoelektričnih raziskav v enem izmed profilov so prikazani na sliki 17. To je profil 7 v poročilu Geoinženiringa, ki je v bližini inženirskogeološkega profila A-A, prikazanega na sliki 19.

Za odgovore na odprta vprašanja, ki so se pojavila pri obdelavi izvedenih geofizikalnih raziskav, so nujne primerjave (umeritev parametrov geofizikalnega modeliranja) med rezultati sondažnega vrtnja in rezultati geofizikalnih raziskav.

Pričakujemo, da bomo s kombinacijo rezultatov sondažnega vrtnja in rezultatov geofizikalnih raziskav dobili odgovore na ključna vprašanja: kje so meje med posameznimi sloji, kje je potencialna globina drsenja in kakšne so količine labilne, predvsem pa, kakšne so količine mase na plazju, nevarne za nastanek drobirskega toka.

Mehanske lastnosti materialov na plazišču

Na vzorcih, ki so bili vzeti v Logu pod Mangartom iz naplavljenega materiala (plazovine) nekaj dni po zadnjem plazju, so bile do sedaj izvedene preliminarnе laboratorijske preiskave zrnivosti, vlažnosti, leznih mej, plastičnosti in konsistence, poroznosti in prostorninskih tež ter preiskave strižne trdnosti. Preiskave so bile opravljene na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in na Zavodu za gradbeništvo. Rezultati so služili za preliminarnе stabilnostne analize plazju in za preliminarnе ocene zrnivosti in gostote drobirskega toka.

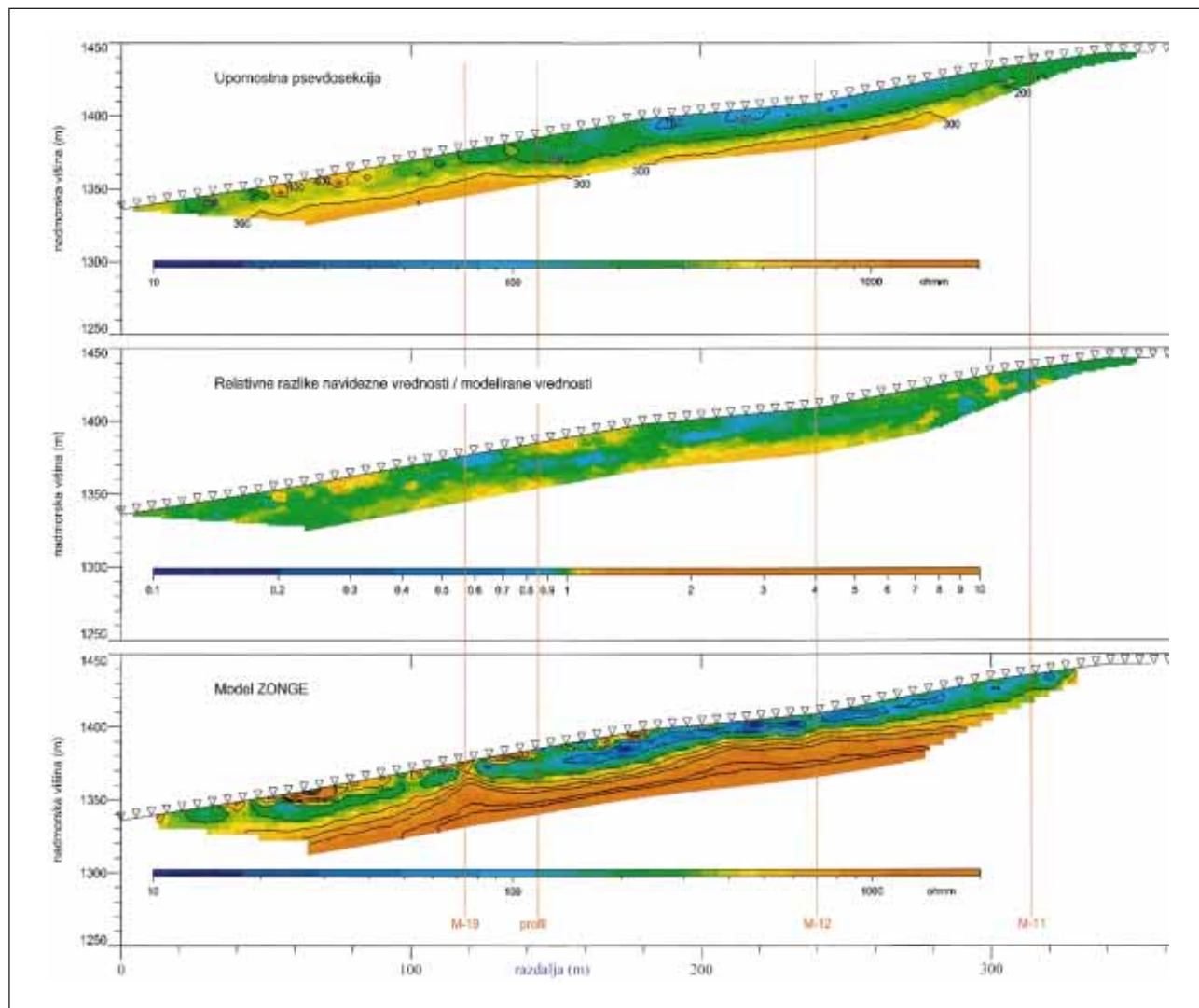
Iz preiskav zrnivosti je razvidno, da vsebujejo preiskani vzorci zaglinjenega gruščja (GC) več kot 15 % zrnja, manjšega od 0,06 mm, ki ga lahko klasificiramo kot nizkoplastične gline (CL). Za preiskane gruščje je bil ugotovljen količnik por e med 0,28 in 0,32 oz. delež por n med 0,22 in 0,24 ter prostorninska teža γ med 23,3 in 23,7 kN/m³.

Pri 15 preiskanih vzorcih drobnega zrnja (vezivo gruščjev) je bila ugotovljena naravna vlažnost w_0 med 10,1 in 18,4 %, meja med židko in gnetno konsistenco w_L med 31,1 in 33,5 %, meja med gnetno in poltrdno konsistenco w_p med 12,8 in 17,3 % ter indeks plastičnosti I_p med 14,4 in 20,7 %. Za takšne materiale navaja literatura strižni kot $\varphi' = 30^\circ$.

S konsolidirano nedrenirano preiskavo (CU) na dveh pregnetenih vzorcih iz veziva (drobnih zrn) plazovine je bil ugotovljen strižni kot $\varphi' = 31^\circ$. Na presejku enega izmed presejanih vzorcev (zrna manjša od 0,02 mm) pa so bili z direktno translatorsko strižno preiskavo ugotovljeni kohezijska trdnost $c' = 17$ kPa in strižni kot $\varphi' = 26^\circ$ ter rezidualna strižna trdnost s parametri strižne trdnosti $c'_r = 0$ kPa in $\varphi'_r = 24^\circ$.

Preliminarne stabilnostne analize plazju

Preliminarne stabilnostne analize plazju Stože so bile izvedene na osnovi obdelanih posnetkov področja iz zraka pred in po splazitvi, na osnovi preliminarnih laboratorijskih raziskav strižne trdnosti drobnega zrnja iz plazovine, vzete v Logu



Slika 17. Rezultati geoelektričnih raziskav v profilu 7 (Geoinženiring, 2000)
 Figure 17. Results of geoelectric research in profile 7 (Geoinženiring, 2000)

pod Mangartom, in poenostavljenega modeliranja sestave tal na plazišču. Najprej je bila s parametrično študijo stabilnosti nagnjenega, brezkrajno dolgega, enakomerno debelega in delno preplavljenega sloja, ležečega na kamniti podlagi, ocenjena debelina plazovine oz. globina kamnite podlage (H) v odvisnosti od višine preplavljene plazovine (z), za različne vrednosti strižne trdnosti plazine ($c' = 0$ in $\varphi' \neq 0^\circ$) pri upoštevanem povprečnem naklonu pobočja pred splazitvijo $\beta = 27^\circ$.

Rezultati te parametrične študije so prikazani v preglednici 1. Tu je namesto višine preplavljene plazovine (z) podana globina nivoja talne vode (y), merjena od površja tal.

$$\tan \beta = \left(1 - \frac{y_w}{y} \times \frac{z}{z + H} \right) \tan \varphi'$$

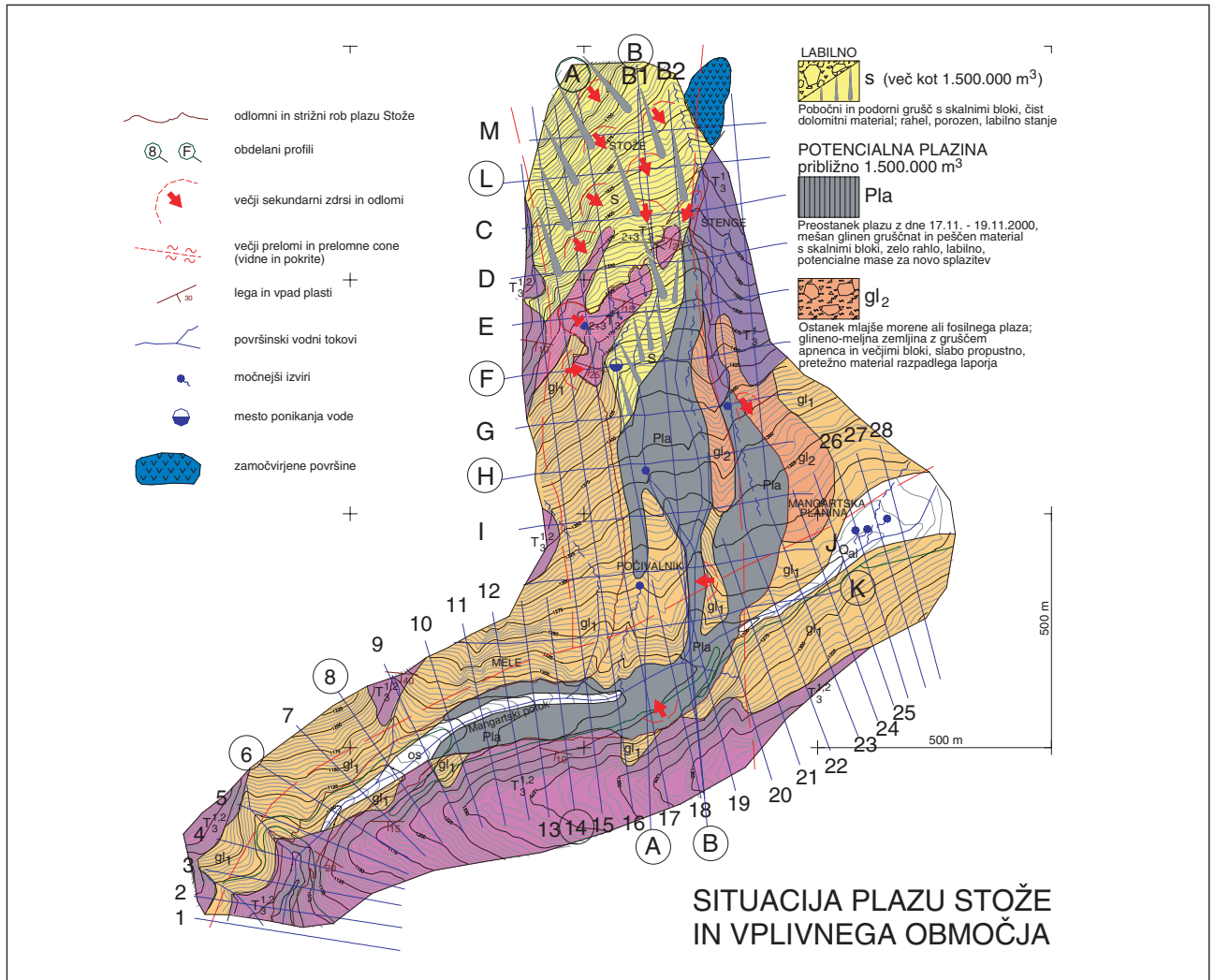
Za nadaljnje stabilnostne analize, ki so bile izvedene po metodi končnih elementov z računalniškim programom PLAXIS, je bila privzeta globina kamnite podlage 50 m pod prvotnim površjem pobočja in povprečna vrednost strižnega kota plazovine nad kamnito podlago v velikosti $\varphi' = 36^\circ$. Stabilnostne analize so bile izvedene v dveh vzdolžnih profilih (A-A in B2-B2). Situacija plazu je z označenimi vzdolžnimi in prečnimi profili prikazana na sliki 18. Vzdolžni profil A-A je prikazan na sliki 19. Z modro barvo je izrisana linija terena pred splazitvijo (snemanje iz zraka avgusta

2000), s črno pa linija terena po splazitvi (snemanje iz zraka 27. 11. 2000). V situaciji in v vzdolžnem profilu A-A je vrisana sestava tal, ugotovljena z inženirsko-geološkim kartiranjem terena in upoštevanjem preliminarnih rezultatov geofizikalnih raziskav.

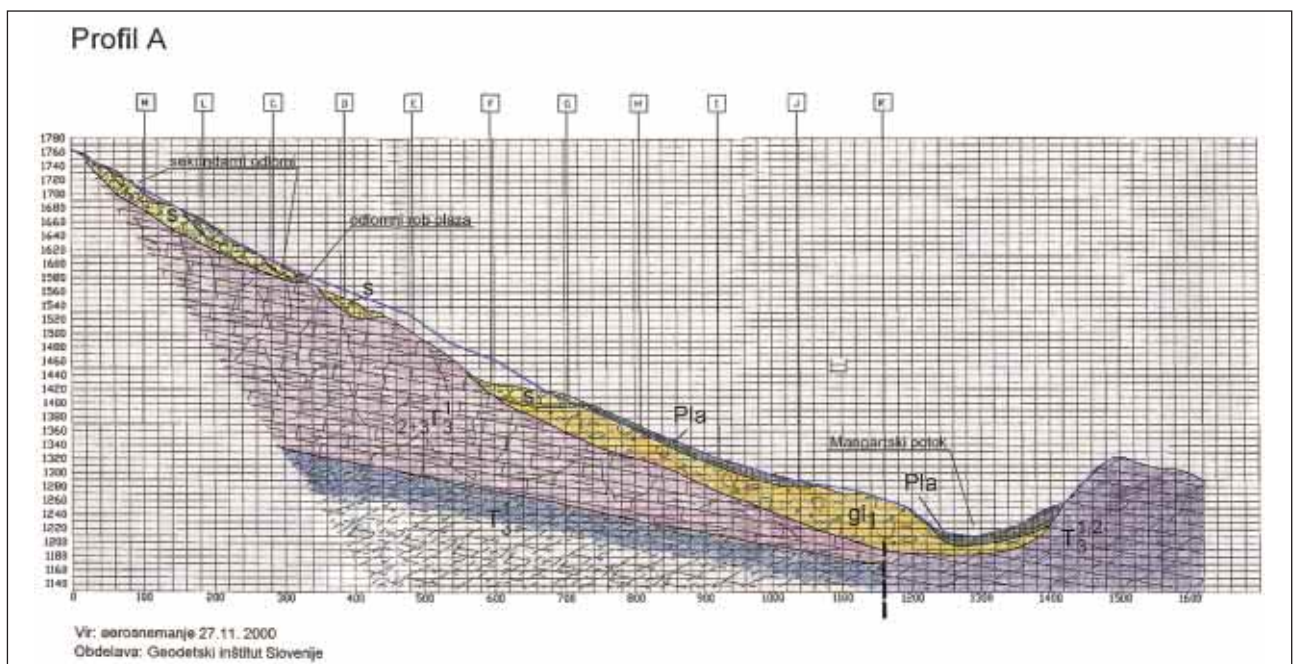
V obeh vzdolžnih profilih je bila izvedena stabilnostna analiza po MKE (metoda končnih elementov), tako da je bila postopno ugotovljena takšna gladina talne vode (porni tlaki), ki je privedla pobočje v mejno ravnovesno stanje s količnikom varnosti $F \approx 1$. Rezultati obeh stabilnostnih analiz so pokazali dobro ujemanje z razmerami na terenu in da je lahko plaznica (drsna ploskev) globoka do 50 m, merjeno od površja terena pred splazitvijo.

V vzdolžnem profilu A-A, po zahodnem robu plazu, je bilo mejno stanje izkazano pri globini talne vode okoli 20 m pod prvotnim terenom. Na sliki 20 so prikazane izolirane premikov pobočja pri mejnem stanju $F \approx 1$ («drsna ploskev»). Dobro ujemanje računskih rezultatov z razmerami na terenu je razvidno iz primerjave slike 19 (inženirskogeološki vzdolžni profil A-A) in slike 20, kjer so prikazani rezultati izvedene stabilnostne analize.

Področje izračunanih velikih premikov ($> 2,6$ m) v plazovini (zelena, rumena in oranžna barva na sliki 20) se dobro ujema s primanjkljajem materiala po splazitvi v profilu A-A na sliki 19. Izračunani premiki velikosti od 0,8 do 2,6 m (temna



Slika 18. Situacija plazu – inženirsko-geološka karta (Špacapan, Petrica, 2001)
Figure 18. Layout of the landslide – engineering geological map (Špacapan, Petrica, 2001)



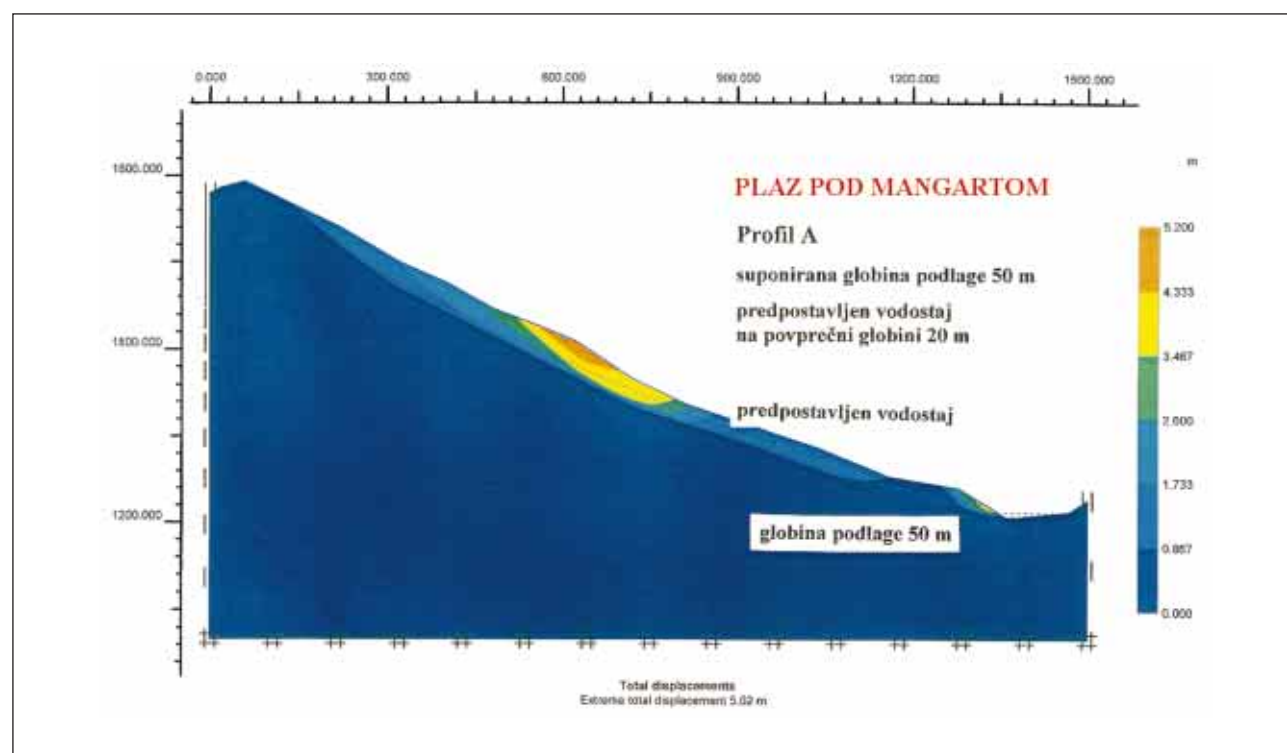
Slika 19. Vzdolžni profil A-A pred in po plazu – inženirsko-geološki profil (Špacapan, Petrica, 2001)
Figure 19. Longitudinal A-A profile before and after the landslide – engineering geological profile (Špacapan, Petrica, 2001)

do svetlomodra barva na sliki 20) potrjujejo na terenu evidentirane razpoke na površju pobočja nad odlomnim robom vse do vrha pobočja (glej sliko 19) in odloženo plazovino nad prvotnim površjem pobočja pod koto 1400 m. Podobno ujemanje med računskimi rezultati, ki so prikazani na sliki 21, in razmerami na terenu je tudi v vzdolžnem profilu B2-B2. Rezultati izvedene stabilnostne analize po MKE kažejo v profilu B2-B2 (glej rezultate parametrične študije v preglednici 1), da so na vzhodnem delu plazišča razmere slabše kot so na zahodnem delu. Rezultati izvedene stabilnosti kažejo, da lahko mejno stanje ($F \approx 1$) računsko izkažemo na tem področju bodisi tako, da ob enaki strižni trdnosti plazovine ($\varphi' = 36^\circ$), kot je bila privzeta na zahodni strani plazovine, upoštevamo na vzhodnem delu plazišča večjo razmočenost plazovine in izredno visok nivo talne vode (praktično do površja tal), ali pa je strižna trdnost plazovine na vzhodnem delu bistveno nižja, kot je na zahodnem delu plazišča, če sta nivoja talne vode v približno enaki globini pod površjem tal.

Interventni ukrepi

Takoj po drugi splazitvi plazu pod Stožami so se začeli izvajati določeni ukrepi z namenom, da se preprečijo morebitne nove človeške žrtve in dodatna materialna škoda, prepreči poslabšanje razmer na plazišču in v Logu pod Mangartom, da se uredi dostop do plazišča in da se začne z ustreznimi raziskavami.

Prebivalci Loga pod Mangartom so bili začasno izseljeni, na plazu in v strugi Mangartskega potoka je bil postavljen alarmni sistem, delno so bile zajete vode, ki razmakajo plazišče, Mangartski potok je bil zajet in delno kanaliziran v dve PEHD cevi premera 500 mm, struga Predelice skozi Zgornji Log je bila delno očiščena naplavin in poglobljena, postavljena sta bila montažna mostova na cesti Bovec-Predel, očiščena je bila cesta na Mangart in urejena gradbišna cesta po strugi Mangartskega potoka do plazišča. Do sredine januarja 2001 je te aktivnosti vodilo skupaj z

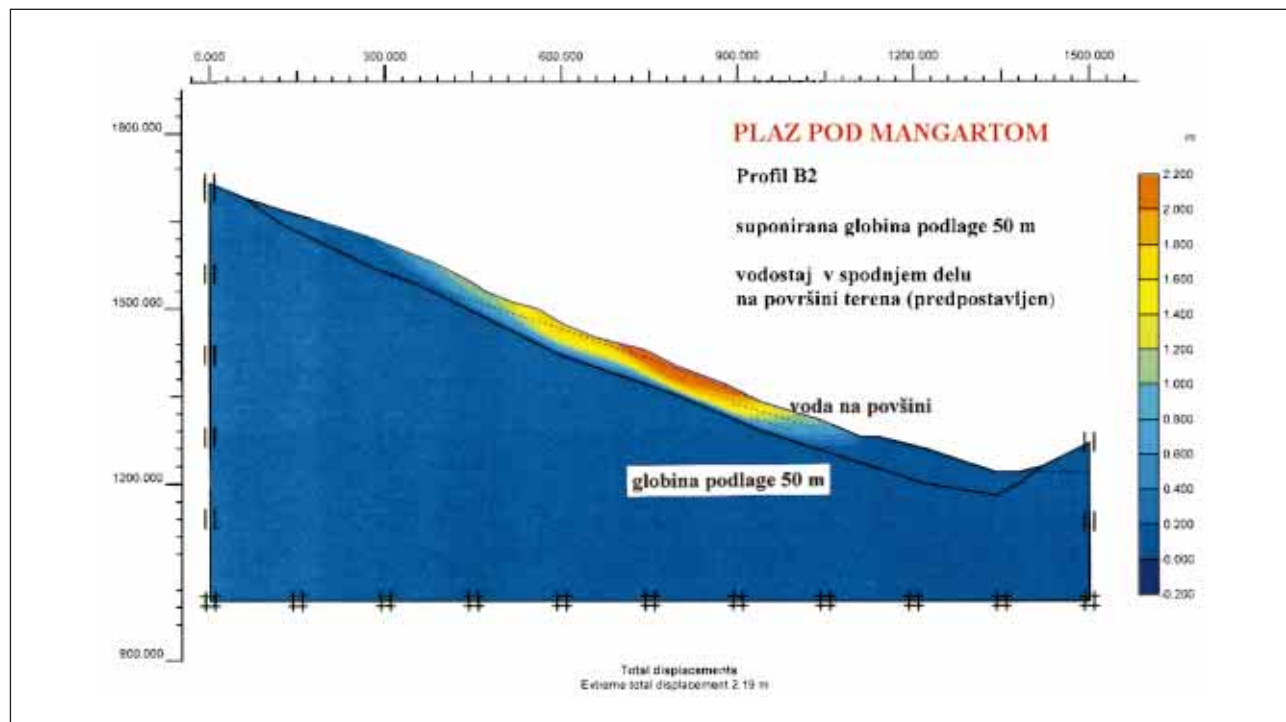


Slika 20. Rezultati izvedene stabilnostne analize po MKE v vzdolžnem profilu A-A; izolirane premikov pri mejnem stanju pobočja $F \approx 1$ (Pulko, Majes, 2001)

Figure 20. Results of stability analysis according to FME in longitudinal A-A profile; isolines of displacements at a slope limit state $F \approx 1$ (Pulko, Majes, 2001)

Preglednica 1. Razmerja med debelino plazovine, višino preplavljene plazovine in strižnim kotom plazovine
Table 1. Relations between slide thickness, height of saturated zone, and shear angle

φ' (°)	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$H = 5$	$y = -3,1$	-2,7	-2,4	-2,1	-1,9	-1,6	-1,3	-1,1	-0,9
10	-6,1	-5,5	-4,9	-4,3	-3,7	-3,2	-2,7	-2,2	-1,8
20	-12,2	-11,0	-9,7	-8,6	-7,5	-6,4	-5,4	-4,4	-3,5
25	-15,3	-13,7	-12,2	-10,7	-9,3	-8,0	-6,7	-5,5	-4,4
30	-18,4	-16,4	-14,6	-12,8	-11,2	-9,6	-8,1	-6,6	-5,3
35	-21,4	-19,2	-17,0	-15,0	-13,0	-11,2	-9,4	-7,7	-6,1
40	-24,5	-21,9	-19,5	-17,1	-14,9	-12,8	-10,8	-8,9	-7,0
45	-27,6	-24,6	-21,9	-19,3	-16,8	-14,4	-12,1	-10,0	-7,9
50	-30,6	-27,4	-24,3	-21,4	-18,6	-16,0	-13,5	-11,1	-8,8



Slika 21. Rezultati izvedene stabilnostne analize po MKE v vzdolžnem profilu B2-B2; izolinije premikov pri mejnem stanju pobočja $F \approx 1$ (Pulko, Majes, 2001)

Figure 21. Results of stability analysis according to FME in longitudinal B2-B2 profile; isolines of displacements at a slope limit state $F \approx 1$ (Pulko, Majes, 2001)

občino Bovec Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije, ki je posle predalo Ministrstvu za okolje in prostor.

Februarja 2001 je bila regionalna cesta Bovec-Predel ponovno odprta za osebna vozila, v Log pod Mangartom so se začeli pod določenimi pogoji prostovoljno vračati prebivalci.

Možne sanacije plazu Stože pod Mangartom in njegovega vplivnega območja

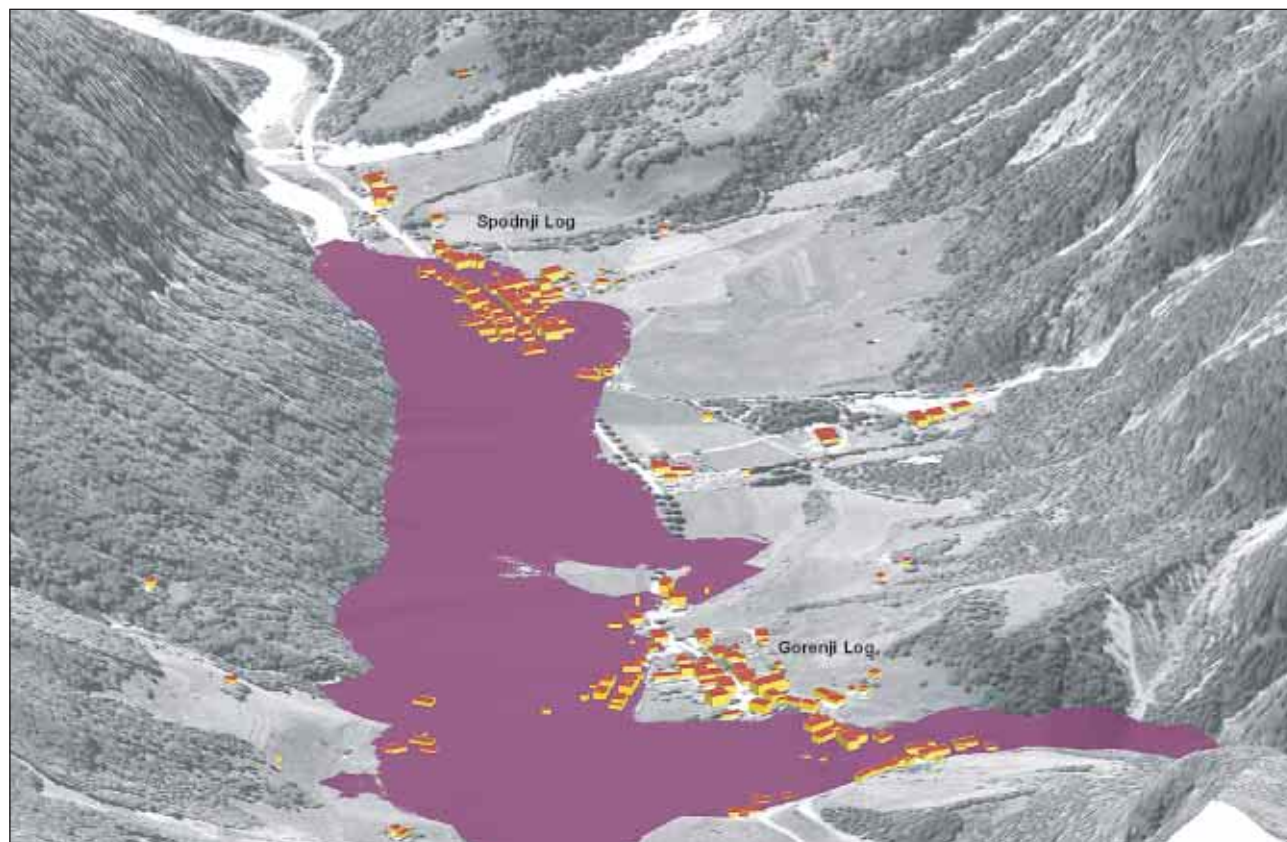
Za kakršno koli sanacijo je treba najprej izdelati ustrezne geodetske podlage, na plazišču izvesti ustrezno število sondažnih raziskav in laboratorijsko preiskati mehanske lastnosti materialov na plazišču. Od lastnosti materialov in količine materiala, potencialno nevarnega za nastanek novega plazu (plazov) in za nastanek morebitnega novega drobirskega toka (tokov), bodo odvisne takšne ali drugačne rešitve sanacije.

Plaz Stože ni umirjen. Terenski ogledi kažejo na večje spremembe površja plazu. Vode iz severovzhodnega in severozahodnega dela plazišča še vedno zamakajo plazišče. Mangartski potok ni kanaliziran tako, da bi bilo preprečeno razmakanje vznožja plazu in nastanek zajezitve potoka, če bi se plaz premaknil toliko, da bi zasul potok. Velikost in dinamika premikov plazu nista izmerjeni. Ni znana natančna globina plaznice. Potencialno nevarni materiali za nastanek novega plazu (novih plazov) so nad severnim odlomnim robom plazu (podorni in pobočni grušči – oznaka S in rumena barva na inženirskogeološki karti na sliki 18). Potencialno nevarna za nastanek novega plazu (novih plazov) in novega drobirskega toka (novih drobirskih tokov) sta preostanek plazovine na centralnem delu plazu in v strugi Mangartskega potoka – oznaka Pla (siva barva na sliki 18) in nepremaknjeni ostanki glinaste morene – oznaka gl2 (rjava barva na sliki 18) na vzhodnem robu plazišča v smeri planine Mangart in pod preostankom plazine Pla.

Glede na ocenjene količine labilnih mas (več kot $1.500.000 \text{ m}^3$) nad severnim odlomnim robom plazu in količine mas na plazišču (okoli $1.500.000 \text{ m}^3$), nevarnih za nastanek novega plazu (novih plazov) in drobirskega toka (drobirskih tokov), ki so grobo izračunane na osnovi rezultatov izvedenih geofizikalnih raziskav in na osnovi inženirskogeološkega kartiranja plazu in struge Mangartskega potoka konec decembra 2000, zaključujemo, da je ogroženost Loga pod Mangartom pri novi sprožitvi plazu in nastanku novega drobirskega toka v obsegu, kot se je to zgodilo novembra 2000, takšna, kot je že bilo simulirano konec novembra 2000. To pa pomeni, da bi se v Logu pod Mangartom pri dodatni (novi) količini plazovine v velikosti 700.000 m^3 bistveno povečali obseg, površina in višina s plazovino prekrita območja. Takšna statična simulacija je prikazana na sliki 22.

Glede na spremenjene razmere (vzdolžni profili, padci, prečni profili) na strugah Mangartskega potoka, Predelice, Koritnice in Soče zaradi veliko odloženega materiala s plazu bo treba zaradi poplavne ogroženosti ponovno urediti vodotoke. Strugo Mangartskega potoka bo treba urediti tako, da bo preprečeno razmakanje plazu in nastanek akumulacije vode gorvodno od plazu (predor, zasuti armiranobetonski prepust) in možna ponovna postavitev zajetja za MHE Log. V Zgornjem Logu bo treba nadomestiti porušene in močno poškodovane stanovanjske in gospodarske objekte. Zagotoviti bo treba trajno cestno povezavo med Bovcem in Predelom in urediti dostop do Mangarta.

Pri plazu takšnega obsega, kot je plaz Stože pod Mangartom, in pri izredno velikemu prostoru, na katerega lahko ponovna sprožitev plazu in nastanek novega drobirskega toka vpliva, rešitve niso niti enostavne niti poceni. Izdelati bo treba več variant sanacije plazu in njim ustrezne ureditve ogroženega prostora. Izbrati bo treba rešitev, ki bo zadovoljila številne kriterije (varnost, izvedljivost, ekonomičnost, sociološke in naravovarstvene vidike ...).



Slika 22. Statična simulacija morebitnih dodatnih naplavin v Logu pod Mangartom (obdelava: Geodetski inštitut Slovenije, osnovni podatki: Geodetska uprava Republike Slovenije)

Figure 22. Static simulation of possible additional alluvia in Log pod Mangartom (processed by: the Slovene Institute for Geodesy; basic data: Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia)

Sklepne misli

S kombinacijo rezultatov sondažnega vrtnja in geofizikalnih raziskav je treba na plazu Stože pod Mangartom čimprej ugotoviti meje med različnimi sloji, njihove mehanske lastnosti, lego potencialne drsne ploskve (drsni ploskvi) in izračunati količine mas, ki so nevarne za nastanek novega plazov (novih plazov). Z raziskavami bo treba ugotoviti, ali obstaja možnost pojava novega drobirskega toka.

Tudi konec pomladi leta 2001 – do takrat velja interventni zakon ZUPSB, ki ga je sprejel Državni zbor Republike Slovenije konec leta 2000 – ne bodo izvedeni trajni ukrepi,

ki bi zagotavljali varno življenje vsem v Logu pod Mangartom. Nekateri Ložani so se želeli vrniti na svoje domove že v začetku letošnjega leta. Poleti se bo želela vrniti v Log pod Mangartom večina.

Ali bodo do jeseni 2001, pred jesenskim dolgotrajnim in intenzivnim dežjem, izvedeni ukrepi, ki bodo zagotavljali varno življenje v Logu pod Mangartom?

Literatura:

1. Končno poročilo Ekspertne skupine za geotehniko, imenovane s strani poveljnika Civilne zaščite Mirana Bogataja, po predhodni seznanitvi Vlade Republike Slovenije, januar 2001.