

Klizišta kao posljedica površinske eksploatacije mineralnih sirovina

Pero Radulović

Dipl. inž. rudarstva, rudarski projektant u Rudarskom institutu Prijedor, Republika Srpska, pero.radulovic@yahoo.com

Sažetak: Sve nagnute prirodne površine terena konstantno se kreću, brže ili sporije. Prirodni uzroci, kao što su sezonske promjene vlažnosti i temperature, razne podzemne i površinske vode, oborine, vjetrovi, promjene fizičkih svojstava tla zbog različitih sporih geoloških i hemijskih procesa (kao npr. izluživanje, raspadanje), tektonski poremećaji i potresi, nepažljivi zahvati u promjeni vegetacijskog pokrivača i režima podzemnih voda stvaranjem vještačkih jezera ili nepravilnim natapanjem kosina, te promjena oblika prirodnih padina ili opterećenja, uzrokuju promjenu strukture i karakteristika slojeva tla. Posljedice toga mogu biti stalna, makar i veoma lagana kretanja površinskog sloja niz kosinu, tzv. puzanje tla ili povremeni brzi i veliki pokreti većih dijelova kosine, tzv. klizenje tla.

Slojevi na kosini biće u ravnoteži onda kada čvrstoća u svakoj tački na smicanje bude veća od naprezanja na smicanje. U toku dugih geoloških promjena nagibi prirodnih kosina prilagođeni su stalnoj čvrstoći na smicanje, pa se za kosine u tom slučaju može reći da su stabilne. Ako se zbog bilo kog prirodnog djelovanja ili vještačkog zahvata poremeti ravnoteža na kosini, te ako naprezanja na smicanje dostignu stvarnu čvrstoću na smicanje materijala, tlo će početi kliziti. Ono će se nastaviti i proširivati sve dok se promjenom oblika kosine ponovo ne uspostavi ravnoteža novim rasporedom masa, odnosno dok ne prestanu djelovati uticaji koji su poremetili ravnotežu.

Razvoj brzine klizenja u vremenu važan je faktor za razvrstavanje i prognozu klizenja. Pri puzanju, brzina je veoma mala i približno konstantna, do 30 mm godišnje. Pri klizenju ta brzina zavisi od deformacijskih karakteristika materijala, morfologiji i nagibu područja klizenja, te iznosi od 30 cm/dan do 400 m/min.

Površinska eksploatacija mineralnih sirovina, kao jedan tipičan vještački zahvat, nerijetko uzrokuje poremećaj prirodne ravnoteže, odnosno dovodi do naprezanja koja prekoračuju čvrstoću na smicanje svih segmenata kosine, a samim tim i do pojave klizišta, koja opet mogu da dovedu do nastanka materijalne štete na objektima koji gravitiraju takvom rudarskom radu. Iz tog razloga je stabilnost radne i završne kosine kopa jedan od najosjetljivijih i najvažnijih segmenata površinskog rudarenja.

Ključne riječi: puzanje, klizenje, kosina, stabilnost, smicanje.

Primljen / Received: 24. decembar 2021. / December 24, 2021

Prihvaćen / Accepted: 27. mart 2022. / March 27, 2022

UZROCI KLIŽENJA TLA

Analizom uzroka klizenja tla, ako se isključe dugotrajni geološki i hemijski procesi u tlu, ustanovljeno je da su, uopšteno gledano, **voda (površinska ili podzemna)** i **vještački zahvati** najčešći uzroci poremećaja ravnoteže na kosini.

Uzrok nestabilnosti, odnosno nastanka klizišta je, dakle, višeznačan. Osnovni razlog pokretanja stijenskih masa leži u prirodnim uzročnicima što se potvrđuje aktivnim procesima klizenja koji zajedno sa antropogenim dejstvom dovode do aktiviranja procesa na uslovno stabilnim i nestabilnim padinama.

Prirodni uzroci klizenja terena su sledeći:

- oslabljena otpornost na smicanje stijena usljed procesa površinskog fizičko-hemijskog raspadanja;
- podsijecanje nožice padina;
- podložnost stijena mijenjanju fizičko-mehaničkih svojstava u negativnom smislu, pod uticajem podzemnih i površinskih voda;
- nekontrolisano razlijevanje vode iz pištrevina u zaleđu klizišta, po površini padine (ako ih ima);
- vrlo slaba vodoodjedivost pripovršinskih sedimenata.

Antropogeni uzroci klizenja terena su:

- eventualni stari jamski radovi;
- aktivni procesi površinske eksploatacije.

Navedene prirodne i tehnogene nepovoljnosti uzrok su aktivnih procesa klizanja i dovođenja kontaktnog područja padina u labilno stanje ravnoteže.

A) VODA – Površinski vodeni tokovi sa većim brzinama eroduju nožice kosina i ukoliko su padine, odnosno, kosine strme može se poremetiti ravnoteža i pokrenuti klizanje tla. Slične pojave su na obalama jezera i mora gdje abrazijsko djelovanje talasa ruši nožicu i uzrokuje odrone.

Prema mogućnostima za formiranje i akumulaciju podzemnih voda, tereni se mogu podijeliti na:

hidrogeološke kolektore tj. vodonosnike

Hidrogeološki kolektori u pravilu imaju pukotinsko-karstnu i intergranularnu poroznost. Pukotinsko-karstna poroznost je najčešće zastupljena u okviru krečnjaka i pješčara. Intergranularni tj. zbijeni tip poroznosti karakterističan je za aluvijalne, terasne i deluvijalno-proluvijalne sedimente.

hidrogeološke izolatore tj. barijere

U grupu hidrogeoloških izolatora ubrajaju se gline, glinoviti laporci, laporovite gline i dr.

hidrogeološke komplekse

U ovu kategoriju su svrstane stijenske mase koje u vertikalnom i horizontalnom pogledu imaju smjenu stijena sa funkcijom hidrogeoloških izolatora i hidrogeoloških kolektora.

Prema vodopropustljivosti, stijenske mase mogu se razvrstati u sledeće grupe:

- dobro vodopropusne $k > 1,0 \times 10^{-5}$ m/s
- srednje vodopropusne sa $1,0 \times 10^{-5}$ m/s $> k > 1,0 \times 10^{-6}$ m/s
- slabo vodopropusne sa $1,0 \times 10^{-6}$ m/s $> k > 1,0 \times 10^{-7}$ m/s
- vodonepropusne $k < 1,0 \times 10^{-7}$ m/s

B) VJEŠTAČKI ZAHVATI – Vještački zahvati na padinama, kao što su podsijecanje kosina rudarskim ili građevinskim radovima, građenje nasipa i građevina i sl., česti su uzroci klizanja tla.

Osim što se promjenom rasporeda masa može neposredno urušiti postojeća ravnoteža na kosini, mogu nastati i promjene svojstava tla na prirodnim padinama.

Pojave klizanja tla na padinama posljedice su sloma na određenim plohama ili zonama, kada naprezanja na smicanje, zbog promjene opterećenja, postanu veća od čvrstoće na smicanje tla.

Čvrstoća na smicanje tla:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

gdje su c' i ϕ' parametri čvrstoće za efektivno naprezanje σ' , koje je jednako:

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Tu je σ ukupno naprezanje, a μ neutralno naprezanje ili pritisak u porama.

Parametar čvrstoće c – kohezije javlja se samo kada je tlo od sitnozrnih koherentnih materijala i zavisi najviše

od poroznosti u zoni sloma. Ugao čvrstoće na smicanje ϕ , kada je tlo od krupnozrnih nekoherentnih materijala, ovisi o mineraloškom i granulometrijskom sastavu, o krupnoći i obliku zrna, te o poroznosti, a kada je tlo od sitnozrnih materijala, više zavisi od mineraloškog sastava, a manje od granulometrijskog sastava i poroznosti.

KATEGORIZACIJA TERENA PREMA STEPENU STABILNOSTI

U zavisnosti od inženjersko-geološke građe i tektonskog sklopa terena, načina pojavljivanja i stanja stijenskih masa kao i njihovih fizičko-mehaničkih i hidrogeoloških svojstava, može se izvršiti kategorizacija terena prema stepenu stabilnosti. Prema stepenu stabilnosti, tereni se mogu svrstati u sledeće dve kategorije:

- uslovno stabilni tereni i
- nestabilni tereni.

Uslovno stabilni tereni su tereni koji su pretežno stabilni u prirodnim uslovima, a u uslovima dubljih zasijecanja padine, postaju pretežno nestabilni. Čvrstoća na smicanje u ovim stijenama je nešto viša ili bliska graničnoj vrijednosti sile na smicanje.

Nestabilni tereni su tereni gdje su sile smicanja preko račile granične vrijednosti njihove otpornosti i čvrstoće na smicanje.

FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA STIJENA

Kosina površinskog kopa može da se nalazi u veoma heterogenom kompleksu stijena, sa širokim rasponom vrijednosti parametara fizičko-mehaničkih svojstava. Heterogenost i nehomogenost litoloških članova, uz sve razlike u njihovim svojstvima, odražavaju se na ukupno ponašanje terena kojeg izgrađuju. Zato se projektovanju kopa, odnosno završne konture mora pristupiti veoma pažljivo.

Da bi se bolje dočarali uslovi u kojima se može naći kosina površinskog kopa, daće se prikaz laboratorijski dobijenih parametara fizičko-mehaničkih svojstava u konkretnoj litološkoj sredini, na izvjesnom rudniku uglja:

Šarena glina:

$\gamma = 17.15-19.90$ kN/m³ (sred. $\gamma = 18.90$ kN/m³),
 $W_L = 74.94-104.55\%$, $W_p = 24.83-31.54\%$, $I_p = 43.4-79.62\%$,
 $I_c = 0.26-1.04$,
 $C = 58.59-122.83$ kN/m² (sred. $C = 91.34$ kN/m²), $\phi = 5^\circ 33' - 11^\circ$ (sred. $\phi = 7^\circ 25'$),
 $M_s = 5555-13793$ kN/m²;

Laporovita glina:

$\gamma = 19.48-19.7$ kN/m³ (sred. $\gamma = 19.6$ kN/m³), $W_L = 66.38-87.88\%$, $W_p = 24.89-65.39\%$, $I_p = 0.99-62.99\%$, $I_c = 0.97$, $C = 79.71-119-22$ kN/m² (sred. $C = 99.46$ kN/m²), $\phi = 9^\circ 30' - 15^\circ 5'$ (sred. $\phi = 12^\circ 18'$),
 $M_s = 6154-10256$ kN/m²;

Pero Radulović

Klizišta kao posljedica površinske eksploatacije mineralnih sirovina
Landslides as a consequence of surface exploitation of mineral resources

Laporci:

$\gamma = 17.66-20.88 \text{ kN/m}^3$
(sred. $\gamma = 19.15 \text{ kN/m}^3$), $W_L = 53.6-84.87\%$, $W_p = 15.22-39.72\%$, $I_p = 29.08-57.99\%$, $I_c = 0.68-1.42$, $C = 20.44-287.5 \text{ kN/m}^2$ (sred. $C = 128.33 \text{ kN/m}^2$), $\varphi = 15^\circ 18' - 34^\circ 27'$ (sred. $\varphi = 25^\circ 45'$), $M_s = 5714-28571 \text{ kN/m}^2$;

gdje su :

g - zapreminska težina
 W_L - granica tečenja
 W_p - granica plastičnosti
 I_p - indeks plastičnosti
 I_c - indeks konzistencije
 C - kohezija
 f - ugao unutrašnjeg trenja
 M_s - modul stišljivosti

Navedeni podaci ukazuju da se u proračun stabilnosti kosine kopa ulazi za podacima koji osciluju u iznosu i preko 100 %. Ukoliko bi se išlo u proračun sa minimalno dobijenim podacima, onda bi se u dobroj mjeri izvršilo predimenzioniranje, odnosno dobila bi se kosina sa malim uglom, što bi za posljedicu imalo velike gubitke mineralne sirovine u istoj toj kosini, a uz veliku sigurnost od klizanja. Sa proračunom u koji bi se išlo sa srednjom vrijednošću, dobilo bi se veće iskorišćenje, ali i manja sigurnost od pojave klizišta. Zato je u ovakvim sredinama, sa promjenljivim fizičko-mehaničkim karakteristikama, veoma teško dati siguran i tačan proračun, a da se postigne optimalno iskorišćenje ležišta.

PREVENTIVNE AKTIVNOSTI

Preventivne aktivnosti prije početka vršenja eksploatacionih radova mogu se posmatrati dvojako:

- snimanje stanja objekata koji gravitiraju prije početka vršenja eksploatacionih radova (ukoliko ih ima);
- izvođenje eksploatacionih radova uz pridržavanje svih projektovanih parametara površinskog kopa, kako bi se izbjegla pojava klizanja terena.

Česta greška koju prave izvođači rudarskih ili građevinskih radova jeste zanemarivanje početnog stanja, odnosno izostavljanje snimanja stanja na terenu i objektima koji se nalaze u blizini lokacije projektovanih radova i stvaranja evidencije sa potrebnim dokaznim materijalom o tom početnom stanju. Bez ovih podataka, nije neuobičajeno da se postojeća oštećenja na objektima ili terenu pokušaju pripisati naknadnim rudarskim ili građevinskim djelovanjima, a u stvarnosti može se raditi o lošem kvalitetu gradnje, prirodno nestabilnim terenima i sl.

Površinska eksploatacija mineralnih sirovina koja se vrši u radnoj sredini sa dobrim fizičko-mehaničkim karakteristikama prilično je komotna u pogledu klizanja terena i opasnost od te pojave relativno je mala. Sa druge strane, u radnoj sredini sa lošim fizičko-mehaničkim karakteristika-

ma izvođenje radova je uglavnom problematično, posebno u periodima sa povećanom količinom oborina. U tim uslovima potrebno je radnu kosinu voditi pod što manjim uglom te, ako postoji mogućnost, spriječiti dotok vode do potencijalne klizne plohe izradom odgovarajuće barijere na najvišem nivou, odnosno ispred mjesta doticanja vode.

AKTIVNOSTI NAKON POJAVE KLIZIŠTA

Za sanaciju nastalog klizišta primjenjuju se mjere za:

Smanjenje naprezanja na smicanje u kosini:

- povoljnim skretanjem strujnog pritiska pomoću dreniranja – kopani ili bušeni drenovi (slika br. 1)
- sniženjem nivoa podzemne vode u kosini,
- rasterećenjem gornjeg, aktivnog dijela klizišta (slika br. 2)
- opterećenjem donjeg, pasivnog dijela ležišta potpornim konstrukcijama, ugradnjom šipova velikog promjera i dr.



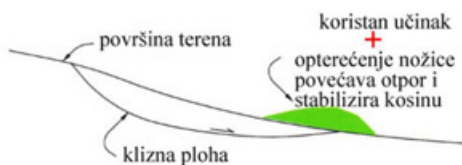
Slika 1 – Horizontalni drenovi za sniženje nivoa podzemnih voda



Slika 2 – Rasterećenje gornjeg, aktivnog dijela klizišta

povećanje čvrstoće materijala u zoni klizišta:

- opterećenjem donjeg, pasivnog dijela klizišta nasipnim materijalom (slika br. 3);
- povećanjem efektivnih naprezanja;
- posebnim postupcima (injektiranje, elektrohemijski postupci, termički postupci i sl.)



Slika 3 – Opterećenje donjeg, pasivnog dijela klizišta nasipnim materijalom

Stabilizacija terena postiže se takođe smanjenjem nagiba kosine, ukoliko za to postoje uslovi, iz razloga što je ugao nagiba kosine jedan od pet najvažnijih uticajnih parametara na stabilnost, a koji je promjenljiv. Projektovana visina površinskog kopa, zapreminska težina, ugao unutrašnjeg trenja i kohezija su nepromjenljive vrijednosti (čak je i visina kopa najčešće uslovljena dokazanim rezervama mineralne sirovine).

ZAKLJUČAK

Da bi se izbjeglo plaćanje štete koja u suštini nije nastala usljed izvođenja rudarskih radova, neophodno je

izvršiti utvrđivanje i evidentiranje činjeničnog stanja na objektima koji gravitiraju površinskom kopu prije samog početka eksploatacije. U slučaju da je u pitanju neka natprosječno vrijedna mineralna sirovina, odnosno, ako se utvrdi da je korist veća od troška, a nije moguće garantovati sigurnost objekta, realna opcija je da se izvrši otkup kuće i pripadajuće okućnice i zemljišta.

Eksploatacione radove treba vršiti pažljivo, prema datim projektnim rješenjima kako ne bi došlo do prekoračenja naprežanja na smicanje u stijenama koje su u radnim ili završnim kosinama, te pojavi klizišta koje je posljedica toga.

Ukoliko ipak dođe do klišenja terena, sanaciju klizišta treba izvršiti na neki od navedenih načina, kako bi se obezbijedila sigurnost radne, odnosno životne sredine u vremenu nakon završetka eksploatacionih radova i zatvaranja rudnika, kao i tokom aktivnog rada.

Landslides as a consequence of surface exploitation of mineral resources

Pero Radulović

Bachelor with honors in mining engineering, Mining designer with mining institute Prijedor, Republic of Srpska, pero.radulovic@yahoo.com

Abstract: All sloping natural terrain surfaces are constantly moving, faster or slower. Natural causes, such as seasonal changes in humidity and temperature, in various groundwater and surface waters, precipitation and winds, changes in soil physical properties due to various slow geological and chemical processes (such as leaching and decay), tectonic disturbances and earthquakes, careless interventions in changing the vegetation cover and groundwater regime by creating artificial lakes or improperly soaking slopes, and changes in the shape of natural slopes or loads, cause a change in the structure and characteristics of soil layers. The consequences of this could be constant, albeit very slow movements of the surface layer down the slope, the so-called "crawling" or occasional fast and large movements of larger parts of the slope, the so-called landslides. The layers on the slope will be in balance when at each point the shear strength is greater than the shear stress. During long geological changes, the grades of natural slopes are adjusted to the constant shear strength, so for the slopes in this case could be said that they are stable. If, due to any natural action or artificial intervention, the balance on the slope is disturbed and if the shear stresses reach the actual shear strength of the material, the ground will start to slide. Once started, it will continue and expand until, by changing the shape of the slope, the balance is again re-established with the new distribution of masses, that is, until the influences that disturbed the balance in the first place cease to act. The development of the sliding speed over time is an important factor for the classification and prognosis of sliding. When the ground is crawling, the speed is very low and approximately constant, up to 30 mm per year. When sliding, this speed depends on the deformation characteristics of the material, morphology and the grade of the sliding area, and it could be anywhere from 30 cm / day up to 400 m / min. Surface exploitation of mineral resources, as a typical artificial intervention, often causes a disorder of the natural balance, that is, it leads to stresses that exceed the shear strength of all segments of the slope, and thus to the occurrence of landslides, which in turn can lead to material damage to facilities that gravitate to such mining work. For this reason, the stability of the working and final slope of the surface mine is one of the most sensitive and important segments of the surface mining.

Keywords: crawling, sliding, slope, stability, shear.