

## РЕДЕФИНИРАЊЕ НА ВИСИНАТА НА НАДВОРЕШНОТО ОДЛАГАЛИШТЕ ВО ФУНКЦИЈА НА НЕГОВАТА ГЕОТЕХНИЧКАТА СТАБИЛНОСТ

Проф. д-р Зоран Панов, М-р Радмила Каранакова Стефановска, М-р Кирчо Минов,  
М-р Ристо Поповски

Абстракт:

Развојот на површинскиот коп “Бучим“ а со тоа и неговото продлабочување од една страна, секојдневно ги зголемува транспортните растојанија како за одлагање на јаловината така и за транспортирање на рудата до приемниот пункт на примарното дробење, од друга страна. Одлагалиштето бр. 1 за депонирање на отквивката од површинските копови на рудникот “Бучим“ веќе ги надминува дефинираните висини и количини според постојните важечки рударски проекти. Претходно напоменатите фактори ја наметнуваат потребата од редување на постојните контури на одлагалиштето бр. 1 за депонирање на отквивката од површинските копови на рудникот “Бучим“ во функција на неговата геотехничка стабилност.

Клучни зборови: *одлагалиште, геотехничка стабилност, редување*

### 1. ВОВЕД

Потребата за редување на постојните контури на одлагалиштето бр.1 во рудникот Бучим се изведува од следните причини:

- во текот на досегашната рударска активност висината на планумот од каде се врши одлагање е изменет, така што нивото на одлагање е подигнато од ниво 630 на ниво 675;
- апсолутната висина на јаловинската етажа е зголемена од планираната 90 метри на одредени места на 145 метри (со планумот на ниво 660) а сега се формира нов планум на ниво 680 во вид на ламела на која ќе се остава етажен праг од 25-30 метри до ивицата на планумот од 660 метри;
- планираниот простор за сместување односно одлагање на јаловината не ги задоволува потребите, Претходно настанатите измени на одлагалиштето бр.1, во суштина произлегуваат од зголемениот обем на јаловата маса која се одлага на ова одлагалиште, а промените се настанати поради следното:
  - зголемена длабина на површинскиот коп за откопување на рудните тела;
  - проширување на коповите како последица на ново откриените рудни резерви.
  -

### 2. МОМЕНТАЛНА СТАБИЛНОСТ НА ОДЛАГАЛИШТЕТО БР. 1

Со досегашното искуство базирано на геодетски мерења и опсервации на работниот планум и косината на одлагалиштето констатирано е следното :

- Стабилноста на одложениот материјал по косината на одлагалиштето ги задоволува барањата во поглед на сигурноста. Имено, нема појава на лизгање на веќе

одложениот материјал, а работ од одлагалиштето кој се формира при периферно одлагање е стабилен.

- Во однос на слегнувањето на одложениот материјал може да се констатира дека ова одлагалиште се консолидира според законитоста на временско слегнување. Како што е познато од теоретските поставки и практичните примери при консолидацијата на насипните материјали има повеќе попратни појави кои се евидентни и при оваа одлагалиште.

Карактеристични попратни појави утврдени со геодетски мерења и опсервација се следните: постепено снижување на горната површина на одложениот материјал, поинтензивно снижување на нивото на транспортните патишта каде што се движат дамперите како резултат на динамичкото набивање и појава на мали пукнатини на планумот од одлагалиштето кои се нешто поизразени поблизу до работ на периферното одлагање.

Појавата на набивање и слегнување на материјалот (примарно слегнување) е најинтензивна во првите денови и месеци на одлагањето.

Интензивното набивање во услови на “Бучим” трае пет до шест месеци во кој што период се јавуваат и мали пукнатини и слегнувања кои не преставуваат пречка при маневрирањето на механизацијата бидејќи лесно се поравнуваат со булдозер или дозер. Дефинитивното слегнување на одлагалиштето односно неговото вкупно слегнување престанува зависно од видот на одложениот материјал. Според досегашните геодетски снимања во рудникот “Бучим” овој период трае пет до шест години, а после овој период одложената маса е стабилизирана.

### 3. ДЕФОРМАЦИИ КАЈ ОДЛАГАЛИШТЕТО БР. 1

Познато е дека до деформации на одлагалиштата доаѓа од повеќе причини, а во услови на рудникот “Бучим” како најважна би била можноста од деформирање на геометријата на одлагалиштето при евентуално попуштање на носивоста на тлото.

Имено висината на одлагалиштето на работ од 145 метри и навишувањето на истото во ламели со етажни рамнини од 30 метра, каде апсолутната висина на одлагалиштето се зголемува во однос на почетната топографија на теренот и до 160 метри, претставува голем товар на подлогата па од тие причини во овој дополнителен проект ќе се пристапи на пресметка на носивоста на тлото, како превентивно согледување од евентуални деформации во моменталната состојба и ново проектираната состојба.

Друг вид на деформација преставува продолжување на ножицата на одлагалиштето како последица на сегрегација на материјалот. Евентуални деформации на одложениот материјал главно од локален-ограничен карактер може да дојде како последица од литолошкиот состав на подлогата и одложениот материјал, како и од хидролошките услови на микролокалитетот каде што е сместено одлагалиштето.

### 4. ГЕОМЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОДЛОГАТА И ОКОЛНИТЕ КАРПИ

За пресметка на носивоста на тлото покрај општите показатели назначени во претходниот текст користени се и податоците од лабораториските и теренските

испитувања што ги извршил Рударски институт- Белград потребни за изработка на Главниот рударски проект. Со овие комплексни испитувања се утврдени следните карактеристики:

**гнајсеви:**

агол на внатрешно триење  $\phi = 39$  до  $510$   
 кохезија  $c = 2,0$  до  $4,6 \text{ kp/cm}^2$

**андезит:**

агол на внатрешно триење  $\phi = 39$  до  $500$   
 кохезија  $c = 2,0$  до  $6,2 \text{ kp/cm}^2$

Табела 1 Геомеханички карактеристики

| Ред. бр. | Вид на средина                                   | Кохезија $c$ [кПа] | Агол на внатрешно триење $\phi$ [°] | Волуменска тежина $\gamma$ [кН/м <sup>3</sup> ] |
|----------|--|--------------------|-------------------------------------|---|
| 1        | Изменет Гнајс (паралелно на фолијација) RMR = 37 | 150.00             | 33.54                               | 26.20   |
| 2        | Изменет Гнајс (нормално на фолијација) RMR = 40  | 310.00             | 36.17                               | 26.20   |
| 3        | Андезит RMR = 54                                 | 2770.00            | 43.79                               | 26.70   |
| 4        | Раседни зони RMR = 23                            | 40.00              | 31.89                               | 22.00   |
| 5        | Пукнатини  | 0.00               | 31.89                               | 22.00   |

Како што се гледа од резултатите аголот на внатрешното триење и кохезијата, за гнајсот како и за андезитот варираат во широки граници на кои што степенот на: силификација, фелспатизација и каолинизација е различен. За хетерогеноста на стенската маса исто така имаат влијание и тектонските природни дисконтинуитети.

**5. АНАЛИЗА НА ГЕОТЕХНИЧКАТА СТАБИЛНОСТ НА ОДЛАГАЛИШТЕТО БР. 1**

Анализата на геотехничката стабилност на одлагалиштето бр. 1 е направена на трите можни случаи:

- моментална состојба на одлагалиштето бр. 1,

- планирана состојба според I фаза (до кота 680),
- планирана состојба според II фаза (до кота 700).

При тоа анализирани се 4 - ри карактеристични профили, кои се ориентирани во главните 4 и споредните 4 геодетски правци, односно:

- профил 5-5' со ориентација 3-И,
- профил А-А' со ориентација С-Ј,
- профил В-В' со ориентација СИ-ЈЗ и
- профил С-С' со ориентација СЗ - ЈИ.

Во продолжение дадени се анализите на стабилноста само на еден карактеристичен профил и тоа профилот 5-5'.

Геотехничката анализа на стабилноста на овој профил, според четирите карактеристични методи: метода на ламели, метода на Bishop, метода на Janbu и метода на Spencer ги даде следните резултати:

Табела 2 Планирана состојба на одлагалиште бр. 1 при  $R_u = 0$

| Претпоставени лизгачки површини со претпоставена пиезOMETРИСКА ЛИНИЈА И $R_u=0.0$ | Минимален фактор на сигурност |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | S-1                           |       | S-2   |       | S-3   |       | S-4   |       | S-5   |       |
|   | F                             | M     | F     | M     | F     | M     | F     | M     | F     | M     |
| Ламели  | 1.451                         |       | 1.302 |       | 1.321 |       | 1.921 |       | 1.400 |       |
| Bishop  | 1.541                         |       | 1.383 |       | 1.341 |       | 1.975 |       | 1.368 |       |
| Janbu   |                               | 1.452 |       | 1.312 |       | 1.353 |       | 1.907 |       | 1.317 |
| Spencer   | 1.497                         | 1.497 | 1.358 | 1.359 | 1.394 | 1.395 | 1.990 | 1.992 | 1.402 | 1.404 |
| Минимална вредност ( $F_s$ )  | 1.451                         |       | 1.302 |       | 1.321 |       | 1.907 |       | 1.317 |       |
| Средна вредност   | 1.488                         |       | 1.343 |       | 1.361 |       | 1.957 |       | 1.378 |       |
| Услов за стабилност ( $F_s > 1.3$ )   | ДА                            |       | ДА    |       | ДА    |       | ДА    |       | ДА    |       |

Табела 3 Планирана состојба на одлагалиште бр. 1 при  $R_u = 0.1$

| Претпоставени лизгачки површини со претпоставена пиезOMETРИСКА ЛИНИЈА И $R_u=0.1$ | Минимален фактор на сигурност |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | S-1                           |       | S-2   |       | S-3   |       | S-4   |       | S-5   |       |
|   | F                             | M     | F     | M     | F     | M     | F     | M     | F     | M     |
| Ламели  | 1.306                         |       | 1.300 |       | 1.309 |       | 1.694 |       | 1.300 |       |
| Bishop  | 1.434                         |       | 1.340 |       | 1.343 |       | 1.752 |       | 1.338 |       |
| Janbu   |                               | 1.336 |       | 1.339 |       | 1.373 |       | 1.690 |       | 1.354 |
| Spencer   | 1.432                         | 1.436 | 1.348 | 1.348 | 1.353 | 1.353 | 1.766 | 1.769 | 1.371 | 1.371 |
| Минимална вредност ( $F_s$ )  | 1.306                         |       | 1.300 |       | 1.309 |       | 1.690 |       | 1.300 |       |
| Средна вредност   | 1.389                         |       | 1.335 |       | 1.346 |       | 1.734 |       | 1.347 |       |
| Услов за стабилност ( $F_s > 1.3$ )   | ДА                            |       | ДА    |       | ДА    |       | ДА    |       | ДА    |       |

Сл. 1 Анализа на стабилност на профил 5-5 (планирана состојба)

Извршени се 2 анализи на стабилноста на косините на надворешното одлагалиште бр. 1 за планирана состојба - II фаза за овој профил, со претпоставени вредности за  $R_u$  од 0 и 0.1. При тоа заклучоците од анализите се следните:

1. При планирана состојба со  $R_u = 0$  (Табела 2), геотехничката анализа на моменталната состојба на косините на откопните блокови е стабилна, односно минималната вредност на факторот на сигурност за сите 5 претпоставени лизгачки површини е над 1.3.
2. При планирана состојба со  $R_u = 0.1$  (Табела 3), геотехничката анализа на моменталната состојба на косините на откопните блокови е стабилна, односно минималната вредност на факторот на сигурност за сите 5 претпоставени лизгачки површини е над 1.3.

## 6. ПРЕСМЕТКА НА НОСИВОСТ НА ТЛОТО НА ОДЛАГАЛИШТЕТО

Ова одлагалиште при сегашната состојба има работна косина од  $36^\circ$  (1:1,38), а нејзината хоризонтална проекција изнесува сса 200 метри и најголема висина од 145 метри (вертикална проекција). Во принцип одлагалиштата со косина имаат критична положба на товарот за лом на подлогата во областа на косината. Прилика за тоа е активниот притисок на одложената јаловина чија што коса резултантна сила  $R$  дејствува на подлогата од одлагалиштето (види графички приказ). Од оваа причина положбата на косата сила  $R$  се усвојува како карактеристична за пресметка на граничната носивост и дозволеното оптеретување на подлогата.

### 6.1. Дозволено оптеретување на подлогата

Носивоста на тлото на одлагалиштето е пресметано во пресек А-В на 20 метри од горниот раб на косината, бидејќи во тоа подрачје покрај товарот од одложениот материјал има и дополнителни товари од полни дамperi. Земајќи ја во предвид оваа состојба на тлото ќе делува тежината на одложената јаловина  $W$  на основата од призмата АВ-А'В', а како надворешна сила на пресекот АВ активниот притисок на одложената јаловина на една третина од висината на одлагалиштето. При пресметка за носивоста на тлото земени се следните показатели:

Табела 4

| Карактеристика            | Големина                            |
|---------------------------|-------------------------------------|
| косина на одложната етажа | 1:1,38 ( $\beta=36^\circ$ )         |
| висина на одлагалиштето   | $h=155$ m (максимална)              |
| јаловина што се одлага    | $\gamma_1 = 17.9$ kN/m <sup>3</sup> |
|                           | $\varphi_1=36^\circ$ ,              |
|                           | $c_1=0$                             |

|         |  |
|---------|--|
| подлога | $\gamma_2 = 26 \text{ kN/m}^3$                       |
|         | $\varphi_2 = 37^\circ$ ,                             |
|         | $c_2 = 200 \text{ kPa}$ , $c_2 = 200 \text{ kN/m}^2$ |

## 6.2. Проверка на носивоста на тлото

Одлагалиштата што завршуваат со косина како што е и од рудникот „Бучим“ оптеретени се со коса сила  $R$  која е резултанта на товарот  $W$  и притисокот во некој пресек кој го условува одложениот материјал како надворешна сила  $E_a$  која се пресметува според Rankin.

Кај граничниот товар во тлото се појавува клизна површина со агол кон хоризонтот кој не е според Rankin но е помал за аголот  $v$ . Овој агол зависи од  $\delta$  на резултантата  $R$ .

Аголот  $v$  се смалува со зголемувањето на  $\delta$ . Ако е аголот  $v$  помал клизните линии се поплитки и пократки, а со тоа е помало и граничното оптеретување. Поради тоа факторите на носивост се смалуваат со порастот на аголот  $\delta$ . Аголот  $v$  се добива од односот на напонот во елипсата според Креуи и Ohden, а по равенката:

$$v = \beta' - \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right),$$

Вредноста на аголот  $\beta'$  е:

$$\text{tg}\beta' = \mu_a + \sqrt{\mu_a^2 - \text{tg}^2 \cdot \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right)}$$

$$\mu_a = \frac{1 - \text{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right)}{2 \text{tg}\delta} = \frac{1 - \text{tg}\left(45^\circ - \frac{37}{2}\right)}{2 \text{tg}20,61} = 0,667$$

$$\text{tg}\delta = \frac{0,5\gamma_1 \cdot h_2 \cdot \text{tg}^2 \cdot \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right)}{\gamma_1 \cdot h + b} = 0,5 \cdot \frac{h}{b} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right)$$

$$\text{tg}\beta' = 0,667 + \sqrt{0,667^2 - \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{37}{2}\right)} = 1,110$$

$$\beta' = 47,99^\circ$$

$$v = \beta' - \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right) = 47,99 - 26,5 = 21,49^\circ$$

Со зголемување на аголот  $v$  се смалува призмата на пасивниот отпор  $A'DE$  и нема да биде доволен отпорот што се спротивставува на резултантата  $R$ . Од овие причини максималниот  $\delta$  треба да биде помал од  $\varphi_2$  според следната релација.

$$\delta \leq \frac{2}{3} \varphi_2$$

Во случајот на одлагалиште број 1

$$\delta_{\text{doz}} \leq \frac{2}{3} \varphi_2 = 24,67^\circ$$

Според пресметката за најкритичниот пресек, е задоволен условот

$$\delta = 20,61^\circ < \delta_{\text{doz}} = 24,67^\circ$$

Условот за носивоста на тлото при висина на одлагање од 155 м и насипен агол од  $36^\circ$  е задоволен критериумот

$$\frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \varphi_2} \leq 0,70$$

Во случајот за одлагалиште број 1 е:

$$\frac{0,376}{0,754} = 0,499$$

Бидејќи  $0,499 < 0,500$  и според овој критериум сигурноста задоволува.

## 7. ЗАКЛУЧОК И ПРЕПОРАКИ

Анализите направени во овој труд дадоа одговор на сите прашања и барања поставени во целите на истражувањето.

Со тоа се доби нов концепт на надвишување на надворешното одлагалиште со кое во целост се создадоа услови за понатомошно дефинирање на сите потребни и законски предвидени активности во врска со:

- ✓ анализирање на геотехничката стабилност на косините на моменталната и планираната состојба на одлагалиштето бр. 1,
- ✓ проектирање на пристапните патишта до новите две етажи,
- ✓ пресметка на количините на моментално одложена јаловина,
- ✓ проектирање на капацитет на одлагање на одлагалиштето бр. 1 во согласност со планот на развојот на рудникот “Бучим”.
- ✓ проектирање на комплетен процес на товарање, транспорт и одлагање на јаловината,
- ✓ предвидување на можни мерки за идна рекултивација и третман на одлагалиштето бр. 1,
- ✓ приказ на мерки на сигурност и техничка заштита при работи на одлагање на јаловина .

Геотехничката анализа на стабилноста на косините и проверката на носивоста на тлото покажа дека идната планирана состојба на надворешното одлагалиште ќе биде во целост стабилна.

Како основна препорака се предвидува континуиран мониторинг на косините на одлагалиштето и платото на одлагалиштето (особено во неговие периферни делови кон косините), од појава на можни пукнатини, слегнување и друг вид на геотехнички нестабилности. Пресметките покажуваат дека се можни евентуални локални појави на пукнатини и ломови. Генерално, одлагалиштето е стабилно, и со текот на времето, преку процесите на консолидација, временски истото ќе продолжи да се стабилизира.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Brown, E.T. and Hoek, E. 1978. Trends in relationships between measured rock in situ stresses and depth. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* **15**, 211-215.
2. Crouch, S.L. and Starfield, A.M. 1983. *Boundary element methods in solid mechanics*. London: Allen and Unwin
3. Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering* . 3rd edn. London: Institution of Mining and Metallurgy, 402 pages
4. Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Intnl. J. RockMech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts.* **34(8)**, 1165-1186.
5. Panov, Z., 2011. Rock mechanics, "Goce Delcev" University – Stip, pp. 235 pages