

## Geološke, hidrogeološke in geomehanske raziskave plazu Slano blato

### Geological, hydrogeological and geomechanical investigation of Slano blato landslide

Marko KOČEVAR<sup>1</sup> & Mihael RIBIČIČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geoinženiring d.o.o., Dimičeva 14, 1000 Ljubljana; m.kocevar@geo-inz.si

<sup>2</sup>GI ZRMK, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana; mihael.ribicic@gi-zrmk.si

*Gljučne besede:* plaz, inženirska geologija, hidrogeologija, Slano blato, Slovenija  
*Key words:* landslide, engineering geology, hydro geology, Slano blato, Slovenia

#### Kratka vsebina

Plaz Slano blato je lociran v pobočju Čavna, ki ga režejo številni potoki in hudourniške grape. Do plazenja je na območju Šlanega blata prišlo 18. novembra 2000. Splazelo območje predstavlja star plaz. Sedanji plaz obsega območje dolžine 1290 m in širine 60 do 200 m ter leži med kotama 272 in 640 m. Površino plazu ocenjujemo na 15 ha. Obravnavano ozemlje ima tipično naravno zgradbo z značilnim karbonatnim pokrovom Trnovskega gozda in močno nagubano in tektonsko poškodovano nižjeležečo flišno serijo. Na površini so odloženi apnenčevi pobočni gruščni in preperina flišnih kamnin. Glavni razlog splazitve je obilno deževje v jesenskem obdobju leta 2000.

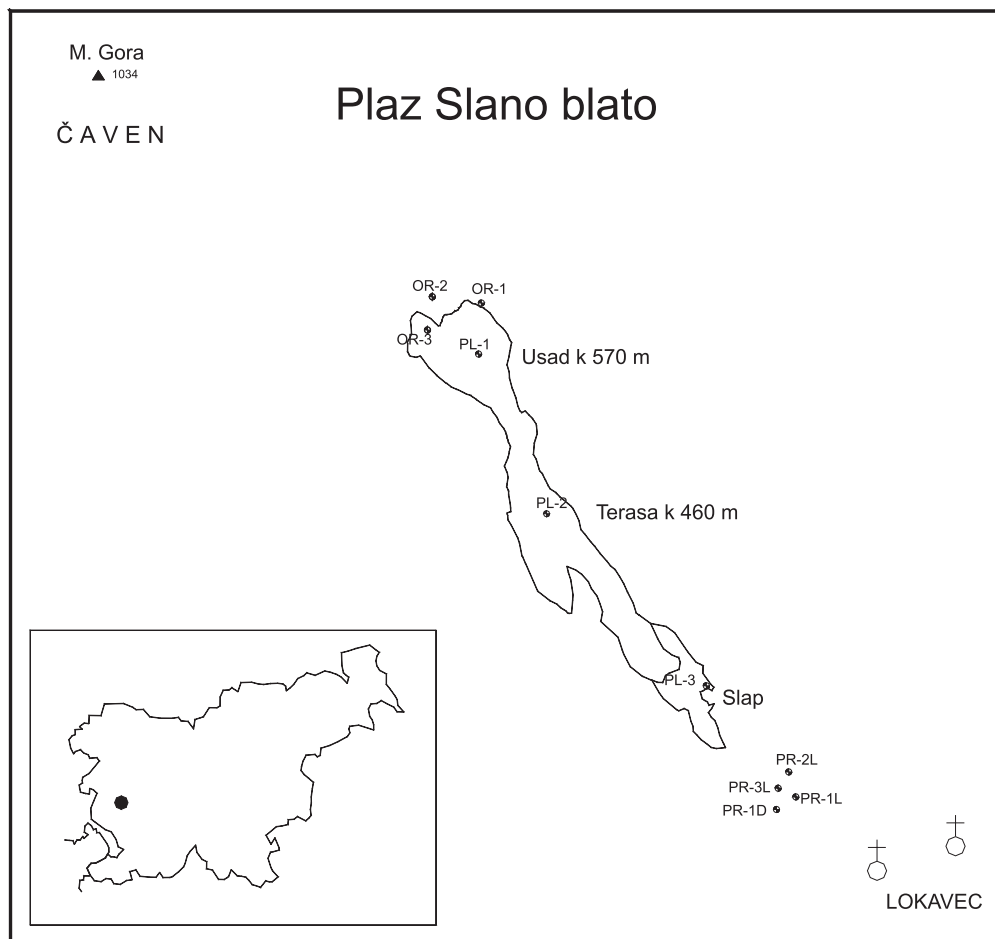
#### Abstract

Landslide Slano blato (Salty mud) is located under the Čaven Mountain on the slope cut by many steep mountains streams and gorges. Creeping at the area of Slano blato started on 18<sup>th</sup> of November 2000. Creep area is an old landslide. Landslide is 1290 m long and 60 to 200 m wide and is located on the altitudes of 270 m to 640 m. Landslide area is approximately 15 ha. As regarding geological structure, the complex of the Čaven Mountains is typical overthrust: the carbonatic series of *Trnovski Gozd* are laying over intensively folded and tectonically damaged *Vipava* flysch rocks. The landslide was most probably induced by heavy raining in autumn 2000.

#### UVOD

Plaz Slano blato je lociran v pobočju Čavna, ki predstavlja južni rob obsežnega naravnega pokrova, imenovanega Trnovski gozd (slika 1). Plaz gravitira po potoku Grajšček in njegovih pritokih, proti naselju Lokavec. Splazelo območje predstavlja star plaz, ki ga zgodovinski viri prvič omenjajo pred 200 leti. Takratne težave so bile omejene na

poplavljanje hudourniškega potoka, ki je z blatom zasipal kmetijske površine v dolini. Sanacijo plazu z ureditvijo hudourniških grap so dokončali leta 1903. Sedanji plaz, ki je zajel grapi dveh desnih pritokov potoka Grajšček, obsega območje dolžine 1290 m in širine 60 do 200 m in leži med kotama 272 in 640 m. Površino plazu ocenjujemo na 15 ha. Od naselja Lokavec je bil, pred pričetkom sanacijskih del, oddaljen približno 560 m



Slika 1: Skica plazu s položajem raziskovalnih vrtn

(09.09.01). Prostornino plazu ocenjujemo na 700.000 m<sup>3</sup>, vendar je v gibanju le del te mase. Ocenjujemo, da je bilo jeseni 2001 (pred sanacijo) v spodnjem delu nakopičeno 170.000 m<sup>3</sup> materiala.

Geološko geomehanske raziskave za načrtovanje sanacije plazu smo pričeli izvajati po naročilu Državne komisije za sanacije pri Ministrstvu za okolje in prostor RS, ki je tudi izdelala projektno nalogo za raziskave. Program geološko geomehanskih raziskav je obsegal:

- terensko kartiranje (strukturno, hidrogeološko in inženirskogeološko)
- raziskovalno vrtanje (10 vrtn)
- in situ preiskave v vrtnah
- geofizikalne meritve
- geomehanske laboratorijske preiskave in

- kabinetno obdelavo podatkov.

Terenska dela smo izvajali junija in julija 2001. Geofizikalnih meritev nismo opravili, zaradi slabega električnega in seizmičnega kontrasta, ki sta posledica specifičnih geoloških razmer.

## SPLOŠNE GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI

### Litostratigrafske razmere

Na obravnavanem območju nastopata dve osnovni litoški formaciji. Glavni dolomit in dachsteinski apnenec gradita trnovski pokrov, ki je narinjen na spodaj ležečo eocensko flišno formacijo, ki na obravnavanem območju gradi goriško-vipavski flišni sin-

klinorij. Osnovne kamnine prekrivajo več metrov debela plast pobočnega grušča in flišne preperine (kvartar).

### Tektonske razmere

V tektonskem pogledu leži ozemlje na meji med karbonatnim pokrovom Trnovskega gozda in flišnimi plastmi goriško – vipavskega sinklinorija. Karbonatni pokrov je narinjen na flišne plasti ob narivnici, ki na kartiranem ozemlju vpada pod kotom 5 stopinj proti zahodu. Narivnico sekajo subvertikalni dinarsko usmerjeni prelomi. Eden takšnih poteka preko Predmeje. Ožje območje plazu Slano blato lahko razdelimo na več manjših tektonskih blokov. Flišne plasti so mestoma, zaradi intenzivne tektonike v inverzni legi.

### GEOLOŠKO KARTIRANJE

Geološko kartiranje okolice plazu je opravil Geološki zavod Slovenije. Namen kartiranja je bil predvsem ločiti posamezne litološke sekvence znotraj eocenske flišne serije in locirati tektonske elemente, ki so vplivali na nastanek plazišča. Rezultati geološkega kartiranja so predstavljeni na karti v merilu 1: 2000.

### Geološke razmere na mestu nastanka plazu

Nad plazom, na koti 670 metrov nastopa vodonosni apnenec, ki je narinjen na flišne kamnine. Pod narivno ploskvijo se do kote 640 nahaja flišni peščenjak, ki je na izdankih kompakten. Peščenjak vpada pod kotom 10 stopinj v pobočje. Območje, kjer je prišlo do zdrsa, je med kotama 630 in 570 metrov. Sestavljeno je predvsem iz laporja, ki ga seka strma, prečno dinarsko orientirana prelomna cona, širine do 20 metrov z vpadom 55°–75° proti severozahodu. Pod njo so nagubane in pregnetene kamnine (prevladuje lapor nad peščenjakom).

Vse debelejšje plasti peščenjaka, ki jih najdemo v zgornjem delu plazu, vpadajo v pobočje. Na mestih nastopanja debelejših plasti peščenjaka so nastale značilne stopnje v terenu. Najbolj izrazita stopnja nastopa v spodnjem delu plazu, med kotama 300 m in 320 m, kjer je potok Grajšček oblikoval 16 m visok slap. S sedimentološkimi raziska-

vami smo dokazali flišni izvor kamnin, saj ti peščenjaki pripadajo biokalkarenitu.

Spodnji del pobočja je sestavljen večinoma iz laporja z dvema debelejšima plastema kompaktnega peščenjaka. Plasti vpadajo pod kotom 40°–50° proti severovzhodu. Slemenitev plasti poteka vzporedno s smerjo potoka Grajščka. Na levem bregu potoka je odložena več metrov debela plast grušča, zgrajenega in blokov apnenčevega peščenjaka, ki je ostanek podora iz preteklosti.

### HIDROGEOLOŠKE RAZISKAVE

Raziskave, ki jih je izvedel Geološki zavod Slovenije, so obsegale hidrogeološko kartiranje, meritve pretokov površinskih vodotokov, meritve v vrtnah in kemične analize vzorcev vode. Na osnovi hidrogeoloških raziskav je ugotovljeno, da se je plaz sprožil v izvirnem območju potoka Grajšček, ki je situirano v prelomni coni prečnodinarske smeri. Podzemna voda se pretaka po meji med flišno skladovnico in pobočnim gruščem pomešanim s preperino in skozi tektonsko razpokane flišne peščenjake. Na plazu voda izvira iz dveh virov: meteornege in podzemnege. Dotok podzemne vode je stalen, vendar predstavlja le majhen delež celoletne količine vode v potoku Grajšček. V sušnem obdobju dotok podzemne vode limitira proti ničelni vrednosti.

Material plazine je slabo vodoprepusten s koeficientom vodoprepustnosti reda velikosti  $10^{-6}$  do  $10^{-7}$  m/s. Ta lastnost je zelo slaba za dreniranje saj se voda v plazini zadržuje zelo dolgo in jo ohranja v židkem do polžidkem stanju, ki jo lahko dodatna količina padavin ponovno aktivira. Preperel lapor in lapor (glinen in meljast) imata koeficient vodoprepustnosti v redu velikosti  $10^{-7}$  do  $10^{-8}$  m/s, medtem ko ima peščenjak prepustnost reda velikosti  $10^{-6}$  m/s. Tektonsko pretrt peščenjak ima visoko vodoprepustnost  $10^{-3}$  do  $10^{-4}$  m/s, kar smo dokazali s črpalnim preizkusom. V materialu s tako prepustnostjo je možna izvedba učinkovitih drenaž, medtem ko je v materialu z nižjim koeficientom vodoprepustnosti učinkovitost drenaže slaba. S meritvami električne prevodnosti, pH faktorja in kemičnimi analizami je ugotovljena povečana mineralizacija vode na izviru Grajščka. Analiza je pokazala, da je v vodi raztopljenega veliko sulfata in precej natrija

ter kalcija, medtem ko je količina kloridnega iona majhna. Izvor sulfata lahko predstavlja oksidacija pirita, ki je prisoten v drobnorznatih klastičnih sedimentnih kamninah (glinovec, meljevec, lapor) ali pa se v zaledju izlužuje sadra. Pojavljanje kalcijevega sulfata in kalcijevega karbonata v območju plazu Slano blato je neugoden za dreniranje podzemne vode, ker pri spremembi fizikalnih pogojev ( $p_{CO_2}$ , pH) prihaja do obarjanja lehnjaka in s tem zmanjšanja učinkovitosti dnaž.

### GEOMEHANSKE LASTNOSTI MATERIALOV

Med izvajanjem vrtnalnih del smo odvzeli vzorce za direktne strižne preiskave, enoosno tlačno trdnost in točkovni trdnostni indeks. Poleg tega smo v spomladanskem času, med spremljanjem plazenja odvzeli tri vzorce splazelega materiala za direktne strižne preiskave.

Rezultati preiskav strižne trdnosti kažejo velik raztros rezultatov. Poprečna vrednost kohezije vzorcev iz vrtnin znaša  $24 \text{ kN/m}^2$ , medtem ko je poprečni strižni kot  $24^\circ$ . Vzorci plazine imajo poprečno kohezijo  $12 \text{ kN/m}^2$  in poprečni strižni kot  $23^\circ$ . Ugotovljamo, da je strižni kot plazine zelo podoben strižnemu kotu močno preperelih in pregnetenih laporjev na širšem območju plazu. Enoosna tlačna trdnost peščenjakov obsega vrednosti 10 do  $40 \text{ MPa}$ , medtem ko je v preperelih laporjih manjša od  $1 \text{ MPa}$ . Enoosno tlačno trdnost materialov smo določili tudi na osnovi točkovnega trdnostnega indeksa. Poprečne vrednosti enoosne tlačne trdnosti vzorcev glinastega laporja znašajo v diametralni smeri  $1,8 \text{ MPa}$  in v radialni smeri  $3,2 \text{ MPa}$ . Peščenjak in peščeni lapor imata poprečno vrednost enoosne tlačne trdnosti  $44 \text{ MPa}$ . Takšne vrednosti enoosne tlačne trdnosti so primerljive z vrednostmi dobljenimi s preizkusom enoosne tlačne trdnosti.

### Sestava splazelega materiala

Na odlomnem robu smo plazino preiskali z vrtninami OR-1, OR-2 in OR-3. Značilno za to območje je 1,5 do 3 m debel sloj zaglinjenega apnenčevega grušča, ki prekriva do 2,5 m debel sloj flišnega deluvija. V zgornjem delu plazine je material pomešan – apnenčev

grušč in preperela flišne kamnine. V močno zaglinjeni osnovi lebdijo tudi večji bloki peščenjaka in preperlega laporja. Količina apnenega grušča v plazini upada po pobočju navzdol. Material je zelo heterogen tako, da ga v geomehanskem smislu lahko opišemo kot CH – SC z gruščem do GC. Konsistenčno stanje materialov na površini se spreminja v odvisnosti od padavin. Po intenzivnem deževju je masa popolnoma židka. V sušnem obdobju se na površini ustvari trdna skorja, ki prenese gibanje gradbene mehanizacije.

### INŽENIRSKO GEOLOŠKE RAZMERE

Inženirsko geološke razmere v širši okolici plazu Slano blato so posledica specifičnih strukturno – tektonskih in hidrogeoloških razmer. V manjši meri so pogojene z klimatskimi razmerami in človeškim faktorjem. Do plazenja prišlo v neposredni bližini nariva Trnovskega gozda na vipavske fliše. Za to območje je značilna luskasta zgradba flišev, ki se kaže kot vrsta narivnih ploskev. Kamnine flišne serije so zaradi tega močno tektonsko poškodovane. Posledica tektonske poškodovanosti je večja vodoprepustnost in s tem v zvezi povečana intenzivnost preperevanja. Na ožjem območju plazu prekriva osnovne kamnine 1 – 5 m debel sloj deluvija – preperlega in transportiranega fliša. Nad plazom prekriva pobočje do 3 m debel sloj apnenčevega grušča. Krpe apnenčevega grušča in različno velike balvane apnenca sledimo po celotnem pobočju v širši okolici plazu. V celotnem pobočju se pojavlja več izrazitih slojev peščenjaka debeline 1 – 2 m. Takšni sloji so tik pod odlomnim robom na koti  $610 \text{ m}$ , na robu usada na koti  $570 \text{ m}$ , v območju zožitve drsnega kanala na koti  $540 \text{ m}$ , na mestu kjer se je plaz razcepil na koti  $420 \text{ m}$  in v območju slapa na koti  $300 \text{ m}$ . Na mestih pojavljanja peščenjaka so nastale izrazite stopnje v terenu. Naklon naravnega pobočja je odvisen od geološke zgradbe podlage in znaša  $8^\circ$  v spodnjem delu pobočja, nad vasjo Lokavec do  $36^\circ$  v apnenčevih gruščih nad plazom. Na mestu plazu je pobočje oblikovano v naklon  $17^\circ$  –  $18^\circ$ .

Na širšem območju plazu se pojavljajo površinski vodotoki, največji pa so Lokavšček, Kovaška voda, Suha grapa, Potok, Grajšček in Jovšček. Smeri grap so približno dinarske. Dotok podzemne vode je stalen, ven-

dar predstavlja le majhen delež celoletne količine vode v potoku Grajšček.

### Mehanizem plazenja

Odlomni rob plazu je nastal v močno zaglinjenem grušču apnenca in preperlega fliša. Na tem mestu je teren zamočvirjen (Slano blato). Grape desnih pritokov Grajščka, ki odvodnjavajo ta del pobočja so bile zaradi zapuščenosti manj pretočne. Po pripovedovanju domačinov (nepreverjeni viri) je leta 1987 bila poškodovana kaptaža na Slanem blatu. Od takrat izvorna voda zamaka to območje. Isti viri navajajo, da je območje že dalj časa labilno. Poglavitni neposredni vzrok splazitve so obilne padavine v jesenskem obdobju leta 2000. Meteorološka postaja v Lokavcu je namerila v mesecu novembru 592 mm/m<sup>2</sup> padavin, kar je dobra tretjina letnega poprečja v tem kraju (1400–1700 mm). Trend gibanja količine dnevnih padavin kaže, da je sproženje plazu sledilo dolgotrajnemu obdobju intenzivnih padavin. Kamnine so bile v tem času popolnoma prepojene z vodo. Zaradi tega so se poslabšale strižne karakteristike, povečali so se porni tlaki in povečala teža gruščnatega materiala na neprepustni flišni podlagi. Pri razvoju plazu ločimo več faz:

- Plaz se je sprožil v zgornjem delu 18.11.00. Ta faza je trajala do 23.11.00. Domnevam, da se je plaz sprožil najprej na območju usada na koti 570 m. Od tu je splazeli material potoval po strugi potoka Grajšček v območje terase na koti 460 m, ki je oddaljeno 400 m od usada. Zaradi velike količine vode je material postal popolnoma razmočen in židek in zdrsel navzdol. Zaradi izgube podpore se je z nekajdnevno zamudo premaknilo tudi območje nad usadom. Proces sukcesivnega plazenja navzgor se je nadaljeval do današnjih dni.

- V drugi fazi, ki je neposredno sledila prvi, 23.11.00 do približno 18.12.01 se je zaradi velike dodatne obtežbe splazelih mas na območju terase na koti 460 m, destabiliziralo nižjeležeče pobočje. Čelo plazu je potovalo z začetno hitrostjo približno 60–100 m/dan, ki se je v nekaj dneh zmanjšala na nakej metrov dnevno. Zaradi velikih pritiskov splazele mase iz ozadja se je plaz na grebenu peščenjaka na območju terase razcepil v dva kraka. Čelo plazu se je opravilo pot 300 m in se ustavilo na koti 380 m. Na

območju terase na koti 460 m je nastalo blatno jezero.

- Nakopičeni material je dosegel kritično maso in povzročil ponovno plazenje spodnjega dela plazu 20.03.01. Ta faza sovpada s povečano intenzivnostjo padavin meseca marca. Čelo plazu je potovalo s hitrostjo nekaj deset metrov dnevno in se ustavilo 25.04.2001. Pri tem je opravilo 330 m dolgo pot. Na svoji poti je splazeli material zasul tudi slap. Hkrati so se pojavile nove natezne razpoke 100 m nad starim odlomnim robom po padnici pobočja navzgor. Zaradi intenzivnega odlamljanja posameznih delov usada se je njegova dolžina zmanjšala iz prvotnih 100 m na 50 m. Po zaustavitvi čela plazu se je nadaljevalo premikanje mas znotraj plazu. Material iz usada je drsel do terase na koti 460 m. Ko se je tu nabrala kritična masa je nakopičeni material začel drseti navzdol proti slapu. Ob koncu julija in v začetku avgusta 2001 smo opazovali zelo aktivno plazenje v spodnjem delu. Material iz območja črpališča je v celoti zdrsel navzdol tako, da je drsni kanal ostal prazen.

- Meseca oktobra 2001 so se pojavili blatni tokovi. Zaradi velikih količin dežja in zastajanja vode na terasah se je del splazelega materiala spremenil v židko maso, ki se je s hitrostjo nekaj metrov na sekundo prelivala med terasami. Večji tokovi so dosegli naselje Lokavec.

### PADAVINE NA OBMOČJU PLAZU SLANO BLATO

Za mesec oktober in november leta 2000 so značilne obilne padavine. Dnevni maksimum v obdobju oktober 2000 – september 2002, 97 mm/dan, je bil dosežen 4.7.2002. Dejansko je ta količina padavin padla med nevihto v času dveh ur. Akumulirane 25 dnevne vrednosti so v letih 2001 in 2002 bistveno manjše kot oktobra in novembra 2000. Meseca septembra 2001 se čelo plazu ni premaknilo. Takrat smo opazovali velike premike mas znotraj meja plazu. Na osnovi analize podatkov o padavinah ugotovimo, da dnevne količine padavin niso neposredni prožilni mehanizem plazenja. Do sprožitve je prišlo pri zelo veliki akumulirani količini padavin (vsota padavin v obdobju 25 dni). Pri kasnejših premikih je potrebna količina padavin bila bistveno manjša.

## PREGLED IZVEDENIH SANACIJSKIH DEL

Namen sanacijskih del je bil izboljšati varnostne razmere v kraju Lokavec. Ker stabilizacija tako velike količine materiala, na tako veliki površini ni možna, smo se odločili za preventivne ukrepe, ki so obsegali:

- interventni odvoz 200.000 m<sup>3</sup> materiala
- izdelavo kamnite pregrade za ublažitev udarnega vala blatnega toka
- izravnavo površine in zatesnitev odprtih razpok s pregrupacijo mas v območju odlomnega roba in zgornjega dela plazu
- izdelava odvodnjevalnih kanalov in drevaž predvsem v okolici odlomnega roba
- zajetje izvirov v okolici odlomnega roba in na usadu.

Na osnovi redne spremljave plazu ugotavljamo, da so se razmere na plazu v letu 2002 izboljšale. Premiki mas znotraj plazu so bistveno manjši. Razmere ob novih razpokah nad odlomnim robom so umirjene. Meteorne vode so oblikovale površinske kanale in ne zamakajo plazine v tolikšni meri kot v minullem letu. Izboljšanje razmer lahko pripišemo predvsem interventnim sanacijskim ukrepom in srečnemu naključju, da je v letu 2002 padavin manj kot v letu 2001. Zato menimo, da je izvajanje nadaljnjih sanacijskih ukrepov smiselno, saj bi ob ponovnih obilnejših padavinah lahko prišlo do reaktiviranja celotne plazine.

## ZAKLJUČKI

Plaz Slano blato sodi med največje pojave nestabilnosti površja, ki so se zgodili v zadnjem desetletju v Sloveniji. Zaradi tega smo, po naročilu Državne komisije za sanacije pri Ministrstvu za okolje in prostor RS, pristopili k raziskavam, na osnovi katerih je bil pripravljen program nujnih sanacijskih ukrepov za zmanjšanje ogrožanja naselja Loka-

vec. Izvedli smo minimalen okvir geoloških, hidrogeoloških in geomehanskih raziskav.

Na osnovi takšnih ugotovitev smo se odločili za program interventnih sanacijskih ukrepov, ki je obsegal:

- izdelavo kamnite pregrade za ublažitev udarnega vala blatnega toka
- izravnavo površine in zatesnitev odprtih razpok s pregrupacijo mas v območju odlomnega roba in zgornjega dela plazu
- izdelava odvodnjevalnih kanalov in drevaž predvsem v okolici odlomnega roba
- zajetje izvirov v okolici odlomnega roba in na usadu

Poleg tega smo se odločili za interventni odvoz 200.000 m<sup>3</sup> materiala. S temi ukrepi je bistveno izboljšana varnost naselja Lokavec.

Za končno sanacijo plazu bo potrebno ustaviti premike zemljinskih mas. Odločitev o načinu sanacije bo sprejeta, ko bodo znani rezultati interventnih sanacijskih ukrepov.

Novembra leta 2002 je na območju Lokavca padlo 246 mm padavin, kar je povzročilo ponovno intenzivno plazenje v drugi polovici meseca decembra. Največje premike opazamo v območju odlomnega roba in usada. Uničeni so vsi objekti za odvodnjevanje. Na površini plazu nastaja židko blato, ki v obliki različno gostih tokov teče po strugo Grajščka. Blatni tokovi so postali pogosti in intenzivni.

## LITERATURA

Buser, S. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000, List Gorica L 33 – 78. – Zvezni geološki zavod, Beograd.

Buser, S. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000, List Gorica L 33 – 78. Tolmač lista Gorica – Zvezni geološki zavod, Beograd.

Kočevar, M., Lapanje, A., Prestor, J., Budkovič, T., Ogorelec, B. & Sotlar, K. 2001: Poročilo o geoloških, hidrogeoloških in geomehanskih raziskavah na plazu Slano blato, Geoinženiring, Ljubljana.

NN 1887. Izpod Slanega blata, izrez iz časopisa Soča, št. 10, 04.03.