

## **STABILNOST PLAZU OB POTRESU V OBMOČJU JALOVIŠČA BORŠT**

**POVZETEK:** Po obsežih padavinah v novembru 1990, so geodetske meritve pokazale na velike premike jalovišča Boršt, rudnika urana Žirovski vrh. Nadaljnjo opazovanje je pokazalo, da je dolžina drsine 400 m in širina 200 m. Globina drsine, med 20 in 60 m, in je bila ugotovljena z geofizikalnimi meritvami in raziskovalnimi vrtinami. Po izdelavi drenažnega rova leta 1994, so se deformacije umirile. Današnje meritve kažejo na stabilno stanje. Toda ostalo je odprto vprašanje potresne stabilnosti.

Potresna stabilnost je izračunana s štirimi potresi. Za vsak potres je izračunan projektni in maksimalni nivo. Za projektni nivo potresa, so izračunane deformacije večine plazine 0.6 m in za maksimalni nivo potresa 2 m. Deformacije se po potresu umirijo. Obstaja možnost, da se po potresu v območju jalovišča pojavijo razpoke, ki jih bo potrebno takoj zapolniti. Potrebno je poudariti, da bo vsak potres poslabšal geomehanske pogoje v plazini, zato je potreben stalen monitoring. Program monitoringa je že izdelan.

## **EARTHQUAKE STABILITY OF THE LANDSLIDE IN THE REGION OF THE URANIUM MINE TAILING DEPOSIT**

**SUMMARY:** After heavy rainfall in November 1990, large displacements were indicated by geodesic measurements on the mine tailing deposit of the Uranium mine Žirovski vrh. Further observations showed that the landslide was 400 m long and 200 m wide. Geophysical investigations and research boreholes determined the depth of the landslide of 20 up to 60 m. Deformations stopped after the draining tunnel had been excavated in 1994. Present measurements have confirmed the landslide stability. But the question of earthquake stability of the landslide still remains opened.

The earthquake stability was calculated for four earthquakes. For each one, the project and the maximum level were calculated. For the project earthquake level, deformations of the major part of the landslide of 0.6 m were obtained, and for the maximum level the ones of 2 m. The deformations will settle down after the earthquake. It is possible, that fissures will open on the mine tailing deposit and shall be filled up immediately. It shall be stressed, however, that every earthquake will deteriorate the geomechanical conditions within the landslide. Therefore, the landslide shall be monitored continuously. The program of the landslide monitoring has been prepared already.

## UVOD

Po izrednih padavinah v novembru leta 1990 so geodetske meritve jalovišča Boršt, rudnika Žirovski vrh, pokazale na večje premike. Nadaljna opazovanja in meritve so pokazale, da gre za plazenje obsežnejšega dela pobočja v dolžini približno 400 m in širini 200 m. Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da plazina drsi po tufitni plasti v globini med 20 in 60 m.

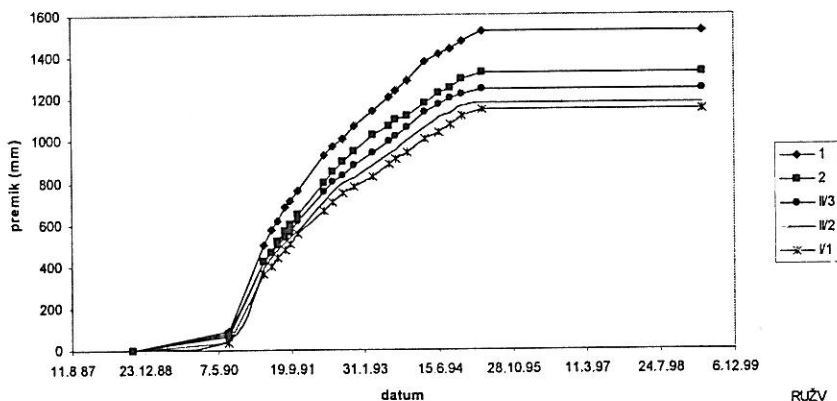
Z izdelavo drenažnega rova, junija 1994, so se deformacije umirile. Sedanje meritve ne kažejo novih pomikov. Ostalo pa je odprto vprašanje potresne stabilnosti plazu. Prvi izračuni so bili izdelani že leta 1992 "Študija saniranja plazu. Dinamične analize", ki jo je izdelal IBE - Elektroprojekt iz Ljubljane skupaj z strokovnjaki Inštituta za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo - IZIS iz Skopja, Makedonija. Naša naloga je bila na osnovi novejših podatkov preveriti potresno sabilnost plazu.

Stabilnost smo preverili s štirimi potresi. Za vsak potres je izračunan projektni in maksimalni nivo. Dinamičen izračun smo izvedli na osnovi statičnega modela.

## IZDELAVA STATIČNEGA MODELA

Za izračun smo izdelali mrežo modela velikosti 7190 elementov.

Statični model je izdelan na osnovi povratne analize, s katero smo pridobili vhodne geomehanske karakteristike celotne plazine. Model smo umerili z deformacijami, ki so se merile od začetka plazenja. Točke, ki so bile merjene na območju jalovišča in so: I/1, II/2, II/3, 1 in 2 (slika 1). Največje deformacije od pričetka plazenja in do stabilizacije plazu so približno 1.5 m. Ostale točke so se opazovalni geodetski mreži dodale postopoma. Z ekstrapolacijo točk, glede na čas vgradnje, smo ugotovili, da se je celotna plazina premikala dokaj enakomerno. Deformacija celotne plazine je bila med 1 in 1.5 m. Značilno za plazino je, da je bil dobro viden zgornji odlomni rob, spodnji izvirni rob pa ni bil opazen.



Slika 1. Meritve deformacije jalovišča

## Geološki model

Da smo dosegli enakomerni razvoj deformacij, velikosti 1.5 m po celotni plazini, smo morali spremeniti dosedanji geološki model plazu.

### *Drсна ploskev - tufitna plast*

Tufitna plast ni homogena, marveč ima v zgornjem delu bistveno slabše geomehanske lastnosti kot v spodnjem delu. To razlagamo z večjim dotokom vode v zgornji del plazine. V tem delu je ob poplavi obstajal izvir, kar kaže na to, da je del vode odtekel iz plazine. V tem primeru je bil spodnji del tufitne plasti manj omočen kot zgornji del. Na to kažejo tudi popisi vrtin v spodnjem delu plazu, ki tufitno plast opisujejo kot kompaktno.

### Telo plazu-plazina

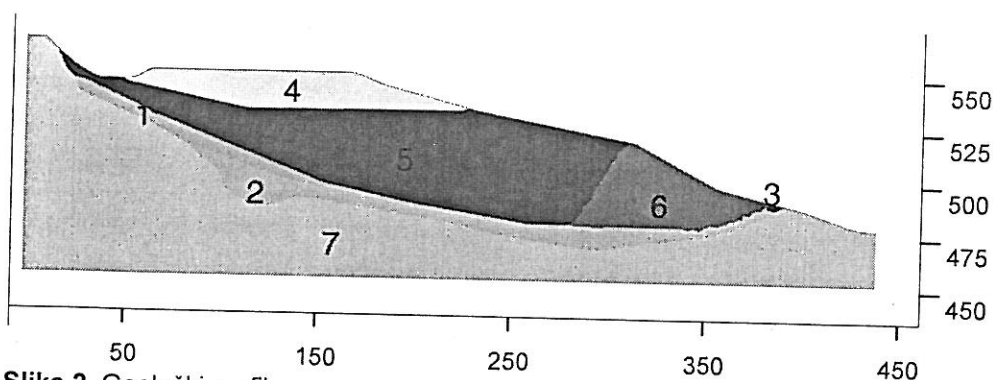
Nad tufitno plastjo ležijo karnijski skladi glinovcev, meljevcev in peščenjakov. Hribina je močno tektonsko poškodovana. S povratno analizo smo ugotovili, da tudi sama plazina ni homogena.

Ob vznožju pobočja nam že geomorfološka oblika nakazuje, da so v tem delu plasti kompaktnije. Naklon pobočja v spodnjem delu plazine je med 26 in 30°. Popisi vrtine, izvrtane v spodnjem delu plazu kažejo, da se med plastmi meljevca povečuje delež peščenjaka, ali pa nastopa kompakten peščenjak v plasteh debeline do 3 m. Prav tako se je v drenažnem rovu na stac. med 77 in 106m pojavile debelejšje plasti peščenjaka. Da smo zagotovili stabilnost spodnjega dela plazine pri današnjem nivoju podtalnice, smo v tem delu upoštevali višje geomehanske lastnosti plazine, kot v preostalem delu.

### Preperina

Za plaz je značilno, da spodnji izrivni rob ni bil opazen. V izračunu smo upoštevali nad tufitno plastjo 2-3 m debelo plast preperelih plasti meljevca in glinovca. V primeru, da bi tufitna plast v celoti dosegla površino, bi se v tem delu pojavile deformacije velikosti več m, ki pa jih na terenu niso ugotovili. Obstaja še možnost, da se tufitna plast izklini 10 ali več m pod površino.

Geomehanske karakteristike posameznih plasti, dobljene na osnovi povratne analize so prikazane v tabeli 1. Geološki profil je prikazan na sliki 2.



Slika 2. Geološki profil

Tabela 1. Geomehanske lastnosti posameznih plasti

GEOLOGIJA	Oznaka	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	E MPa	$\varphi$ °	c KN/m <sup>2</sup>	v
Jalovišče	4	18.50	200	25	0	0.36
Karnijske plasti (glinovec, meljevec, peščenjak)	5	23	500	26	0	0.32
Karnijske plasti (spodnji del pobočja, prevladuje peščenjak)	6	24	500	29	50	0.3
Preperina karnijskih plasti	3	22	200	23	5	0.3
Tufitna plast (zgornji del, slabše geom. lastnosti)	1	20	2	13	0	0.3
Tufitna plast (kompaktna)	2	20	50	16	0	0.3
Kompaktni meljevci in peščenjaki (podlaga)	7	26	4000	36	1000	0.3

## Potek povratne analize

S povratno analizo smo upoštevali meritve deformacij geodetskih točk in vsa opažanja na terenu. Na ta način smo model umerili s stanjem ob poplavi in trenutnim stanjem, ki kaže na stabilnost plazine. Za numerične izračune smo uporabili program FLAC, ki računa po metodi končnih diferenc. V izračunu je uporabljen Mohr-Coulombov porušitveni kriterij.

Povratno analizo smo izdelali v dveh korakih:

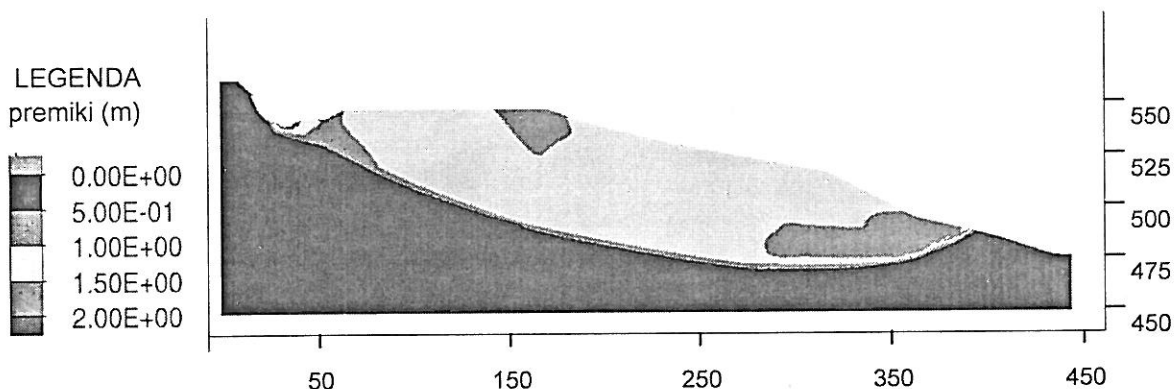
- simuliranje poplave iz leta 1990
- znižanje nivoja vode na današnji nivo.

### *Simuliranje poplave iz leta 1990*

Poplavo in splazitev pobočja smo simulirali z dvigom podtanice skoraj do površine, v nivo podtalnice jalovišča. Na podoben način je bil izdelan izračun Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, kjer so z nivojem vode V2 na podoben način simulirali stanje ob poplavi leta 1990 (FAGG, 1991). Med izračunom smo opazovali razvoj deformacij v kontrolnih točkah na površini plazine v odvisnosti od števila računskih korakov. Ko so deformacije na celotni površini plazine dosegle velikost 1.5 m, smo izračun ustavili. Izračun z numeričnim modelom kaže na dokaj enakomeren razvoj deformacij v velikosti med 1-1.5m (Slika 3).

### *Znižanje nivoja vode*

Po doseženih deformacijah 1.5 m smo znižali nivo vode na današnji nivo. Nadaljnji izračun je pokazal na umiritev deformacij v modelu in na stabilno stanje plazju.



**Slika 3.** Deformacije pred izvedbo drenažnega rova

## DINAMIČEN MODEL

V Sloveniji do sedaj še niso bile pridobljene registracije močnih potresov, ki bi bile uporabne pri seizmičnih analizah, zato se običajno uporabljajo registracije, dobljene v bližini ozemlja Slovenije. Pri dinamičnih analizah smo uporabili 4 akcelerograme. Dve horizontalni komponenti, dobljeni med potresom v Črni Gori leta 1979 v Petrovcu na moru (Petrovac NS in Petrovac EW) in dve horizontalni komponenti akcelerograma, dobljenega med potresom v Furlaniji leta 1976 v Tolmezzu (Tolmezzo NS in Tolmezzo EW). Zaradi zmanjšanja obsega dinamičnega izračuna, so potresi skrajšani na 10 s oziroma 15 s. Skrajšani so za začetek in konec potresa, kjer so amplitude najmanjše tako, da skrajšanje ne vpliva na rezultat izračuna.

Za projektni potres so akcelerogrami normirani na 0.26g in za maksimalni potres na 0.49g.

V nadaljevanju članka uporabljamo izraza "projektni potres" in "maksimalni potres" za potrese s povratno dobo 1000 (0.26g) oziroma 10 000 let (0.49g).

Inštitut FGG je s programom SYNTH generiral umetne akcelerograme, ki ustrezajo spektru po Eurocode 8, vendar pri tem ohranijo čim več značilnosti dejanskega akcelerograma. V naslednjem

koraku je bilo potrebno akceleroگرامe generirati na globino 100 m. Numerični model je bil namreč izdelan do globine 100 m, kjer se je podalo potresno vzbujanje. Akceleroگرامi so bili generirani s programom SHAKE 91.

Osnovo za dinamičen izračun predstavlja stabilen statičen model, ki smo ga dobili s povratno analizo. Zaradi nihanja nivoja podtalnice smo v izračunu upoštevali nivo vode, kot je bil uporabljen pri statičnih kontrolnih izračunih (IBE, 1998). Nivo vode je nekoliko višji od današnjega. V modelu smo upoštevali 5% kritično dušenje plazine.

## REZULTATI

Za vse izračune je značilno, da se nad deponijo oblikuje odlomni rob na mestu, kjer se je oblikoval odlomni rob tudi pri splazitvi plaz. Vsi potresi kažejo močno povečane deformacije ob vznožju pobočja, kjer se tufitna plast približa površini. Te deformacije so lokalnega značaja. Ker nam spodnja drsna meja ni znana, so izračunane deformacije lahko tudi prevelike.

Deformacije po potresu smo opazovali na treh območjih: v območju jalovišča, pod jaloviščem in ob vznožju pobočja. Za vsako območje in za vsak potres smo v tabeli podali največje deformacije.

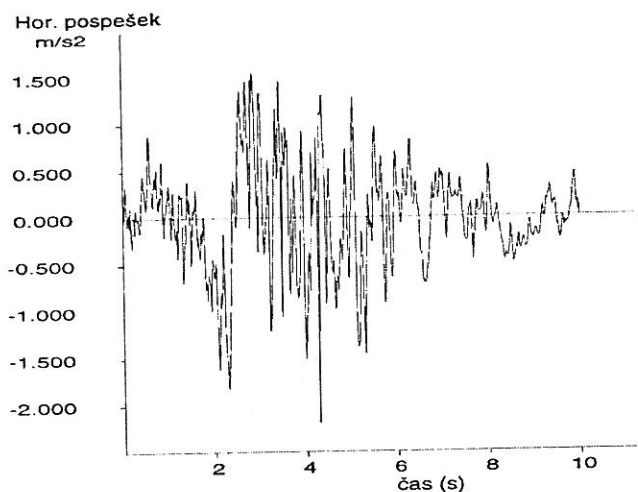
### Projektni potres

Izračuni kažejo, da so pričakovane največje deformacije pri projektne potresu do 1.3 m. Največje deformacije se pojavijo lokalno ob vznožju pobočja, kjer se predvidoma izklini tufitna plast. Večina plazine se deformira do 0.6 m.

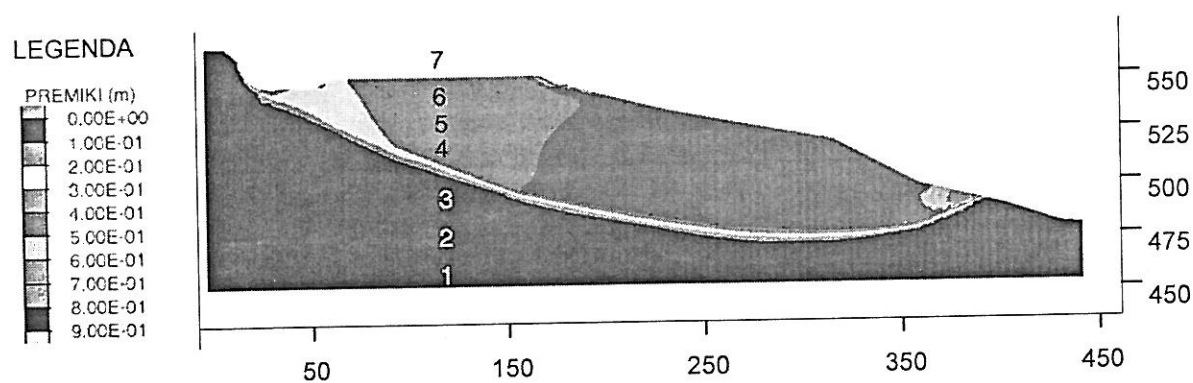
Tabela 2. Deformacije po projektne potresu, 0.26g

Potres	Območje jalovišča	Pobočje pod jaloviščem	Vznožje pobočja
	m	m	m
Tolmezzo EW	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5	0.5 - 0.9
Tolmezzo NS	0.2 - 0.4	0.4 - 0.5	0.5 - 0.8
Petrovac EW	0.2 - 0.5	0.4 - 0.5	0.5 - 1.1
Petrovac NS	0.1 - 0.6	0.4 - 0.6	0.6 - 1.3

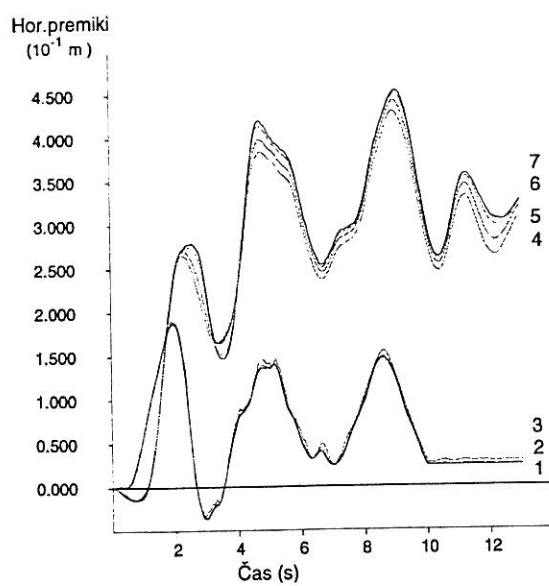
Kot primer so prikazane deformacije za potres Tolmezzo NS. V model smo simulirali potres v obliki akceleroگرامa, ki je podan na sliki 4. Pod deponijo in ob vznožju pobočja se razvijejo deformacije velikosti 0.3-0.6 m (slika 5). Razvoj horizontalnih deformacij v kontrolnih točkah, kaže na to, da se deformacije proti površini povečujejo (slika 6), kjer se skladno povečajo tudi horizontalne hitrosti (slika 7) in se postopoma po potresu umirijo.



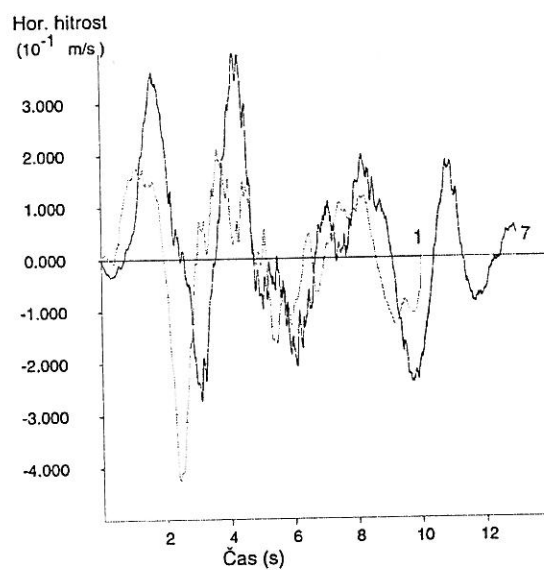
Slika 4. Generirani akcelrogram za potres Tolmezzo NS



Slika 5. Deformacije po projektne potresu Tolmezzo NS



Slika 6. Horizontalni premiki



Slika 7. Horizontalne hitrosti



## Maksimalen potres

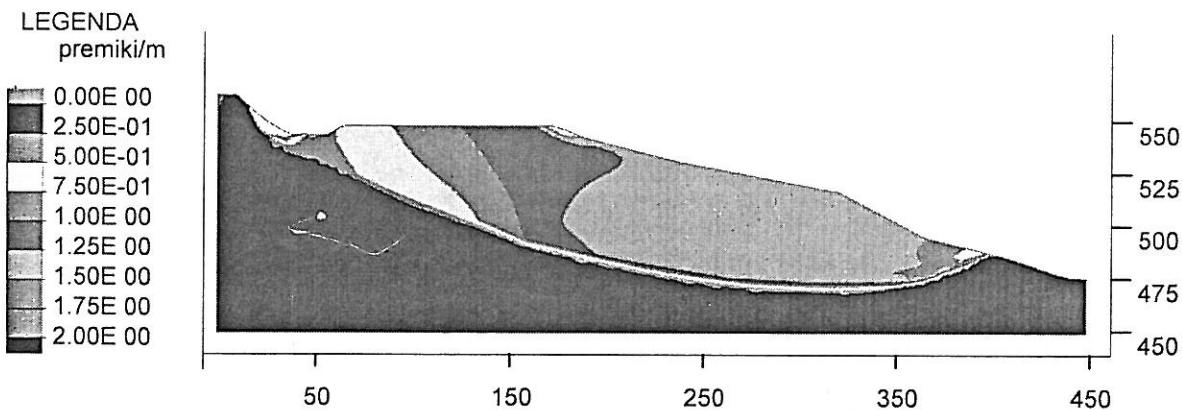
Akcelerogrami navedenih potresov so generirani na globini 100 m tudi za maksimalni potres 0.49g. Izračunane deformacije za posamezen potres so podane v tabeli 3.

**Tabela 3.** Deformacije po projektnejem potresu, 0.48g

Potres	Območje jalovišča	Pobočje pod jaloviščem	Vznožje pobočja
	m	m	m
Tolmezzo EW	0 - 1.5	1 - 1.5	1.5 - 2.5
Tolmezzo NS	0.5 - 2	1 - 2	1.5 - 2.2
Petrovac EW	0.25 - 1.25	1 - 1.5	1.5 - 2.8
Petrovac NS	0.5 - 1.5	1 - 2	2 - 3.3

Pri maksimalnem potresu so največje deformacije velikosti do 3.3 m. Po potresu se deformacije umirijo. Največje deformacije se pojavijo ob vznožju pobočja. Večina plazine se deformira do velikosti 2 m. Izračuni se ujemajo tudi s rezultati dinamične analize iz leta 1991.

Kot primer so prikazane deformacije v plazini po potresu Petrovac EW (slika 8). Deformacije večje od 2 m na sliki niso prikazane zaradi preglednosti razvoja deformacij v plazini. Izračun kaže, da se deformacije v plazini ne razvijejo enakomerno, kot se je to zgodilo pri splazitvi plazu. V telesu plazu se oblikujejo poleg glavne drsne ploskve še dodatne drsine, večinoma vzporedne s pobočjem. Meritve z inklinometrom so pokazale, da so se v obdobju drsenja plazu v plazini pojavili premiki na več različnih globinah. Na možnost oblikovanja več drsnih ploskev v plazinah ob potresu, kažejo tudi zadnje laboratorijske preiskave modelov brežin (Seco e Pinto, 1999). Razvoj dodatnih drsnih ploskev je pomemben zaradi jalovišča. Dodatne drsne ploskve se večinoma oblikujejo pod deponijo, kar se bo odražalo v razpokah na površini.



**Slika 8.** Deformacije po projektnejem potresu Petrovac EW

## ZAKLJUČEK

Z numeričnim modelom smo preverili stabilnost plazu pod jaloviščem hidrometalurških odpadkov v primeru potresa. Stabilnost smo preverili s štirimi potresi. Za vsak potres je izračunan projektni in maksimalni nivo. Po potresu se deformacije umirijo.

Glede na velikost deformacij ocenjujemo, da se bodo v deponiji, pri projektnejem potresu, pojavile manjše razpoke velikosti nekaj cm. Nastale razpoke je možno v plazini dokaj hitro sanirati.

Pri maksimalnem potresu bodo te razpoke bistveno večje, saj je razlika med deformacijami na površini deponije med 0.5 in 1.5 m. Tako velike deformacije bodo lahko oblikovale nov odlomni rob, ki bo tekel preko jalovišča. Deformacije v plazini bodo zahtevale večje sanacijske ukrepe.

Predvidevamo, da bo vsak potres geomehanske lastnosti celotne plazine dodatno poslabšal. S premiki v plazini se bo lahko spremenil tudi hidrološki režim. Razpoke, ki bi se po potresu pojavile v

deponiji, lahko povzročijo izhajanje radona. Prav tako razpoke omogočajo večji dotok vode v plazino in močnejše preperavanje, kar dodatno poslabša geomehanske lastnosti plazine.

V obdobju tisoč let je možnih več izrednih dogodkov, ki bi poslabšali geomehanske lastnosti plazine (poplave, potresi). V tem obdobju je možna tudi zamašitev drenažnega sistema, ki ga sedaj gradi drenažni rov in drenažna zavesa vertikalnih vodnjakov v zgornjem delu plazu.

Zaradi naštetih razlogov je potrebno za plazovito območje izvajati stalno aktivno kontrolo. V ta namen je že izdelan celovit program monitoringa plazu.

## LITERATURA

- Kogoj, D., Stegenšek, B, Pajer, M., 1999. Izmera horizontalnih in vertikalnih premikov jalovišča hidrometalurške jalovine Boršt. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Vidmar, S., Vrabec, M., 1992. Geotehnične analize plazenja na deponiji Boršt –RUŽV. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Zadnik, B., 1992. Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt. Študija saniranja plazu, Dinamične analize. IBE
- Kvaternik, K., 1998. Kontrolni stabilitetni izračun plazu. IBE.
- Buser, I., Volf, S., 1992. Inženirsko geološko poročilo deponije Boršt. IGGG.
- Veselič, M., Likar, J., Žigman, F. in sodelavci, 1998. Študija za določitev koncepta končne ureditve jalovišča Boršt ob zagotavljanju vseh potrebnih mer za 1000 let. IRGO.
- Čadež, F., 1996. Geologija drenažnega rova pod jaloviščem HMJ Boršt in vpliv rova na podtalnico. Rudnik Žirovski vrh
- Čadež, F., 1998. Poročilo o izdelavi vodnjakov na deponiji Boršt v Rudniku Žirovski vrh. GZL Geoprojekt.
- Tomšič, B., Gosar, A., 1991. Seizmične meritve na odlagališču Boršt. GZL.
- Seco e Pinto, P, 1999, Earthquake geotechnical engineering, vol 2. Balkema.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., 1999. Verjetnostna ocena vršnega pospeška tal, Uprava RS za geofiziko. URSG.
- Itasca Consulting, Minneapolis, 1996, 1998. User's Manual, Optional Features. Minneapolis.