

Izračun stabilnosti nekaterih objektov rudnika urana Žirovski vrh

Probability of failure of waste disposals sites in Žirovski vrh uranium mine

Tomaž BEGUŠ

Geoinženiring d.o.o., Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

Ključne besede: rudnik urana, zapiranje rudnika, plaz, indeks zanesljivosti, verjetnost porušitve, Slovenija, Žirovski vrh

Key words: uranium mine, closure of mine, landslide, reliability index, probability of failure, Slovenia, Žirovski vrh

Kratka vsebina

Zapiralna dela edinega slovenskega rudnika urana v Žirovskem vrhu so zajela tudi ureditev jalovišča hidrometalurške jalovine na pobočju, imenovanem Boršt. Vendar se je pred začetkom zapiralnih del jeseni 1990, v hribini pod jaloviščem sprožil plaz velikosti skoraj treh milijonov kubičnih metrov, ki je zajel tudi velik del odložene jalovine. Pojav plazjenja je postavil pod vprašaj smiselnost ohranitve jalovišča na obstoječem mestu, saj obstaja verjetnost ponovnega aktiviranja plazjenja. Zato je bilo v procesu primerjave različnih možnosti potrebno ponovno preveriti stabilnost območja jalovišča in tudi drugih območij, kamor bi lahko odlagali jalovino. Uporabili smo izračun, ki upošteva statistično razpršenost naravnih vhodnih parametrov in s tem izračunali zanesljivost podatkov oziroma verjetnost porušitve.

Abstract

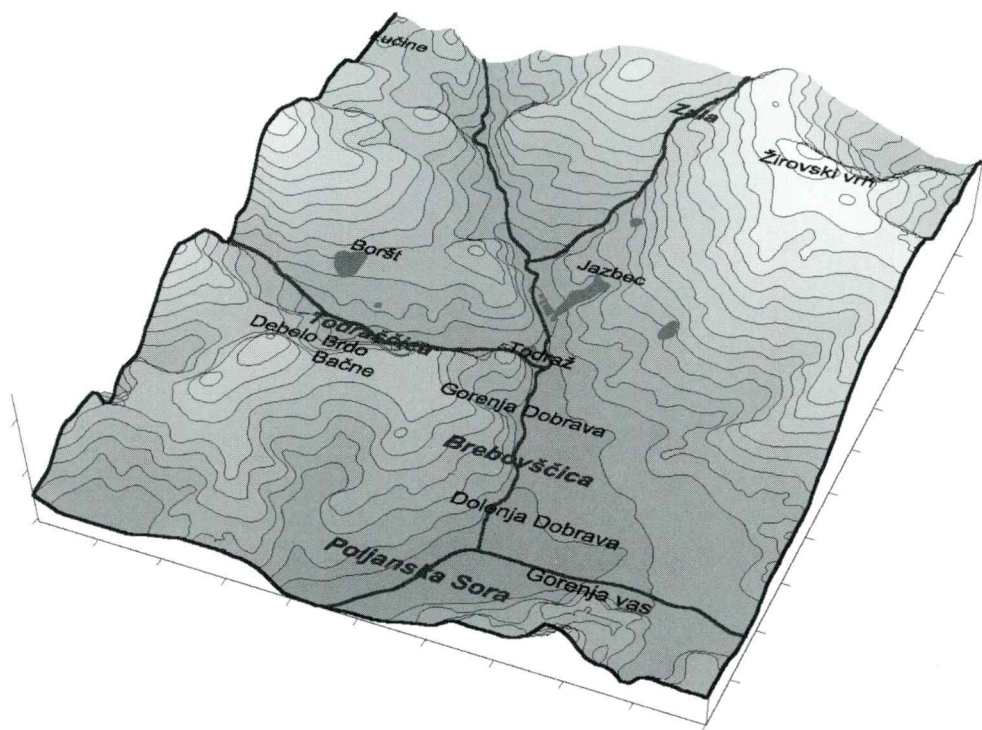
The only Uranium mine in Slovenia Žirovski vrh was closed in 1990 due to economic reasons. After the closure extensive decommissioning works in the mine and in the surrounding began. In the very beginning after the closure great landslide has been occurred in the mill tailings site and recalculation of stability of existent and alternate sites were performed. In this calculations I used statistical scatter of input variables and calculated probability of failure of sites.

Uvod

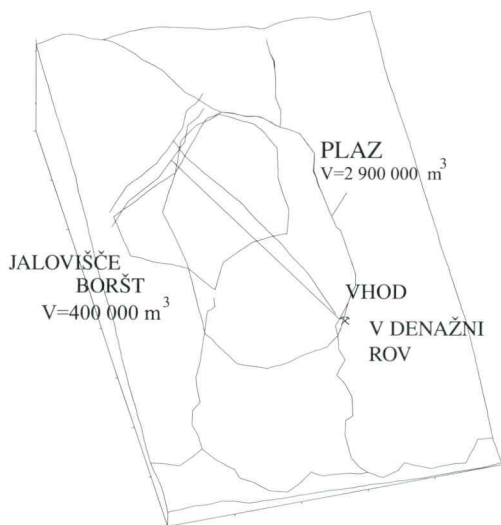
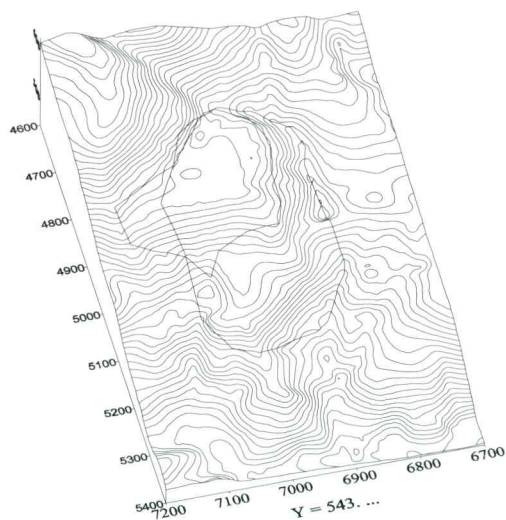
Rudnik urana Žirovski vrh je bil zaprt z odlokom republiške vlade 30. junija leta 1990. Tako se je končalo obdobje rudarjenja na območju Žirovskega vrha, ki se je začelo z raziskavami v šestdesetih in sedemdesetih letih, nadaljevalo s poskusno proizvodnjo v zgodnjih osemdesetih in nato z redno proizvodnjo leta 1985. Zaprtje je upravno formalno trenuten dogodek, izvesti pa je po-

trebno celo vrsto aktivnosti, ki naj bi zagotovile trajno in varno stabilizacijo vseh obstoječih objektov ob čim manjšem vplivu na okolje. Aktivnosti zapiranja morajo slediti zakonskim zahtevam, mednarodnim priporočilom in standardom.

Nekaj mesecev po izdanem odloku, ki je določil zaprtje rudnika, je obilno jesensko deževje povzročilo sprožitev velikega plazu na enem od objektov rudnika. Plazeti je začelo jalovišče hidrometalurške jalovine Boršt.



Slika 1: Panoramski pogled na območje Žirovskega vrha; pogled proti vzhodu, območje meri 5 x 6 km. Rudarjenje je potekalo v hribu Žirovski vrh (na desni strani slike), predelava uranove rude na sotočju Todraščice in Brebovščice, odlaganje hidrometalurške jalovine pa na Borštu (na levi strani slike).



Slika 2: Plaz na jalovišču Boršt, pogled proti jugovzhodu. Plaz je zajel velik del jalovišča in matične podlage (levo). Sanacija plazu je obsegala drenažni rov, ki sega v zaledje plazu, ki se razcepi v dva dela, iz njiju pa so se vrtajo drenažne vrtine do površine.

Plazenje je v prvi fazi zajelo hribinsko podlago pod njim. Plaz obsega preko tri milijone kubičnih metrov prostornine, dolg je približno 400 m, širok 200 m in sega povprečno 36 metrov v globino. Plazenje je ogrozilo osnovni namen jalovišča, da zagotovi trajno varno in dolgoročno stabilnost radioaktivne hidrometalurške jalovine. Takoj po dogodku so sledili sanacijski ukrepi. Glavni ukrep so bili izgradnja podzemeljskega drenažnega rova, ki je potekal od spodnjega robu plazu v zaledje, in izvedbo navpičnih drenažnih vrtn, ki so preusmerile tok podtalnice izven območja plazu.

Plazenje je izreden pojav, ki ogroža konstrukcijo vsakega gradbenega objekta. Glede na konstrukcijske in naravne danosti ostalih objektov rudnika ter zaradi omejenosti prostora sta bili v fazi odločanja o načinu zaprtja rudnika, poleg obstoječega stanja, ko hidrometalurška jalovina ostane na Borštu, predlagani še dve možnosti: prevoz v podzemne prostore rudnika ali pa prevoz na lokacijo, ki se zdi konstrukcijsko ugodnejša – na jalovišče jamske jalovine Jazbec.

Možnosti take obdelave hidrometalurške jalovine so bile predlagane kot variante. Varianta A predlaga obstoječe stanje brez prevoza materiala in s preoblikovanjem jalovišča Boršt v stabilno obliko. Varianta B pomeni prevoz vsega materiala jalovišča Boršt v podzemeljske prostore rudnika. Varianta C predlaga prevoz celotnega materiala jalovišča Boršt na jalovišče Jazbec.

V okviru trajnega zapiranja rudnika je glede na zakonske kriterije in pravila stroke le ena izmed teh variant najbolj ugodna rešitev. Upoštevala naj bi načela zapiranja rudnikov in v čim manjši meri vplivala na okolje. Izbira take rešitve mora slediti splošnim zahtevam zapiranja in pravilom stroke. Način, kako izbrati, predstavlja za inženirja precejšen problem, predvsem, če je postopek poleg strokovnih odločitev vezan tudi na upravno administrativno področje, ko je odločitev do neke mere tudi politična.

Izbiri najprimernejše variante sem izvedel s pomočjo UMTRA matrike odločanja. Ta preizkušen postopek priporočajo tudi mednarodne organizacije (IAEA, 1992). Pri tem se sistematsko upošteva splošno določene parametre, ki vplivajo na izbiro. Vsi parametri so številčno vrednoteni; končni seštevki da primerljive rezultate. Tako je proces inženirske presoje podprt z nekaterimi so-

dobnimi načeli, subjektivnost zmanjšana na najmanjšo možno mero, to pa olajša odločitev.

Indeks zanesljivosti

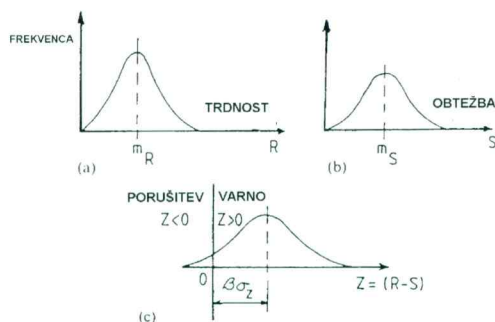
V inženirski praksi preverjamo stabilnost nekega sistema v zvezi s porušitvijo z varnostnim količnikom, to je z razmerjem med silami odpora in silami, ki na objekt delujejo. Ponavadi uporabimo kot vhodne podatke v izračunih povprečja, torej srednje vrednosti naravnih parametrov.

Kot vsi naravni pojavi so tudi lastnosti merjenih parametrov podvrženi statistični razpršenosti in porazdelitvi okrog srednje vrednosti.

Vedno obstaja statistična verjetnost, da bo imel predvsem eden izmed naravnih parametrov tako vrednost, ki ne bo večja od tiste, ki je uporabljena v izračunih.

Običajno uporabljamo pri projektiranju in načrtovanju deterministični pristop. Pri tem upoštevamo povprečne vrednosti parametrov, najnižje vrednosti ali pa na podlagi presoje izbrane vrednosti. Nejasnosti in negotovosti vhodnih podatkov so narekovale varnostni količnik večji od enote ali pa dopustne napetosti, ki so manjše od mej trdnosti.

Naj bo torej R odpornost ali trdnost strukture in S obtežba, ki na strukturo deluje. Vrednosti R in S so porazdeljene kot statistične spremenljivke po krivuljah porazdelitve, ki sta prikazani na spodnji sliki. Porušitev nastopi takrat, ko je odpornost manjša od obtežbe, torej, ko je R manjša od S .



Slika 3: Gostota porazdelitve za trdnost (a) obtežbo (b) in za kombinacijo obeh (po Smithu, 1986).

Če torej odštejemo krivuljo za trdnost od krivulje za obtežbo, dobimo novo porazdelitveno krivuljo za $Z = R - S$ (trdnost od obtežbe).

Verjetnost porušitve je $P((R - S) < 0)$ oz. $P(Z < 0)$.

Potek mejnih vrednosti porazdelitve Z najlažje ponazorimo s srednjo vrednostjo in standardno deviacijo Z .

Iz slike c je razvidno, da je razdalja srednje vrednosti Z , m_z , lahko izražena kot mnogokratnik standardne deviacije σ_z , torej $\beta \sigma_z$. Koeficient β imenujemo **indeks zanesljivosti** in pomeni mero varnosti obravnavanega sistema. Velja:

$$\begin{aligned} m_z &= \beta \sigma_z \\ m_z - \beta \sigma_z &= 0 \\ \beta &= \frac{m_z}{\sigma_z} \end{aligned}$$

velja tudi:

$$\begin{aligned} m_z &= m_R - m_S \\ \beta &= \frac{m_R - m_S}{\sigma_Z} \end{aligned}$$

Varnostni faktor F je enak m_R/m_S . Izraz z β vključuje tudi razpršenost podatkov, tako ga imamo lahko za boljši kazalec stabilnosti sistemov (Whitman, 1984).

Poenostavljeno lahko zvezo med verjetnostjo in indeksom zanesljivosti izrazimo (Harr, 1987):

$$p(f) \approx 1 \times 10^{-\beta}$$

Verjetnostno oceno stabilnosti, ki je med seboj primerljiva, sem izdelal za obe jalo-
višči.

Stabilnost jalo- višč Boršt in Jazbec

Stabilnost jalo-
višč bom preveril v luči verjetnosti oziroma indeksa zanesljivosti po eni od najbolj pogosto uporabljenih stabilnostnih analiz – po Bishopovi metodi krožnih drsin (Bishop, 1955). Pri tem je območje plazu razdeljeno na poljubno število vzporednih lamel, na katere delujejo različne sile. Varnostni količnik izračunamo po spodnji enačbi:

$$F = \frac{l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \cdot [c' \cdot l + tg \varphi' \cdot (W \cdot \cos \alpha - u \cdot l)]$$

kjer je:

c' kohezija vzdolž drsne ploskve vsake lamele

φ' strižni kot

W teža posamezne lamele

α kot med horizontalo in drsino pri posamezni lameli

u porni tlak vzdolž sp. dela vsake drsine

l dolžina drsne ploskve vsake lamele $l = b \cdot \sec \alpha$, b predstavlja širino lamele.

Vhodni podatki

Vhodni podatki so laboratorijske karakteristike vzorcev zemljin z območij obravnave. (Vidmar et al., 1978) in glede na podatke iz literature (Harr, 1987). Zbrani so v razpredelnici.

Analiza

Uporabil sem izračun, ki omogoča izvedbo stabilnostnih analiz z uporabo teoretičnih nastavkov računa verjetnosti z Monte Carlo

Razpredelnica: Geomehanske lastnosti materialov na jalo-
viščih Boršt in Jazbec

Material	Prostorninska teža γ (kN/m ³)	Standardna deviacija σ	Kot notr. trenja ϕ (°)	Standardna deviacija σ	Kohezija C (kN/m ²)	Standardna deviacija σ
Hidrometalurška jalovina na Borštu	18	0,36	33	4,95	0	0
Karnijski klastiti na Borštu (iz povratne analize)	24	0,48	16	2,4	0	0
Jamska jalovina na Jazbecu	25	0,5	38	2,66	0	0
Nasip pred jalo- viščem Jazbec	25	0,5	40	2,8	0	0
Podlaga na Jazbecu	27	0,54	20	1,4	0	0

metodo. To je programski paket Slope/w (Slope/w, 1998).

V analizah me zanima sledeče:

- ocena stabilnosti obeh jalovišč glede na predvidene nivoje podtalnice
- ocena zanesljivosti izračunanih varnostnih količnikov.

Za oceno sem izvedel štiri glavne sklope analize:

• **Boršt pred (oziroma visok vodostaj)** pomeni izračun stabilnosti pred sanacijskimi ukrepi ob upoštevanju najvišjega nivoja podtalnice; predstavlja povratno stabilnostno analizo in pa analizo za primer nenadnega zvišanja nivoja podtalnice po predvidenih sanacijskih ukrepih.

• **Boršt po (oziroma nizek vodostaj)** pomeni izračun stabilnosti po izvedbi drenažnega rova, ko se nivo podtalnice zniža za 20 m (IBE, 1993a).

• **Jazbec pred (oziroma nizek vodostaj)** pomeni izračun stabilnosti jalovišča za stanje sedanjega torej nizkega vodostaja.

• **Jazbec po (oziroma visok vodostaj)** pomeni izračun stabilnosti za primer dviga podtalnice v jalovišču v primeru odpovedi drenažnega sistema.

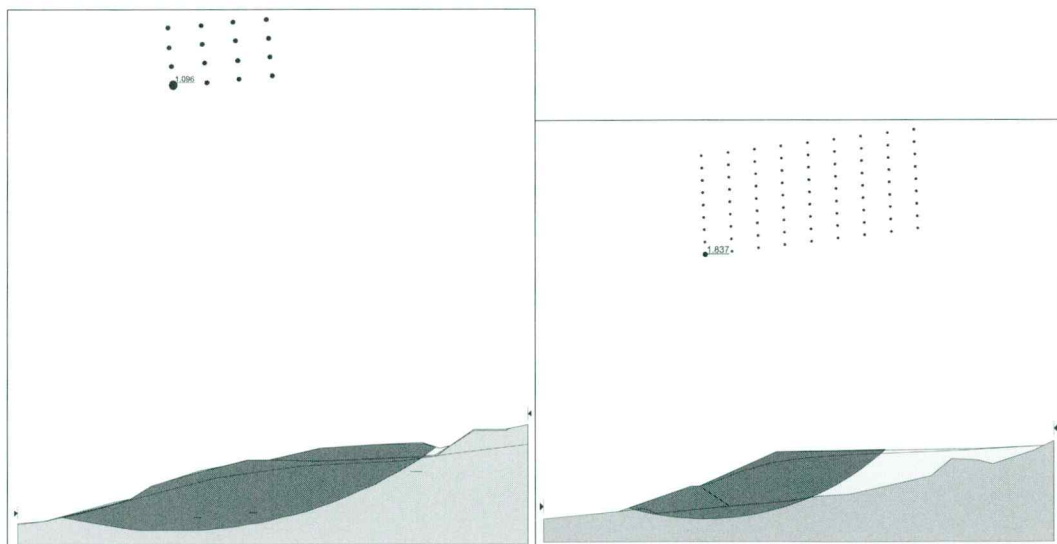
Grafično so mere analiziranih prereзов podane na sliki št.4.

Rezultati

Račun po Monte Carlo metodi upošteva statistični raztros posameznih vhodnih parametrov (strižni kot, kohezijo...). Na podlagi generiranja slučajnih števil nato vzorčuje posamezne parametre, pač v skladu z njihovo statistično razpršenostjo. Tak izračun nato večkrat ponovimo in dobimo tudi statistični raztros varnostnih količnikov. V mojem primeru sem upošteval 10.000 ponovitev.

Rezultati stabilnostnih analiz za jalovišči Boršt in Jazbec

Primer	Varnostni količnik – povprečni F	Indeks zanesljivosti β	Verjetnost porušitve %	Najmanjši varnostni količnik $F_{\min}$	Največji varnostni količnik $F_{\max}$
Boršt pred	1,093	0,586	27,863	0,559	1,726
Boršt po	1,213	1,234	10,834	0,506	1,849
Jazbec pred	2,071	10,495	0	1,702	2,488
Jazbec po	1,836	8,83	0	1,492	1,696



Slika 4: Jalovišče Boršt. Stabilnostna analiza ob upoštevanju visokega vodostaja pred sanacijskimi ukrepi (Boršt pred)

Rezultati so zelo ilustrativni, predvsem, če pogledam varnostne količnike *Boršt po in Jazbec po*. Vrednosti 1,213 in 1,836 nista toliko jasno različni, kot sta indeksa zanesljivosti in izpeljana verjetnost porušitve, ki znaša 11,583 za *Boršt po* in 0 za *Jazbec po*. V vsakem primeru kažejo vrednosti izračuna na to, da je generalno gledano jalovišče Boršt nestabilno.

Sklep

Na sklepu vsakega inženirskega dela je v skladu z zahtevami in namenom dela potrebno sprejeti odločitev in izvesti izbiro med različnimi možnostmi. Kljub temu da pridobimo med procesom raziskave in obdelave podatkov verodostojne podatke in rezultate analiz, pa predstavlja sama odločitev do neke mere subjektivno oceno, ki je še vedno obremenjena z določenim tveganjem.

Kako torej sprejeti odločitev? Ob zadosti poglobljenem študiju bistvenih parametrov, ki določajo konflikte posamezne lokacije je rezultat, ki ga dobim z metodo matričnega izbora in tisti, ki ga dobim iz diagrama odločitev, podoben. Tako menim, da je dolgoročno najbolj sprejemljiva varianta B, torej odvoz jalovišča v jamo. Pri izvajanju se pokaže pomembnost enotne stopnje raziskavnosti vseh območij. Torej bi bilo nujno prevesti parametre, na podlagi katerih odločam, na skupni imenovalac. Tako bi bilo potrebno na jami izvesti raziskave v obsegu, ki bi dal rezultate, na podlagi katerih bi variante lahko primerjali.

Dolgoročno stabilnost območja, na katerem ležijo jalovišči Boršt in Jazbec ter jama rudnika urana, sem izračunal s pomočjo uporabe verjetnostnega izračuna. Tako v največji možni meri upoštevam dolgoročno stabilnost in zajamem nepričakovane dogodke, ki lahko med dolgoročnim obdobjem nastanejo.

V tehnični inženirski praksi je najbolj zaželen enoznačen rezultat, enoznačna izbira. Vendar prav v geologiji kot naravoslovni vedi nastopa veliko število faktorjev, ki so podvrženi naravnim statističnim zakonom. Tako je tudi rezultat določenega izračuna razpršen in odraža lastnosti naravnih parametrov. Zato je njihova obdelava, njihovo razvrščanje in upoštevanje njihove narave s pomočjo teorije verjetnosti zelo koristno in smiselno.

Literatura

Beguš, T. 1994: Plaz na jalovišču hidrometalurške jalovine Boršt rudnika urana Žirovski vrh. Idrija: Zbornik Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih. Idrija.

Bishop, A.W. 1955: The use of slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique* vol. V, No1.

IAEA, 1992: Current Practices for the Management and Confinement of Uranium Mill Tailings. IAEA Technical Report Series No. 335, Dunaj.

IAEA, 1992: Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive ores and Closeout of Residual. IAEA, Technical Report Series No. 362, Dunaj.

Harr, M. E. 1987: Reliability based design in Civil Engineering. An introduction.: Collins professional and Technical Books, 287 str., London.

Strigini, L. 1996: Engineering judgement in reliability and safety and its limits: what can we learn from research in psychology. Centre for Software reliability Technical report, City University Northampton Square. London.

UMTRAP, 1989: Technical Approach Document, Revision II. United States Department of Energy.

UMTRAP, 1988: Alternate site selection process for UMTRA Project sites. United States Department of Energy.

Whitman, V. 1984: Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering.- *Journal of Geotechnical Engineering* vol 110.

Vidmar et al., 1978: Poročilo o laboratorijskih preiskavah vzorcev hidrometalurške jalovine in vzorcev temeljnih tal jalovišča Boršt, Rudnik urana Žirovski vrh. Arhiv Geološki zavod Slovenije.