

NASLOVLJENO: Naučnom Veću Instituta za rudarstvo i Metalurgiju Bor

Zahtev: Verifikacija tehničkog rešenja

U skladu sa *Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača* od 21.03.2008. god, obraćam se Naučnom Veću Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor, sa molbom da pokrene postupak za validaciju i verifikaciju tehničkog rešenja br. T1/33021 pod nazivom:

**ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

**Autori:**

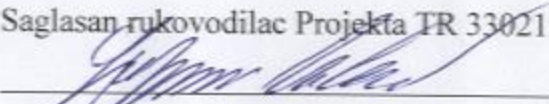
1. dr Milenko Ljubojev, dipl.ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
2. dr Ružica Lekovski, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
3. Miomir Mikić, dipl.ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
4. Daniel Kržanović, dipl.ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,

Tehničko rešenje T1/33021 (M83) je rezultat realizacije PROJEKTA TR33021: *Istraživanje i praćenje promena naponsko deformacionog stanja u stenskom masivu „in situ“ oko podzemnih prostorija sa izradom tunela sa posebnim osvrtom na tunel Kriveljske reke i Jame Bor, za period 2011-2014.god.*

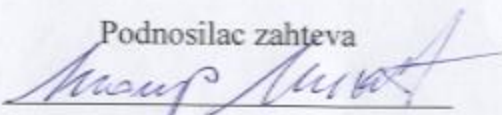
Za recenzente predlažem:

1. Prof. dr. Mirko Ivković, dipl.ing. rud. Rudarski Institut u Banja Luci
2. dr Mevludin Avdić, dipl.ing. rud. Redovni profesor Rudarsko - geološko-građevinskog fakulteta u Tuzli

Saglasan rukovodilac Projekta TR 33021:

  
dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik, IRM Bor

Podnosilac zahteva

  
Miomir Mikić, dipl.ing.rud.

Istraživač saradnik, IRM Bor



**ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО  
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР  
НАУЧНО ВЕЋЕ**

**Број: VI/5.14.**

**Од 31.01.2012.године**

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.38/2008), Научно веће је на VI-ој седници одржаној дана 31.01.2012. године донело:

**ОДЛУКУ**  
**о покретању поступка за валидацијом и верификацијом**  
**техничког решења и именовању рецензената**

**I**

На захтев Миомира Микића, дипл.инж.руд. Института за рударство и металургију у Бору, Научно веће је покренуло поступак за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом „Анализа напонског деформацијског стања деонице колектора са преливним органом испод поља 2 флотацијског одлагалишта Велики Кривељ МКЕ“ и донело Одлуку о именовању следећих рецензената за давање мишљења о наведеном техничком решењу:

1. др Мирко Ивковић, виши научни сарадник ЈП за ПЕУ Ресавица
2. др Мевлудин Авдић, редовни професор Рударско-геолошког-грађевинског факултета у Тузли



**ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА**

**Др Миленко Љубојев, дипл.инж.руд.**  
**Научни саветник**



## ТЕХНИЧКО I RAZVOJNO REŠENJE (M83)

### ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE

broj: VI/5.14 od 31.01.2012.god.

Podnosilac zahteva:

  
Miomir Mikić, dipl.ing.rud

Istraživač saradnik, IRM Bor

Bor 2012. god

**PROJEKAT 33021:**

**ISTRAŽIVANJE I PRA ENJE PROMENA NAPONSKO DEFORMACIONOG STANJA U STENSKOM MASIVU „IN SITU“ OKO PODZEMNIH PROSTORIJA SA IZRADOM TUNELA SA POSEBNIM OSVRTOM NA TUNEL KRIVELJSKE REKE I JAME BOR**

**TEHNI KO I RAZVOJNO REŠENJE (M-83):**

**ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

**Autori:**

1. **dr Milenko Ljubojev, dipl,ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor**
2. **dr Ružica Lekovski,., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,**
3. **Miomir Miki , dipl,ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,**
4. **Daniel Kržanovi , dipl,ing rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,**

**IZVOD**

Prostor doline Kriveljske reke predstavlja za sada jedinu realni lokaciju za deponovanje flotacijske jalovine nastale preradom rude bakra u flotaciji Veliki Krivelj. Da bi ovaj prostor bio u funkciji neophodno je postojati i kolektor za devijaciju Kriveljske reke staviti van upotrebe izgradnjom novog tunela, čija bi trasa išla delom kroz flotacijsko jalovište, a delom kroz stenski masiv.

Trenutno stanje obloge i visoki naponi kolektora mogu dovesti do njegovog rušenja i formiranja otvora na dnu odlagališta poprečnog preseka jednakom otvoru kolektora.

Ovim tehničkim rešenjem je izvršena ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ primenom metode konačnih elemenata (MKE). Ovim rešenjem se pokazuje da postoji opasnost pojave havarije sa visinom nasipa flotacijske jalovine visine 60 m iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom. S obzirom da na terenu iznad ove deonice nije u potpunosti suvi deo naslaga flotacijske jalovine već je prisutna mešavina mulja i vode, pri čemu je pritisak na kolektor manji nego na kolektoru ispod brane.

Tehničko rešenje je usklađeno sa važećim zakonskom regulativom iz ove oblasti, odnosno sa važećim PRAVILNIKOM O POSTUPKU I NAČINU VREDNOVANJA I KVANTITATIVNOM ISKAZIVANJU NAUČNOISTRAŽIVAKIH REZULTATA ISTRAŽIVANJA (Sl. glasnik RS, br. 38/2008).

Tehni ko rešenje je prikazano na 26 strana uklju uju i i naslovne strane, sa slede im sadržajem:

## UVOD

### 1. OPIS FORMIRANJA FLOTACIJSKOG JALoviŠTA VELIKI KRIVELJ

#### 1.1. Havarije

#### 1.2. Mogu a havarija na flotacijskom odlagalištu Veliki Krivelj nadvišenjem brane 3A

### 2. KOMPJUTERSKO MODELIRANJE UDESA NA NESANIRANOJ DEONICI KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2. FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ

#### 2.1. Rezultati prora una 2D analize

##### 2.1.1. Popre ni profil kolektora

##### 2.1.2. Prikaz smi u ih napona YZ po usvojenim koracima (visini nasipa flotacijske jalovine iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivn im organom

#### 2.2. Rezultati prora una 3D analize

## ZAKLJU AK

### Literatura

## UVOD

Flotacijska jalovišta predstavljaju stalnu opasnost po ekološke faktore život ne sredine bilo da su u funkciji, ili posle prestanka odlaganja jalovine i zapunjavanja odlagališnog prostora. Iz tog razloga potrebno je odlagališni prostor iskoristiti potpuno kako se ne bi zauzele nove površine i zagadili novi tokovi reka. Fltacijska jalovišta se grade naj eš e u dolinama potoka ili reka. U RTB Bor postoji ideja o maksimalnom iskoriš enju postoje eg odlagališnog prostora nadogradnjom brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. U tu svrhu potrebna je izgradnja tunela ispod Polja 2 za odvod voda Kriveljske reke umesto postoje eg kolektora koji zahteva velika finansijska sredstva za sanaciju ošte enog dela.

Postavljena je hipoteza o mogu oj havariji (pucanja i rušenja) kolektora ispod flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj i ugrožavanja sliva Kriveljske Reke, Borske reke i Timoka sve do Dunava. Visoki naponi i stanje obloge kolektora može dovesti do njegovog rušenja i formiranja otvora na dnu odlagališta popre nog preseka jednakom otvoru kolektora. Primenom matemati kih modela za isticanje mulja kroz ova kve otvore, procenjen je protok ( $m^3/s$ ) mulja havarijskog poplavnog talasa i obim ugrožavanja životne sredine Borske Reke i Timoka. Istraživanjem je utvr eno da bi ekološka katastrofa bila me unarodnog karaktera.

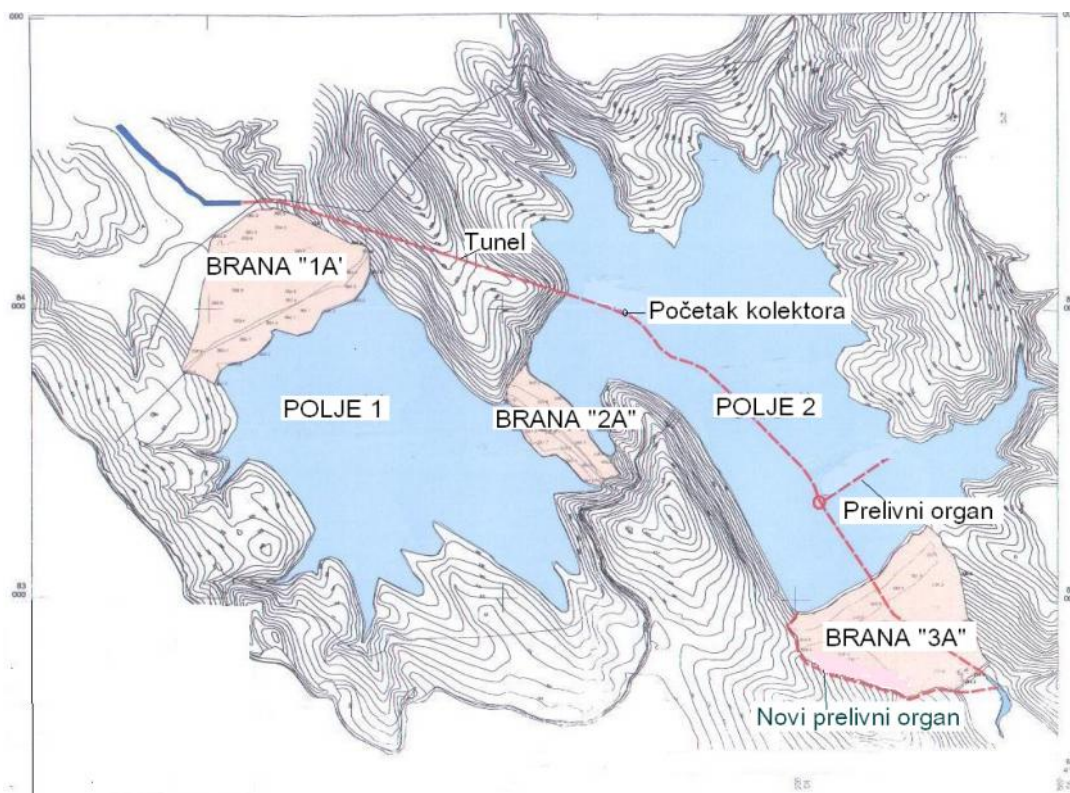
Potvr ivanje hipoteze je izvršeno otkrivanjem naponskog stanja po obimu kolektora usled pritiska mase odlagališta. U tom cilju izvršena je ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ primenom metode kona nih elemenata (MKE). Za analizu naponsko deformacijskog stanja koriš en je programski paket ADINA, a problem je rešavan "korak po korak". Analiza je izvršena kako bi se dokazalo da kolektor sa ugrdnjom nove betonske obloge ne može da izdrži pritiske brane 3A ve e visine od 100 m.

## 1. OPIS FORMIRANJA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ

Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj građeno je u dolini Kriveljske Reke i predstavlja dolinski tip jalovišta (odlagališta). U tom cilju izvršena je devijacija Kriveljske Reke tunelom kroz stensku masu i kolektorom po dnu rečne doline (slika 1.).

**Devijacija Kriveljske Reke** izvršena je između brane 1A i 3A. Ukupna dužina devijacije reke iznosi 3 543,73 m. Prvi deo (uzvodni) u dužini od 1 516,97 m u zoni pored brane 1A je rađen tunelski u vrstoj stenskoj masi. Drugi deo u dužini od 2 026,76 m urađen je kao kolektor. Nulta stacionaža devijacije reke vezuje se za izlaz kolektora.

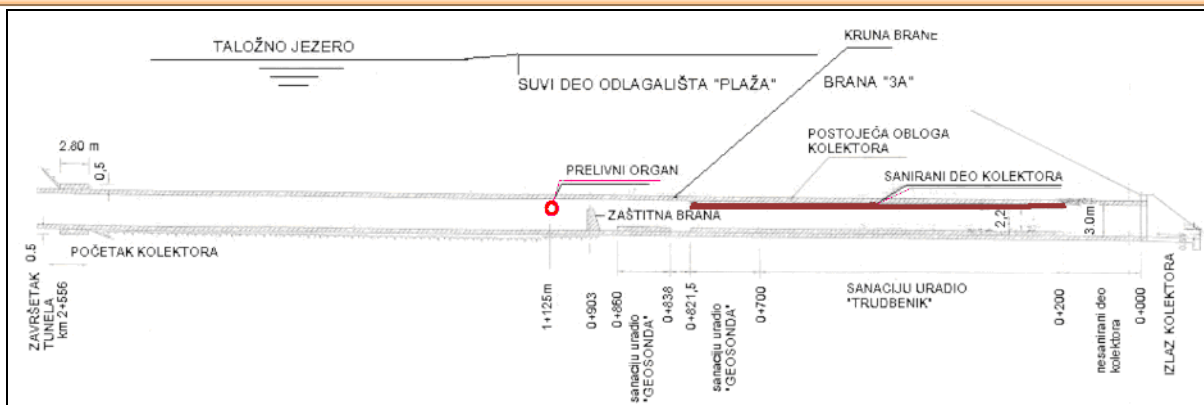
**Tunel** je izveden u obliku kružnog poprečnog preseka, unutrašnjeg prenika  $\varnothing=3,0\text{m}$  sa armirano betonskom oblogom debljine  $t=20\text{ cm}$ . Tunel je u eksploataciji od 1980. god. i zbog dugotrajnog uticaja agresivnih voda iz Saraka Potoka došlo je do ozbiljnih oštećenja dna tunela.



Slika 1. Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj

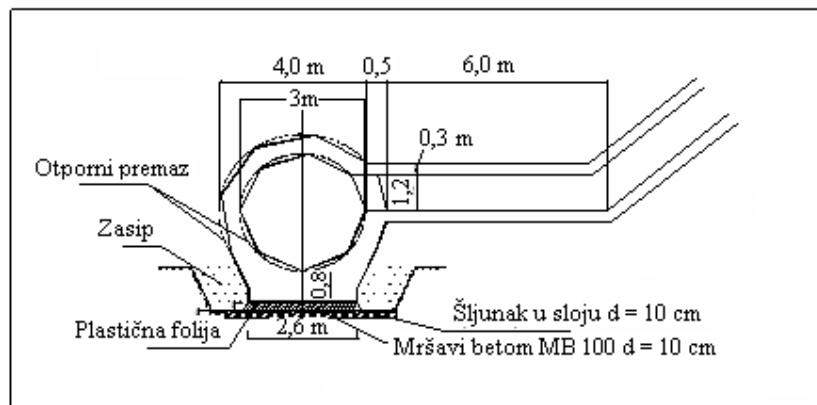
**Kolektor** je izveden kao armirano betonska kružna cev unutrašnjeg prenika  $\varnothing=3,0\text{ m}$  i debljine zidova  $d=50\text{ cm}$ .

Podužni profil kolektora sa prelivnim organom i saniranom deonicom prikazan je na slici 2.



Slika 2. Uzdužni profil kolektora ispod Polja 2. FJ Veliki Krivelj

**Prelivni organ postoji na** stacionaži 1+125 m i uliva se u donji deo kolektora i ima funkciju ispuštanja viška vode iz akumulacije jalovišta (slika 2. i 3.). Faktori koji su uticali na po etak loma kolektora (posebno kada je zapunjen rukavac) o ekuju se i u predelu prelivnog organa i postoji opasnost loma istog.



Slika 3. Nesanirana deonica kolektora sa prelivnim organom ispod Polja 2. FJV: Krivelj

**Pregra ivanjem re ne doline** formirana su dva simetri na flotacijska jalovišta (slika 2) : staro – Polje 1. i novo – Polje 2. Odlagališni prostor je gra en u dve faze. U prvoj fazi gra ene su Brane 1A i 2A i formirano je Polje 1. U drugoj fazi izgra ena je brana 3A i formirano je Polje 2. (novo jalovište) izme u brana 2A i 3A. U eksploataciji je ponovo Polje 1 ije su brane nadavišene.

Sve tri brane prilikom gradnje u osnovi imaju po dve niske brane – inicijalnu i zaštitnu. Nadgradnja brana bazirana je na primeni hidrociklona uz iju pomo se iz flotacijske jalovine klasiranjem izdvajaju krupne klase u obliku peska, koji slu ži za nadogradnju brana, a preliv hidrociklona, uz koji odlazi i najve a koli ina vode, se ispušta uz pomo spigota unutar prostora za deponovanje mulja. Istaloženi sitnozrni materijal formira plažu, dok se unutar jalovišta formira jezero izbistrene vode koja se prepu mpava u rezervoare iznad flotacije, zatvaraju i na taj na in ciklus voda. Razlika vode obezbe uje se uz pomo pumpne stanice za svežu vodu .

Hidromešavina od flotacije do flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj se transportuje gravitaciono kroz betonske kanale pravougaonog popre nog preseka.

Trasa kanala podeljena je na tri sekcije sa podužnim padom od 0,7% i sa različitim poprečnim presećima, i to: sekcija 1: jedan kanal dimenzija 1000x800 mm, sekcija 2: dva kanala dimenzija 800x600 mm i sekcija 3: jedan kanal dimenzija 1200 x 800 mm. Kanali zadovoljavaju uslove gravitacijskog transporta za količinu jalovine koja se dobija pri kapacitetu flotacije od  $10,6 \times 10^6$  tona rovne rude godišnje, odnosno  $Q_p=4356 \text{ m}^3/\text{h}$  pri gustini pulpe od 24,75 %<sup>^</sup>. Na krajevima pojedinih sekcija kanala nalaze se rasteretne komore.

Preliv iz hidrociklona (fina frakcija flotacijske jalovine) taloži se u Polju flotacijskog jalovišta u vidu mulja. Prelivna voda posle izbistrenja prihvata se pumpom instaliranom na splavu i vraća se u proces flotacijskog postrojenja.

### 1.1. Havarije

Kolektor za devijaciju Kriveljske Reke izgrađen je po koritu Kriveljske Reke na dnu Polja 2. još pre 1990 godine. Zbog muljevite sredine izabran je kružni oblik. Projektom je predviđeno da visina jalovine brane 3A iznad kolektora bude 100 m sa završnom kotom 350 m.

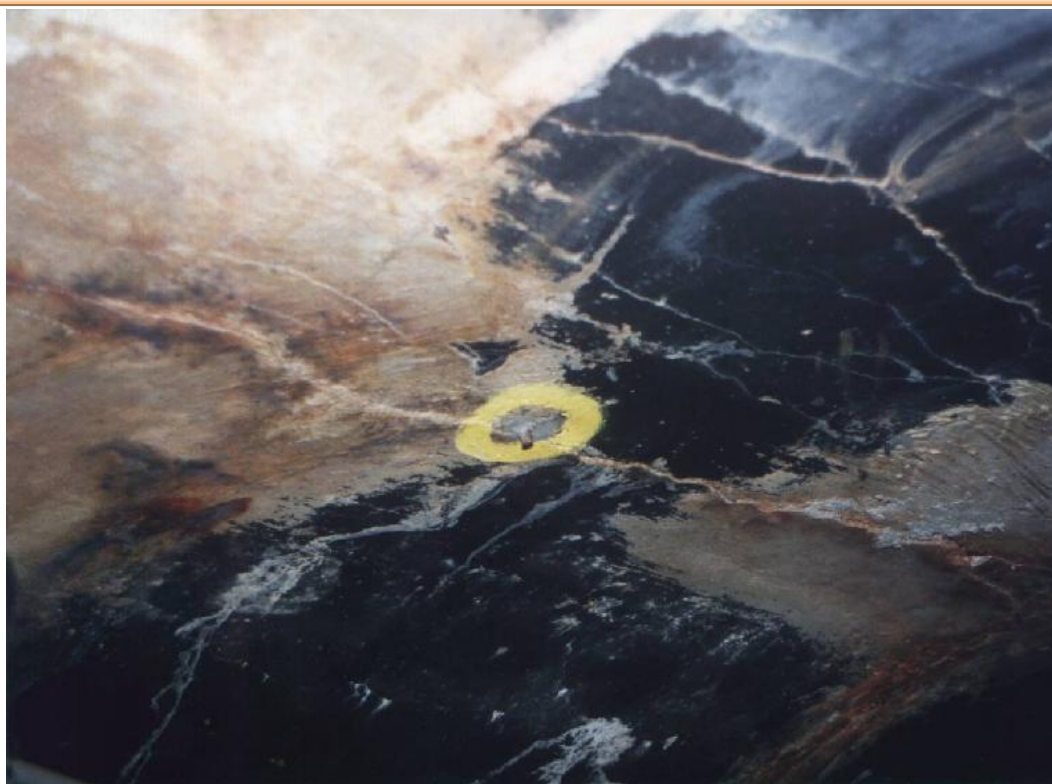
Iskustva na terenu su pokazala da kolektor sa projektovanim karakteristikama 1992 godine nije izdržao opterećenje kada je brana dostigla visinu od 55 m jer su se na oblozi kolektora pojavile prve pukotine. Godine 1992. kada je debljina nanosa jalovine iznad kolektora bila visine 56 m došlo je ponovo do oštećenja betonske obloge kolektora na dužini izmeću 550 m i 630 m od izlaza kolektora. Posle sanacije kolektora, odlaganje jalovine je nastavljeno.

Međutim, usled pritiska ležećih slojeva jalovine iznad kolektora, godine 1995. ponovo je betonska obloga pokazala veću deformaciju do 15 mm izmeću 700 i 900 m udaljenosti od izlaza kolektora (slika 4. i 5.).

Uvidom na terenu ustanovljeno da je došlo do narušavanja stabilnosti kolektora i pojave pukotina na oblozi kolektora u svodu i bokovima (slika 6. i 7.). Zaključeno je da je oštećenje nastalo usled daljeg odlaganja peska i nanošenja novog tereta na delu brane 3A. Zapremina novonastalog ciklonskog peska imala je znatno veću zapreminsku težinu od proračunate. Utvrđeno je da na delu izvedene završne kosine brane 3A postoji kombinacija opterećenja od materijala različitih zapreminskih težina i neravnomerno raspoređenih po kolektoru. Od nožice brane 3A pa uzvodno prema unutrašnjosti Polja 2 na kolektor deluje opterećenje sa novom (nepredviđenom) zapreminskom težinom. Upravo u ovom pojasu došlo je do pojave novih pukotina na oblozi kolektora usled različitog rasporeda opterećenja.

Iskustva na terenu su pokazala da je grani na visini nosivosti kolektora 50 – 60 m brane 3A iznad kolektora (iza toga se pojavljuju deformacije i lomovi), a projektovana visina jalovišta iznad kolektora iznosi 100 m. Stanje kolektora sa aspekta stabilnosti je takvo da ne pruža neophodnu sigurnost od eventualno novih havarija, kako u smislu daljeg pucanja armirane – betonske konstrukcije, tako i u smislu nepravilnog funkcionisanja brane 3A. Ono što je bilo moguće u tom trenutku hitno su sanirane već otvorene pukotine, kao i postojeće (nagoveštene) prsline na zidu kolektora i to od stacionaže 0=821,5 m pa do stacionaže +860 (kraj već izvedene betonske obloge dna kolektora)”.





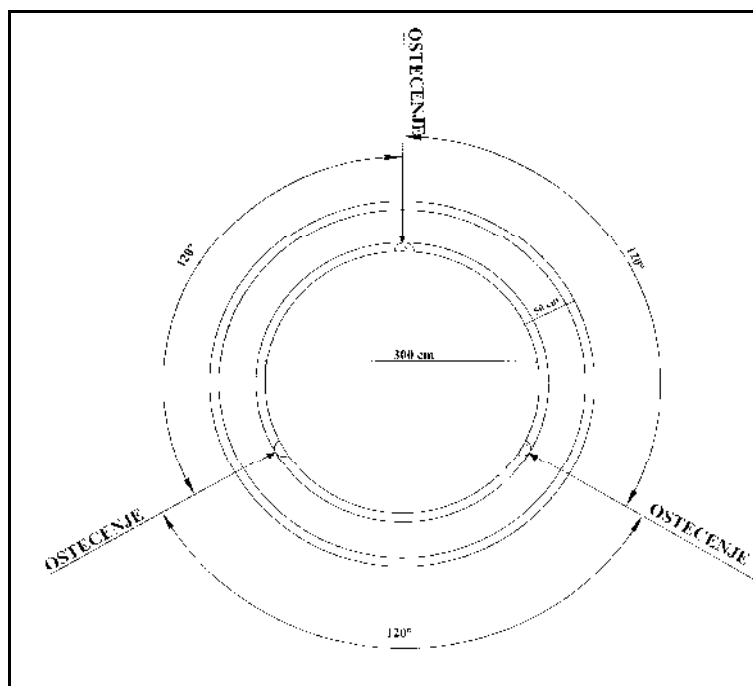
*Slika 4. Pukotine u svodu kolektora na deonici ispod brane "3A" pre saniranja*



*Slika 5. Pukotine na svodu kolektora na deonici ispod brane*



Slika 6. Oštećenje bokova kolektora na deonici ispod brane "3A" pre saniranja



Slika 7. Oštećenje betonske obloge na deonici kolektora ispod brane 3A FO Veliki Krivelj

U cilju spremanja dalje štete, sprovedena je sanacija kolektora ugradnjom nove betonske obloge, koja je smanjila prečni profil kolektora (slika 8.).



Slika 8. Suženje profila kolektora na saniranom delu kolektora

Sanirani deo kolektora na dužini od 621,5 m funkcioniše kao cev pod pritiskom ili sekcija za prigušivanje, koja ograničava veliko isticanje vode samo u ovu sekciju. Unutrašnji prečnik sanirane deonice kolektora je 2,2 m, a apsolutna rapavost  $k=6$  mm. Dozvoljena količina proticanja vode Kriveljske Reke pod pritiskom kroz kolektor pre nika 2,2 m ( $k=6$ mm) iznosi  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 1.2. Moguće havarije na flotacijskom odlagalištu Veliki Krivelj nadvišenjem brane 3A

Pojave koje mogu dovesti do havarije Polja 2 flotacijskog jalovišta (odlagališta) Veliki Krivelj nadogradnjom brane 3A visine iznad 100m su:

1. Loše upravljanje nivoom vode taložnog jezera usled dugotrajnih kiša,
2. Zemljotresi,
3. Ratna dejstva,
4. Oštećenja na kontaktu prelivnog organa i kolektora,
5. Pucanje kolektora ispod Polja 2 bez obzira što je obloga kolektora ojačana.

Od prognoziranih mogućih havarija na flotacijskom odlagalištu Veliki Krivelj najverovatniji nesrećni događaj bi nastao na nesanimanoj deonici kolektora u predelu prelivnog organa (sistema za dekantiranje viška vode iz taložnog jezera Polja 2.) na stacionaži 1+125 m (slika 2.) .

Unutrašnji prenik prelivnog organa iznosi  $\varnothing=1,20$  m. Oštećenje na kolektoru može da nastane lomom prelivnog organa na sastavu sa kolektorom što bi dovelo do pojave ponora, koji se usvaja da se bitiprose ne velicine  $2.2 \text{ m}^2$  i idealnog kružnog oblika, a iznad oštećenja formirao bi se depresioni levak. Na isticanje fluidne mase iz odlagališta utiče pre svega visina istaložene jalovine, a zatim i veličina otvora oštećenja. Veličina otvora u ovom slučaju utiče na dužinu vremena isticanja. Pri probodu jalovine kolektor bi funkcionisao kao duga cev pod pritiskom i kao sekcija za prigušivnje koja ograničava veliko isticanje vode i jalovine

- Kota ulaza prelivnog organa u kolektor Velikog Krivelja je:

$$Z=259,78; \quad X=92877,10; \quad Y=83626,70$$

- Raunaska zapreminska težina za statički proračun prirodno vlažne jalovine je  $16 \text{ kN/m}^3$ , a potopljene flotacijske jalovine  $=12 \text{ kN/m}^3$

## 2. KOMPJUTERSKO MODELIRANJE UDESA NA NESANIRANOJ DEONICI KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2. FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ

Za dokaz da nesanimirni deo kolektora sa prelivnim organom koji nije ojačan novom oblogom ne može da izdrži opterećenje visine od 100 m istaložene flotacijske jalovine izvršena je analiza naponskog stanja.

Za analizu naponsko - deformacijskog stanja deonice kolektora sa prelivnim organom za odvod viška vode iz taložnog jezera Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj, primenjena je kompjuterska metoda MKE (metoda konačnih elemenata) i programski paket ADINA. Problem je rešavan "korak po korak".

### 2.1. Rezultati proračuna 2D analize

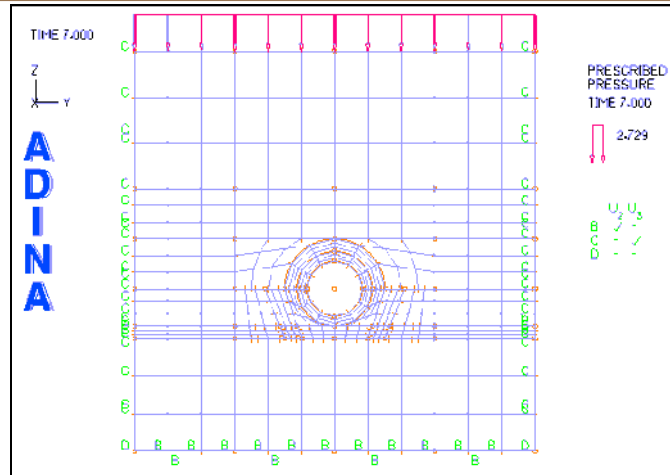
Proračun 2D analize primenjen je na nesanimiranoj deonici kolektora sa prelivnim organom ispod Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj. Prenik kolektora je 3,0 m, a debljina betonske obloge 0,5 m. Proračun je urađen u 7 koraka. Vrednost opterećenja nasipa se povećava tako da u koraku 1 deluje visina nasipa flotacijske jalovine od 40 m, u koraku 2 - 50 m, 3 - 60 m, 4 - 70 m, 5 - 80 m, 6 - 90 m i koraku 7 - 100 m.

Rezultati proračuna sastoje se od izraza unatih vrednosti pomaka (pomeranja), napona i veličine deformacije i grafički su ilustrovani. Vektori pomaka (promene položaja) su u pravcu ZY ose.

#### 2.1.1. Poprečni profil kolektora

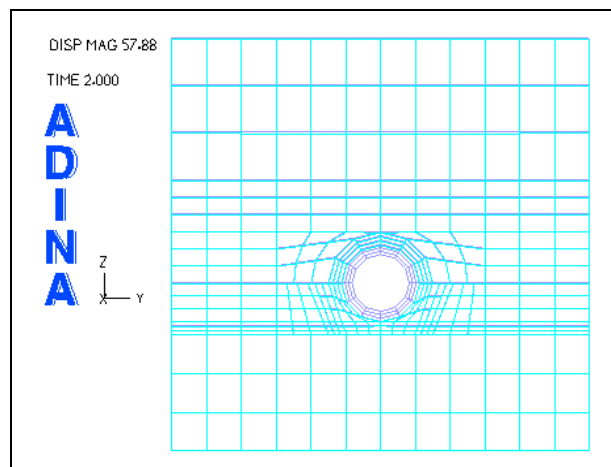
Vrednost opterećenja  $H$  (višeleže ih naslaga-nasipa) se menja od koraka 1 (jedan) kada je pretpostavljena visina nasipa 40 m do koraka 7 (sedam) sa visinom nasipa 100 m. Dati su granični uslovi gdje je dozvoljeno pomeranje bočnih strana po Z osi (C) i donje osnove po Y osi (B).

Model konačnih elemenata sa opterećenjem i graničnim uslovima predstavljen je na slici 9.



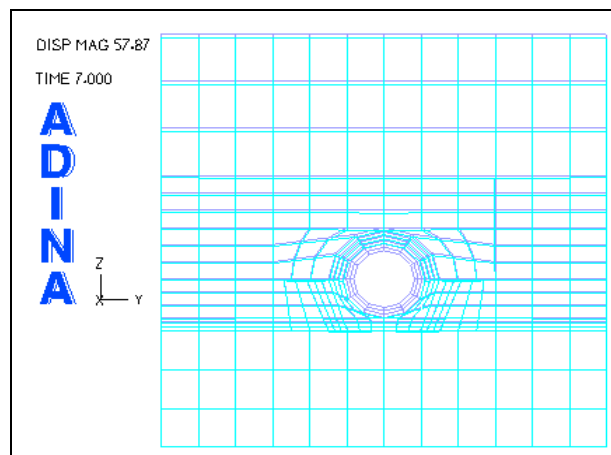
Slika 9. Model kona nih elemenata sa optere enjem i grani nim uslovima

**Deformisana mreža u koraku 2** kada se javljaju izražene deformacije u osnovnoj oblozi kolektora 0,5 m i kada se još uvek nije postavila dodatna obloga od 0,4 m (slika 10.).



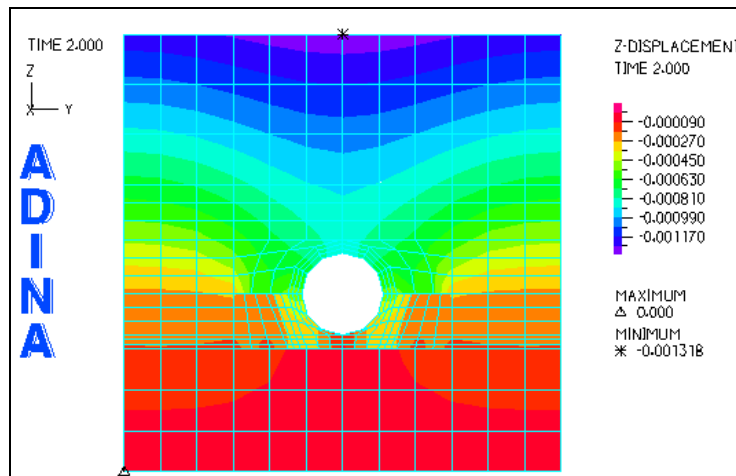
Slika 10. Deformisana mreža u koraku 2 (visina nasipa flotacijske jalovine 50m)

**Deformisana mreža u koraku 7** sa dejstvom optere enja nasipa u visini od 100m nasipa flotacijske jalovine i kada je ugra|ena dodatna obloga (slika 11.).



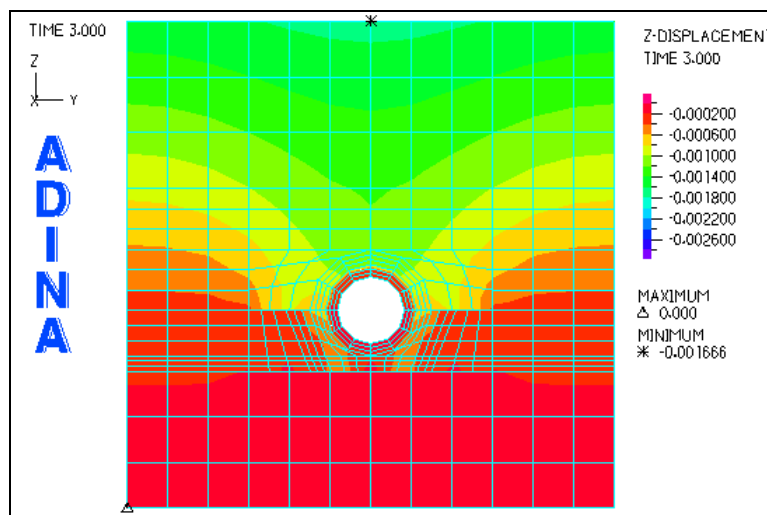
Slika 11. Deformisana mreža u koraku 7 (visine nasipa flotacijske jalovine 100 m)

Vertikalna pomeranja ( pomak) u koraku 2 nastaje kada je visina nasipa flotacijske jalovine visine 50 m iznad kolektora i tada se javljaju izražene deformacije prikazane na slici 12.



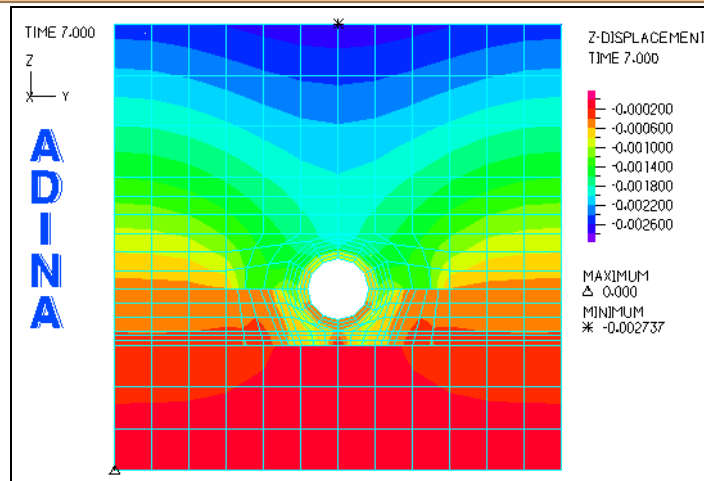
Slika 12. Izražene deformacije kada je visina nasipa 50 m

Kada nasipna visina flotacijske jalovine dostiže visinu 60 m predstavlja usvojeni korak 3. Vertikalni pomaci (pomeranja) u koraku tri pokazuju da kolektor treba ojačati ugradnom dodatne unutrašnje obloge debljine 40 cm , Na terenu to nije uračeno što pokazuje slika 2. Grafički prikaz vertikalnih pomaka u koraku 3 prikazan je na slici 13.



Slika 13. Vertikalna pomeranja u koraku 3 sa visinom nasipa 60 m

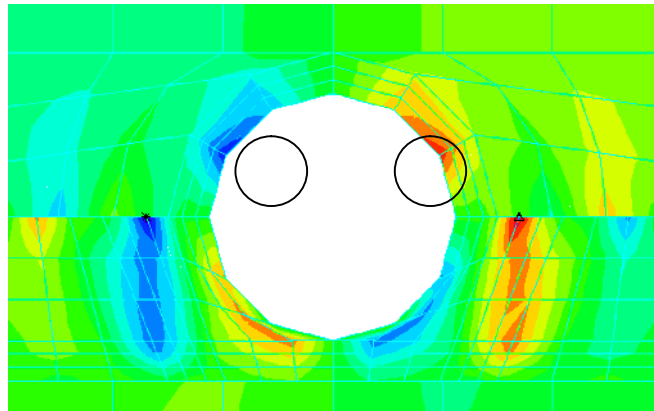
Povećavanjem visine nasipa flotacijske jalovine na 100 m iznad nesaniране deonice kolektora, na slici 14 grafički su prikazani vertikalni pomaci na koraku 7. Vertikalni pomaci (pomeranja) u koraku 7 takođe, pokazuju da posmatranu deonicu kolektor treba ojačati ugradnom dodatne unutrašnje obloge debljine 40 cm. Na terenu to nije uračeno.



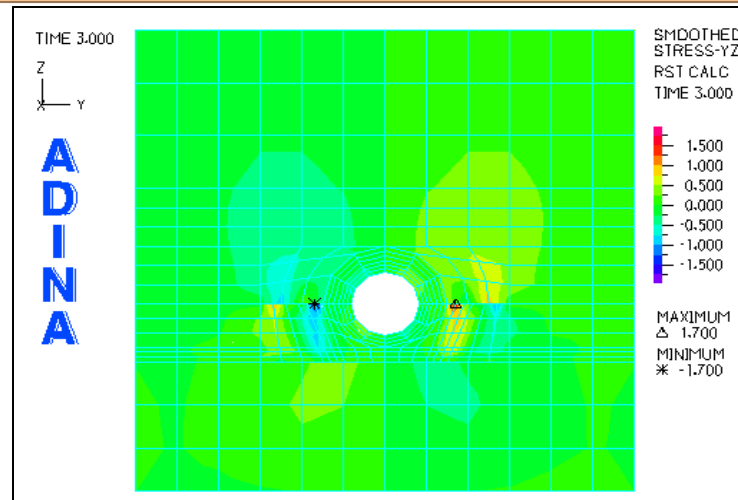
Slika 14. Vertikalna pomaci ( pomeranja) u koraku 7 sa visinom nasipa od 100 m.

### 2.1.2. Prikaz smi u ih napona YZ po usvojenim koracima (visini nasipa flotacijske jalovine iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom

Smi u i napon YZ u koraku 2. gde je u legendi predstavljen interval promene napona izražen bojama, i sa maksimalnom i minimalnom vrednosti napona prikazanim trouglom i zvezdicom. Te vrednosti su izražene zbog nacrtanog modela jer se naponi skoncentrišu na izraženim uglovima slika 15. Od interesa su maksimalni naponi u oblozi kolektora, ije se vrijednosti mogu o itati sa legende na osnovu boje slika 16..

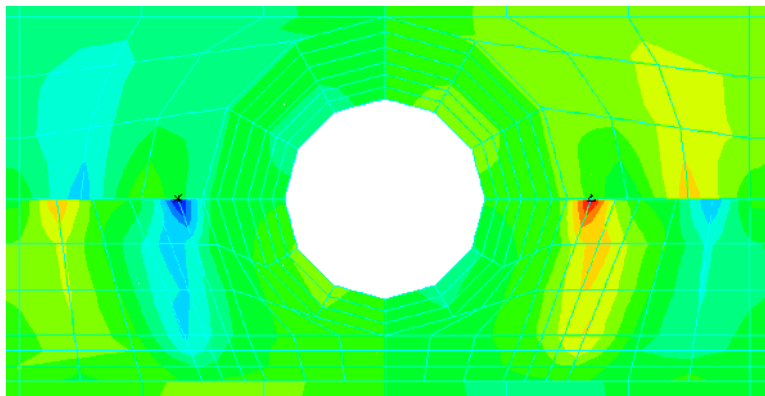


Slika 15. Uve ani detalj smi u ih napona u oblozi kolektora.



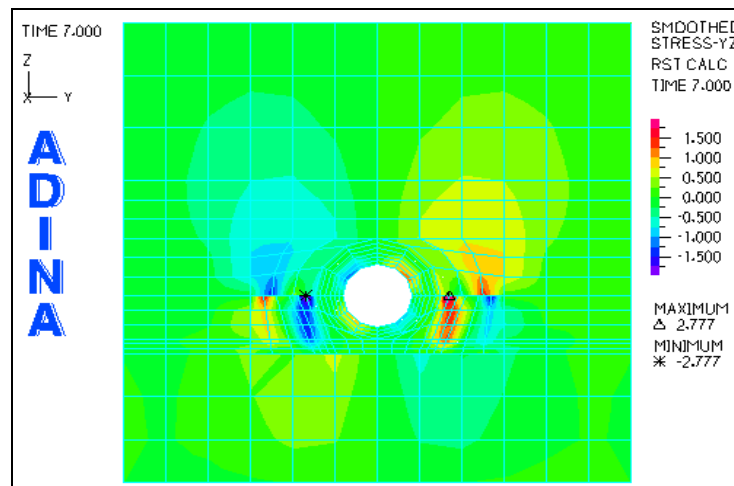
Slika 16. Smi u i napon u koraku kada se ugra|uje dodatna obloka.

Primetno je zna ajno smanjenje napona, a na uve anom detalju na slici 17 može se uvideti da napona u oblozi više uglavnom nema ili su jako ma le vrednosti.



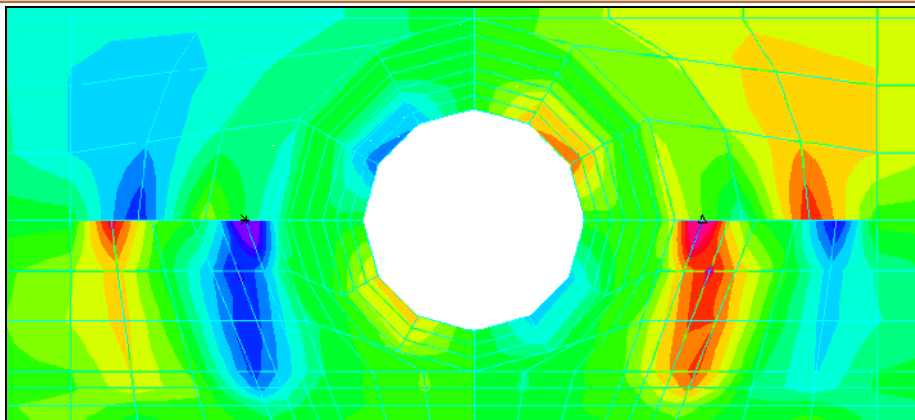
Slika 17. Uve ani detalj slike 16.

Slika 18. predstavlja smi u e napone u koraku 7 kada djeluje optere enje nasipa u visini od 100 m, a slika 19. uve ani detalj, sa kojeg se može videti da ponovo ima izraženih napona u novopostavljenoj oblozi sa nešto malo ve im vrednostima.



Slika 18. Smi u i naponi u koraku 7 kada deluje optere enje nasipa u visini od 100 m





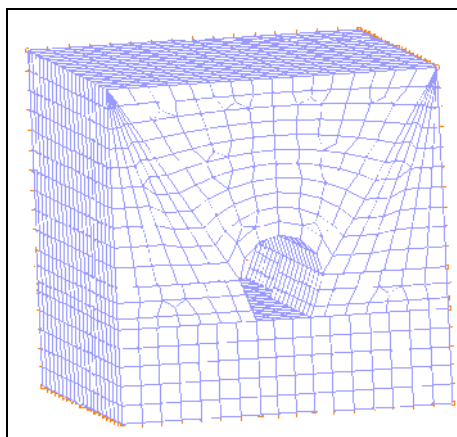
Slika 19. Uve ani detalj, sa izraženim naponima u novopostavljenoj oblozi

Prora un je ura en u 7 koraka. Vrednost optere enja nasipa se pove ava tako da u koraku 1 deluje visina nasipa od 40 m, u koraku 2 - 50 m, 3 - 60 m, 4 - 70 m, 5 - 80 m, 6 - 90 m i koraku 7 - 100 m .

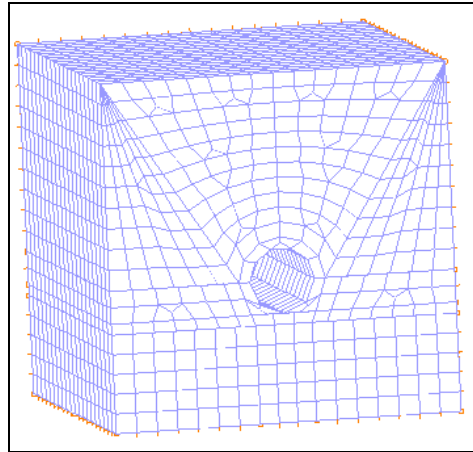
## 2.2. Rezultati prora una 3D analize

3D model je ura en za karakteristi an deo kolektora ukupne dužine 20 m, od ega je u dužini 10 m umetnuta dodatna obloga od 40 cm. Slika 20. predstavlja 3D model kona nih elemenata bez ugra ene betonske cevi. Na slici 21. predstavljen je 3D model kona nih elemenata sa ugra enom betonskom cevi (kolektorom), dok je na slici 22. prikazan 3D model kona nih elemenata sa ugra enom betonskom cevi i dodatnom oblogom. Prora un je ura en u 7 koraka.

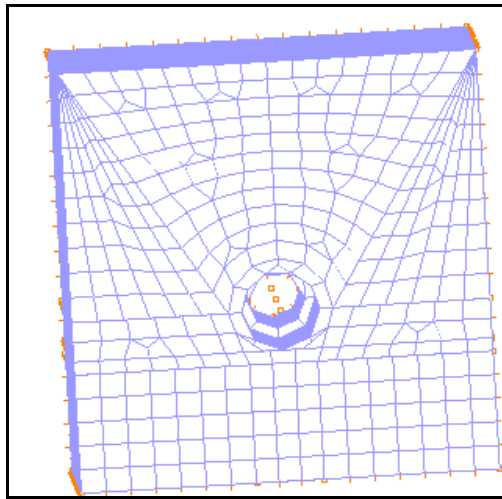
Do koraka 3 deluje samo betonska cev (kolektor). Pošto se javljaju velike vrednosti napona, predpostavlja se da dolazi i do prekora enja vrsto e betonske cevi (kolektora) i osloba anja tih napona i pojavu pukotina. Zato se u koraku 3 ugra uje dodatna obloga debljine 40 cm, predstavljena na slici 22. Vrednost optere enja se pove ava sa svakim korakom, tako da u koraku 1 djeluje visina nasipa od 40 m, u koraku 2 - 50 m, 3 - 60 m, 4 - 70 m, 5 - 80 m, 6 - 90 m i koraku 7 - 100 m visina je nasipa.



Slika 20



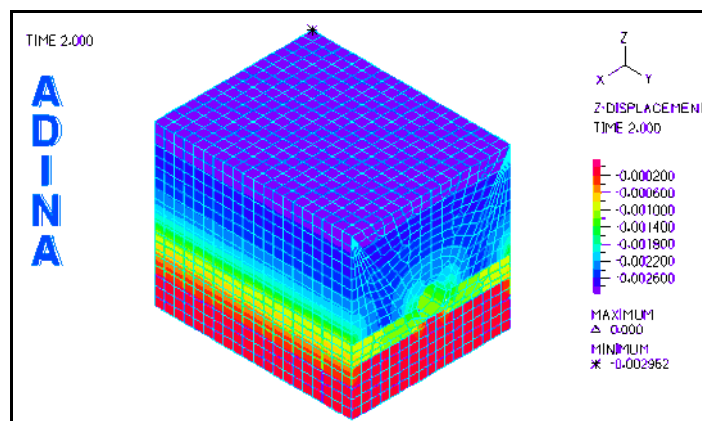
Slika 21



Slika 22.

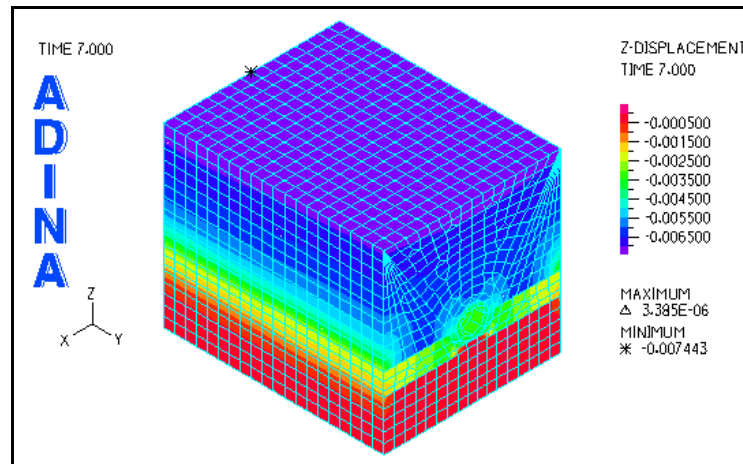
**Deformisana mreža u poslednjem koraku kada deluje ukupna visina nasipa od 100 m (slika 23.)**

Raspodela pomaka po vremenskim koracima data je na narednim slikama. Legenda za pomake je data sa desne strane slike. Vremenski korak je definisan sa leve strane (Time 2). Pomaci su dati po **Z** osi. Orientacija osa je data u gornjem desnom uglu .



Slika 23.

Vertikalni pomak u koraku 3 nakon ugradnje dodatne obloge (slika 24.).



Slika 24.

**Vertikalni pomak u posljednjem koraku 7** kada je visina nasipa 100 m (slika 25.) sa ukupnim delovanjem nasutih masa.

Maksimalni pomak se kreće od:

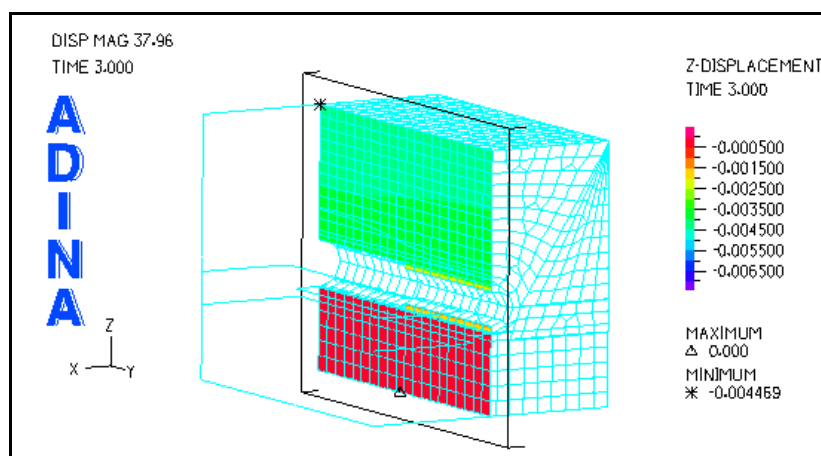
-0,00447 u 3. koraku

-0,0052 u 4. koraku

-0,0059 u 5. koraku

-0,0067 u 6. koraku

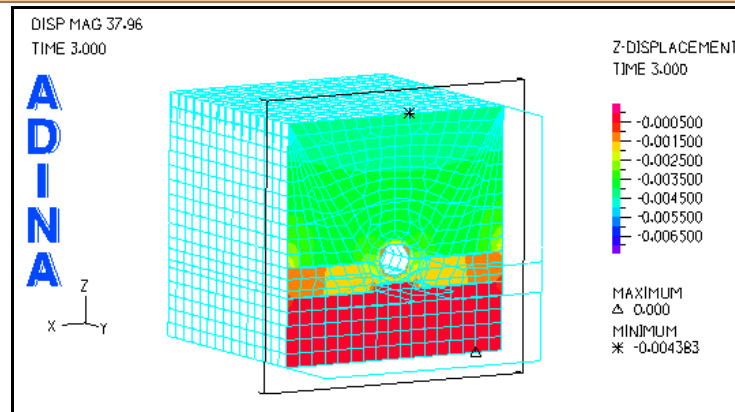
-0,0074 m u 7. koraku



Slika 25.

### Pomak po Z - osi u ravni X 8 m u koraku 3

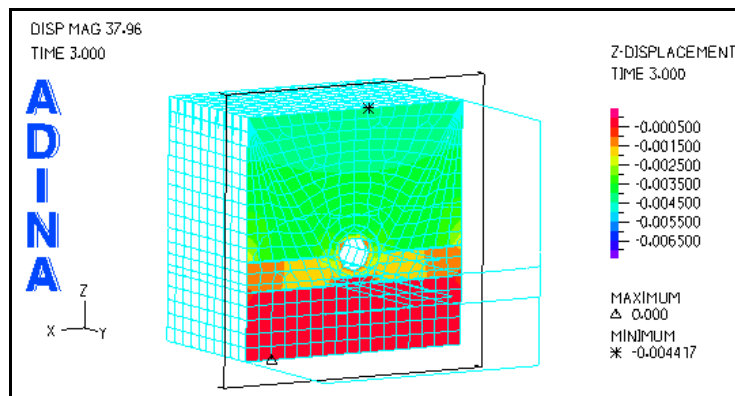
Pomak po Z - osi u ravni X, 8 m u koraku 3 nakon ugradnje dodatne obloge. Vidljive su vrednosti pomaka u dodatnoj oblozi (slika 26.).



Slika 26.

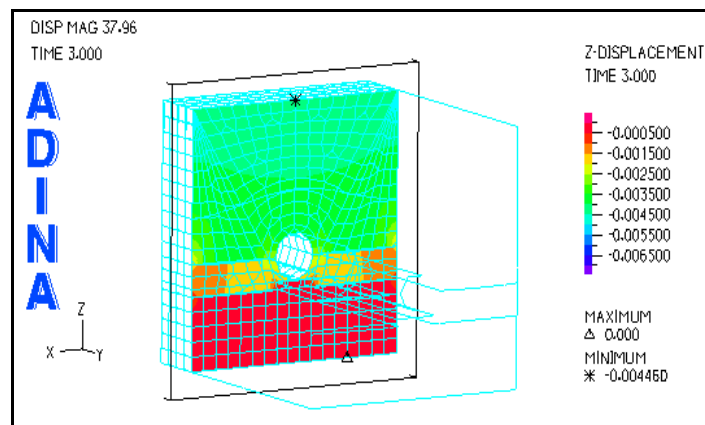
### Pomak po Z osi u ravni Y 15 m u koraku 3.

Pomaci vidljivi i u dodatnoj oblozi i u osnovnoj betonskoj cevi (kolektoru) slika 27..



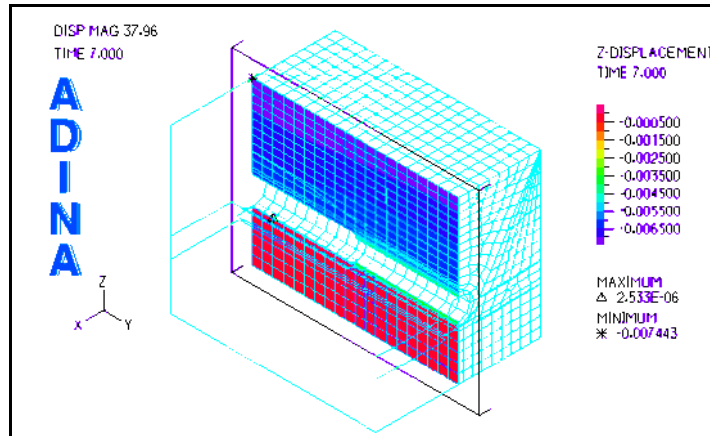
Slika 27

### Pomak po Z osi u ravni Y 10 m u koraku 3 na sastavu osnovne betonske cevi (kolektora) i dodatne obloge (slika 28.)



Slika 28

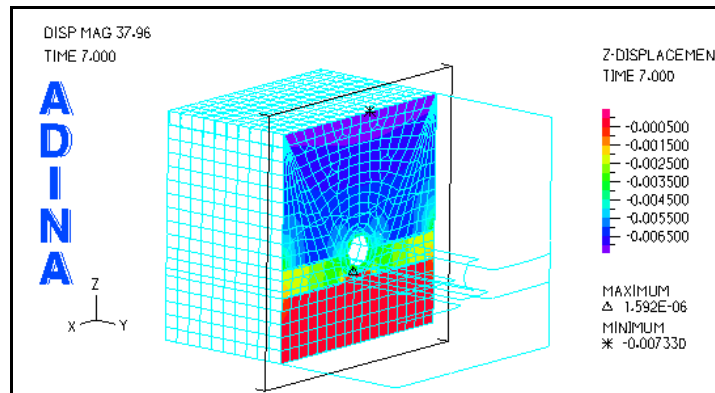
Pomak po Z osi u ravni Y 4 m u koraku 3 u podru ju gde nije ugra ena dodatna obloga (slika 29.)



Slika 29.

Pomak po Z osi u ravni x 8 m u koraku kada djeluje 100 m nasipa

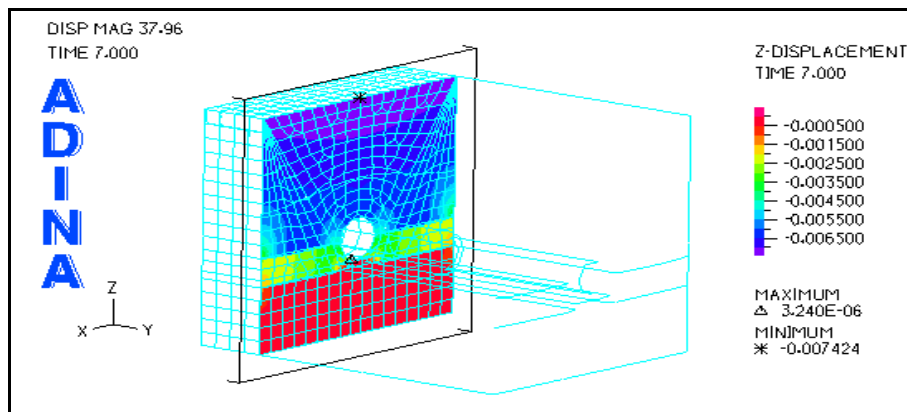
Slika 30.daje na uvid pomake u dodatnoj oblozi du žine 10 m.



Slika 30.

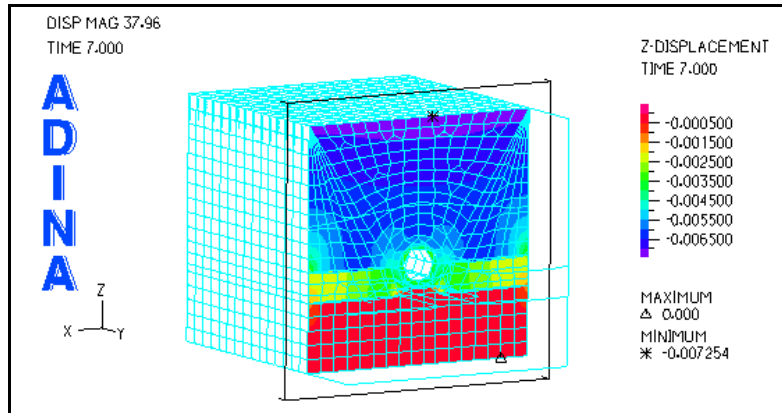
Pomak po Z osi u ravni Y 10 m na sastavu kolektora(cevi) i dodatne obloge

Slika 31 daje na uvid pomake na sastavu kolektora(cevi) i dodatne obloge .



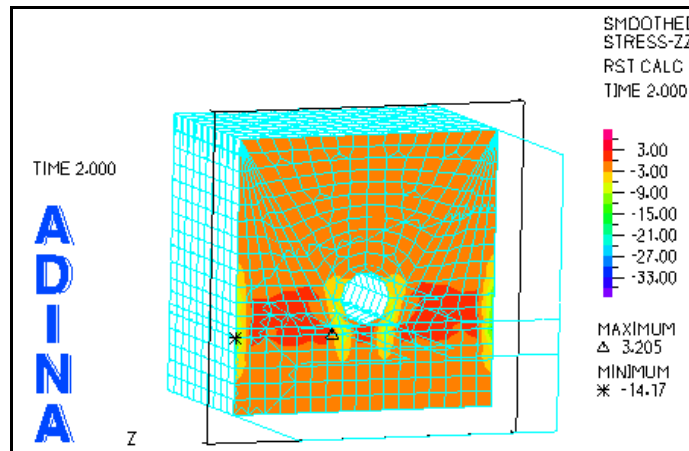
Slika 31.

**Pomak po Z osi u ravni Y 4 m** u delu gde postoji samo osnovna betonska cev (kolektor) u vremenu kada deluje visina 100 m nasipa (slika 32).



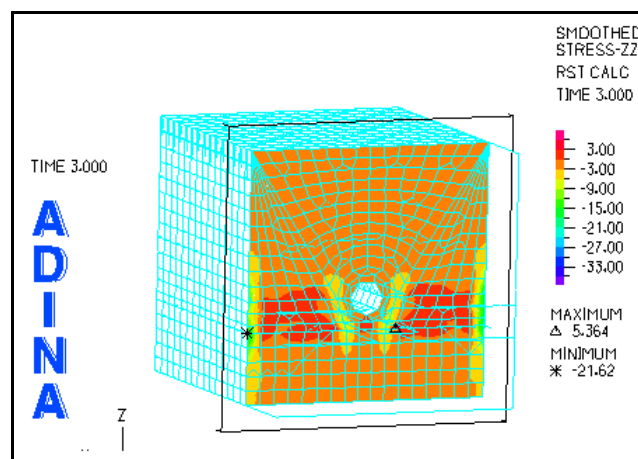
Slika 32.

**Pomak po Z osi u ravni Y 15 m** gde je ugrađena dodatna obloga i deluje nasip visine 100 m. U nastavku su date vrednosti vertikalnih napona po pojedinim presecima. Uz svaku sliku dato je dodatno pojašnjenje.



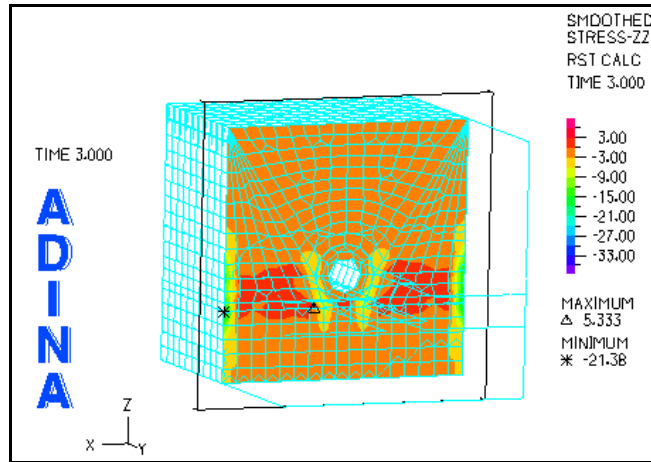
Slika 33

**Vertikalni napon u koraku 2 po Y osi 10 m pre ugradnje dodatne obloge**



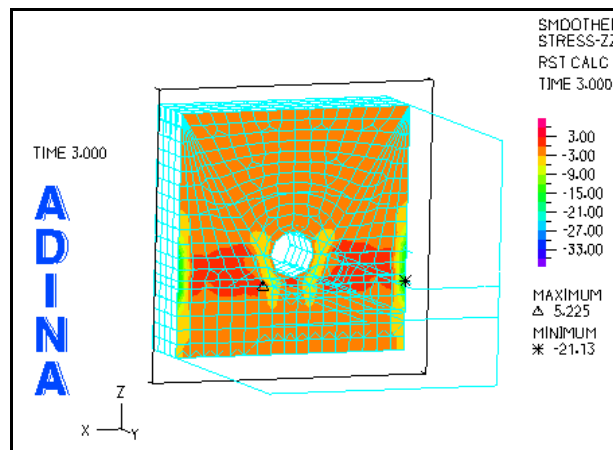
Slika 34.

Vertikalni napon u ravni Y 15 m u koraku 3 u preseku sa dodatnom oblogom i visinom nasipa od 60 m (slika 35)



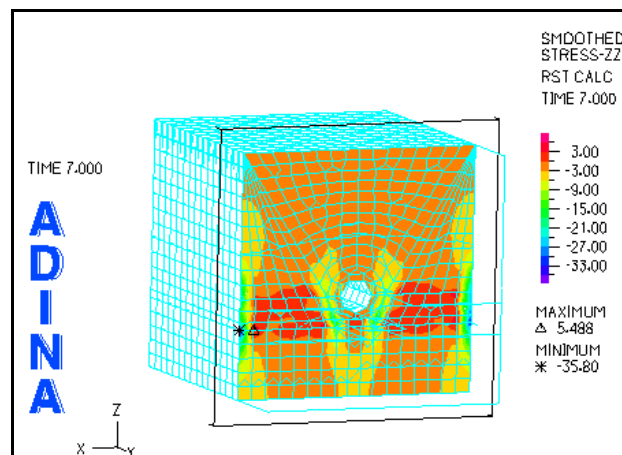
Slika 35.

Vertikalni napon u ravni Y 10 m u koraku 3 na mestu odakle se vrši ugradnja dodatne obloge (slika 36).



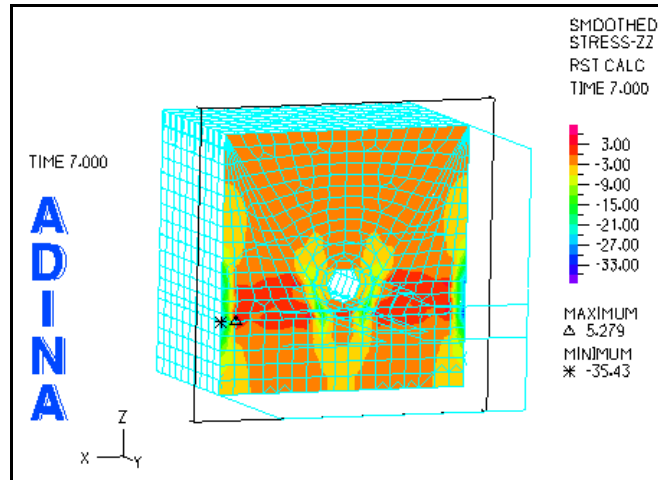
Slika 36.

Vertikalni napon u ravni Y 4 m u koraku 3 u delu gde nema dodatne obloge (slika 37.)



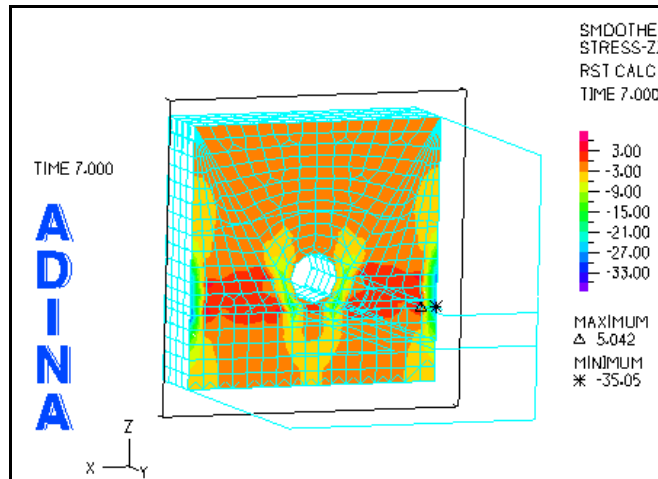
Slika 37.

Vertikalni napon u ravni Y 15 m u koraku 7 sa visinom nasipa od 100 mu preseku sa dodatnom oblogom (slika 38).



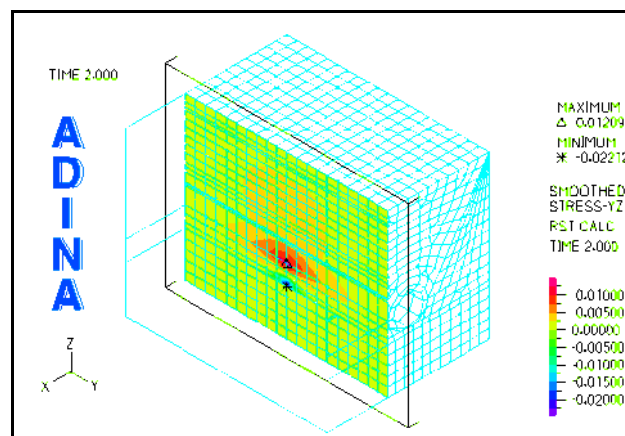
Slika 38.

Vertikalni napon u ravni Y 10 m u koraku 7 (visina nasipa 100 m, slika 39)



Slika 39.

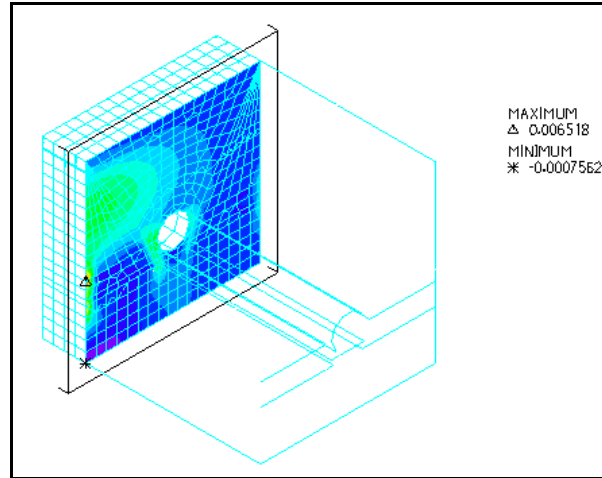
Vertikalni napon u ravni Y 4 m u koraku 7 na deonici gde nema dodatne obloge (slika 40)



Slika 40.

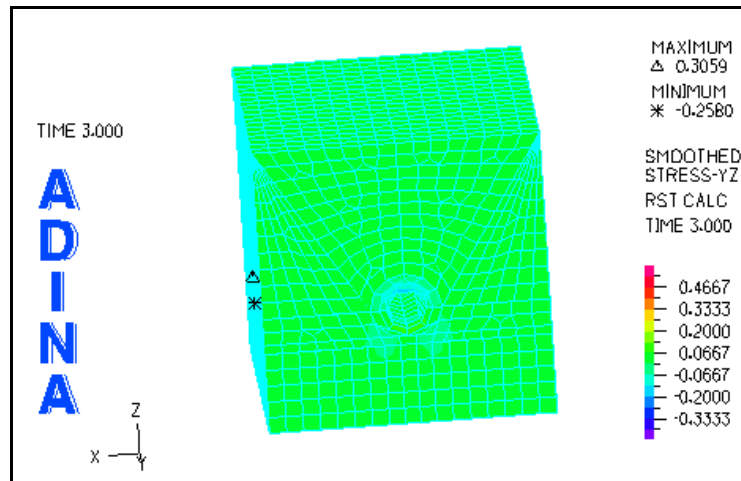


Smi u i napon YZ u koraku 2 bez ugra ene dodatne obloge i sa dejstvom nasipa visine 50 m (slika 41)



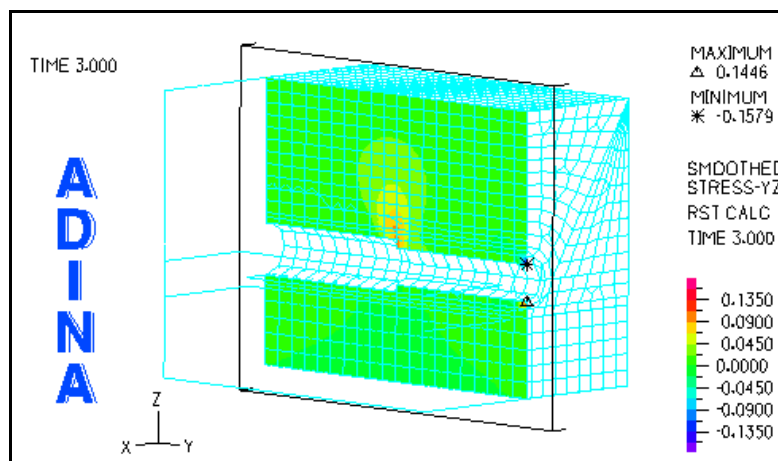
Slika 41.

Smi u i napon YZ u koraku 2 u ravni Y udaljenost 4 m (slika 42.)



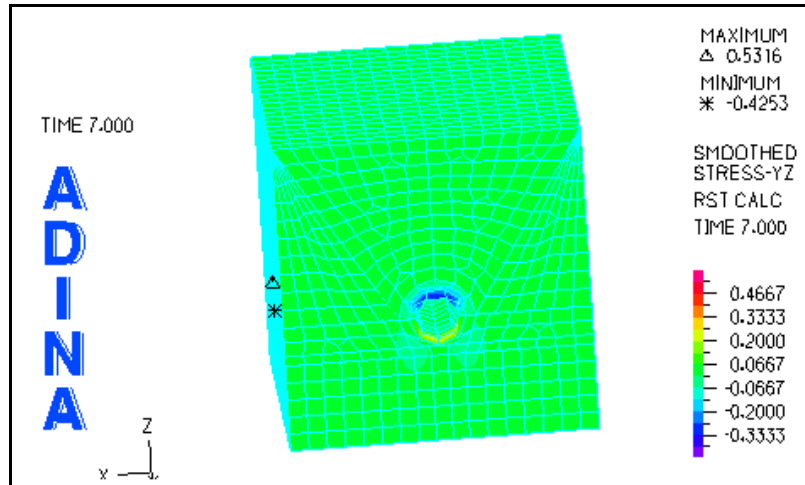
Slika 42.

Smi u i napon YZ u koraku 3 nakon ugradnje dodatne obloge (slika 43)



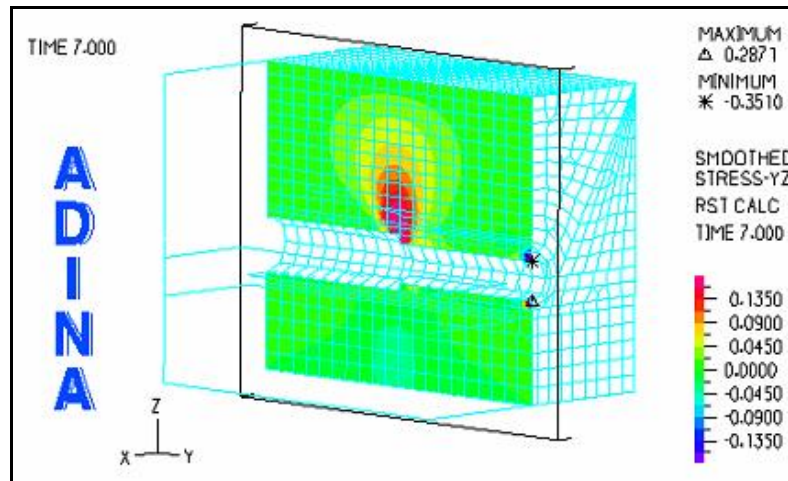
Slika 43.

**Smi u i napon YZ po ravni X 8 m u koraku 3** nakon ugradnje dodatne obloge gde su vidljivi izraženi naponi na mestu po etka dodatne obloge (slika 44).



Slika 44.

**Smi u i napon YZ u koraku 7 sa dejstvom nasipa visine 100 m ( slika 45)**



Slika 45.

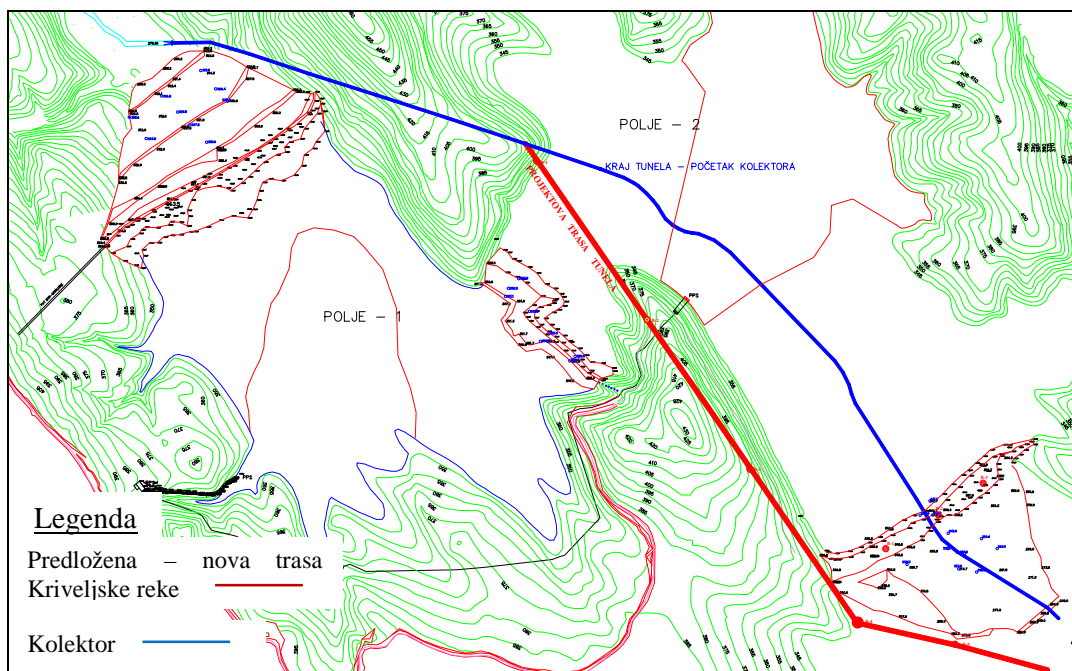
Smi u i napon po ravni X na dužini 8 m u koraku 7 sa dejstvom nasipa ukupne visine 100 m i koncentracijom napona na mestu ugradnje dodatne obloge. Taj deo (neposredno uz sastav sa dodatnom oblogom) osnovne betonske cevi (kolektora) e trpeti najve a naprezanja i predstavlja najslabiju kariku i najve i rizik nastajanja udesa na Polju 2 FJ V eliki Krivelj. Sa podizanjem nasipa flotacijske jalovine iznad 100 m i nadgradnje brane 3A iznad 100 m na oja ano kolektoru ne može izdržati pritiske leže ih slojeva nasipa flotacijske jalovine što tako e može predstaviti veliki rizik za nastanak udesa .

## ZAKLJUČAK

Izvršena ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ primenom metode kona nih elemenata (MKE ) pokazuje da postoji opasnost pojave havarije sa visinom nasipa flotacijske jalovine visine 60 m iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom. S obzirom da na terenu iznad ove deonice nije u potpunosti suvi deo naslaga flotacijske jalovine ve je prisutna mešavina mulja i vode, pri emu je pritisak na kolektor manji nego na kolektoru ispod brane.

Nadgradnjom brane 3A flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj iznad visine 100 m u cilju potpunog iskoriš enja odlagališnog prostora i zaštite životne sredine ne **daje pouzdanu stabilnost kolektora i celog objekta.**

Radi iskoriš enja postoje eg odlagališnog prostora na lokaciji Flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj, potrebno je izgraditi tunel u vrstoj masi za o dvod voda Kriveljske reke kao na slici 46.



Slika 46

## LITERATURA

1. Prof. dr. Mevludin Avdi}, dipl.ing.rud. "Izu-avanje dinami-kih naponskih efekata u stijenskom masivu primjenom metode kona-nih elemenata"; Doktorska disertacija, Tuzla 1992. god.

## NAUČNOM VEĆU IRM-a

Bor

**PREDMET: RECENZIJA TEHNIČKOG REŠENJA**

### **ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

#### **Autori:**

1. dr Milenko Ljubojev, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
2. dr Ružica Lekovski, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
3. Miomir Mikić, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
4. Mr Daniel Kržanović, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.

#### **MIŠLJENJE RECENZENTA**

Odlukom Naučnog Veća IRM-a od 31.01.2012. god. br. VI/5.14, određen sam za recenzenta Tehničkog rešenja pod nazivom:

### **ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

Ovo tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije PROJEKTA TR33021: *Istraživanje i praćenje promena naponsko deformacionog stanja u stenskom masivu „in situ“ oko podzemnih prostorija sa izradom tunela sa posebnim osvrtom na tunel Kriveljske reke i Jame Bor.* Predloženo tehničko rešenje je rezultat Projekta TR 37001, za period 2011-2014.god.

U skladu sa iznetim iznosim svoje mišljenje na osnovu priložene tehničke dokumentacije.

Tehničko rešenje predstavljeno od:

- 26 strana teksta, i
- 46 slika.

Sadržaj tehničkog rešenja je prikazan kroz sledeća pripadajuća poglavlja:

#### **UVOD**

### **1. OPIS FORMIRANJA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ**

#### **1.1. Havarije**

#### **1.2. Moguća havarija na flotacijskom odlagalištu Veliki Krivelj nadvišenjem brane 3A**

### **2. KOMPJUTERSKO MODELIRANJE UDESA NA NESANIRANOJ DEONICI KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2. FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ**

## 2.1. Rezultati proračuna 2D analize

### 2.1.1. Poprečni profil kolektora

### 2.1.2. Prikaz smičućih napona YZ po usvojenim koracima (visini nasipa flotacijske jalovine iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom

## 2.2. Rezultati proračuna 3D analize

### ZAKLJUČAK

### ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje pod nazivom: *ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE*, predstavlja rezultat projekta TR33021: *Istraživanje i praćenje promena naponsko deformacionog stanja u stenskom masivu „in situ“ oko podzemnih prostorija sa izradom tunela sa posebnim osvrtom na tunel Kriveljske reke i Jame Bor.*

Predloženo Tehničko rešenje je pripremljeno u skladu sa važećim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008.

Za analizu naponsko - deformacijskog stanja deonice kolektora sa prelivnim organom za odvod viška vode iz taložnog jezera Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj, primenjena je kompjuterska metoda MKE (metoda konačnih elemenata). Proračun je rađen „korak po korak“. Obrađeni su sledeći slučajevi:

- 2 D analiza koja je primenjena na nesaniranoj deonici kolektora sa prelivnim organom ispod Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj. Rezultati proračuna sastoje se od izračunatih vrednosti pomaka (pomeranja), napona i veličine deformacije i grafički su ilustrovani. Vektori pomaka (promene položaja) su u pravcu ZY ose.
- 3D analiza koja je rađena na modelu za karakterističan deo kolektora ukupne dužine 20 m, od čega je u dužini 10 m umetnuta dodatna obloga od 40 cm.

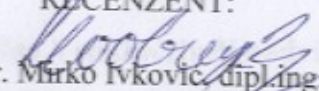
Obrada podataka je rađena u programskom paketu ADINA.

Ovim rešenjem se pokazuje da postoji opasnost pojave havarije sa visinom nasipa flotacijske jalovine visine 60 m iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom. S obzirom da na terenu iznad ove deonice nije u potpunosti suvi deo naslaga flotacijske jalovine već je prisutna mešavina mulja i vode, pri čemu je pritisak na kolektor manji nego na kolektoru ispod brane.

Imajući u vidu prethodno obrazloženje preporučujem Nučnom Veću IRM-a da se Tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju M 83, u skladu sa pomenutim pravilnikom.

Datum: \_\_\_\_\_ . god.

RECENZENT:

  
dr. Mirko Ivković, dipl.ing.rud.  
viši naučni saradnik JP za PEU Resavica

## 2.1. Rezultati proračuna: 2D **NAUČNOM VEĆU IRM-a**

### 2.1.1. Popračni profil kolektora **Bor**

2.1.2. Prihaz vanjskih naponaVZ po usvojenim koracima (visini nastpa flotacijske jlovine iznad nesansirane deonice kolektora sa prelivnim organom)

**PREDMET: RECENZIJIA TEHNIČKOG REŠENJA**

### **ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

#### **Autori:**

1. dr Milenko Ljubojev, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
2. dr Ružica Lekovski,dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
3. Miomir Mikić, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
4. Mr Daniel Kržanović, dipl.ing.rud., Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.

#### **MIŠLJENJE RECENZENTA**

Odlukom Naučnog Veća IRM-a od 31.01.2012. god. br. VI/5.14, određen sam za recenzenta Tehničkog rešenja pod nazivom:

### **ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE**

Ovo tehničko rešenje predstavlja rezultat realizacije PROJEKTA TR33021: *Istraživanje i praćenje promena naponsko deformacionog stanja u stenskom masivu „in situ“ oko podzemnih prostorija sa izradom tunela sa posebnim osvrtom na tunel Kriveljske reke i Jame Bor.* Predloženo tehničko rešenje je rezultat Projekta TR 37001, za period 2011-2014.god.

U skladu sa iznetim iznosim svoje mišljenje na osnovu priložene tehničke dokumentacije. Tehničko rešenje predstavljeno od:

- 26 strana teksta, i
- 46 slika.

Sadržaj tehničkog rešenja je prikazan kroz sledeća pripadajuća poglavlja:

#### **UVOD**

### **1. OPIS FORMIRANJA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ**

#### **1.1. Havarije**

#### **1.2. Moguća havarija na flotacijskom odlagalištu Veliki Krivelj nadvišenjem brane 3A**

### **2. KOMPJUTERSKO MODELIRANJE UDESA NA NESANIRANOJ DEONICI KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2. FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ**

## 2.1. Rezultati proračuna 2D analize

### 2.1.1. Poprečni profil kolektora

### 2.1.2. Prikaz smičućih napona YZ po usvojenim koracima (visini nasipa flotacijske jalovine iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom)

## 2.2. Rezultati proračuna 3D analize

## ZAKLJUČAK

## ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje pod nazivom: *ANALIZA NAPONSKO DEFORMACIJSKOG STANJA DEONICE KOLEKTORA SA PRELIVNIM ORGANOM ISPOD POLJA 2 FLOTACIJSKOG ODLAGALIŠTA VELIKI KRIVELJ MKE*, predstavlja rezultat projekta TR33021: *Istraživanje i praćenje promena naponsko deformacionog stanja u stenskom masivu „in situ“ oko podzemnih prostorija sa izradom tunela sa posebnim osvrtom na tunel Kriveljske reke i Jame Bor.*

Predloženo Tehničko rešenje je pripremljeno u skladu sa važećim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38/2008.

Za analizu naponsko - deformacijskog stanja deonice kolektora sa prelivnim organom za odvod viška vode iz taložnog jezera Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj, primenjena je kompjuterska metoda MKE (metoda konačnih elemenata). Proračun je rađen „korak po korak“.

Obrađeni su sledeći slučajevi:

- 2 D analiza koja je primenjena na nesaniranoj deonici kolektora sa prelivnim organom ispod Polja 2. flotacijskog odlagališta Veliki Krivelj. Rezultati proračuna sastoje se od izračunatih vrednosti pomaka (pomeranja), napona i veličine deformacije i grafički su ilustrovani. Vektori pomaka (promene položaja) su u pravcu ZY ose.
- 3D analiza koja je rađena na modelu za karakterističan deo kolektora ukupne dužine 20 m, od čega je u dužini 10 m umetnuta dodatna obloga od 40 cm.

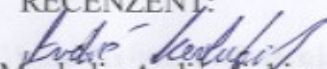
Obrada podataka je rađena u programskom paketu ADINA.

Ovim rešenjem se pokazuje da postoji opasnost pojave havarije sa visinom nasipa flotacijske jalovine visine 60 m iznad nesanirane deonice kolektora sa prelivnim organom. S obzirom da na terenu iznad ove deonice nije u potpunosti suvi deo naslaga flotacijske jalovine već je prisutna mešavina mulja i vode, pri čemu je pritisak na kolektor manji nego na kolektoru ispod brane.

Imajući u vidu prethodno obrazloženje preporučujem Nučnom Veću IRM-a da se Tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju M 83, u skladu sa pomenutim pravilnikom.

Datum: \_\_\_\_\_, god.

RECENZENT:

  
dr. Mevludin Avdić, dipl.ing.rud.  
redovni profesor – RGG fakultet u Tuzli



**ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО  
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР  
НАУЧНО ВЕЋЕ**

**Број: VIII/6.6.**

**Од 17.05.2012.године**

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, прилог 2 (Сл.гласник РС бр.38/2008), Научно веће је на VIII-ој седници одржаној дана 17.05.2012. године донело:

**ОДЛУКУ**

**о прихватању техничког решења**

**I**

На основу покренутог поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом „Анализа напонског деформацијског стања деонице колектора са преливним органом испод поља 2 флотацијског одлагалишта Велики Кривељ МКЕ“, аутора: др Миленка Љубојев, др Ружице Лековски, Миомира Микића, мр Даниела Кржановића и мишљења рецензената и корисника о наведеном техничком решењу, Научно веће је донело Одлуку о прихватању наведеног техничког решења.

**ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА**

**Др Миленко Љубојев, дипл.инж.руд.  
Научни саветник**