

GEOLOŠKO GEOTEHNIČNE RAZISKAVE PLAZU

Geological-geotechnical Investigations of the Stože Landslide

Ana Petkovšek* UDK 551.3:624.13(497.4)

Povzetek

Približno tretjino slovenskega ozemlja ogrožajo plazovi. Čeprav je škoda, ki jo povzročajo, velika, se praviloma obravnavajo na lokalni ravni prizadetih občin ali upravljavcev ogroženih objektov in le redko zbudijo pozornost širše domače ali mednarodne javnosti. To je po svoje razumljivo, saj je nastanek plazov pogojen s celim nizom za določeno lokacijo specifičnih dejavnikov, ki na eni strani zahtevajo strokovno, celovito in večstopenjsko reševanje problema, po drugi strani pa celo najuspešnejših tehničnih rešitev sanacij ni možno neposredno osvojiti in prenesti na neko drugo, s plazom ogroženo območje. Vendar pa je možno na osnovi sedanjega stanja znanj in izkušenj razmeroma dobro oceniti ogroženost ozemlja s plazovi, se pred njimi učinkovito zaščititi, že sprožene plazove pa uspešno sanirati.

Plaz Stože pod Mangartom, ki se je sprožil nad Mangartsko planino v dneh med 15. in 17. novembrom 2000, pa je zaradi značilnosti svojega nastanka, velikosti in dolžine potovanja plazov ter v drobniški tok spremenjene zemljine, ki je povzročila razdejanje v Logu pod Mangartom, ne le vzbudil zanimanje širše slovenske javnosti, temveč odprl tudi nekatera nova vprašanja in opozoril na nove dejavnike tveganja, s katerimi se slovenski strokovnjaki pri obravnavanju in reševanju plazov v taki obliki še niso srečali. Med posebnosti plazov Stože sodijo tudi materiali, ki so se odložili vzdolž trase potovanja plazov in samega drobniškega toka, njihove lastnosti pa utegnejo pomembno vplivati na odločitve o pristopu k sanaciji ogroženega območja. V prispevku so predstavljene posebnosti teh materialov.

Abstract

Approximately one-third of Slovenia is threatened by landslides. Even though the damage caused by landslides can be very great, they are generally considered the problem of affected local communities or those responsible for threatened buildings or structures. Only rarely do landslides attract the attention of the wider or international public. To a certain extent this is understandable, since whether landslides occur or not depends on many factors which are specific for a given location. This means that the problem has to be dealt with by experts, in a complex manner, and sometimes in several stages. On the other hand, those solutions which may have proved effective at one location cannot be directly transferred to other, landslide-threatened areas. However, on the basis of today's technical knowledge and experience, it is possible to prepare relatively reliable estimates of landslide threats, carry out effective protective measures, and mitigate the effects of landslides that have occurred.

The Stože landslide, which occurred in western Slovenia between 15 and 17 November, 2000 in the area above the Mangart mountain pasture, was an exception in terms of cause, size, travel distance, and the severe damage caused to the village of Log pod Mangartom. Because of the enormous debris flow, it attracted the attention of the entire country, opened up new technical questions, and pointed to the presence of some risk factors not previously encountered by experts in the prediction and mitigation of landslides. The materials deposited by the Stože landslide and the debris flow along its path warrant special study, since, due to their specific characteristics, they will strongly influence decisions on how to bring the situation back to normal and reduce the threat to the area affected by the landslide.

Parametri, s katerimi določamo lastnosti materialov iz plazov

Plazenje je premikanje dela površinske zemeljske mase v smeri padnice pobočja, ki ga povzroči delovanje gravitacije in podzemne vode po ploskvi šibkosti, na kateri je prišlo do zmanjšanja efektivne strižne trdnosti. Drсна ali porušna ploskev je ploskev, po kateri plaz drsi. Značilen, šolski primer drsenja plazov z vidno plazečo se maso in izrazito ter usmerjeno dršno ploskvijo je prikazan na sliki 5. Ključni dejavniki, ki vplivajo na proženje in gibanje zemeljskega plazov, so:

- geometrija pobočja in geometrija in razporeditev značilnih geoloških plasti (profil tal),
- materialne lastnosti zemljin,
- višina podzemne vode oz. porni tlak.

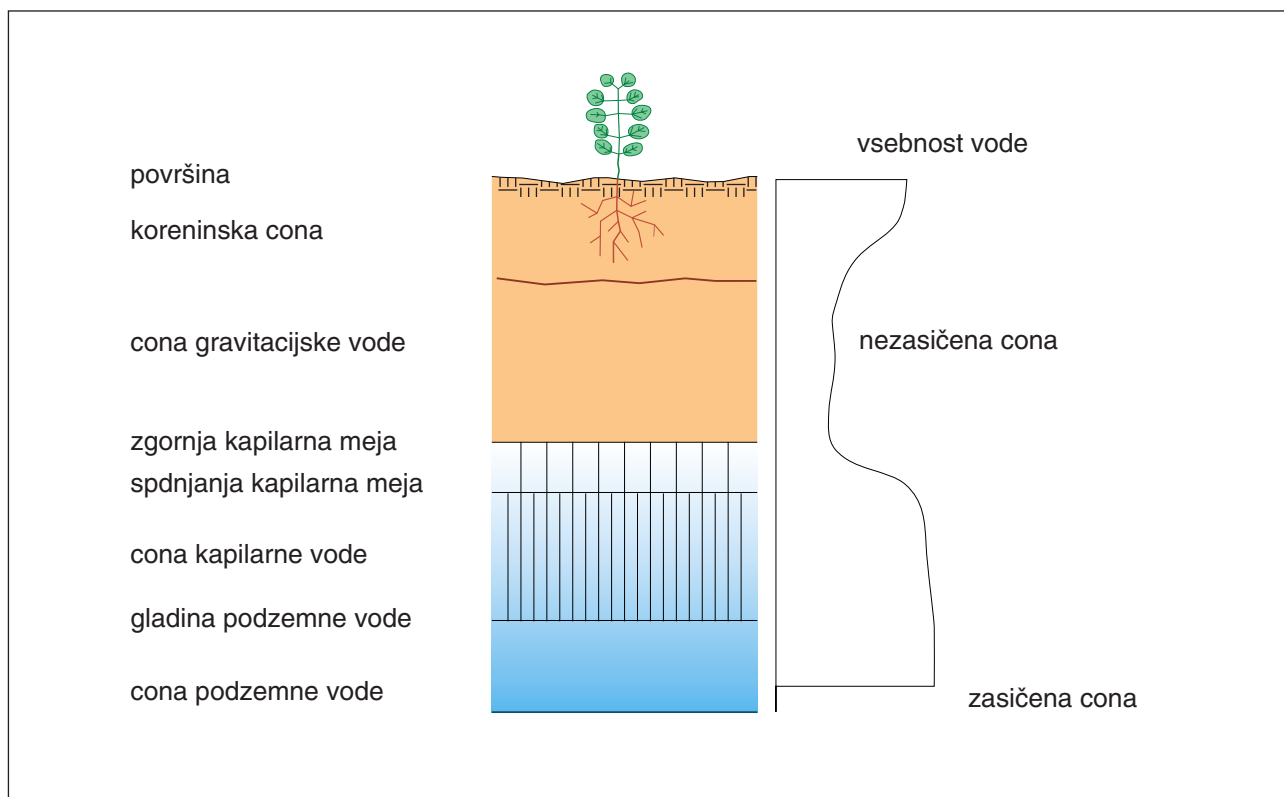
Ključni materialni parametri zemljin, s katerimi izvajamo geostatične analize zemeljskih plazov, so:

- *strižna trdnost zemljin v območju plazov*. Identificiramo jo z določitvijo trenja med zrn, ki tvorijo osnovni skelet zemljine, in ga imenujemo strižni kot in s silo lepljenja med zrn, ki jo imenujemo kohezija;
- *preostala ali rezidualna strižna trdnost*. Je strižna trdnost materiala iz območja porušne ploskve, ki je praviloma bistveno manjša od strižne trdnosti okolne zemljine in je posledica nastalih plastičnih deformacij in preorientiranja ter usmerjene razporeditve delcev materiala v drsni ploskvi;
- *prostorninska teža zemljine*. Ločimo prostorninsko težo mineralnih zrn, prostorninsko težo naravno vlažne zemljine in prostorninsko težo suhe zemljine. V nesaturirani coni, to je v območju nad nivojem podzemne vode, sta prostorninska teža mineralnih zrn in suha prostorninska teža v stanju mirovanja konstantni, prostorninska teža naravno vlažne zemljine pa se stalno spreminja. Zato uporabljamo tudi podatek o relativni poroznosti, s katerim označujemo razmerje med volumnom por in

* Gradbeni inštitut ZRMK, d.d., Dimičeva 12, Ljubljana, apetkovs@gi-zrmk.si

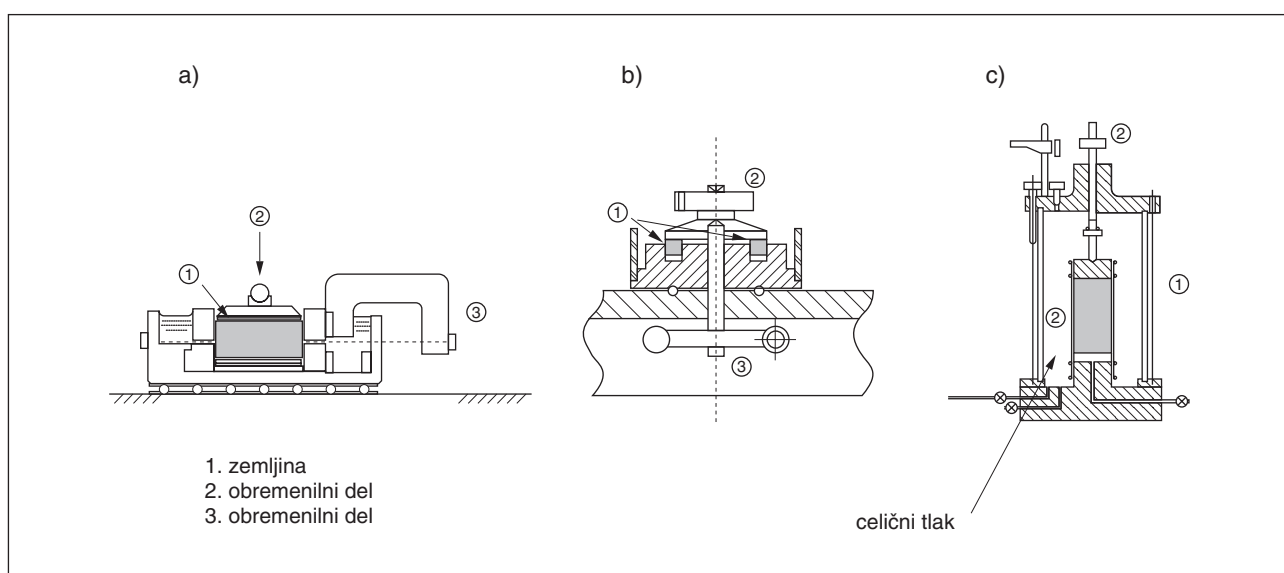
volumnom zemljine. Na ta način lahko vnaprej napovemo okvirne vrednosti dodatnega navlaženja in povečanja teže pri polnem zasičenju zemljine iz nesaturirane cone z vodo. Poznavanje obnašanja zemljine pri polnem zasičenju je posebej pomembno z vidika napovedovanja možnih scenarijev v nastanku in razvoju plazov ter prehoda plazov v drobirski tok.

V Sloveniji zavzema v inženirski geologiji in geotehniko preučevanje plazov pomembno mesto. Bogate pozitivne in negativne izkušnje, pridobljene pri že izvedenih sanacijah, stalen razvoj novih znanj, postopkov raziskav, novih računskih orodij, gradnja baz podatkov o plazovih in nenazadnje novi tehnični predpisi dajejo geologom in geotehnikom dobre in zanesljive osnove za pravičen in učinkovit pristop k preučevanju in reševanju plazov.



Slika 1. Shematski prikaz značilnih con vode v tleh.

Figure 1. Schematic presentation of typical water zones in the ground



Slika 2. Shematski prikaz treh glavnih postopkov za raziskovanje in merjenje strižne trdnosti zemljin. A – direktna strižna celica, b – rotacijska strižna celica, c – triosna strižna celica. Rezultati raziskav v triosni strižni celici omogočajo pridobitev podatkov o zemljini najvišje vrednosti

Figure 2. Schematic presentation of the three main methods used to investigate and measure the shear strength of soils: a – direct shear cell, b – rotational shear cell, and c – triaxial shear cell. The results of tests performed in the triaxial shear cell make it possible to obtain data on soil with the highest values

Parametri, s katerimi določamo lastnosti blatno-drobirskega toka

V nekaterih primerih se lahko zemeljski plaz spremeni v blatni ali drobirski (murasti) tok. S tem terminom označujemo gibanje z vodo polno zasičene zemljine nizke konsistence, katere tok je podoben toku viskozne tekočine. Polna zasičenost zemljine z vodo je nujen, ne pa tudi zadosten pogoj za nastanek blatnega ali drobirskega toka. Da do nastanka pride, se morajo zrna zemljine, ki so v plazeči se zemljini v medsebojnem stiku, razmakniti, struktura zemljine se podre, ob podiranju strukture pa se zrna zemljine porazdelijo in razpršijo v fluidu. Fluid je lahko podzemna voda, voda iz z vodo zasičenih por zemljine, voda iz površinskega vodotoka ali meteorna voda, ki je v času gibanja plazu vdrla skozi razpoke v plazu v telo plazeče se mase. Za nastanek blatno-drobirskega toka so posebno nevarni rahli, nekonsolidirani sedimenti, ki se nahajajo v nesaturirani coni tal in ki se nenadoma znajdejo v stanju polne zasičenosti. Na sliki 3 je prikazan primer povečanja vlažnosti in porasta teže dveh enakih zemljin, ki se nahajata v nesaturirani coni tal, s tem da je prva v rahlo odloženem, druga pa v gosto zbitem stanju. Opisane spremembe lahko nastanejo v času velikih padavin ali v primeru preusmeritve toka površinske ali podzemne vode, ko je količina vode, ki se lahko infiltrira v volumen tal, večja od

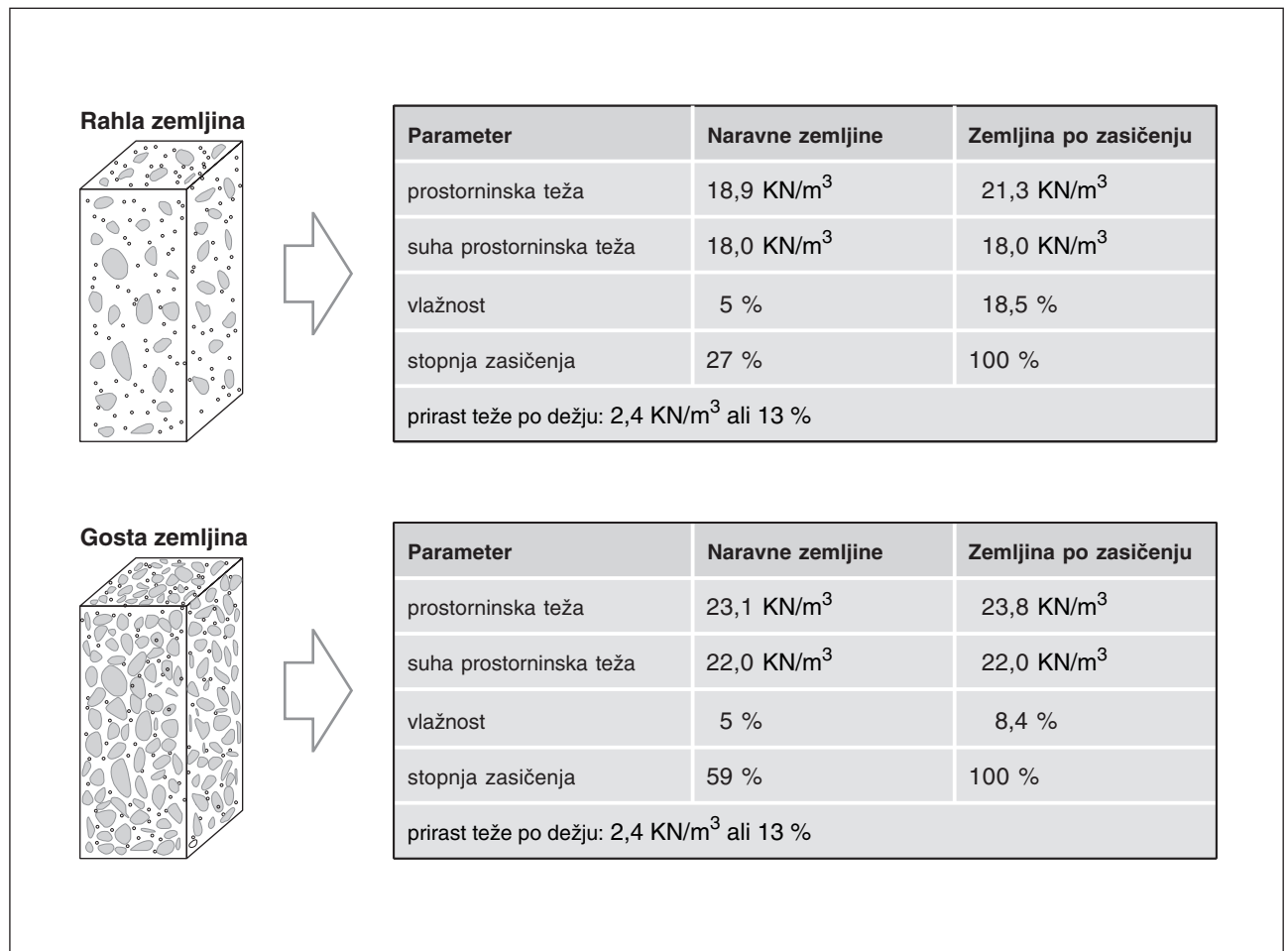
sposobnosti odtekanja infiltrirane vode iz zemeljske plasti.

Na srečo se vsi zemeljski plazovi ne spremenijo v blatni ali drobirski tok, temveč se običajno počasi premikajo po drsni ploskvi, se na svoji poti začasno zaustavijo, ponovno premaknejo ipd. Zato so različne faze v življenju plazu tudi različno poimenovane, npr. aktivni, mirujoči, fosilni plaz, tako da že samo ime pove, v kateri fazi gibanja je zemljina na plazu. Zemeljski plazovi se spremenijo v blatno-drobirski tok zaradi treh glavnih skupin mehanizmov (Klubertanz in sod., 2000):

- prirastka pornega tlaka vode v zemljini, ki inducira velike deformacije,
- napajanja plazu z vodo,
- erozije.

Neposrednih vzrokov za nastanek gruščnatih tokov je veliko in so na splošno slabo znani in raziskani. V nasprotju s plazanjem, kjer notranje trenje med zrni določa obnašanje zemljine, je treba pri obravnavi blatno-drobirskega toka poznati reološke značilnosti toka. Nanje oz. na gibanje toka vpliva cela vrsta dejavnikov in mehanizmov, med katerimi prevladujejo:

- koncentracija trdnih delcev v suspenziji,
- fizikalne lastnosti delcev, ki so v gibanju, zlasti velikost zrn,
- lastnosti drobnih, fino dispergiranih delcev v fluidu,
- medsebojne interakcije delcev v fluidu.



Slika 3. Shematski prikaz prirasta vlažnosti in prostorninske mase dveh enakih zemljin z različno gostoto po polnem zasičenju z vodo

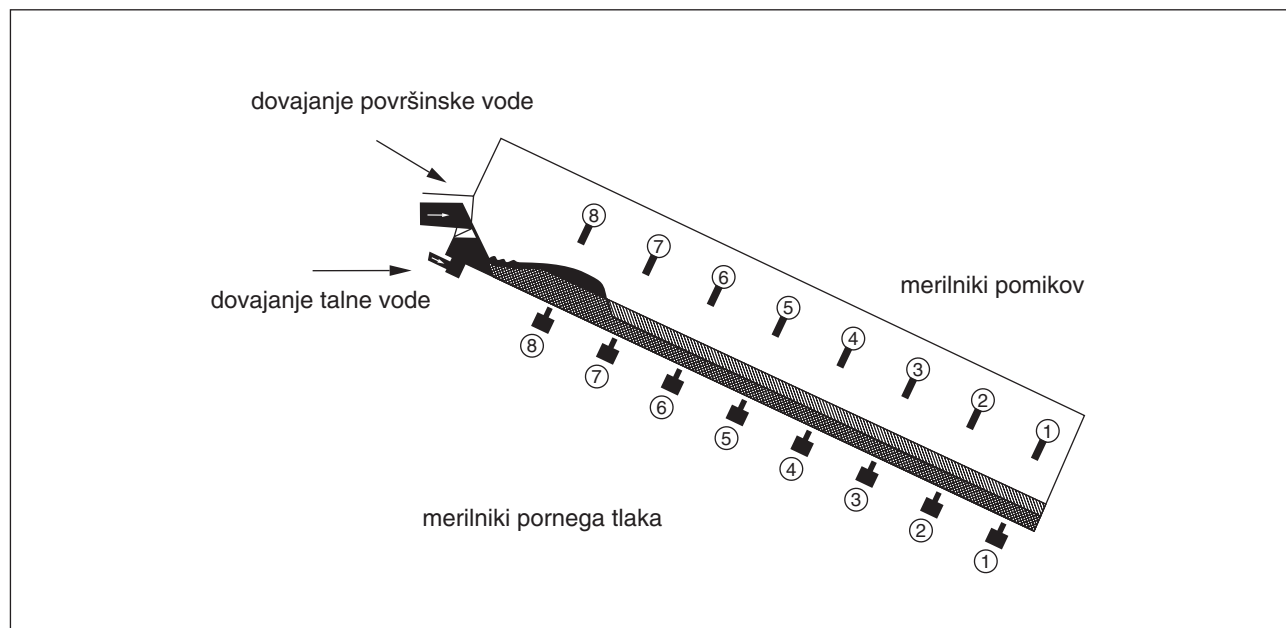
Figure 3. Schematic presentation of the increase in water content and mass of two specimens of the same soil, but of varying densities, after full saturation

Čeprav blatno-drobirski tokovi v Sloveniji niso neznan pojav (npr. Horvat, 1993, Vidrih, Ribičič, 1999), pa so izkušnje z njimi vezane v glavnem na registriranje pojavov kot takih in na odstranjevanje posledic le-teh. O mehanizmih proženja in gibanja blatno-drobirskih tokov v različnih geoloških okoljih pa vemo zelo malo, saj teh pojavov doslej še nismo sistematično preučevali. Na sliki 4 je shematsko prikazana ena od naprav za preučevanje nastanka blatno-drobirskih tokov, o katerih poroča literatura, razlike v mehanizmu gibanja plazov in blatno-drobirskega toka pa so prikazane na slikah 5 in 6.

Velike padavine in plazenje tal – prožitelji blatno-drobirskih tokov in novi dejavniki tveganja tudi v Sloveniji

Zemeljski plazovi – prožitelji blatno-drobirskih tokov

Čeprav zemeljski plazovi niso edini prožitelji blatno-drobirskih tokov, se večina le-teh razvije kot posledica predhodnega plazenja tal. Včasih je težko ugotoviti, ali se je pla-



Slika 4. Shematski prikaz naprave za preučevanje proženja in gibanja drobirskih tokov, ki jo uporabljajo v Švici (Tognaca, 2000)

Figure 4. Schematic presentation of equipment for the study of the initiation and movement of debris flows, as used in Switzerland (Tognaca, 2000)



Slika 5. Gibanje zemljine v zemeljskem plazov (5a). Rjava zemljina, glinasti melj s peskom drsi po mastni glini. Posnetek iz vkopa na AC Arja vas-Vransko. Na sliki 5b je bližnji posnetek drsne ploskve. V prikazanem primeru je rekonstrukcija plazov in določitev materialnih parametrov zemljin v kritičnem območju enostavna. Pri večini plazov pa so v drsni ploskvi zemljine premešane, pregnetene in zelo heterogene, zato je preiskovanje in določanje strižnih parametrov pogosto zelo težavno. (foto: A. Petkovšek)

Figure 5. Movement of soils in a landslide (5a). Brown soil, marly clay with sand, sliding on grassy clay. Shown here is a photo of the excavation site of the Arja vas – Vransko motorway. Figure 5b is a close-up of the sliding layer. In this case, the reconstruction of the landslide and the determination of physical parameters of soils in the critical area are simple. In most landslides, the soils in the sliding layer are intermixed and very heterogeneous, making the analysis and determination of shear parameters rather difficult (photo: A. Petkovšek)



Slika 6. Značilno gibanje zemljin pri blatnem toku. Mulj, meljna glina židke konsistence, se po površini stabilnega terena premika v smeri proti Mangartski planini. Zaradi ublažitve naklona terena in povečane koncentracije mineralnih zrn se je gibanje toka upočasnilo oz. zaustavilo. Zemljina počasi pridobiva na strižni trdnosti, vendar bo še dolgo podvržena pojavu tiksotropije. (foto: M. Kromar)

Figure 6. Characteristic movement of soils in the case of a debris flow. Marly clay of low consistency moves across the surface of stable ground in the direction of Mangrtska planina. Due to the easing inclination of the ground and increased concentrations of mineral grains, the movement of the debris flow slows down and stops. The soil slowly regains some shear strength, but will be subject to potential tixotropy for some time (photo: M. Kromar)



Slika 7. Porušitev brežin na vzhodni ljubljanski avtocesti, ki je že bila odprta za promet, v noči s 7. na 8. november 1997 je značilen primer nastanka drobirskega toka, ki je posledica nesrečnega sovpadanja več dejavnikov: plazu, izjemno močnih padavin, izvajanja brežin v pozni jeseni, zaradi česar se travna zarast še ni prijela, in seveda nepropustne bentonitne polsti v podlagi, ki ščiti ljubljansko podtalnico pred negativnimi vplivi voda z avtoceste in ki je onemogočala hiter odtok infiltriranih voda. (foto: T. Starič)

Figure 7. Failure of slopes on the eastern leg of the Ljubljana motorway ring road, which had already been opened for traffic on the night of 7–8 November 1997. This was a typical occurrence of debris flow resulting from the coinciding of several negative factors: a landslide, exceptionally heavy rainfall, the construction of slopes in late autumn, as a result of which the planted grass did not have time to get properly rooted, and, of course, the presence of a non-permeable bentonite layer underneath, whose object was to protect Ljubljana's groundwater from the effects of water draining from the motorway, and which prevented the rapid drainage of infiltrating water (photo: T. Starič)

zovina pretvorila v blatno-drobirski tok že med samim gibanjem plazu ali pa se je blatno-drobirski tok sprožil šele, ko se je plazovina premaknila v strugo vodotoka ali ko je zaradi plazu prišlo do začasne zaježitve voda za plazom. Na sliki 5 so vidne odprte razpoke na aktivnem plazu, ki bi se v neugodnih vremenskih okoliščinah lahko zelo hitro spremenil v blatno-drobirski tok. Blatno-drobirski tokovi kot neposredna posledica aktivnega plazenja so pri nas znani predvsem z velikih gradbišč, kjer so kritične faze izvajanja zemeljskih del sovpadle z intenzivnimi padavinami.

Blatno-drobirski tok na vzhodni ljubljanski avtocesti

Med značilne, po dolžini poti sicer majhne, a zelo obsežne blatno-drobirske tokove, ki so se na srečo končali brez tražičnih posledic in so nastali kot posledica plazu ob sočasnih izjemno velikih padavinah, lahko uvrstimo porušitve brežin na vzhodni ljubljanski avtocesti (slika 7).

V zgodnjih jutranjih urah v noči s 7. na 8. november 1997. leta je prišlo do porušitve brežin na več kot kilometer dolgem odseku na novo odprte avtoceste. Po podatkih HMZ Slovenije je bila 8. novembra 1997 v Ljubljani dnevna višina padavin $85,6 \text{ mm/m}^2$, ki v referenčnem obdobju od leta 1961 do leta 1990 ni bila presežena; v času med 3. in 4. uro zjutraj je padlo kar $15,9 \text{ mm/m}^2$ dežja, v času največje intenzitete pa je padlo v treh zaporednih 5-minutnih intervalih $6,3 \text{ mm/m}^2$ dežja. V debelini okoli 60 cm so se porušile vse brežine, oblikovane iz glinasto-meljastega proda, vgrajenega nad tesnilno plastjo iz nepropustne bentonitne tesnilne polsti. Brežine so se urejale v času, ko je bila aktivna rastna doba že mimo. Na preostalih, več kilometrov dolgih enakih brežinah, ki so se urejale v času rastnega obdobja in na katerih se je že ustvarila vegetacijska travna zaščita, ni bilo opaziti omembe vrednih poškodb. Zaradi hitrega posredovanja upravljavcev avtoceste in redkega prometa v nočnih in zgodnjih jutranjih urah na srečo ni prišlo do nobene prometne nesreče na z blatom in gruščem zalitem odseku avtoceste.

Blatno-drobirski tokovi in potres

Pri obravnavi slovenskih izkušenj z blatno-drobirskimi tokovi prav gotovo ne smemo prezreti poročila, predstavljenega v Ujmi (Vidrih, Ribičič, 1999). V zaključku poročila o gruščnatem toku, ki se je sprožil v dolini Lepene po potresu l. 1998, sta avtorja zapisala, citiram: Pri terenskem ogledu okolice kamninskega toka smo na travnih brežinah, zgrajenih iz vršajev, odkrili sveže razpoke v tleh, nastale ob potresu. Predstavljajo zgornji odlomni rob obsežnega plazišča. Taka odkritja kažejo, da se bodo vse posledice potresa pokazale šele v bližnji prihodnosti.

Ali je sprožitev plazu Stože pod Mangartom kakor koli povezana z dogajanjem ob velikonočnem potresu l. 1998 ali ob drugih manjših potresih, je težko reči. Avtorica tega prispevka se nagiba k mnenju, da so ob potresu nastale v pobočnem grušču in v gosti, temnosivi glinasti moreni razpoke, ob katerih je prišlo do odprtja novih poti in do povečanega vdiranja vode v zemeljsko telo. Gotovo je, da je na plazu Stože plazeča se zemljina prešla v blatno-drobirski tok že visoko na pobočju nad Mangartskim potokom, torej v samem žarišču plazu. To ugotovitev potrjujejo številni znaki vzdolž plaznice (Majes, 2001), še živi blatno-drobirski tokovi, ki odtekajo v smeri proti Mangartski planini (slika 6), kot tudi več kubičnih metrov veliki bloki dolomita, ki plavajo v židki in lahko gnetni meljni glini, ki sicer kot samostojna plast na tem področju ne nastopa, temveč je v blatno-drobirskem toku pritekla z višjih delov pobočja in se kot usedlina iz toka odložila na različnih delih pobočja nad Mangartskim potokom.

Posebni pojavi v obnašanju zemljin, ki so se odložile iz blatno-drobirskega toka na območju plazu nad Mangartskim potokom

Zemljine so glede na osnovno stanje zgoščenosti podvržene dvema vrstama volumenskih sprememb: kontrakciji, tj. krčenju ali zmanjševanju volumna, in ekspanziji, tj. relaksaciji ali večanju volumna. Rahle zemljine težijo h kontrakciji, goste pa k relaksaciji.

Vse zemljine, ki so na plazu Stože potovale z blatno-drobirskim tokom in so se zaustavile na pobočju nad strugo ali v strugi Mangartskega potoka, so, ne glede na njihovo zrnovostno sestavo, v rahlem stanju. Slika o ugodnih geotehničnih lastnostih materialov, ki si jo morebiti utegnemo ustvariti po ogledu velikih, trdnih blokov svetlega dolomita ali grobih kamnitih materialov, ki so razmetani v strugi potoka (slika 8), je varljiva in prikriva resnično nevarnost sprožitve novih premikov v tleh.



Slika 8. Skalni bloki in grobozrnat grušč, razmetani v strugi potoka in na pobočju dajejo vtis o dobrih materialih v plazju. Kaj se skriva v globlinah pod njimi? (foto: B. Pulko)

Figure 8. Blocks of rock and large-grained detritus spread across the course of the stream and along its banks give the impression of good materials in the landslide. But what is hidden beneath them, at greater depths? (photo: B. Pulko)

Poleg potencialne nevarnosti nastanka novih drobirskih tokov v primeru velikih padavin lahko v s plazom odloženih materialih nastanejo nove oblike gibanja tal, ki jih pred nastankom plazu na obravnavanem območju ni bilo pričakovati. Med nevarne povzročitelje novih premikov, ki lahko nastopijo kot posledica specifičnih lastnosti ali dogajanj v materialih v plazovini, sodijo:

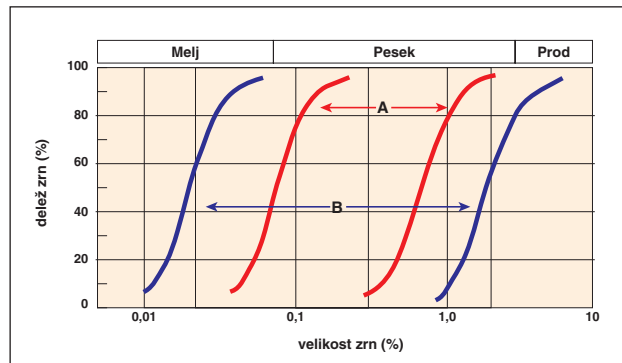
- likvefakcija,
- tiksotropija,
- strukturni kolaps.

Pri vseh treh naštetih pojavih se v zemljini odvijejo enaki procesi, vezani na porušitev strukture zrn v rahli zemljini, ki teži k zgoščanju. O tovrstnih pojavih smo doslej praviloma slišali le iz tujih poročil o naravnih katastrofah, v Sloveniji pa smo se z njimi le zelo redko srečevali. Zato je prav, da jih bralcem Ujme nekoliko podrobneje predstavimo.

Likvefakcija – utekočinjenje

Termin likvefakcija uporabljamo za opisovanje procesa in ne za opisovanje lastnosti materiala, pri katerem z vodo zasičene zemljine zaradi zunanje obtežbe izgubijo svojo strižno trdnost in se utekočinijo. Likvefakcija lahko nastopi pri katerem koli rahlem, z vodo zasičenem zemljinem materialu, vendar pa so katastrofalne posledice, ki jih likvefakcija pusti na objektih, običajno vezane na dogajanja v

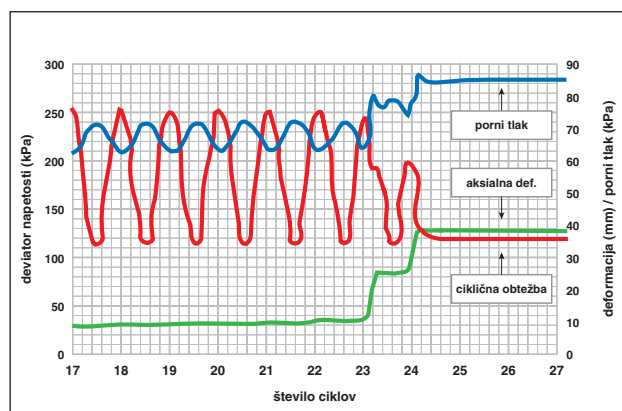
plasteh iz rahlih, saturiranih peskov, ki jih sproži potres. Območja zrnivosti zemljin, ki so zelo občutljive na likvefakcijo, so prikazana na sliki 9. Likvefakcija lahko nastopi pri katerem koli napetostnem stanju v zemljini, pri katerem pride do presežnega poregga tlaka. Kako pravzaprav pride do pojava likvefakcije v tleh?



Slika 9. Območja zrnovostne sestave zemljin, ki so zelo občutljive na likvefakcijo. Območje A je območje najbolj občutljivih zemljin, območje B pa območje potencialno občutljivih zemljin

Figure 9. Areas of soils with a fine grained composition, which are very sensitive to liquefaction. A indicates boundaries for most liquefiable soil and B indicates boundaries for potentially liquefiable soil

Veliko odvisnost mehanskih lastnosti zemljine od njenega gostotnega stanja in od deleža vode v porah smo že opisali. Kadar na rahlo zemljino deluje zunanja obtežba, zemljina teži k zgoščanju. Če je taka zemljina malo propustna, če je ujeta v malo propustni okolici, ki onemogoča hitro drenažo, ali če je zunanja obtežba zelo hitra, se težnja zrn zemljine po zmanjšanju volumna odrazi v povečanju poregga tlaka vode med zrn. Kadar ta presežni poregga tlak doseže vrednost, ki je enaka zunanjemu tlaku, zemljina v celoti izgubi lastnosti trdne snovi in se utekočini. Pojav likvefakcije, ki se večinoma povezuje le s peski in potresom, v resnici lahko nastopi v večini zemljin in ni nujno vezan le na potres. Pogosti so pojavi likvefakcije tal pod starimi železniškimi progami, po katerih začnejo voziti novi, hitrejši in težji vlaki, ob velikem, masovnem miniranju, pri hitri izpraznitvi vode v zemeljskem vodnem zadrževalniku ipd. Kako pojav likvefakcije zaznamo pri preiskavah v laboratoriju, je prikazano na sliki 10.



Slika 10. Pojav likvefakcije, kot ga zabeleži laboratorijska raziskava zemljine

Figure 10. The phenomenon of liquefaction, as recorded by a laboratory investigation of soil

Likvefakcija tal na srečo v Sloveniji ni pogost pojav, kljub temu pa je to pojav, ki ga v geotehnikni pri presoajah stabilnosti ne smemo prezreti. Prvič smo se resneje srečali z možnostjo pojava likvefakcije tal v letih 1983–1986, to je v času raziskovanja tal na predvideni lokaciji jedrske elektrarne Prevlaka, kjer so temeljna tla zgrajena iz debelih slojev rahlih peskov. Tudi na širšem območju HE Vrhovo se v tleh nahajajo rahli peski, potencialno nevarni za likvefakcijo, zato so bili pri gradnji varovalnih nasipov upoštevani dodatni zaščitni ukrepi, ki zagotavljajo ustrezno varnost tudi v primeru, če bi prišlo do pojava likvefakcije tal ob potresu.

Med tla, ki so zelo občutljiva na likvefakcijo, v Sloveniji sodijo tla, zgrajena iz jezerske krede, kadar se ta nahaja v saturirani coni. Jezerska kreda je zemljina, ki jo uvrščamo med slabo graduirane melje in nizko do srednje plastične meljne gline. Nastajala je po umiku ledenika, potem ko so hroudniške vode izpirale in odnašale drobne delce iz odloženega morenskega materiala. Jezerska kreda, ki še vedno nastaja v nekaterih alpskih ledeniških jezerih, se je v Sloveniji odložila na območju med Bovcem in Srpenico, na območju Bohinjskega in Blejskega jezera, v dolini Radovne itd. Skoraj zanesljivo je porušitev okoli 100 m dolge obale Bohinjskega jezera ob velikonočnem potresu 1. 1998 posledica likvefakcije v plasteh saturirane jezerske krede (slika 11).



Slika 11. Porušitev okoli 100 m dolge obale Bohinjskega jezera ob velikonočnem potresu leta 1998 je skoraj zanesljivo posledica likvefakcije. Če bi pojav raziskali, bi bili pravi vzroki ne le zanesljivo pojasnjeni, ampak bi služili kot referenčni parametri najvišje vrednosti pri vrednotenju občutljivosti materialov iz plazu Stože na potres. (foto: M. Tomažević)

Figure 11. Failure of an approximately 100 m long section of the shore of Lake Bohinj, which occurred at the time of the 1998 Easter earthquake. This phenomenon is almost certainly the consequence of liquefaction. If it had been investigated, not only would the reasons for its origin have been determined with certainty, but the results would also serve as reference parameters of the highest value in evaluating the sensitivity of materials in the Stože landslide to seismic effects (photo: M. Tomažević)

Velika škoda je, da z ustreznimi geotehničnimi raziskavami niso bili podrobneje analizirani vzroki zelo hudih poškodb, ki so jih utrpeli objekti ob potresu 1. 1998 v Mali vasi pri Bovcu. Tudi na tem območju so znani pojavi saturirane jezerske krede, ki se nahaja plitvo pod površino terena in je prekrita s tanjšo plastjo proda.

Ob sprožitvi plazu in blatno-drobirskega toka na plazu Stože pod Mangartom, se je del zemljin iz pobočnega grušča in morenskega materiala, ki je potoval s tokom, odložil v debelejših slojih, katerih lastnosti so podobne last-

nostim jezerske krede. Če se te plasti nahajajo tudi v globini, pod masami »plavajočega« grušča, obstaja nevarnost ponovne sprožitve plazu Stože. Neposredni prožitelj bo likvefakcija rahlih, z vodo zasičenih tal, ki so se odložila ob plazenju. Likvefakcija lahko nastopi ob potresu ali ob kakšni drugi hipni obremenitvi, npr. ob morebitnem skalnem podoru. Ob standardnih raziskavah, ki se bodo izvajale na plazu Stože, bo treba pozornost usmeriti tudi na določitev razširjenosti, zveznosti in debeline rahlih plasti jezerske krede, ki se je odložila na plazišču in v strugi potoka, in njenih mehanskih parametrov, še posebej parametrov, kritičnih za likvefakcijo. Ti parametri ne bodo pomembni le za oceno stanja plazu, ampak tudi za odločitev o globini in načinu izvedbe temeljenja morebitnih varovalnih objektov – nasutih pregrad v strugi Mangartskega potoka.

Tiksotropija

To je pojav, ki ga za razliko od likvefakcije običajno obravnavamo v povezavi s strukturiranimi suspenzijami, v naravnih tleh pa v povezavi z visoko plastičnimi zelo drsljivimi glinami, ki vsebujejo soli. Pojav tiksotropije je tudi likvefakcija in na splošno pomeni zvezno zniževanje viskoznosti pod vplivom konstantnega striga in ponovno zviševanje viskoznosti ob prekinitvi toka, ko je snov v pogojih mirovanja (Zupančič, 1995). Tiksotropno obnavljanje strukture v fazi mirovanja zahteva bistveno daljši čas, kot je potreben za razpad strukture. Mulji – melji in meljne gline, ki so se v območju plazu Stože odložili iz drobirskega toka nad Mangartsko planino, kažejo značilne tiksotropne lastnosti. Že sam pogled na nestabilno, drobnozrnato zemljino, ki se je zaustavila in počasi otrdeva na površini pobočja nad Mangartsko planino, kaže na nevarno past, ki preži na neprevidebnega pohodnika ob prečkanju plazišča.

Ne smemo pa mimo še enega pojava, ki smo ga kot posebnost zasledili na plaznici. Na pobočju in v sami strugi Mangartskega potoka je po splazitvi ostalo na stotine »glinasto-gruščnatih bomb« (slika 12). Tako smo poimenovali krogle skoraj pravilnih oblik s premerom od nekaj cm pa do več metrov, ki so nastale ob kotaljenju in plazenju glinasto-gruščnatnega materiala, podobno kot nastajajo snežne kepe, ki jih otroci valijo po zasneženih pobočjih. Sprva je bila zemljina v teh bombah gosto zbita, sestavljena iz temnosive gline, po izvoru iz temnosive morene in iz zrn dolomita in lapornega apnenca.

Po zmrzali in nato po odjugu, ko je struktura zemljine v bombah razpadla, je dobila površina na plazu povsem novo podobo (slika 13). Rahli, koničasti stožci so še zadnji ostanki razrahljanih bomb, preden se bodo razpršile v pobočnih in meteornih vodah in kot novi, majhni blatno-drobirski tokovi odtekale po pobočju navzdol (slika 14).

Strukturni kolaps – hitro zmanjšanje volumna zaradi saturacije

To je pojav, pri katerem se rahle, nesaturirane zemljine ob dodatnem navlaževanju hipno sesedejo. Trenutno je na območju plazu Stože strukturni kolaps nenevaren pojav. Njegova posledica je tudi sesedanje že opisanih zemljin-skih stožcev. Prava nevarnost pojava strukturnega kolapsa v večjem obsegu pa lahko nastopi šele kot sekundarna posledica plazu v daljši dobi, ko se bodo sedaj rahli, tiksotropni melji osušili, nato pa ponovno navlažili. Ali na plazu Stože obstaja nevarnost pojava strukturnega kolapsa, bo treba preveriti tudi v okviru geotehničnih raziskav plazu.

Kako predvideti nepredvidljivo

Ko se lastnosti tal nočejo prilagajati željam uporabnika ali projektanta

Geolog in geotehnik se pri reševanju plazov srečujeta z vrsto posebnosti, ki izvirajo iz geološke zgradbe ozemlja in iz zunanjih vplivov, ki so pripeljali do nastanka plazov. Medtem ko inženir konstruktor dela z znanimi gradbenimi materiali, ki nastajajo v kontroliranem procesu proizvodnje in katerih lastnosti so natančno opredeljene, se geolog in geotehnik ukvarjata z naravnimi tlemi, katerih glavni značilnosti sta velika heterogenost in stalna spremenljivost sestave, na katero smo v tem članku že opozorili. Gradbenik konstruktor izbor materiala vedno prilagaja zahtevam konstrukcije, zato so konstrukcijske rešitve lahko podane, ne da bi se v okviru projekta izvedla ena sama raziskava materiala. Nasprotno pa mora inženir geotehnik konstrukcijo ali pro-



Slika 12. Glinasto gruščnata bomba v strugi Mangartskega potoka. Na stotine takih bomb velikosti od nekaj centimetrov do več metrov se je privalilo z območja plazov. (foto: A. Petkovšek)

Figure 12. A clayey detritus "bomb" in the course of the Mangartski stream. Hundreds of such "bombs", ranging in size from a few centimetres to several metres, rolled down from the area of the landslide (photo: A. Petkovšek)



Slika 13. Od kod nenavadni stožci na površini plazov? Tako razpadajo »bombe« po odjugu. (foto: M. Kromar)

Figure 13. Where have the unusual cone-like structures on the surface of the landslide come from? This is how "bombs" disintegrate after thawing (photo: M. Kromar)



Slika 14. Majhen drobirski tok ob vznožju razpadajoče bombe. Še zadnji ostanki ob novembrskem plazov nastalih bomb, ko pridejo v stik z vodo. (foto: M. Kromar)

Figure 14. A small mud flow at the foot of a disintegrating "bomb". These are the last remains of the "bombs" that were formed in the November landslide as they came into contact with water (photo: M. Kromar)

jektno rešitev sanacije plazov vedno prilagajati dejanskim razmeram na terenu in lastnostim materialov, ki se pojavljajo v tleh. Prenekateri naključni spremljevalec dogajanj v zvezi s plazom Stože se sprašuje, čemu so geotehnične raziskave plazov sploh še potrebne. V Logu pod Mangartom so odstranjene najhujše posledice ujme, cesta je odprta, življenje se počasi vrača v kraj. Poleg tega se kar sama od sebe ponuja cela vrsta tehničnih ukrepov, s katerimi smo »inženirji« sposobni obvladovati naravo: tla lahko buldožiramo, injektiramo, miniramo, izpiramo, konec koncev premoremo na kubike betona in jekla, in vsak študent zadnjih letnikov geologije ali gradbeništva je na domačem računalniku sposoben opraviti analizo plazov. Ali res? Ali so številna »geološka presenečenja«, katerih posledica so odnešene ceste, velike podražitve investicij med gradnjo in o katerih pogosto poročajo mediji, v resnici le posledica »geoloških presenečenj in težavnih geoloških razmer« ali pa so le dokaz nesposobnosti bodočih namenskih uporabnikov tal in inženirjev, da bi svoj odnos do geotehničnega problema in tehnične rešitve prilagajali razmeram v tleh, ne pa pričakovali, da se bodo tla, katerih lastnosti narekuje geološka zgodovina in ne sodobna proizvodnja, prilagajala novodobnim rešitvam?!

Kakršno koli ponujanje geotehničnih rešitev, ne da bi predhodno spoznali geološke in geotehnične razmere v tleh, nujno vodi do napačnih ali neracionalnih rešitev oz. celo do novih katastrof!

Z geološko-geotehničnimi raziskavami dopolnjujemo sliko terenskih razmer, ki jo določijo geologi ob površinskem pregledu in geološkem kartiranju plaz. Namen geotehničnih raziskav je, da se natančno določi talni profil, globina oz. lega drsne ploskve, značilnosti gibanja podzemne vode in da se določijo mehanske lastnosti materialov v tleh. S kombinacijo rezultatov preiskav, ki jih izvajamo na terenu in v laboratoriju, poskušamo v geološko-geotehničnem poročilu čim bolj natančno opisati:

- vzroke, ki so pripeljali do plaz,
- trenutno stanje oz. razmere na plaz
- in predvideti druge možne pojave, ki lahko v kratkem ali daljšem roku nastopijo na plaz ali v njegovi vplivni okolici v normalnih in v izrednih pogojih, kot sta npr. pojav pričakovane stoletne vode ali potres.

Niso vse raziskave enako primerne za opisovanje dogodkov ali lastnosti materialov v različnih geoloških pogojih nastanka plaz. Srečujemo se z obsežnimi plazovi, kjer so rekonstrukcije dogodkov in presoje mehanskih lastnosti materialov zelo enostavne in obsežne preiskave niso potrebne in obratno. Zato je treba raziskave načrtovati prilagojeno, primerno stanju, ki ga geolog in geotehnik ugotovita na terenu. Verjetno je geotehnika eno zelo redkih inženirskih področij, kjer se pri vrednotenju stanja enakovredno vključujejo rezultati raziskav in inženirskih izkušenj. Evropski standard za projektiranje geotehničnih konstrukcij Eurocode 7 celo dopušča možnost, da je vrednost inženirske presoje in izkušnje v posebnih primerih nad vrednostjo rezultata laboratorijske ali terenske raziskave.

Geološke in geotehnične raziskave na plaz Stože pod Mangartom so nujno potrebne in hkrati izjemno zahtevne. Z njimi bo treba potrditi ali ovreči predhodne ocene in dokončno odgovoriti na naslednja pomembna vprašanja:

- zakaj je prišlo do tako obsežnega plaz in tako velikih premikov zemeljskih mas, ki so se spremenile v blatno-drobirski tok,
- kakšno je trenutno stanje plaz in kakšna je nevarnost novih premikov,
- ali se na plaz lahko sproži nov blatno-drobirski tok in kakšen volumen lahko zavzame,
- ali na plaz lahko pride do utekočinjenja – likvefakcije materiala zaradi potresa,
- ali je možno v danih pogojih tehnično obvladati plaz in za kakšno ceno,

- kje se podobni dogodki še lahko ponovijo.

K oblikovanju končnih odgovorov bodo pomembno prispevali podatki raziskav, s katerimi bodo določeni zemljinski parametri, ki smo jih predstavili v tem prispevku. Brez določitve teh parametrov bodo številna vprašanja ostala v zraku, dokler se podobni plazovi ali drobirski tokovi ne ponovijo enkrat, dvakrat, večkrat. Počasi bomo ugotovili, da ni dovolj samo odstranjevati in sanirati posledice plazov in drobirskih tokov, treba bo spoznati in analizirati vzroke njihovega nastanka. Samo s poznavanjem vzrokov nastanka in mehanizmov obnašanja se bomo znali pred tovrstnimi naravnimi pojavi ustrezno zavarovati, ne da bi jih poskušali za vsako ceno tudi obvladati.

Sklepne misli

Plaz Stože pod Mangartom je zaradi svojih katastrofalnih posledic zbudil veliko pozornost širše slovenske javnosti, strokovnjakov in medijev. V osrednjem slovenskem dnevniku je med drugimi izšel tudi članek z naslovom »Delamo se, da plaz ni bilo in ga ne bo«.

Žal so plazovi in drobirski tokovi veliki dejavniki tveganja, pred katerimi si v Sloveniji ne smemo zatiskati oči. Z njimi se moramo sprijazniti, jih spoznati in znati z njimi ravnati, nikakor pa jih ne smemo izzivati. Geološke in geotehnične raziskave sodijo med najpomembnejše korake, ki morajo biti opravljeni pri ustvarjanju sožitja s tem našim večnim, čeprav ne ravno všečnim sosedom. Skrajni čas je, da se zavemo njihovega pomena in začnemo verjeti strokovnjakom, ki jih vodijo.

Literatura:

1. Horvat, M., 1993. Sanacija Tratičnikovega plaz v Podvolovlju. Ujma, 73–76.
2. Kulbertanz, G. in sod., 2000. Parameters governing debris – flow initiation, Debris flow hazards mitigation, Balkema Rotterdam, 73–78.
3. Majes, B., 2001. Plaz pod Mangartom – končno poročilo ekspertne skupine za geotehniko. Ljubljana.
4. Tognacca, C. in sod., 2000. Threshold criterion for debris flow initiation due to channel bed failure, Debris flow hazards mitigation, Balkema Rotterdam, 89–97.
5. Vidrih, R. in Ribičič, M., 1999. Posledice potresa v naravi. Ujma, 107–116.
6. Zupančič Valant, A., 1995. Reologija suspenzij titanovega dioksida v polimerni raztopini, doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani.