

## Sanacija muljevitog podtla za potrebe odlaganja jalovine na površinskom kopu „Tamnava-Zapadno polje”

DANIJELA A. BOŽIĆ, JP Elektroprivreda Srbije, Beograd

Stručni rad

UDC: 622.012:556.166(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika1906804B

*Nakon ispumpavanja poplavljenog površinskog kopa „Tamnava-Zapadno polje” (2015), ispred nožičnog dela radnih kosina, a preko krovine uglja, akumulirane su zasićene, muljevite mase tla. Procenjena količina zaostalog mulja i vode je bila preko 1.3 miliona m<sup>3</sup> i prostirala se na površini od P=0.22 km<sup>2</sup>. Ispod mulja je ostalo oko milion tona uglja. Predlog sanacije je nudio ekonomično i tehnološki lako izvodljivo povećanje nosivosti ovog dela terena.*

**Ključne reči:** sanacija, mulj, odlaganje

### 1. UVOD

Ekstremne padavine su, u periodu od 14. do 16. maja 2014., izazvale porast vodenih masa u Vraničini, Skobalju, Peštanu i Kolubari do nivoa koji do tada nisu zabeleženi i analizirani u okviru vodoprivredne osnove Republike Srbije. Dostignuti nivoi reka, otvorili su potrebu za inoviranjem dotadašnjeg kriterijuma za dimenzionisanje zaštitnih objekata ugljenokopa od poplava. Procenjeno je da je uliveno oko 187 miliona m<sup>3</sup> vode i mulja, sa dubinom do 65 m i površinom od oko 7.5 miliona m<sup>2</sup>. Karakterističan profil poplavljenog terena, paralelan završnoj, istočnoj kosini na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa „Tamnava-Zapadno polje“ (u nastavku teksta UO PK TZP) je dat na sl. 1. Ispumpavanje jezera, impresivnih dimenzija je trajalo oko 10 meseci. U nastavku teksta biće opisana dinamika i kriterijum za prekidanje intenzivnog ispumpavanja jezera, kao i rezultati predložene metode za saniranje podtla, u prednožičnom, zapadnom delu UO PK TZP, kojem je oslabljena nosivost usled zaostalog mulja nakon ispumpavanja PK TZP.

### 2. CILJ RADA

Cilj rada je da prikaže rezultat primenjene sanacione mere nakon poplave, kojom je postignuta bolja nosivost terena za potrebe daljeg odlaganja jalovins-

kog materijala sa kopa. Tokom realizacije predložene stabilizacije na UO PK TZP, u periodu od 2015. do 2019, nasipanjem peskovitih kupa po obodu močvare, osigurala se eksploatacija lignita sa kota koje su se nalazile za oko 10 m ispod površine prekrivene muljem (slike 3 i 10, [17]).

### 3. SANACIJA POPLAVLJENOG KOPA I POSLEDICE ISPUMPAVANJA

Ispumpavanje je, kao jedina sanaciona mera koja je primenjena za otklanjanje štete i brzog uspostavljanja normalnog rada kopa, trajalo od sredine jula 2014. do maja 2015. Dinamika ispumpavanja je zavisila od tehnoloških uslova (od broja i jačine raspoloživih pumpi) i kapaciteta recipijenata, odnosno od količine vode koju je mogla bezbedno da primi reka Kolubara sa veštačkim koritom, i njena leva pritoka reka Kladnica. Dana 28.11.2014. se pokreću priobalne, sveže odložene i nekonsolidovane mase ka erozionoj bazi, formirajući klizno telo u dužini od B=105 m i širinom od oko L=1.300 m (slike 2 i 3). Iako je klizno telo bilo velikih razmera njegovo kretanje nije izazvalo oštećenje ili prevrtanje potopljene mehanizacije. Odgovor leži u činjenici da je ispred radnih kosina, par meseci pre poplave, formirana barijera od peska koju je predložio autor [17], u dužini do 3 km.

Ovaj zaštitni objekat, u formi odloženih kupa, je izgrađen sa zadatkom da zaštiti angažovanu mehanizaciju na najdubljim kotama kopa, od eventualnih udara koji bi mogli izazvati naglo pokrenute, odložene mase. Njegova funkcionalnost je u potpunosti proverena prilikom aktiviranja napred opisanog klizišta. Zahvaljujući peskovitoj barijeri zaustavljeno je dejstvo

---

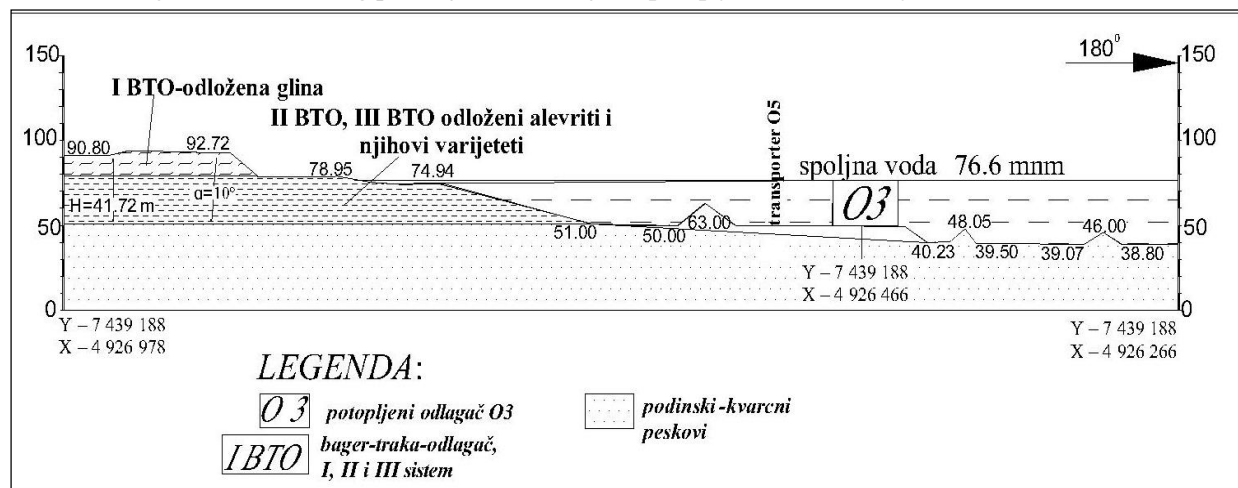
Adresa autora: Danijela Božić, JP Elektroprivreda Srbije, Beograd, Balkanska 13  
e-mail: danijelabožic1976@gmail.com  
Rad primljen: 04.09.2019.  
Rad prihvaćen: 27.11.2019.

kinetičke energije kliznog tela i otklonjena hipoteza o riziku od poplavnog talasa.

Okončanje intenzivnog ispumpavanja kopa je izvršeno po sniženju nivoa za ukupno 51.4 m, tačnije u maju 2015. Odluka je doneta nakon sagledavanja rezultata vizuelnog i instrumentalnog praćenja deformacija

terena, prikazanih kroz VII izveštaja operativnog tima [17].

U okviru ovih dokumenata nedvosmisleno je iznet zaključak da su stvoreni neophodni uslovi za uspostavljanje rudarskih aktivnosti i revitalizaciju potopljene mehanizacije.



Slika 1 - Karakterističan profil terena na UO PK „Tamnava-Zapadno polje“, u zoni povećanog rizika od proklizavanja-maj 2014. (D. Božić)

#### 4. MODEL UNUTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA OD MEKOG TLA NA PK TZP PRE POPLAVE

Prethodne inženjerske nesigurnosti pri formiranju realnog geotehničkog modela su posledica nedostatka matematičke formulacije fizičkih i mehaničkih procesa na UO PK TZP. U skladu sa iznetim biće hronološki prikazane ideje raznih autora. Od 2008. do 2015. geostatički proračuni stabilnosti kosina rađeni su sa pretpostavljenim vrednostima parametara otpornosti na smicanje i zapreminske težine (tabela 1, [9]).

Model odlagališta se definisao sa dve zone, razdvojene prema vremenu odlaganja. Prvu geotehničku zonu, u nastavku teksta I GT, su činile sveže odložene jalovine, debljine od 5-30 m. Za II GT zonu se usvajalo da je iste debljine kao i I GT zona. Pri geostatičkim proračunima odloženo tlo se opisivalo kao mešavina jalovinskog, mekog materijala sa PK TZP.

Tabela 1. Pretpostavljene vrednosti fizičko-mehaničkih svojstva GT zona na UO PK TZP

Napomena:

\*sveže, odložene mase;

\*\*ranije, odložene mase

zona	Zap.težina: Y (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezija: c (kN/m <sup>2</sup> )	Ugao un. trenja: $\phi$ (°)
I GT*	16.70	1	24
II GT**	16.70	11	24.5

#### 5. NEDOSTACI GEOTEHNIČKOG MODELA ODLAGALIŠTA PRE POPLAVE

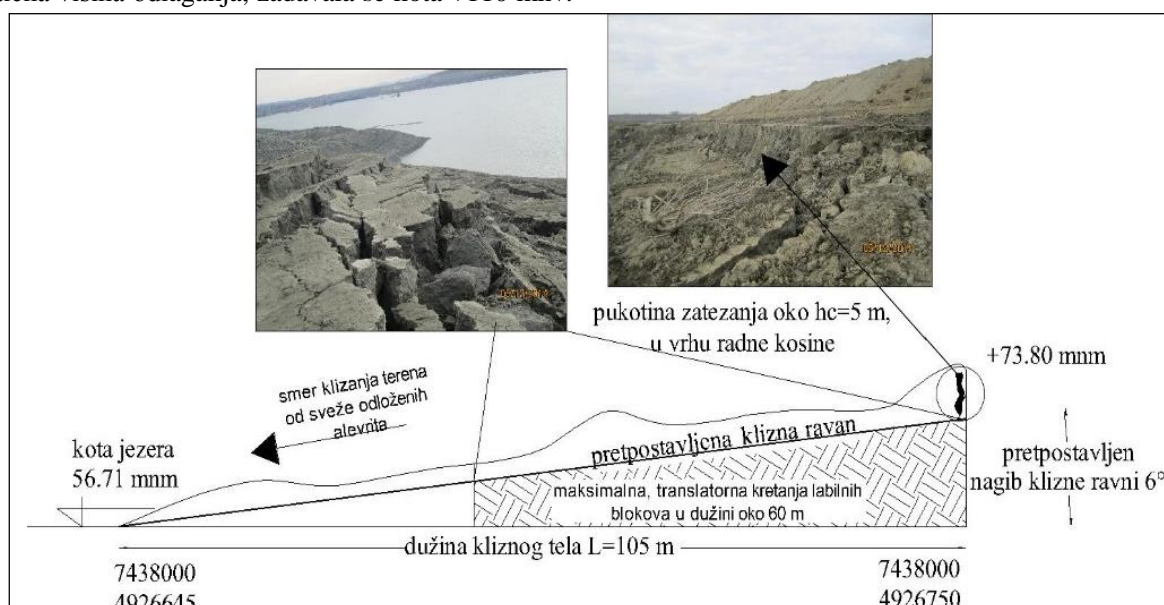
Zbog velike nesigurnosti u parametre otpornosti smicanja tla, pribegavalo se primeni raznih uticajnih faktora, usled čega su se dobijali niski faktori stabilnosti kosina. Posledica ovakvih pristupa ogledala se u vidu rešenja koja su bila često neracionalna. Nakon jedne decenije, za potrebe odlaganja jalovina na UO PK TZP, u specifičnim uslovima, uočeno je da je bazična greška bila u koncepciji sagledavanja problema. Prvobitni istraživači su odlagalište posmatrali kao veštački objekat od mešavine jalovinskog materijala. Pored navedenih grešaka u sagledavanju otpornih svojstava odloženih materijala, takođe je nerealan bio i stav da nasipani jednorodni materijali, odloženi u različitim vremenskim uslovima i visinama duž istog sistema (u rasponu Hnasipanja= 5–30 m), imaju istu zapreminsku težinu. Opisanim uprošćavanjem se neopravdano isključivao uticaj zbijenosti, odnosno, preraspodela odloženih, zaobljenih blokova tla (različitog oblika, veličine i vlažnosti) unutar napredujućih, radnih kosina. Analizirajući sisteme (bager-traka-odlagáč ili skraćeno BTO sistem) na UO PK TZP uočilo se da je svaki sistem generalno izgrađen od jednorodnih, jalovinskih kompleksa, čija se debljina može kretati i do 30 m [7]. Takođe je uočeno i da je kontakt odloženih masa i autohtonog tla bio na koti 66 mnv, tačnije da se odlaganje odvijalo preko neotkopanih „međuslojnih“ peskova, debljine 10 m. Ispod ovih peskova je, kao dodatno osiguranje od loma podloge

odlagališta, ostavljen II sloj uglja debljine nekoliko metara. Računski parametri o fizičko-mehaničkim svojstvima odloženih materijala su dati u tabeli 1. Kasnije, sa zahtevima za većom količinom mineralne sirovine, ali i promenom rudarske mehanizacije, odlaganje jalovine je počelo da se vrši i preko pontskih peskova, pozicioniranih u ležištu, ispod II sloja uglja. Do primene nove tehnologije odlaganja, kroz rudarske projekte se podvlačila pretpostavka da će se u slučaju direktnog odlaganja jalovine preko zasićenih, pontskih peskova izazvati porni pritisci, rušilačke snage [17]. Takođe se, kao bitni faktor po pitanju određivanja rizika od klizanja podvlačilo i iskustvo sa klizištem na groblju Kalenić [8]. Zbog svih iznetih koncepata, kao kritična visina odlaganja, zadavala se kota +110 mnv.

Opisana tehnologija odlaganja se sprovodila od 172.5 do 152 interne linije, u širini od 2 km, duž pravca sever-jug (4 929 250 do 4 927 250).

Uslov da se geotehnički model odlagališta inovira se pojavio nakon potapanja kopa u maju 2014. Tokom isumpavanja, u severnim delovima odlagališta, zbog interventnih sanacionih radova, bezbedno su se u periodu od 2014. do 2015. dostigle kote odlaganja od +130 mnv, a tokom 2017. i kote od +140 mnv, što je za 30 m iznad max. projektovnih kota.

Sa druge strane, južni deo UO, koji je bio pod direktnim uticajem ispumpavanja, nakon sniženja nivoa vode za 20 i više metara, u novembru 2014, je pokrenut ka jezeru (slike 2 i 3).



Slika 2 - Rekonstrukcija kliznog tela (28.11.2014.) u radnoj kosini na UO PK TZP (D. Božić, 2014.)

Osnovni elementi klizišta, su šematski dati na slici 2. Položaj čeonog ožiljka i analizirnog profila je prikazan na slici 3, duž internog pravca P. Geodetski snimljena dubina čeonog ožiljka od preko 5 m, slika 2, [17], je upućivala da odloženo tlo mora imati veću koheziju od vrednosti koje su se do tada koristile pri rudarskim projektovanjima. Pretpostavke o većoj otpornosti su potvrđene rezultatima izvedenih UU opita na 4 uzoraka [17], 2015, videti u tabeli 2, I GT.

Nakon dobijenih laboratorijskih rezultata stekao se uslov da se proveri nedrenirana kohezija (tabela 1), iz izraza [1] za računanje vertikalnih zaseka ili pukotina zatezanja z [12]:

$$z = 2 \cdot c_u / \gamma \quad (1)$$

gde je:  $c_u$  - nedrenirana kohezija ( $\text{kN/m}^2$ );  $\gamma$  - zapreminska težina ( $\text{kN/m}^3$ ).

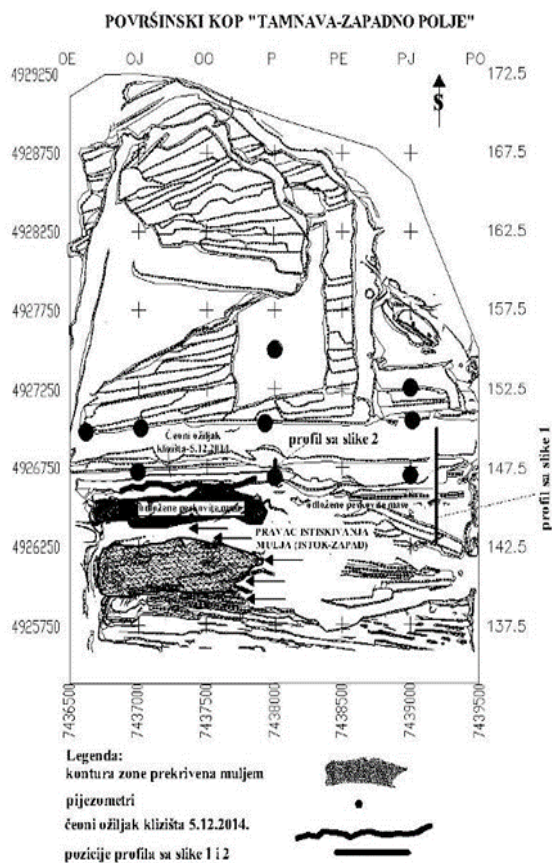
Tabela 2. Računske vrednosti fizičko-mehaničkih svojstva I i II GT zone na UO PK TZP

I GT	zapreminska težina: $\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	18.90	nedrenirana kohezija: $c_u$ ( $\text{kN/m}^2$ )	50.00*	ugao unutrašnjeg trenja: $\phi$ ( $^\circ$ )	0*
II GT	zapreminska težina: $\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	20.80	efektivna kohezija: $c'$ ( $\text{kN/m}^2$ )	32.00	efektivni ugao unutrašnjeg trenja: $\phi'$ ( $^\circ$ )	39.40

Napomena\*: Autor je pretpostavio da će se UU opitima, najvernije simulirati uslovi u terenu i reakcije tla koje se odlaže u vidu haotično raspoređenih blokova, pseudogranulacije do 0.60 m (lit. 17) kao i činjenice da na UO nema rasterećenja. Na terenu je uočeno da tako odloženi alevrit, ima superkapilarnu proznost koja omogućava slobodno kretanje manjih tokova vode i njihovo proviranje duž radnih kosina UO PK TZP. Navedenim zapažanjima se može objasniti da infiltrirane površinske vode, ne vrše pritisak na sveže odložene blokove tla i da se uticaj pornog pritiska može zanemariti pri proračunima stabilnosti kosina. Osim toga, krupnoća i oblik bloka tla, hrapavost i lepljivost površina, utiče na male nasipne uglove, ali i na veću adheziju zrna unutar specifičnog skeleta.

## 6. REZULTATI GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIVANJA NA UO PK TZP U TOKU I NAKON ISPUMPAVANJA KOPA

U toku ispumpavanja kopa (2015), zbog odluke da se izvrši odlaganje jalovine u zoni koja je za 3 km udaljena od poplavnog jezera (slika 3), odrađene su analize geotehničkih svojstava severne, završne kosine UO.



Slika 3 - Kontura muljevitih naslaga, u prednožičnoj zoni UO PK TZP, sa predloženim pravcem istiskivanja, ožljikom klizišta i piezometrima (2016, D. Božić)

Dobijeni rezultati analiza su pokazali da ne postoji uticaj zone nadvišenja na destabilizaciju južnih, radnih kosina, čija je stabilnost na klizanje, pre poplave, kontrolisana peskovitim barijerama.

Ovo je pružilo ključni izbor mere sanacije muljevitog podtla tokom 2016. Potreba elektroprivrede za interventnim uspostavljanjem rada kopa je ograničila rok za projektovanje detaljnih geotehničkih istraživanja terena, usled čega su se odloženi alevriti, kao tla koja čine 70% mase odlagališta, našli u fokusu ispitivanja.

Sintezom rezultata izvedenih istražnih radova dobile su se sledeće informacije [17]:

- na osnovu uopštavanja, UO PK „Tamnava-Zapadno polje”, površine od oko 8.50 km<sup>2</sup>, sa debljinom do 90 m, se može posmatrati kao brana od više redova zemljastih kupa ili prizmi;
- unutrašnje odlagalište se generalno, naročito u severnom delu, može tretirati kao samoniklo tlo, ojačano korenjem žbunastog i drvenastog rastinja;
- podlogu odlagališta čine kvarcni peskovi debljine preko 100 m, koji su dobro nosivi, seizmički otporni (za ovu vrstu delatnosti), hemijski stabilni i predstavljaju prirodne drenove za istisnutu vodu iz odloženog materijala. Novim odlaganjem jalovinskih masa vrši se dopunski pritisak na podlogu i zbijanje peskovite sredine, iz čijih se pora voda gravitacijski usmerava ka zonama relaksacije, odnosno vodosabirnicima. Na ovaj način se isključuje potreba za ostavljanjem sloja uglja, kao dodatne stabilizacione mere od loma tla ili zaštita od proklizavanja odloženog materijala;
- na osnovu podataka iz hidrogeoloških izveštaja o rezultatima merenja nivoa podzemnih voda, posredstvom 9 otvorenih piezometara, u prostoru UO PK TZP (slika 3), nije se mogao utvrditi jedinstveni pravac njenog kretanja;
- rezultati opita nalivanja (nalivanje vode bez pritiska) i laboratorijskih ispitivanja koeficijentata filtracije ukazuje da je odlagalište, u svojim dubljim delovima izgrađeno od slabo do vodonepropusnih sredina, sa koeficijentom filtracije od 10<sup>-6</sup> cm/s do 10<sup>-9</sup> cm/s;
- redovnim merenjima nivoa vode se nije moglo utvrditi postojanje jedinstvene izdani. Izdani su zarobljene, hidraulički nepovezane, nedefinisane prostiranja sa sporom vodozamenom. Pri ispumpavanju vode nije dolazilo do odziva nivoa podzemnih voda u piezometrima;
- sa povećanjem dubine, posmatrajući teren unutar tela odlagališta, povećava se i zapreminska prirodna težina i težina potpuno suvog tla (tabela 2);
- na osnovu geoelektričnih ispitivanja, tačnije specifične električne otpornosti tla, kontakt zbijenih i nezbijenih materijala se prostire na oko 8 m dubine, što kvalitativno menja sliku o vertikalnom zoniranju radne kosine po stepenu zbijenosti;
- u prilog napred opisanog geotehničkog modela idu i rezultati izvedenih standardnih penetracionih opita (SPT). Za I GT zonu, debljine 8-10 m, br. Udaraca maljem je bio N=5-10, koji ukazuje na slabu otpornost materijala. Na dubinama odloženog tla, preko 10 m, a na osnovu udaraca N=10-27, definisana je II GT zona, čiji su materijali znatno bolje otpornosti;

- podvodnim geodetskim snimanjem terena potvrđeno je prostiranje peskovitih masa u prednožičnom delu UO PK TZP;
- stvorena je potpuno nova slika o svojstvima i mogućim reakcijama odloženih materijala pri budućem nadvišenju i proširenju unutrašnjeg odlagališta (tabela 2).

## 7. ZAKLJUČAK O SVOJSTVIMA TERENA NA UO NAKON ISPUMPAVANJA PK TZP

Rezultati geostatičkih proračuna, geotehničkog i geodetskog monitoringa najrizičnijeg dela kopa, u toku i nakon ispumpavanja, su upućivali da se bez rizika može nastaviti sa nasipanjem odnosno nadvišenjem u odnosu na projektovane maksimalne kote, kao i to da se nakon ispumpavanja kopa neće izazvati klizišta van konture kopa ili oštećenja na okolnim infrastrukturnim ili stambenim objektima. Nakon ispumpavanja kopa, u severozapadnom delu, ispred nožice radnih kosina odlagališta, teren je ostao prekriven muljevitim masama, površine oko 22 ha. Ispod mulja je ostalo oko  $10^6$  t uglja. Svi zahtevi iz Pravilnika su bili narušeni nakon ispumpavanja kopa. Međutim, imalo se saznanje da su, u nožici odlagališta, ostale mase različenih, peskovitih kupa, odnosno tla krupnije frakcije, koja se ne razmekšavaju i nisu plastične, a ispod kojih se, kao dobrosoniva sredina, nalazi ugalj. Naslućivalo se, da peskovite mase i dalje imaju potencijala da zaštite mehanizaciju od oštećenja, u slučaju naglih proklizavanja odloženih masa iz zaleđa odlagališta.

## 8. PREDLOZI ZA SANIRANJE SLABONOSIVOG I VODOZASIČENOG TERENA NA UO PK TZP

Najveći broj stručnjaka je predlagao uklanjanje zaostale vode i mulja preko kanala u uglju, ali dimenzije, pravce, tehnologiju izrade i dinamiku njihovih izvođenja nisu uspjeli da daju u primenjivoj formi. Sa druge strane, u julu 2016, autor je stručnom timu, u elektronskoj prepisci izneo predlog za uklanjanje mulja [17]. Opis metode i polazne činjenice koje su uticale na osmišljavanje rešenja za aktuelnu problematiku su prikazani u nastavku teksta.

### 8.1 Svojstva muljevitih tla unutar radne konture PK TZP

Mulj je lak, fluidan materijal, slabih otpornih svojstava na smicanje. Dospeo je u konturu radne figure kopa nakon poplave, u maju 2014. Usvojeno je da potiče od zemljanih materijala, koje je vodena stihija transportovala nakon pucanja odbrambenih nasipa, erodovanja obala reka i potoka, kontrolisanog rušenja zemljane brane, različenih peskovitih kupa, kao i proklizalih alevrita, u fazi ispumpavanja kopa. Potvrdom da nije toksičan materijal nestao je problem oko njegovog odlaganja van konture kopa [10]. Nakon ovih

saznanja ostalo je da se reši pitanje oslabljene nosivosti za potrebe budućih odlaganja jalovinskih masa.

### 8.2 Predlog postupka sanacije mulja

U skladu sa iznetim, osmišljeno je da se muljevito tlo i zaostala voda potisnu nasipanjem peskovitog materijala sa površine prednožičnog dela UO. Sanacija muljevitog tla, pomoću kvarcnog peska, je predložena zbog činjenica da je u pitanju prirodni i hemijski stabilan materijal, u kojem se pri statičkim opterećenjima neće dostići veliki porni pritisci, vodopropustan je, dobrosoniv, ne bubri i može se eksploatisati iz samog ležišta, što je izuzetno značajno sa aspekta ekonomske isplativosti i dinamike sanacionih radova. Ovo jalovinsko tlo je prostorno zastupljeno iznad krovine uglja i otkopava se u debljini preko 25 m, duž južnih, radnih kosina PK TZP. Takođe se u predloženom postupku sanacije može iskoristiti materijal peskovitih barijera, koje su formirane pre poplave. U tabela 3. su prikazana karakteristična fizičko-mehanička svojstva peskova u ležištu „Tamnava-Zapadno polje” ispitanih na minimum 80 uzoraka u periodu 1959-2014. [17].

Pesak se mora nasipati u pravcu istok-zapad, odnosno od najplićih ka najdubljim delovima neotkopane ugljene krovine. Ove mase bi imale funkciju drenažnog tampona i zagata. Po završenom istiskivanju mulja i mešanja istog sa peskom dobijena masa bi mogla da se ukloni/otkopa i odloži na unutrašnjem odlagalištu. Pre nasipanja peska treba definisati dimenzije radnog planuma za optimalni rad postojeće mehanizacije. Nasipanje izvoditi dok se ne ostvari kontakt sa dobrosonivom podlogom (podinski pesak ili ugalj). Procenu nosivosti odloženog tla subjektivno će donositi rukovaoc buldozera uz stalan tehnički nadzor. Pozicije nasipanja izvoditi po segmentima, formirajući radijalne konture kojima će se lakše savladavati porni pritisci na kontaktu mulja i peska. Po uklanjanju slabonosivog tla peskom oslobodiće se prostor za nastavak eksploatacije uglja. Tehnologiju prilagoditi sopstvenim kapacitetima mehanizacije.

Tabela 3. Karakteristična fizičko-mehanička svojstva krovinskih peskova na PK TZP (istraživanja od 1959- 2014.)

Poroznost n (%)	Zapreminska težina: $\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ );	Efektivna kohezija: $c'$ ( $\text{kN/m}^2$ );	efektivni ugao unutrašnjeg trenja: $\phi'$ ( $^\circ$ )	Koeficijent filtracije $k_f$ (m/s)
42	18.90	10	28	$10^{-4}$

### 8.3 Kritike predložene metode za saniranje zamočvarenog terena

Sa obrazloženjem da predložena mera nije adekvatna, jer je bazirana na logici koja nije „inženjerski prihvatljiva“, drugi projektanti su osmislili geodetsku

mrežu od 46 repera, u zoni UO PK TZP. Cilj osmatranja se ogledao u:

- uočavanju deformacija na planumu ili kosinama, usled nadvišavanja odlagališta iznad projektovanih maksimalnih kota, što bi konačno uklonilo dilemu oko pitanja razvoja klizišta, regionalnih razmera i potvrdilo očekivani lom preopterećene podloge, i
- utvrđivanju dinamike kretanja klizišta preko zamuljenog terena, ka sistemima na uglju, blagovremenog uklanjanja ljudstva i mehanizacije.

#### 8.4. Rezultati monitoringa terena

Geodetska mreža, od 46 repera, je praćena instrumentalno kroz četiri ciklusa, u periodu od jula do septembra 2016. Na osnovu dobijenih rezultata, a kroz mesečne operativne izveštaje [17], podvlačili su se zaključci da je odlagalište stabilno, čak i nakon intenzivnih padavina u period od 22.8. do 24.8.2016., kao i ostvarenim nadvišenjima za više od 10 m, u odnosu na projektovane maksimalne kote terena.

#### 8.5. Rezultati geološkog rekognosciranja slabonosive zone unutar UO PK TZP

Osim geodetskih izvedena su i tri geološka osmatranja zamuljenog dela kopa (prvi put u julu i dva u septembru 2016).

U cilju procene radnih uslova u terenu i njegovog zoniranja po stepenu nosivosti, a za potrebe izrade napred navedenog dokumenta o sanaciji UO PK TZP, u septembru 2016, je na osnovu instrumentalnog zapisa GPS izvučena gruba kontura zamočvarenog prostora (slika 3).

Okontureni deo leži ispred nožice radnih kosina UO PK TZP, a nosivost mu je oslabljena muljem i vodom, zaostalim nakon ispušavanja poplavljenog kopa (slika 4), ali i dodatno novim prilivima vode iz sistema otvorenih kanala i cevi prečnika oko 1 m (slika 5), usmerenih ka ovom delu kopa. U toku rekognosciranja, uočene su sveže formirane peskovite mase sa pravcem pružanja istok-zapad (slike 6, 7, 8 i 9) preko zavodjenih sedimenata.

Tabela 4. Fizičko-mehanička svojstva odloženih kvarcno-liskunovitih peskova na UO PK TZP

zapreminska težina: $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):	stepen neravnomernosti: U	kohezija: $c'$ (kN/m <sup>2</sup> ):	ugao unutrašnjeg trenja: $\phi'$ (°)	koeficijent filtracije $k_f$ (m/s)	modul stišljivosti $M_s$ (100-200) [kN/m <sup>2</sup> ]	modul stišljivosti $M_s$ (300-600) [kN/m <sup>2</sup> ]
19.60	2.5-6.8	15-19*	40	10-2-10-5	6 200-17 500	27 000

Napomena\*: Autor pretpostavlja da je muljevita ispunjena ali i prisustvo drugih sedimenata, koji su zahvaćeni rotornim točkom pri otkopavanju jalovine na PK TZP, povećalo koheziju odloženom pesku. Zbog akcenta na proučavanje samog postupka saniranja muljevito podtla za potrebe odlaganja jalovine navedeni parametar otpornosti na smicanje se nije posebno izučavao

## 9. ZAKLJUČAK

Ostvareni rezultati primenjene sanacione mere su uklonili ranije dileme i konkretno uticali da se istiskivanjem mulja peskom i drugim pratećim sedimentima, u pravcu istok-zapad, akumulacija muljevito, slabonosivog tla svede na površinu od 17 ha sa početnih 22 ha. (slika 9).

Takođe, treba podvući da se primenjenom metodom, u nožičnom delu UO PK TZP nisu izazvala rušenja napredujućih kosina niti prolamanja bilo kojeg dela odlagališta iako su se istovremeno ostvarila nadvišenja severnih, delova UO PK TZP za 30-50% iznad maksimalnih projekovanih kota odlaganja. Primara radi, odloženo je oko 30 miliona m<sup>3</sup> jalovine u periodu od 2017. do 2018. i otkopano je 16.8 miliona t uglja. Iz odloženih masa, zaostala i istisnuta voda se redovno prepumpava u cevovode i usmerava u obodne kanale kopa i protočno jezero veštačkog toka reke Kolubare. Na uspešnost sanacione mere govore laboratorijski i terenski rezultati o fizičko-mehaničkim svojstvima odloženog peska.

U laboratoriji za geomehaniku u Rudovcima 2017. godine (tabela 4), po Projektu je ispitano 25 uzoraka [1]. Na 7 uzoraka su izvedni opiti direktnog smicanja [4]. Povećana otpornost na smicanje je saglasna rezultatima SPT-a u 8 bušotina [4]. Za odložene peskove br. udaraca N se kretao u rasponu od 4 do 60. Najmanje otpore pri pobijanju konusa su pokazali peskovi na samo jednoj bušotini, pozicioniranoj u nožici proklizale radne kosine.

Treba spomenuti da je pri sondiranju ovog dela terena zabeleženo tonjenje bušačeg pribora. Veći otpori na pobijanje konusa, sa prosečnim brojem udaraca N=30 je zabeležen u peskovima sa uklopcima uglja, koji se nalaze na dubinama preko 15 m. Maksimalan br. udaraca N=60 je ostvaren u bušotini, koja je najbliža močvarnoj zoni, na dubini od 20 m. Indirektni pokazatelji ostvarene nosivosti sanirane zone su: vertikalni zidovi kanala za odvodnjavanje, bezbedno kretanje gabaritne i male mehanizacije, kao i stabilnost južne, radne kosine u II sloju uglja, (slika 10).



Slika 4 - Obodi zone mulja u nožici radne kosine UO PK TZP prekriveni samoniklim rogozom i topolom, visine preko 3.00 m (D. Božić)



Slika 5 - Prilivi vode iz otkopnog dela PK TZP (D. Božić)



Slika 6 - Detalj istiskivanja mulja peskom (D. Božić)



Slika 7 - Peskovite kupe, rasplanirane preko zavodnjenih sedimenata (1.9.2016, D. Božić)



Zaostali mulj i voda

Slika 8 - Nasipanje peska u pravcu istok-zapad, duž južnog oboda muljevitih masa UO PK TZP (2016, D. Božić)



Slika 9 - Stanje prednožičnog dela radnih kosina unutrašnjeg odlagališta PK TZP (20.7.2017.) - snimljeno sa zapadne, završne kosine PK TZP (D. Božić)



Slika 10 - Radne kosine u II sloju uglja na PK TZP, sa vrhovima od odloženih peskovitih kupa i nožicama koje su za 10 m dublje od dna močvare (17.8.2017. D. Božić)

## LITERATURA

[1] Bogdanović V. i saradnici, *Projekat primenjenih-stadijum detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja unutrašnjeg odlagališta PK „Tamnava-Zapadno polje“ za potrebe utvrđivanja geotehničkih uslova sanacije i daljeg odlaganja jalovine*, 2017.

[2] Božić D, i saradnici, *Rezultati detaljnih i dopunskih geotehničkih istraživanja na unutrašnjem odlagalištu PK „Tamnava-Zapadno polje“ nakon ekstremnih poplava 2014. godine, Zbornik radova 15. Simpozijum o inženjerskoj geologiji i geotehnici*, Beograd, str. 115-129, 2016.



- [3] Božić D, Risk management on the inner landfill of surface mine „Tamnava-West field”, *7th Balkanmine Congress - Proceeding*, Prijedor, pp 297-306, 2017.
- [4] Božić D, i saradnici: *Izveštaj o izvedenim detaljnim inženjerskogeološkim istraživanjima unutrašnjeg odlagališta PK „Tamnava-Zapadno polje”*, sveska I, II i III, Kalenić, oktobar 2017.
- [5] Gojković N, Obradović R, Čebešek V, *Stabilnost kosina odlagališta površinskih kopova*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2008.
- [6] Gojković N, Obradović R, Čebešek V, *Geomehanička svojstva materijala odlagališta površinskih kopova*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2008.
- [7] Gojković N, Obradović R, Čebešek V, *Stabilnost kosina površinskih kopova*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2004.
- [8] Grupa autora, *Geotehnički elaborat sanacije klizišta i zaštite groblja „Kalenić” na PK „Tamnava-Zapadno polje”*, Kolubara-Projekt Lazarevac, 1998.
- [9] Grupa autora: *Tehnička analiza stabilnosti kaseta za deponovanje šljake, pepela, mulja i gipsa na PK „Tamnava-Zapadno polje”*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2008.
- [10] Grupa autora: *Izveštaj o preliminarnom ispitivanju sastava mulja na PK Tamnava-Zapadno polje*, Gradski zavod za javno zdravlje, Beograd, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”-Beograd, mart 2015.
- [11] Mitrović P, *Sanacija klizišta i nedovoljno nosivog tla*, AGM knjiga, Beograd, 2014.
- [12] Obradović R, Najdanović N, *Mehanika tla u inženjerskoj praksi*, RI, Beograd-Zemun, 1999.
- [13] Pavlović N, Nesigurnosti i greške u geotehničkim istraživanjima. *Zbornik radova sa 15. simpozijuma o inženjerskoj geologiji i geotehnici*, Beograd, str. 155-176, 2016.
- [14] Terzaghi K, Peck B. R, *Mehanika tla, I deo, deo A i B, Građevinska knjiga*, Beograd, 1951
- [15] Čorić S, Geostatički proračuni, Rudarsko - geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, *Časopis Izgradnja*, Savez građevinskih inženjera i tehničara Srbije i Saveza arhitekata Srbije, Beograd, 2006.
- [16] Čulibrk S. R, *Geotehnički radovi u čvrstim stenama*, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica, 1999.
- [17] Fondovska dokumentacija RB „Kolubara”.

## SUMMARY

### PROPOSAL FOR THE REHABILITATION OF SLUDGE FOR THE NEEDS FOR DISPOSAL

*After pumping the flooded open pit „Tamnava-West field” (2015), muddy, saturated soil masses were accumulated in front of the working slopes and over the coal. The estimated amount of residual sludge and water was over 1.3 million m<sup>3</sup> and spread on the surface up to P = 0.22 km<sup>2</sup>. About a million tonnes of coal was left under the sludge. The proposal for the remediation of the silt soil offered an economically and technologically feasible increase in the carrying capacity of the terrain.*

**Key words:** *rehabilitation, sludge, disposal*