

PLAZ V ZAGORJU VZROKI IN POSLEDICE

Dušan Kuščer* Ivan Sovinc** Franc Vidic*** Silvan Vidmar****

Na osnovi razpoložljivih podatkov o montan-geoloških razmerah v rudniku rjavega premoga Zagorje ob Savi, o načinu odlaganja jamske in separacijske jalovine na odlagališče Ruardi, o geomehanskih značilnostih podlage in jalovine, o hidroloških razmerah ter na osnovi ugotovitev avtorjev članka, ki so strokovno spremljali dogajanje, je popisan plaz jalovine, ki se je sprožil februarja 1987 na odlagališču Ruardi. Značilno za plaz je, da se je pretežno glinasta jalovina zasitila z vodo in plazina je dobila značaj zemljinsko blatnega toka. Ta sprememba konsistenčnih značilnosti glinaste razkrojine je imela za posledico veliko hitrost premikanja predvsem čela plazine, ki se je ustavilo šele po okrog 235 m na ravninskem delu, potem ko je prešlo položno, deloma pozidano grapo in pri tem porušilo vse, kar mu je bilo napoti.

Dne 18. 2. 1987 ob 17.45 se je po enotenskem deževju in dolgotrajnem taljenju snega, ki ga je sredi januarja namelo prek 100 cm, sprožil na odlagališču jamske jalovine Ruardi nad Zagorjem ob Savi plaz širine okrog 250 m in dolžine okrog 150 m. Jalovino odlagajo na pobočje hriba Ruardi, ki leži na levi (severni) strani zgornjega, širokega dela kratke stranske doline (grape) zahodno od potoka Kotedreščica in nad delom naselja Farčnikova kolonija, že več kot 100 let.

Jugovzhodni del z odlagališčem pokritega pobočja je amfiteatralne oblike z generalnim padcem proti jugovzhodu. Povprečen naklon tega pobočja je v zgornjem delu okrog 25° , v spodnjem pa okrog 8° . Vzhodno pobočja tvori dno širše grape, ki pada v naklonu okrog 8° v smeri proti vzhodu, to je proti cesti Zagorje—Trbovlje. Grapa se v spodnjem delu zoža, ustje nekoliko razširjene grape neposredno nad cesto pa je bilo pozidano s stanovanjskimi hišami in več začasnimi manjšimi objekti. Po sredini okrog 250 m široke ravnine pod cesto do nasproti ležečega blagega pobočja teče potok Kotedreščica. Vzhodni oziroma severovzhodni del z jalovino pokritega pobočja hriba Ruardi pa pada generalno proti severovzhodu. Med obema pobočjema je greben, ki ima v zgornjem delu približno smer vzhod-zahod, v spodnjem delu pa pada proti jugovzhodu vse do ceste Zagorje—Trbovlje. Spodnji del tega grebena ni zasut z jalovino.

Na opisano območje severno od ceste so odlagali jamsko in separacijsko jalovino iz rudnika rjavega premoga, od leta 1971 dalje pa je bilo tu tudi odlagališče komunalnih odpadkov. Po grobih cenitvah je bilo na odlagališče vsako leto navoženo prek 6 milijonov m^3 jalovine in okrog 38.500 m^3 komunalnih odpadkov. Odložena jalovina je bila formirana tako, da je bil njen vrh na koti približno $+330$. To je prostrani plato z blagim nagibom proti severovzhodu zaradi otekanja padavinske vode. Od robov platoja je pobočje jalovinskega nasipa padalo generalno v dveh smereh: od jugovzhodnega robu, ležečega nad amfiteatralno izoblikovanim jugovzhodnim pobočjem v povprečnem naklonu 16° — 18° , v smeri proti jugovzhodu, od severovzhodnega robu pa v naklonu približno 10° v smeri proti vzhodu. Jalovišče pokriva danes okrog 11 ha.

Plaz je zajel le južni del odlagališča jalovine. Kot kažejo dosedanje analize, je odložena jalovina zdrsnila v smeri proti jugovzhodu po pobočju hriba Ruardi. Večji, severovzhodni del odlagališča se ob splazitvi ni premaknil, a kaže na mnogih mestih znake manjših premikov.



S plazino zasut zoženi del grape. Plaz se premika proti cesti Zagorje—Trbovlje.

Pod odlagališčem se razteza v smeri vzhod—zahod slojišče rjavega premoga s toplotno vrednostjo 10 do 20 MJ/kg. Slojišče je razvito v obliki sinklinale. Debelina premogovega sloja se menja od 4 m do okrog 30 m in sega do okrog 500 m pod površje. Širše območje odlagališča v področju jame je bilo od pričetka odkopavanja premoga pred okrog 180 leti z vsemi krovinskimi plastmi in deloma tudi v talnini izpostavljeno vplivom odkopavanja. Posledica tega so dolgotrajni procesi rušenja in morfološke spremembe površja, poslabšanje geomehanskih karakteristik krovinskih hribin in spreminjanje hidroloških pogojev.

Plazenje jalovine se je v glavnem umirilo do 24. 2., to je po približno 6 dnevih. V tem času se je čelo plazine premaknilo za okrog 235 m po zoženi grapi nad cesto proti ravninskemu delu pod njo skoraj do prestavljene struge Kotedreščice. Pri tem je bilo porušeni 8 stanovanjskih hiš, rud-

niška kompresorska postaja, 2 večji delavnici, nekaj manjših začasnih objektov in delovna hala tovarne konfekcije Lisca. Pretrgana je bila komunalna oprema dela naselja Farčnikova kolonija, zasuta cesta Zagorje—Trbovlje na dolžini okrog 50 m in v višino okrog 15 m; pretila je nevarnost, da bo plazina zasula strugo Kotedreščice in povzročila poplavo, ki bi med drugim lahko povzročila vdor vode v jamo. Ogroženih je bilo še več stanovanjskih hiš, tako da so morali stanovalce iz varnostnih razlogov izseliti. Na vrhu odlagališča je bil ob odlomnem robu plazu uničen plato strelske družine, na severovzhodnem delu pod odlomi pa kinološki poligon. V času intenzivnega plazenja je predvsem 20. in 21. 2. spet močno deže-

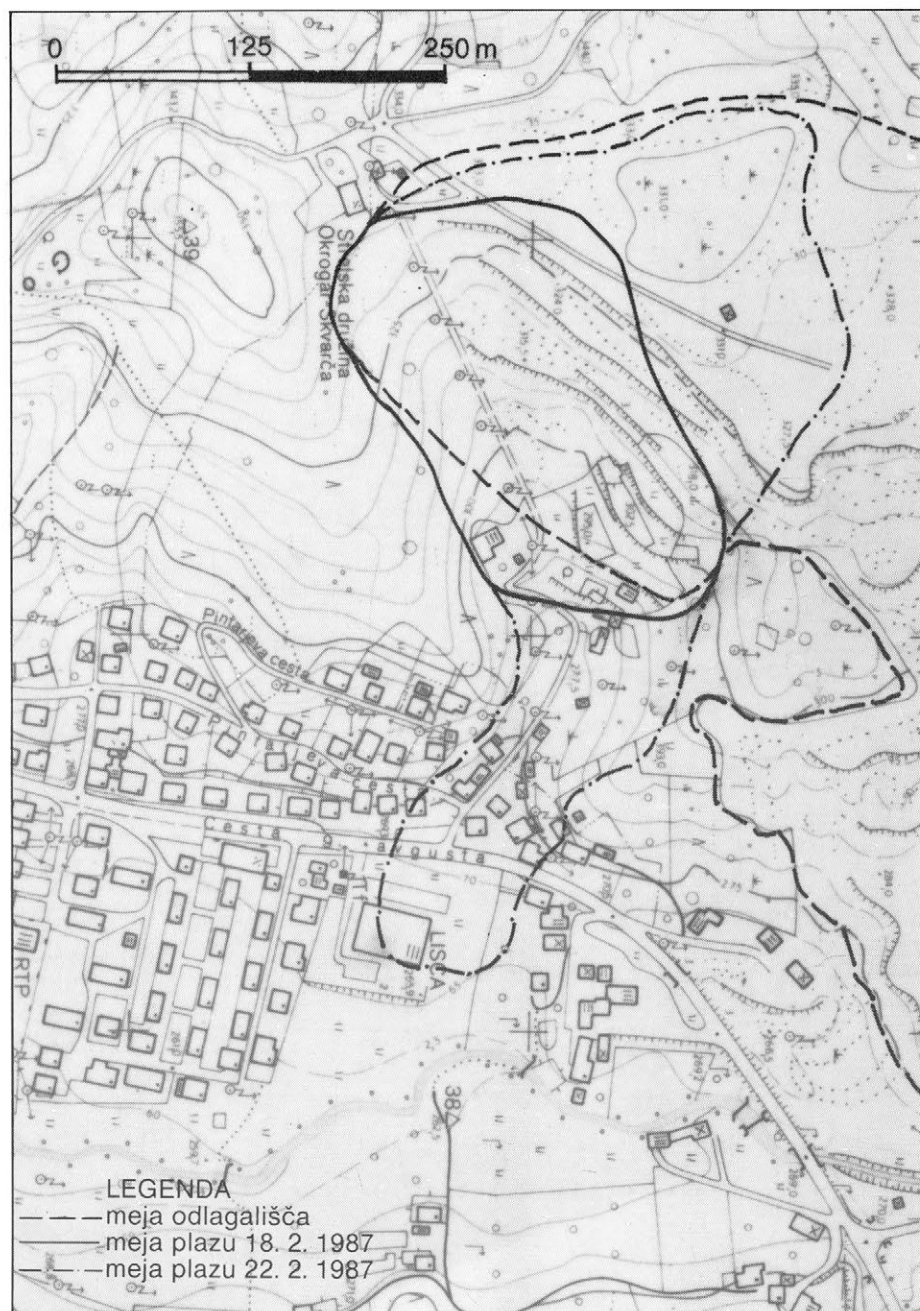
valo in med dežjem je naletaval moker sneg. Dne 22. 2. se je vreme izboljšalo, padavine so ponehale, temperatura zraka je padla pod 0°C . Ob teh ugodnejših meteoroloških razmerah in ob prvih sanacijskih ukrepih (predvsem odvajanje vode s plazišča) je v naslednjih dveh dneh prišlo v glavnem do umiritve plazenja.

Dinamika plazenja

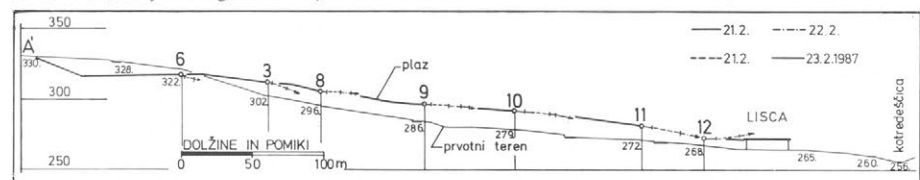
Na situacijski karti na sliki 1 je prikazana kontura odlagališča Ruardi in vrisan obseg prve (primarne) zdrsnitve ter stanje plazine potem, ko se je plaz 24. 2. praktično umiril. Karta je iz leta 1978 in je v izvirniku v merilu 1 : 5000. Žal ne obstajajo ali pa niso dosegljive novejša ažurirane geodetske podloge, topografski podatki o podlagi odlagališča, meritve pogrezanja površja nad odkopnimi polji, obseg zasi-

* Dr., Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Univerza E. Kardelja, Aškerčeva 9a, Ljubljana.

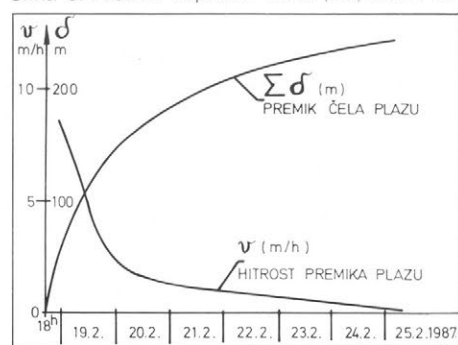
** Dr., Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Univerza E. Kardelja, Aškerčeva 9a, Ljubljana.



Slika 1. Situacija odlagališča in plazu Ruardi.



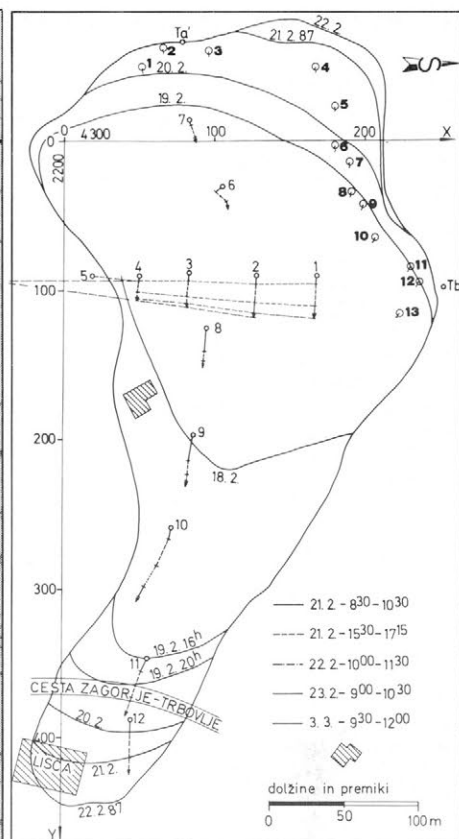
Slika 3. Premiki repernih točk, projicirani na profil točk.



Slika 4. Premik čela plazu in hitrost plazu od 18. 2. do 25. 2. 1987.

*** Dipl. inž., Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij, Dimičeva 12, Ljubljana.

**** Dr., Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza E. Kardelja, Jamova 2, Ljubljana.



Slika 2. Smerni premiki točk, postavljenih na plazu dne 21. 2. 1987, in meje plazu po datumih.

darno) pa si tolmačimo takole. Ob platoju odlagališča so po primarni splazitvi jalovine nastali tudi prek 10 m visoki in zelo strmi odlomi. Splazela masa se ni umirila, ampak se je še naprej lomila, rušila in gubala. Sekundarne razpoke so se na površju že splazele jalovine pojavljale vse višje prav do vznožja strmih visokih odlomov, zato so postale nestabilne še nove mase dotlej nepremaknjene jalovine za odlomnimi robovi na vrhu odlagališča. Sledili so novi odlomi, ki so se od primarnega odloma širili vse bolj proti severu in proti zahodu. Zahodno od primarnega odloma se je njihova smer vse bolj približevala smeri sever-jug, severno od primarnega odloma pa smeri vzhod-zahod. Plaznina je zaradi stalnega močnega dotoka vode iz izvirov v odlomnih brežinah in izpod njih, pa tudi zaradi novih padavin ter vedno novih razpok in njihove goste razprezanosti, postajala vse bolj rahla in vse bolj zasičena z vodo. Dobila je značaj zemljiško blatnega toka. Ta sprememba konsistenčnih lastnosti grud jamske jalovine od prvotno trdne do poltrdne vse do mehko plastične ali celo židke je imela za posledico veliko hitrost premikanja (tečenja) predvsem njenega čela. Najprej se je čelo usmerilo proti jugovzhodu, nato pa proti zoženim nepremaknjenim grapi. Čeprav je imelo dno grape blažji nagib (okrog 8°), je plazina spremenila smer gibanja in se je ustavila šele na ravlini pod tovarno Lisco, kot se vidi na sliki 1.

Na sliki 2 podajamo vektorje smernih premikov več točk, ki so bile postavljene na plazu 21. 2. dopoldne, do meritev dne 3. 3. popoldne. Poleg generelne smeri premikanja plazine proti grapi se vidi njeno rahlo povijanje v zgornjem širšem delu pod odlomnimi robovi ter večja hitrost

premikanja po zmanjšanjem prečnem profilu ozke grape. Pregledno sliko daje tudi prikaz vertikalnih premikov repernih točk, ki so v območju primarne zdrsne še vedno usmerjeni rahlo v globino, izven njega pa so vzporedni s površjem premikajoče se razmočene plazine (slika 3).

Na sliki 2 so vrisane približne meje plazine tudi za 19., 20., 21. in 23. februar ter največji vodni izviri v plazini pod odlomnimi robovi.

Na sliki 4 so v odvisnosti od časa (dni plazenja) narisani približno ocenjeni premiki čela plazine in približne hitrosti plazenja. Vidimo, da je bila hitrost premikanja čela plazine nekaj ur po aktiviranju plazu velika (med 10 in 5 m/uro). Zato so prve stanovalce evakuirali iz ogroženih hiš že po eni uri, po dveh urah pa so odnesli iz njih še opremo in drugo. Ob 21. uri so prekinili delo v tovarni Lisca ter pričeli odnašati osnovna sredstva iz tovarne. V zgodnjih jutranjih urah naslednjega dne je bila hitrost premikanja čela plazine še vedno okrog 5 m/h in do 7. ure zjutraj so bile porušene že 4 stanovanjske hiše. V teku istega dne so bile porušene še 4 hiše. Ponoči od 19. na 20. 2. je plazina prešla cesto Zagorje—Trbovlje. Dne 21. 2. je bila skoraj v celoti porušena tovarniška hala Lisce, hitrost premikanja čela je bila okrog 1 m/h. V naslednjih dneh pa se je čelo plazine pod tovarno ustavilo. Porušeni objekti so na sliki 1 temno pobarvani.

Geološki podatki s področja plazu in okolice

Plaz Ruardi leži na območju premogonosnih terciarnih plasti, ki tvorijo tako kot v večini ostalih zasavskih premogovnikov tudi pri Zagorju ozko, a globoko kadunjo. Izdanki premoga so na območju plazu in v njegovi okolici le malokje vidni, skoraj povsod so pokriti z jalovišči, s plazom ali preperino. Njihov potek pa lahko ugotovimo po rudniških odkopnih kartah, po podatkih raziskovalnih vrtin na območju plazu in po maloštevilnih izdankih (sl. 5). Upoštevati moramo, da se je zaradi odkopavanja prvotna širina izdankov občutno zmanjšala in da so se geološke meje na krovni strani premoga bolj ali manj premaknile.

Plaz pokriva premogov sloj v dolžini okrog 300 m. Izdanki potekajo od južnega (desnega) konca odlomnega roba na zgornji etaži jalovišča poševno navzdol pod plaz in dosežejo severni (levi) rob plazu v oddaljenosti okrog 120 m od ceste Zagorje—Trbovlje. Sloj premoga vпада z okrog 60° proti severu. Širši, zgornji del plazu leži torej nad rudniškimi odkopi, ožji spodnji del pa sega prek izdankov premoga na njegovo talninsko stran.

Premogov sloj je v zgornjem delu boljši, navzdol proti talnini pa postaja zaradi čedalje večje primesi pepela čedalje slabši. Prvotno so odkopavali le zgornji, boljši del sloja, ki je bil na območju plazu debel okrog 20 m. Šele l. 1986 so pričeli odkopavati tudi spodnji, slabši del sloja pod že prej odkopanim zgornjim delom sloja. De-



Pogled z levega roba plazu navzgor.

belina tega spodnjega, slabšega dela sloja je okrog 15 m.

Pod premogom leže talninske plasti. Sestavljene so pretežno iz gline, ki je tik pod premogom temnosive do črne barve (črna talnina), v večji oddaljenosti od premoga pa svetlosive do skoraj bele barve (bela talnina). V beli talnini so pogostni vložki peska in zaglinjenega proda.

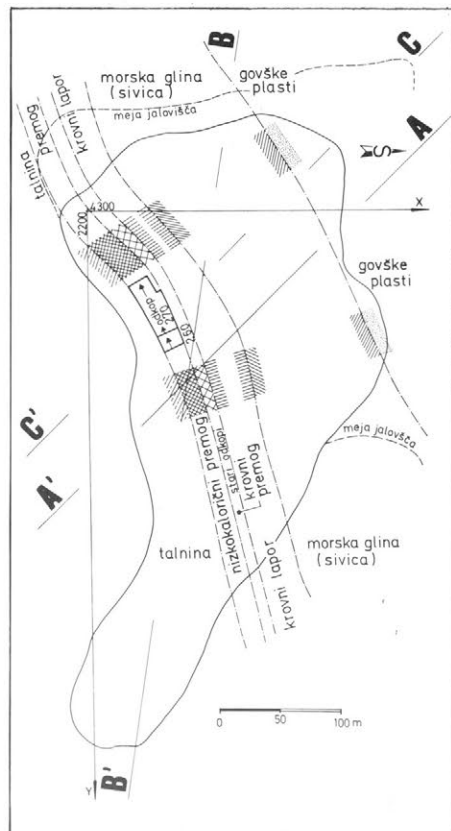
Nad premogom sledi najprej krovni lapor, povečini sorazmerno trden, siv, plastovit. V vodi le malo nabreka, zato je v rušnem območju rudnika za vodo bolj ali manj prepusten. Debelina krovnega laporja je okrog 50 m.

Nad krovnim laporjem sledi brez ostre meje morska glina (sivica). To je siva laporasta glina, ki vsebuje pogosto primesi andezitskega tufa in montmorillonita. Dokler ni v stiku z vodo, je trdna, v stiku z njo pa nabreka in se spremeni v plastično maso z nizko trdnostjo. Na površini se zato pogosto pojavljajo plazovi na morski glini. Če rušni procesi nad rudarskimi odkopi niso prehitri, je morska glina zaradi nabrekanja dober izolator pred vodo iz višje krovne.

Nad morsko glino leže govške plasti, katerih sestava je bolj pestra. Na območju pod jaloviščem se menjavajo plasti gline, peščene gline in peska. Zaradi večje vsebnosti peska so pobočja v govških plasteh sorazmerno stabilna.

Ob severnem robu jalovišča se pojavljajo nad govškimi plastmi še mlajše, sarmatske plasti, ki so v spodnjem delu sestavljene iz proda in konglomerata, nad katerim sledijo nato plasti tanko plastovitega laporja, peska in gline.

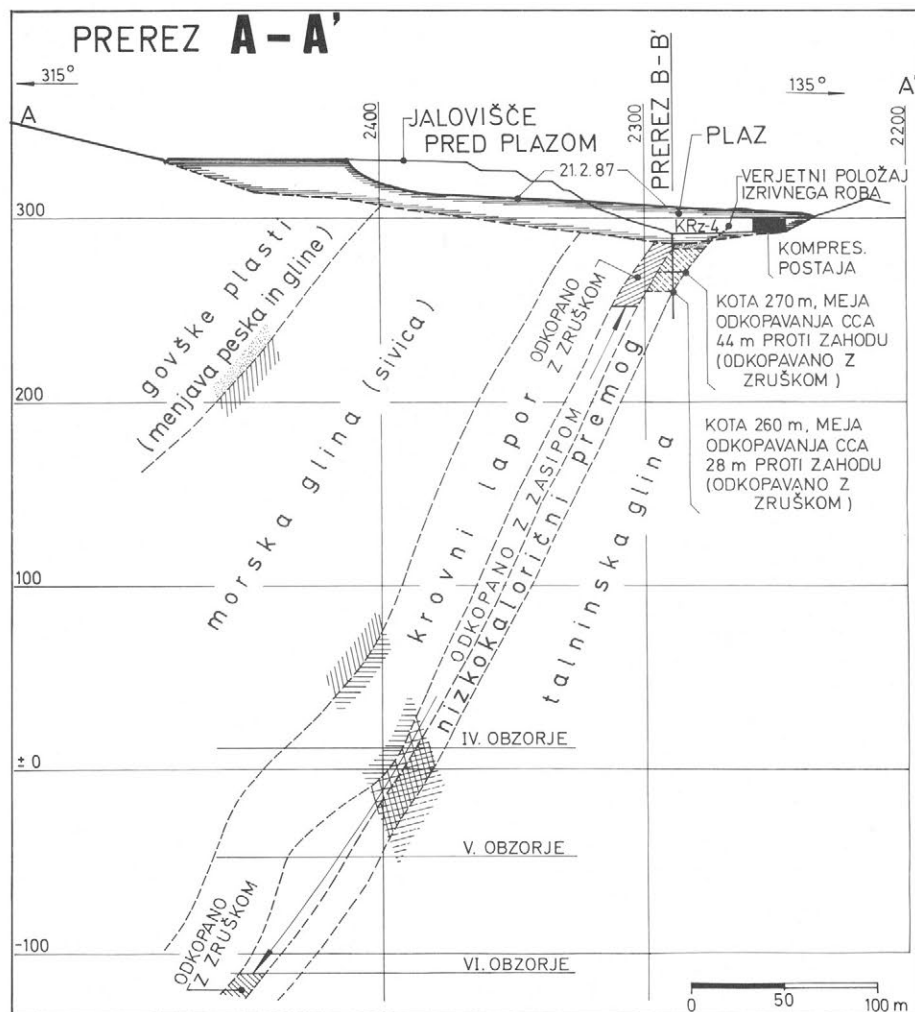
Vse plasti vpadajo vzporedno s premogovim slojem s 60° do 65° proti severu (slika 6). Pod jaloviščem tvorijo pasove, ki so bolj ali manj vzporedni s premogovim slojem. Območje pred odlaganjem jalovine ni bilo podrobneje geološko kartirano, zato poznamo potek geoloških mej pod jaloviščem le približno po položaju mej izven jalovišča in po podatkih vrtin, ki so navrtale podlago plazu oz. jalovišča. Pri tem lahko ugotovimo, da je odlomni rob plazu



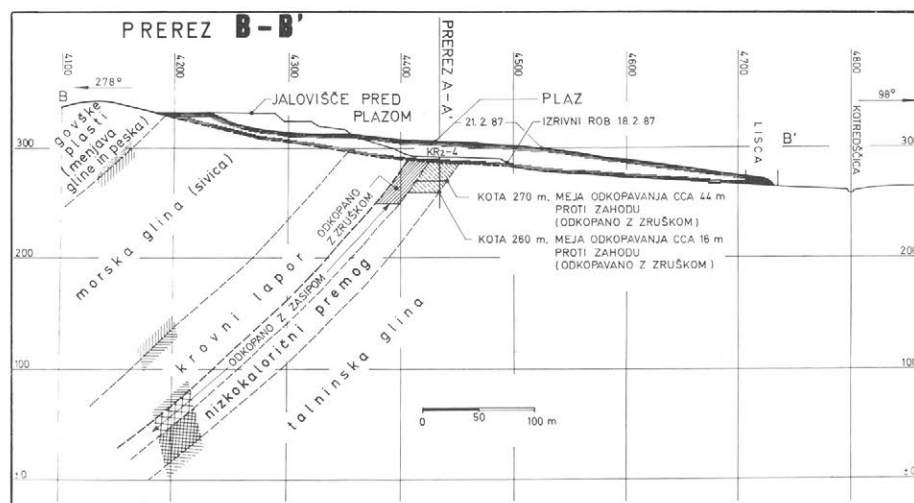
Slika 5. Geologija podlage plazu.

v večjem delu blizu meje med morsko glino in govškimi plastmi.

Podatkov o prvotni obliki površine, ki tvori danes podlago jalovišča in plazu, je v južnem delu pod sedanjim plazom le malo. Več jih je na območju pod severnim delom jalovišča. Pri starejših podatkih moramo upoštevati, da se je ta oblika zaradi pogreznjenja nad rudarskimi odkopi precej spremenila. Točnejše podatke imamo zato le na mestih, kjer so to podlago ugotovili z vrtinami. Po teh podatkih je vrisana podlaga jalovišča in plazu na slikah 5, 6 in 7. Vsi ti podatki kažejo, da je med območjem plazu in med severovzhodnim, še nepre-



Slika 6. Geološki prerez A — A'.



Slika 7. Geološki prerez B — B'.

maknjenim delom jalovišča greben podlage, ki se dviga do okrog 10 do 15 m pod vrhno etažo jalovišča. Prvotna podlaga je torej na območju plazu nagnjena v smeri plazenja. Po podatkih o prvotni površini in površini jalovišča sklepamo, da je bila debelina jalovišča na območju plazu največ okrog 25 m.

Sestava plazine je na vsem območju bolj ali manj enaka. V glavnem je iz temnosive do črne plastične talninske gline, ki vsebuje manjše in večje drobce trdnih kamnin, pogosto rdečkaste kose žganega

krovnega laporja, kose sivega laporja, peščenjaka, dolomita, jamskega lesa idr. Le na redkih mestih se pojavlja v plazini tudi sivozelenkasta glina, ki je podobna prepereli morski glini. Ta izvira iz jamskih raziskovalnih del v višji krovlini, na nekaterih mestih pa morda tudi iz neposredne podlage jalovišča, ki je bila odtrgana pri plazenju. Majhna množina tega materiala kaže, da plaz nikjer ni zarezal globlje v podlago.

Odkopavanje na območju jalovišča

V začetku eksploatacije so odkopavali premog s stebrno zarušno odkopno metodo z višine 3 m plitvo pod površjem. Ta premog je kvaliteten in vsebuje malo pepela. Pri tem so na površju nastajajoče ugreznine zasipavali z jalovino iz jame. Po letu 1900, vse do leta 1968, so odkopavali premog pod predhodno odkopanimi površinskimi polji pod koto +254 v globino do kote okrog -110 s širokočelno oziroma stebrno odkopno metodo s splavnim zasipom. Zdaj odkopavajo premog pod koto -110 z odkopno metodo s povečano odkopno višino 8 do 10 m in celo več, od leta 1968 pa tudi talni del nizkokaloričnega dela sloja, ki vsebuje mnogo pepela, s stebrno zrušno metodo tik pod površino, in sicer pod že odkopanimi deli boljšega premoga. Odkop poteka v vzhodnem krilu na kot +283 proti severozahodu, odkop na koti +276 v smeri proti severovzhodu pa je bil takoj po sprožitvi plazu iz varnostnih pogojev prekinjen. Ta odkop je namreč segal le okrog 10 m od vznožja jugovzhodnega roba odlagališča v smeri grebena na desni strani. Napredek širokočelnega odkopa je bil na tem mestu meseca decembra 1986 0,56 m/dan, januarja 1987 0,71 m/dan in februarja 1987 (pred nastankom plazu) 1 m/dan. Posledice tega odkopavanja, deloma pa tudi vpliv odkopavanja globljih slojev premoga, so bili veliki pogrezki površja predvsem neposredno nad odkopi. Nastale ugreznine so večinoma sproti zasipavali z jalovino iz separacije. Krovni rušni kot v smeri gornjega dela odlagališča je sam okrog 25°, smerni rušni kot pa okrog 60°.

Potek in način odlaganja jalovine na odlagališče Ruardi

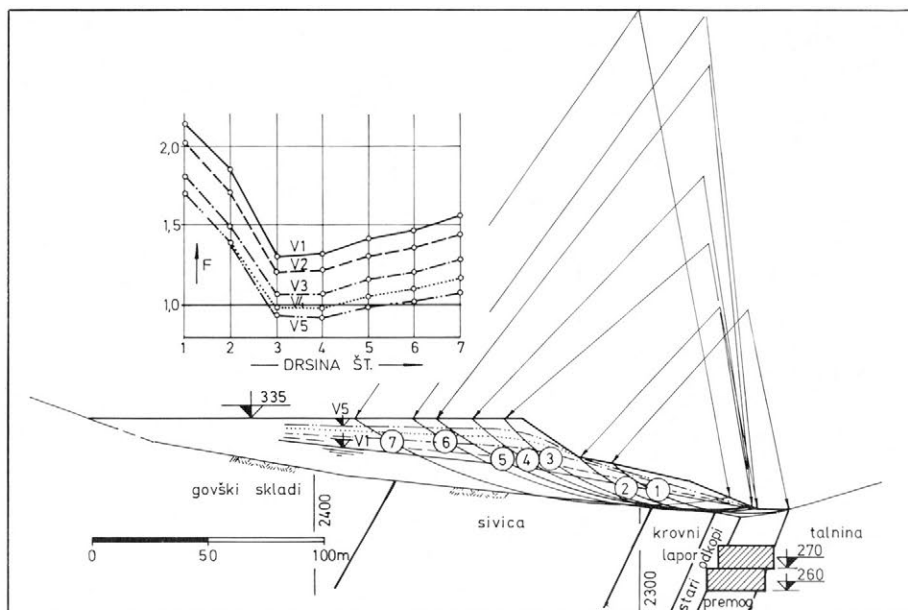
Za popis poteka in načina odlaganja jamske in separacijske jalovine na območju odlagališča Ruardi so nam bili na voljo podatki v arhivu Rudnika Zagorje. Iz teh podatkov smo povzeli, da so pričeli odlagati jalovino na območju odlagališča Ruardi istočasno s pričetkom odkopavanja v jami Kotedrež v delu premoškega sloja (samo v predelu s kvalitetnim premogom iznad nivoja kotedreškega rova). V tem času, to je po letu 1870, so zasipavali le ugreznine na površju, ki so nastale zaradi odkopavanja dela sloja s stebrno zrušno odkopno metodo pri odkopni višini 3 m. Tedaj so odkopavali premog v neposredni bližini pod površjem. Ko so pričeli odkopavati z zasipom, nekako v letu 1900, so prenehali odlagati jalovino na odlagališče Ruardi, ker pač za to ni bilo potrebe. Pričetek formiranja odlagališča sega v leto 1930. Jamsko in separacijsko jalovino so odlagali po projektu, ki ga je potrdilo

24 tedanje Rudarsko glavarstvo (v letu 1936 — projekt je v arhivu rudnika). Do leta 1935 sta bili zapolnjeni z jalovino prvi dve etaži:

I. etaža na koti +291 in II. etaža na koti +299,81, ki je imela višino odlaganja 8,6 m;

III. etaža za odlaganje pa je bila na koti 317,4 pri višini odlaganja okrog 17 m.

V odobrenem projektu odlagališča so bili določeni glavni parametri odlagališča pri kotu etaž odlagališča 45° z vmesnimi bermami širine 10 m, tako da je bil povprečni nagibni kot odlagališča 33° . Skupno so odložili na I. etažo $29\,900\text{ m}^3$ jalovine, na drugo etažo $113\,000\text{ m}^3$ in na III. etažo $698\,000\text{ m}^3$ jalovine. To odlagališče so uporabljali do leta 1946, ko so pričeli odlagati jalovino na IV. etažo. V letu 1952 so pričeli odlagati rudniško jalovino po novem, tudi odobrenem projektu, na tako imenovano vzhodno jalovišče hriba Ruardi. Letna količina jalovine je bila tedaj ocenjena na $111\,300\text{ m}^3$, pri čemer so jamsko jalovino iz obrata Kisovec ($37\,200\text{ m}^3$) odvažali na jalovišče Loke. Na vzhodnem odlagališču je bilo projektiranih skupno 7 etaž ob kotu odlaganja 45° , višini etaž 7 m, 8 m široki bermi in pri povprečnem kotu odlagališča 23° . Predviden je bil prostor za $1\,750\,000\text{ m}^3$ jalovine. To je dovolj za 17 let odlaganja. Pri tem je bilo ocenjeno, da je na višje ležečih etažah prostora še za okrog 2 milijona m^3 , kar zadostuje za odlaganje jalovine še za nadaljnjih 35 let.



Slika 8. Stabilnostna presoja primarne splazitve.



Pojavljane novih razpok na površju plazine.



Strmi odlomi na platoju odlagališča.

Vodne razmere na področju plazu

Meteorološke in hidrološke razmere so bile v zimi 1986/87 neugodne. Zlasti januarja in februarja 1987 je bilo precej padavin (skupno dež in sneg $138,2\text{ mm}$ vode). V februarju je nastopil poseben primer hkratnega taljenja snežne odeje ob sočasnem deževju in bistvenem dvigu temperatur. V 10-letnem obdobju so bile poiskane podobne razmere. Ugotovljeno je bilo, da je prav taljenje snežne odeje s hkratno odjugo in sočasnim deževjem predstavljalo ekstrem.

Možno je trditi, da vsa januarska in februarska padavina ni odtekla z jalovišča in je povzročila dvig talne vode ter zasičenost materiala. Obstoječi izvir pod kompresorsko postajo Ruardi, ki so ga opazovali zadnja 4 leta, ni predstavljal oddušnika za konični primer obremenitve s padavinami. Odvodnjeval je le odtok, izravnal z notranjo retenzijsko sposobnostjo tal.

Geomehanska presoja splazitve

Primarna splazitev jalovine se je pojavila tam, kjer so bili pogoji glede na geološke razmere, rudarska dela, topografijo podlage in površine odlagališča ter glede na hidrološke in geomehanske razmere najneugodnejši. Kot je že bilo omenjeno, je bila največja strmina površine odlagališča



Pojavljanje novih odlomov na platoju.



Čelo plazu je doseglo cesto Zagorje—Trbovlje.



Plazina ogroža tovarniško halo Lisce.

na pobočju, ki je padalo od jugovzhodnega roba platoja odlagališča v smeri proti jugovzhodu. Zato je bil za geomehansko presojo stabilnosti odložene jalovine izbran profil C — C', katerega situacija je razvidna s slike 5. Profil poteka približno po padnici jugovzhodnega pobočja odlagališča in je situiran v osi amfiteatralno izoblikovane površine podlage. Prerez odlagališča in podlage v tem profilu je prikazan na sliki 8. Podlaga odlagališča je bila določena na osnovi plastnic, izrisanih po podatkih vrtin Geološkega zavoda Ljubljana, izvrtanih po splazitvi. Površina odlagališča pa je povzeta po situaciji 1 : 2000, ki predstavlja povečavo situacije 1 : 5000 iz leta 1978. Od tega leta do februarja 1987 se je površina zaradi rudarskih odkopov seveda pogreznila, tako da površine neposredno pred splazitvijo ni možno natančno določiti. Možno je bilo le ugotoviti, da se je vznožna točka pobočja odlagališča na stiku s podlago v tem obdobju pogreznila za približno 4 m. Ker se je jalovina v tem obdobju odlagala na platoju odlagališča, smo koto platoja po situaciji iz leta 1978 obdržali, kote pobočja pa postopoma znižali od roba do kote vznožja tik pred splazitvijo. V prerezu na sliki 8 je vrisan tudi geološki sestav podlage, povzet po geološki karti na sliki 5 oziroma po sosednjem geološkem profilu A — A' na sliki 6, ki je paralelen z obravnavanim profilom C — C'. Velik del površine podlage pripada oligocenski morski glini sivici, ki ima v primerjavi s krovnimi laporji neposredno nad slojem premoga in z govškimi skladi neprimerno manjšo strižno odpornost.

Na stabilnost jalovinskega nasipa ima velik vpliv talna voda, ki se v jalovini pojavlja zaradi pronicanja padavinskih voda na površini odlagališča kakor tudi zaradi dotokov vode iz podlage same. Globine površine talne vode pod površino odlagališča žal pred splazitvijo na terenu niso bile merjene. Tako nimamo tega za stabilnost tako pomembnega podatka, ampak globine lahko samo ocenjujemo. Dragocen pa je podatek o izmerjenih globinah talne vode v nepremaknjemem delu odlagališča na severovzhodu. V vrtinah V 2, V 3 in V 4, razvrščenih vzdolž vzhodnega pobočja odlagališča, je bila izmerjena globina talne vode od 1,5 do 3 m pod površino. Vendar je to bilo že v aprilu, maju in juniju 1987, ko so bile vremenske razmere drugačne kot neposredno pred splazitvijo.

Glede na vodopropustnost slojev podlage je pričakovati dotok talne vode v jalovino le iz višje ležečih govških plasti, v katerih se pojavljajo tudi debelejši sloji z vodo zasičenimi peskov. Glina sivica je praktično nepropustna.

Omenjeno je že bilo, da padavinska voda ni v celoti odtekala s površine odlagališča, ampak je tudi pronicala v jalovino, in da je možno trditi, da je vsa januarska in februarjska padavina v iznosu 138 mm poniknila v jalovino. Laboratorijske preiskave nepremaknjene jalovine iz vrtine V 1 na platoju so dale vrednost deleža por v povprečju $n=0,39$ (v 1 m^3 jalovine je $0,39\text{ m}^3$ praznin, zapolnjenih z vodo in z zrakom) in stopnjo zasičenosti nad gladino talne vode $S_r=0,895$ (od $0,39\text{ m}^3$ praznin je $0,39 \cdot 0,895 = 0,35\text{ m}^3$ zapolnjenih z vodo in $0,04\text{ m}^3$ z zrakom).

26 Razmere na jugovzhodnem delu odlagališča so bile verjetno podobne. Iz tega sledi, da je vsak kubični meter jalovine nad nivojem talne vode lahko vsrkal še $0,04 \text{ m}^3$ padavinske vode, kar po višini predstavlja dvig talne vode za $0,04 \text{ m}$. Če bi januarska in februarska padavina v iznosu 138 mm 100-odstotno zasitila jalovino, bi se nivo talne vode, kot je bil v odlagališču decembra 1986, dvignil za $0,138 : 0,04 = 3,45 \text{ m}$. Verjetno pa je bil ta dvig zaradi nepopolne zasičenosti še večji. Poleg tega so se lahko povečali dotoki iz podlage — govških plasti, kar bi tudi vplivalo na dvig talne vode.

Primarno splazitev smo analizirali tako, da smo suponirali krožno obliko možnih drsnih ploskev, potekajočih iz vznožne točke jugovzhodnega pobočja odlagališča. Nekatere krožne drsne ploskve potekajo vseskozi po jalovini, nekatere pa deloma po podlagi in deloma v zgornjem delu po jalovini.

Pri računski analizi smo upoštevali za jalovino povprečno vrednost laboratorijskih preiskav strižne odpornosti, ki je izražena s strižnim kotom $\varphi = 24^\circ$, kohezije pa v nekomprimiranih nasipih ni.

Vzdolž dela drsin, ki poteka po kontaktu podlage krovninskih laporjev ali zasutja rudniških ugreznin neposredno nad odkopi, smo prav tako upoštevali strižni kot 24° . Strižni kot te podlage je ali enak ali pa večji od te vrednosti, zato bi drsina potekala dejansko ob kontaktu po materialu z manjšo strižno odpornostjo. Vzdlž dela drsin, ki poteka po podlagi sivice, pa smo upoštevali strižni kot površinsko preprele sivice v povprečnem iznosu $\varphi = 16^\circ$. Nivoja talne vode neposredno pred splazitvijo ne poznamo. Zato smo suponirali več možnih nivojev, katerih povprečna višinska razlika znaša približno $3,50 \text{ m}$.

Prostorninska teža jalovine nad nivojem talne vode znaša pri $n = 0,39$ in $S_r = 0,895$ $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$, pod nivojem talne vode pri $n = 0,39$ in $S_r = 1,0$ pa $\gamma' = 20,4 \text{ kN/m}^3$, vendar je tu treba pri računski analizi upoštevati še vzgon.

Suponirani nivoji talne vode kakor tudi drsne ploskve so razvidni s slike 8. Na tej sliki so prikazani tudi količniki varnosti F (razmerje med strižno odpornostjo materialov in tisto strižno napetostjo vzdolž drne ploskve, pri kateri je masa jalovine nad drsno ploskvijo še v ravnovesju).

Stabilnostna analiza je pokazala, da so količniki varnosti ne glede na globino talne vode najmanjši za krožni drsini št. 3 in 4, ki kažeta odlomni rob neposredno za jugovzhodnim robom platoja odlagališča. V območju teh dveh drsin je bila verjetno primarna splazitev. Po drugi strani pa vidimo, da bi prišlo do splazitve v območju teh dveh drsin, če bi se nivo talne vode dvignil od globine, označene z V_3 , do globine V_4 , ker v tem primeru pade varnostni količnik F pod vrednost $1,0$.

Pri tej aproksimativni računski analizi, izvedeni na osnovi nepopolnih podatkov o površini odlagališča in talne vode, niso bili upoštevani še ostali za stabilnost pomembni momenti. Brez dvoma je bila podlaga jalovine v območju zasipov in sloja krovnihi laporjev zaradi rudarskih odkopov razrahljana. S tem se je zmanjšala njena strižna odpornost in drsna ploskev se je lahko razvila tudi v določeni globini pod površino podlage; tako ne bi več



Pogled na odlome od vzhoda proti zahodu.

imela oblike, ki bi jo lahko aproksimirali s krožnico. Zaradi razrahljanja je bila podlaga tudi bolj stisljiva in so jo lahko zemeljski pritiski jalovine stiskali v smeri proti nasprotnemu bregu talnine. S tem so se reakivne sile podlage, ki nudijo jalovini ravnovesje, zmanjšale. Zaradi stalnih rudniških ugreznj se je postopoma povečal tudi nagib jugovzhodnega pobočja odlagališča.

Ukrepi v času plazenja

Izvedenca za geomehaniko (geomehanik in geolog) sta 19. 2. prvič pregledala plaz, 20. 2. pa je bila pri Komiteju za splošno ljudsko obrambo in družbeno samozasčito Ljubljana ter Izvršnem svetu občine Zagorje ob Savi sestavljena strokovna skupina za dajanje navodil za takojšnje ukrepe na plazu, ki so jo sestavljali avtorji tega članka.

Skupina je ves čas delovanja skušala ublažiti stanje in preprečiti še večjo katastrofo:

- V prvi vrsti je bilo treba skrbeti, da se na zgornjem delu odlagališča, za odlomnim robom pod odlomnimi razpokami in s plazišča odvede čim več vode.
- Takoj ko bi terenske razmere (razmočenost površja in zato težak oz. nemogoč dostop težje mehanizacije na plaz itd.) dopuščale, naj bi se pričelo razbremenjevati vrh plazu.
- Odvoz plazine s čela plazu naj bi zaradi zadrževanja oziroma usmerjanja plazine potekal prvenstveno z namenom, da bi se čim dlje očuvali od plazu ogroženi objekti (stanovanjske hiše, cesta Zagorje—Trbovlje, tovarna Lisca, potok Kotedreščica).
- Treba je bilo sprejeti vse potrebne ukrepe, da ne bi prišlo na ravnini, po kateri teče Kotedreščica, do poplav, ki bi lahko ogrozile tudi jamo in ventilacijsko postajo rudnika.

Kako je bilo navedena načela mogoče v dneh intenzivnega plazenja uresničevati, pove naslednji zapis, ki predstavlja kratek povzetek dela strokovne skupine. Bolj razumljiv bo, če se ga spremlja na karti (slika 1).

Odlomni rob plazu je bil takoj po splazitvi 18. 2. na koti okrog 330 na platoju odlagališča zelo izrazit, strm in visok prek 10 m . Zato je bila takoj predlagana razbremenitev roba plazu in ublažitev naklona odlagališča pod odlomnim robom. Ta predlog pa žal ni mogel biti izpeljan in ni mogel prispevati k začetni stabilizaciji, ker je bila hitrost trganja robu ob neugodnih vremenskih razmerah prevelika in uporaba mehanizacije glede na takratne mehanske lastnosti odloženega materiala ni bila mogoča.

Istega dne je bilo dogovorjeno, da se pripravi dostopna pot za stroje in tovornjake po levem trdnem bregu ob plazu do njegovega vzhodnega boka. Ta pot bi bila od levega roba plazine dolga približno 120 m in bi se priključila na cesto Zagorje—Trbovlje. Z dostopom mehanizacije do boka plazine bi bilo možno zajezovati plazino v zoženem delu grape in s tem z odvozom razmočene jalovine iz tega dela razbremenjevati spodnji del plazine do njenega čela. Zamišljeno je bilo tudi, da bi prek grape naredili skalnati usmeritveni namet ali pregrado, da se plazina ne bi prelila proti ventilatorski postaji, ki je obratovala. Vendar je razmočenost terena tudi na levem bregu plazu izvedbo tega ukrepa onemogočila. Do 20. 2. je bil ob zahodnem nepremaknjemem robu na vrhu platoja odlagališča izkopen povprečno 1 m globok jarek, ki je učinkovito odvedel vodo s tega roba v prirodni odvodni jarek izven plaznega področja.

Predlagana je bila izvedba jarka vzdolž levega boka plazu in prečrpavanje vode iz večjega bazena ob desnem robu plazu neposredno nad zasuto kompresorsko postajo. Tam težnostno odvajanje vode ni bilo možno. Prečrpavanje vode je bilo predlagano tudi iz drugih tedaj nastalih z vodo napolnjenih ugrezninskih jezerc po plazu.



Porušen je severni del tovarniške hale Lisca.



Ocevitve potoka Kotedreščica.

Na zgornjem robu odlagališča so se istega dne pojavljali novi odlomni robovi in širile so se razpoke. Zaradi odliva plazine proti tovarni Lisca se je vidno poglobil gornji krater plazu. Čelo plazine je tega dne prešlo cesto Zagorje—Trbovlje in zasulo gornji del parka tovarne. Predlagana dostopna pot k levemu robu plazu ta dan zaradi razmočenega jalovišča še ni bila narejena. Tudi odvoz jalovine na platoju odlagališča v času, ko je padal dež s snegom, ni bil mogoč.

Strokovna skupina je predlagala dodatno nakladalno mesto z območja čela plazine ob severozahodnem vogalu Lisce, da da bi se tovarniški objekt po možnosti obvarovalo. Iz istega razloga so ob severni strani tovarne ta dan izkopal plitvo muldo, ki naj bi spremenila smer plazini na odprti prostor do Kotedreščice.

Dinamiko plazu je bilo treba spremljati ne le vizualno, temveč tudi z geodetskim

opazovanjem. Zato je bila predlagana izvedba posnetka dveh profilov s po več merskimi točkami za merjenja vektorjev premikov po smeri in višini. Meritve naj bi po ničelnem odčitku izvajali vsaj enkrat na dan.

Stanje plazu in padavin je bilo tako, da se je skupina strinjala z že začeti zavarovalnimi ukrepi ocevite odprtega profila potoka Kotedreščice v čim večji dolžini v projekciji matice plazine. Ta dela so se odvijala tako hitro, kot je bila hitra dobava betonskih cevi velikega premera.

Na vrhu odlagališča se je 21. 2., čeprav se je vreme izboljšalo, formiral nov odlomni rob v oddaljenosti približno 30 m zahodno od roba prejšnjega dne. Na oddaljenosti okrog 160 m od ceste Zagorje—Trbovlje se je površje plazu na levem bregu toliko dvignilo, da bi lahko prišlo do prelivanja plazine proti ventilatorski postaji. Zato naj bi se takoj izdelala dostopna pot do tega

območja za ustrezno mehanizacijo. Buldožerji naj bi plazino odpravili iz plaznega področja v smeri 1. etaže odlagališča Potoška vas na koti 281, s kamioni pa jo odvažali na odlagališče na isti koti. Za primer, če bi vseeno prišlo do prelivanja plazine na ventilatorsko postajo, je Rudnik Zagorje predvidel razervno lokacijo za ta objekt in za nove ventilatorje.

Čelo plazine je doseglo severozahodni vogal tovarne Lisca. Na profilu težišča mase plazine so zato prebili zidove med stebri industrijske hale na dveh poljih z namenom, da se sprostijo pot plazini in po možnosti ohrani skeletna konstrukcija objekta. Tega dne je bil ponovno obravnavan predlog za raztežitev odlagališča vzdolž severnega dela odlomnega roba. Z buldožerskim odzivom naj bi razbremenjevali rob v smeri proti vzhodu. Ocenjeno je bilo, da bi bilo treba odstraniti jalovino na platoju do oddaljenosti 50 m od roba odloma, kot se je formiral tistega dne. Talšno razbremenjevanje bi trajalo 14 do 20 dni za tedaj razpoložljivo mehanizacijo, zato je bil predlog opuščen, ker bi bil ta časovni interval prekasen za zaustavitev plazine. Z območja plazu so prečrpavali vodo na desni strani, kjer se je plazina ustvarjala ob strmih brežinah talne gline in tam ustvarjala stoječe površinske vode, ki gravitacijsko niso odtekale. Z ostale površine plazine tedaj zaradi nedostopnosti še ni bilo mogoče odvajati površinskih voda, pač pa so potekale priprave za izvedbo dreniranja. Po vsem površju plazine je bilo namreč opaziti večja zastajanja vode.

Dne 22. 2. se je odlomni rob na platoju razširil še za 20 m severozahodno od prejšnje razpoke in do 40 m ob vzhodnem robu. Ta dan je bilo sončno in gasilske brigade so lahko pričele črpati zaostalo vodo iz ugreznin pod odlomnim robom. Na levi brežini raščenege terena nad ventilatorsko postajo je bila že napravljena 4 m široka pot za dostop mehanizacije. Vendar pa zaradi razmočenosti površja na levem bregu plazu ni bilo možno izvesti odziva in kamionskega odvoza plazine proti odlagališču Potoška vas. Dviganje plazine na tem območju, ki je predstavljalo nevarnost prelivanja proti ventilatorski postaji, so preprečevali z buldožerjem, ki je plazino odpravil proti matici plazu v bivšo grapo. Na levem robu plazu je zastajalo veliko vode, ki se je stekala predvsem iz novo nastalih izvirov. Voda je ponikala tudi v plazino. Na čelu plazine pa tega dne ni bilo opaziti vodnih izvirov, kar je bil znak, da voda zastaja v plazini in ustvarja pogoje za njeno nadaljnje tečenje kljub temu, da ni več deževalo. Masa plazine, ki je prejšnji dan prodrla prek tovarniške hale Lisce, je ogrožala stanovanjske hiše pod cesto Zagorje—Trbovlje deloma na levem, predvsem pa na desnem robu. Na levem robu je bil narejen le preventivni buldožerski odziv plazine proti matici plazu in Kotedreščici. Na desnem robu pa je bil predlagan zasip polkletne etaže še obstoječega objekta Lisce za ojačitev bariere plazini. Poleg tega je bila pravokotno na strugo Kotedreščice predlagana izdelava nasipa v oddaljenosti najmanj 20 m od vrste hiš kot usmeritvena bariera desnega roba plazine. Nasip so gradili s kamnitim materialom in z ruševinami na raščeni podlagi nekoherentnih naplavin. Nasip je služil kasneje za obvozno cesto

28 proti Trbovljem prek montažnega mostu čez Kotedreščico. S temi ukrepi je bilo zagotovljeno tečenje ali razgrinjanje plazine z buldožerji prek v cevi položene in z zemljo pokrite struge Kotedreščice.

Ker je bilo ob levi robu plazine po raščnem pobočju že možno kopati kanalizacijski in drenažni jarek za odvod velike količine vode, je bil dan predlog, da se ta dela čimprej naredijo, posebno zato, ker so vremenske razmere to že dopuščale. Za učinkovit odvod vode s plazju je bila predlagana poravnava površja plazine z buldožerjem. Z nedostopnih osrednjih področij plazju pa so vodo prečrpavali včasne jarke z večjimi padci.

Začasno odlagališče jalovine, ki so jo s čela plazju vozili na levi breg Save, ni bilo več dovoljeno zaradi zaščite okolja. Zato je bilo območje med čelom plazju in Kotedreščico določeno začasno odlagališče. Material so uvaljali in zgoščevali z buldožerji. Naklon odlagališča je bil 1:4, začel pa se je 10 m od Kotedreščice. S tem odlagališčem naj bi se spojila površina plazine ob čelu. Drugo odlagališče naj bi se pripravilo pod etažo na koti 281, na desnem bregu Kotedreščice. Tja so že vozili plazino, ki so jo zaradi zaščite preostalih hiš na levem robu plazju odvažali neposredno s ceste Zagorje—Trbovlje.

Na plazju so lahko delali buldožerji za urejanje odvoda vode in ravnanje površja plazine s padci h kanaletam. Odvajanje vode je bilo mogoče tudi s polaganjem odvodnih alkatenskih plastičnih cevi.

Še naprej je bilo v tem času treba skrbeti za to, da bi se omogočil dostop na odlagališče na etaži 281. Namesto odvoza plazine ob glavni cesti je bil priporočen buldožerski odziv vzdolj padnice plazju.

Ob desnem bregu Kotedreščice, v profilu plazju, je bila predlagana izvedba utrjenega vozišča za nakladanje in odvažanje viška plazine na etažo 281. Na vsem plazju je bilo priporočeno intenzivno profiliranje površja za boljši odvod vode in za zaščito hiše na desnem robu plazju.

Ugodne vremenske razmere v preteklih nekaj dneh so omogočile delne osušitve površja plazju, tako da je bilo mogoče na več mestih ravnati in profilirati površino za boljši odvajanje vode. Do tedaj so dela na sanaciji plazju potekala tudi ponoči, od 24. 2. dalje pa je ponoči za nujne posege dežurala samo strojna služba.

V jami Kotredež — Dole so rudarska dela izvajali le na zahodnem krilu, ostala dela, kot odkop na 1. in 2. čelu na kotah 270 in 260, pa so bila preventivno ustavljena.

Dne 27. 2. je strokovna skupina priporočila naslednja dela:

Dne 27. 2. je strokovna skupina priporočila naslednja dela:

- V prvi fazi naj se prične razteževanje severnega odlomnega roba plazju z odvozom jalovine na zahodni del odlagališča ob cesti Zagorje—Vine.
- Po položnejših pobočjih odlomnega roba naj se spusti ustrezna mehanizacija, ki bo omogočila zbiranje vode iz zalednih izvirov in ugreznjenih jezer.
- Desni rob osrednjega dela plazju naj se poravna in vanj vkopije kanaleta za odvod vode s tega območja. Kanaleta naj se zaključi z zbiralnikom, iz katerega se vodi vodo dalje z ustrezno cevjo.

● Zavarovano področje nad odkopi naj se splanira z buldožerjem. Strojnika je treba opozoriti, naj se ob nenavadnih pojavih umakne na varno. Delati je treba zelo previdno. Tudi nadzor nad temi deli mora biti poostren.

● Vzdolž levega roba plazju naj se po splanirani plazini postavi opazovalni profil za merjenje vertikalnih in smernih premikov. Vse ostale meritve je treba izvajati še naprej.

V obdobju od 1. 3. do 5. 3. 1987 so se izvajala nadaljnja ureditvena dela in dela za normalizacijo življenja v okolici, med drugim:

- Prek Kotedreščice, v smeri nasipa zahodno od tovarne Lisca, so postavili provizorni vojaški most Baily in tako je bil omogočen transport in promet po obvozu Zagorje—Trbovlje.
- Na vrhu odlagališča so pričeli razbremenjevati odlomni rob.
- V plazju so postopoma z jarki povezovali območja z zastajajočo vodo, pri čemer so bile še vedno težave zaradi dostopa na zmehčano površje plazju.
- Na desnem robu plazju so poskušali izvesti odtok vode po drenaži, zato je bilo treba izsekati del gozda.
- Prva sondažna vrtna je pokazala debelino jalovine 37 m, podlaga je bila glinasta, in sicer trdna preperina govskih plasti.

Člane strokovne skupine je Republiški komite za varstvo okolja in urejanje prostora dne 26. 2. 1987 imenoval v Komisijo za ugotovitev možnih vzrokov za nastanek plazju. Poleg avtorjev tega članka so bili vanjo imenovani tudi prof. dr. Rudi Ahčan, prof. dr. Enver Mandžić, dr. Ladislav Placar, dipl. inž. rud. Gido Rozman in dipl. inž. gradb. Niko Rožič. Komisija je pripravila poročilo, na katero se opira tudi članek. Avtorji se navedenim strokovnjakom za njihove zelo dragocene pisne prispevke kakor tudi za sodelovanje pri razpravah o možnih vzrokih za nastanek plazju iskreno zahvaljujejo.

Zaključki

Primer plazenja jamske in separacijske jalovine, ki so jo že dolgo vrsto let precej nekontrolirano navažali na blago glinasto pobočje, pod katerim so tudi odkopna polja premoga z neugodnimi posledicami rušnega procesa v krovlini, vodi do naslednjih zaključkov:

- Za nova odlagališča jalovine je treba izdelati projekte z geomehanskimi analizami stabilnosti in upoštevati vse dejavnike, ki na stabilnost vplivajo. Mednje štejemo poleg kompatibilnosti jalovinskega materiala in njegove s časom spremenljive strižne trdnosti tudi specifične stratigrafske, hidrološke in rudarske odkopne pogoje. Ti morajo biti operti na terenske podatke o sestavi podlage (predhodna sondiranja), na piezometrijska opazovanja talne vode v podlagi in na laboratorijske ali »in situ« preiskave strižne trdnosti, na katero zelo vplivajo predvsem voda, neustrezna zgostitev ter procesi razpadanja in nabrekanja.

V projektu odlagališča morajo biti predvidene tudi vse merske priprave

za opazovanje oziroma kontroliranje v projektu upoštevanih parametrov (eno ali večetažni piezometri za merjenje konsolidacijskih pornih tlakov v podlagi in v jalovišču, piezometri za opazovanje prostega nivoja talne vode, inklinometri za meritve horizontalnih premikov jalovišča, reperji za opazovanje smernih in višinskih premikov jalovišča idr.

- Izdelati je treba register obstoječih jalovišč za vsa rudniška področja v SR Sloveniji in oceniti njihovo ogroženost. Za podrobnosti, ki naj bi jih tak register vseboval, vključno s predvidenimi, trenutno možnimi sanacijskimi ukrepi, je treba pripraviti ustrezen program.
- Napisati je treba neke vrste priročnik s priporočili, kako ukrepati neposredno po nastanku plazju, da se zmanjšajo posledice katastrofe.
- Pri neki republiški instituciji je treba registrirati strokovnjake, ki se jih pokliče na kraj nesreče takoj po tem, ko se plaz sproži.
- Pripraviti je treba spisek primerne mehanizacije in gradbenih elementov (vodne črpalke, drenažne cevi, betonske cevi, večji jekleni nosilci itd.) z vpisom, kje so na voljo.
- Definirati je treba delovanje štabov za civilno zaščito in drugih dejavnikov zaščite ob sprožitvah plazov.

**Dušan Kuščer
Ivan Sovinc
Franc Vidic
Silvan Vidmar**

The Ruardi landslide and mud flow at Zagorje in 1987: causes and effects

The landslide which occurred in February 1987 from the Ruardi tailings tip is described, based on the available data about the mining-geological conditions at the Zagorje ob Savi Brown-Coal Mine, on the method of disposal of tailings from the mine and separation plants onto the Ruardi tip, about the geomechanical characteristics of the bed-rock and the tailings, and about hydrological conditions, as well as on the on-site observations of the authors of the paper. The landslide was one of predominantly clayey tailings which were saturated by water, and it can be considered to have the characteristics of a mud flow. The relatively high speed of advance of this flow, and particularly of its leading edge, can be attributed to a change in the consistency characteristics of the disintegrated clayey mixture. The mud flow in fact came to a halt only after it had travelled approximately 235 metres across a level area, having first crossed a built-up area in a valley on the gently-sloping hillside and destroyed everything that was in its way.