



Prostorska analiza napetostnih in deformacijskih polj območja odkopavanja premoga

ID 12

GREGOR JEROMEL¹, PROF.DR. JAKOB LIKAR², PROF.DR. ZORAN PANOV³

¹*Premogovnik VELENJE d.d., Partizanska 78, VELENJE*

gregor.jeromel@rlv.si

²*UNIVERZA V LJUBLJANI, Naravoslovnotehniška fakulteta
Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, Aškerčeva 12, LJUBLJANA*

jakob.likar@ntf.uni-lj.si

³*UNIVERZA V ŠTIPU, REPUBLIKA MAKEDONIJA,*

zoran.panov@yahoo.com

POVZETEK

Podzemno odkopavanje mineralnih in energetskih surovin sproža različne deformacijske procese v zemeljski skorji, ki so odvisni od mnogih vplivnih faktorjev. Nastanek obsežnih napetostnih in deformacijskih sprememb ter porušenih območij v krovinskih, premoških in talninskih plasteh pri odkopavanju premoga od zgoraj navzdol, je odvisen od več faktorjev z direktnim in posrednim vplivom na okoliške hribine. V prispevku so prikazani rezultati analiz vpliva napredujočega odkopa premoga na okoliški hribinski prostor s 3D numerično metodo končnih diferenc. Geometrična priprava podatkov je bila narejena z uporabo posebnega računalniškega programa, ki omogoča hitro in kakovostno načrtovanje in uporabo velikih mrež končnih diferenc velikostnega reda več kot 355.500 prostorskih elementov. Obsežne računske simulacije razvoja odkopavanja, ki so bile narejene za potrebe analiziranja odkopavanja premoga v Premogovniku Velenje so pokazale, da je v prihodnje na takšen način moč analizirati zapletene procese v več materialnih modelih ob upoštevanju večkrat porušene in ponovno komprimirane krovnine.

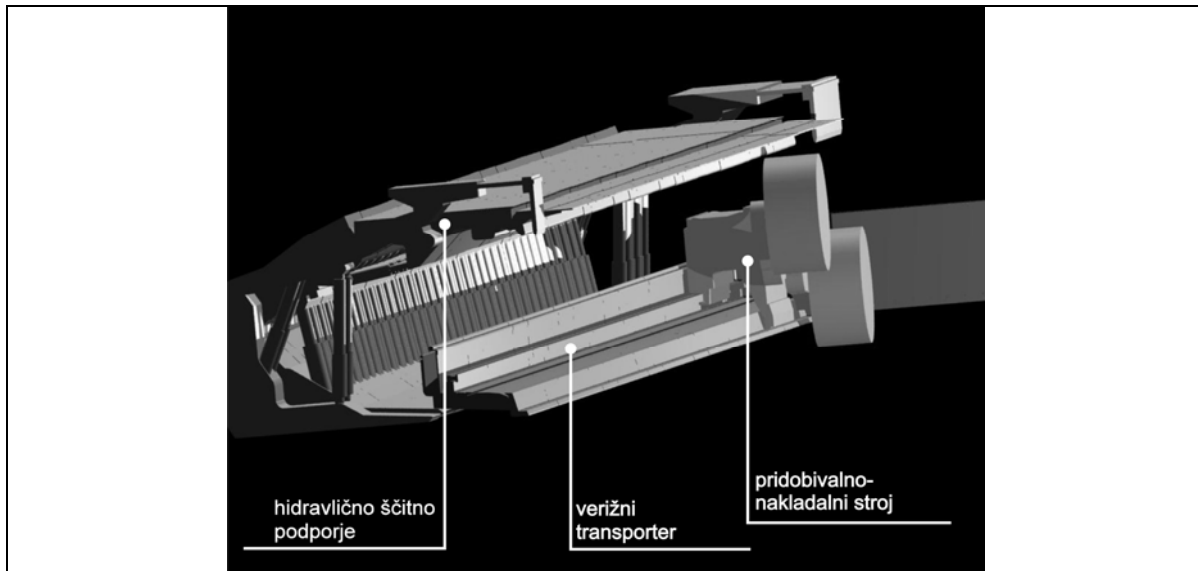
Ključne besede: Velenjska odkopna metoda, odkopavanje premoga, komprimirana porušena krovčina, metoda končnih diferenc, 3D numerična metoda.

UVOD

Pri podzemnem pridobivanju premoga je izjemnega pomena izdelava dostopnih in povezovalnih jamskih prog. Pri tem pa imajo prevladujoč vpliv različne geotehnične razmere, ki vplivajo na izbiro trase jamskih prog in način njihove izdelave.

Za podzemno pridobivanje premoga s širokočelno metodo je značilno deformiranje in zaruševanje krovnine v odkopane prostore. Pri tem je hribina v okolici podvržena velikim deformacijam. V okoliški hribini se akumulira velika količina deformacijske energije, ki se kasneje v času zaruševanja sprošča v raznih oblikah. Pri pripravi novih odkopov moramo s pripravljalnimi deli počakati toliko časa, da se vzpostavi prvotno napetostno stanje po odkopavanju etaže na višjem nivoju. Čas, ki je potreben za vzpostavitev tega stanja pa posredno vpliva na dinamiko odkopavanja.

Ker je interes, da se naslednja spodaj ležeča etaža začne odkopavati čim prej, je treba izdelati odkopne proge neposredno ob ali pod nestabilnim območjem ali celo pod delujočim odkopom. Pri tem pa nastanejo popolnoma drugačne razmere izdelave proge, saj so prisotne povečane napetosti in deformacije.



Slika 1.: Shematski prikaz odkopa v premogovniku Velenje.

Temu se lahko izognemo s pravilnim načrtovanjem in ukrepi pri odkopavanju. Negativne vplive lahko omilimo s pravilno dimenzioniranimi varnostnimi stebri v premogu vzdolž odkopa.

V prispevku je podana primerjava vplivov odkopavanja na pripravsko progo nižje ležeče odkopne plošče, prikazan pa je tudi splošni numerični model odkopavanja po Velenjski širokočelni odkopni metodi.

Vse primerjave so bile napravljene z numerično analizo končnih diferenc s programskim paketom FLAC 3D. S pomočjo računalniškega programa FLAC 3D smo analizirali časovni razvoj napetosti in specifičnih deformacij v okolici odkopa, ter v okolici jamske proge. Dobljeni rezultati so nazorno pokazali napetostno stanje v okolici odkopa ter vplive na progo pri uporabi obstoječih podpornih ukrepov.

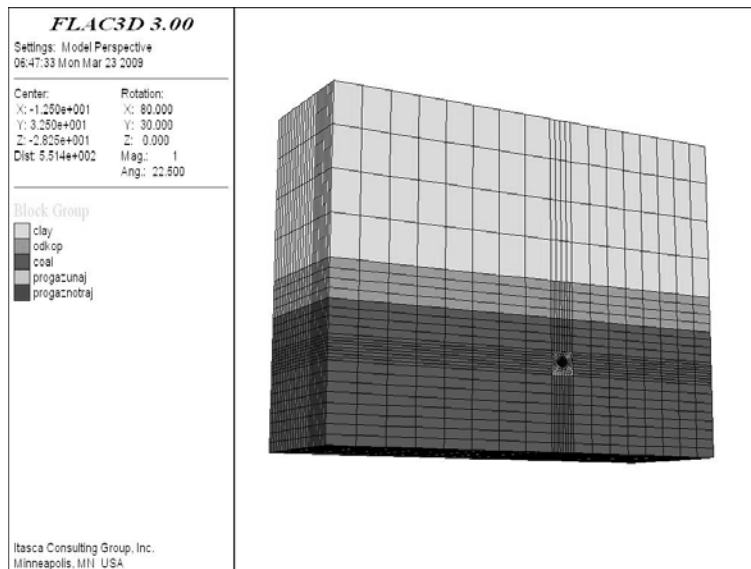
REZULTATI

V okviru raziskave so bile izdelane številne analize napetostnega stanja okolice odkopa ter 3D numerični modeli simulacije odkopa etaže. V nadaljevanju predstavljamo dve:

Numerični model odseka odkopa – spremljanje vpliva odkopavanja na lokacijo pripravke proge naslednje odkopne etaže

Mreža končnih diferenc je dimenzij 110m x 90m x 60m. V globino so elementi razdeljeni na 1.5m ter 5m. Model obsega skupaj približno 27000 elementov. Vzpostavitev mreže končnih diferenc je

vsebovala izdelavo mreže modela v Autodesk-ovi aplikaciji AutoCAD in prenos geometrije modela s posebnim programom v prepoznavno obliko programa FLAC 3D. Vnos podatkov v program FLAC 3D ter določitev skupin prostorskih območij.



Slika 2.: Prikaz mreže modela v programu FLAC 3D.

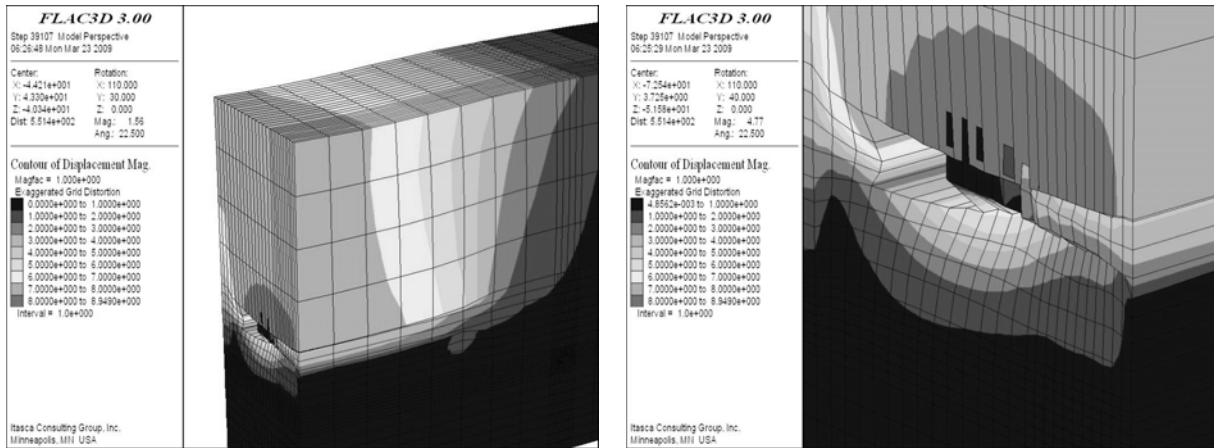
Primarno napetostno stanje je določeno na osnovi opravljenih in-situ meritev, tako da je da je bilo uporabljeno ustrezno razmerje med vertikalno in horizontalnimi napetostmi 0.85. Po osnovnem principu povečevanja napetosti z globino smo predpostavili velikost vertikalne napetosti in temu v ustreznem razmerju tudi horizontalni napetosti. Geometrična osnova odkopa etaže je sestavljena iz segmentov odkopavanja do predpisane odkopne višine 10 m.

Zadnji korak predstavlja določitev napredovanja odkopa in pozicijo pripravske proge. Simulacija vpliva odkopa je bila izvedena za dva primera. V obeh primerih se je odkopavanje začelo tako, da je bila posebna pozornost namenjena analizi vplivov odkopavanja na napetostne in deformacijske spremembe v odvisnosti od oddaljenosti od območja, kjer je bila že izdelana pripravska proga. Iz geometrične zasnove na Sliki 2 je razvidno, da je pripravska proga potekala 10 m pod napredujočim odkopom .

V prvem primeru je analiza zajemala pripravske proge, ki je potekala pod robom odkopa, zamaknjena za 45° spodaj desno. Drugi primer pa je predstavljal pripravske proge, ki je potekala po sredinski osi pod delujočim odkopom.

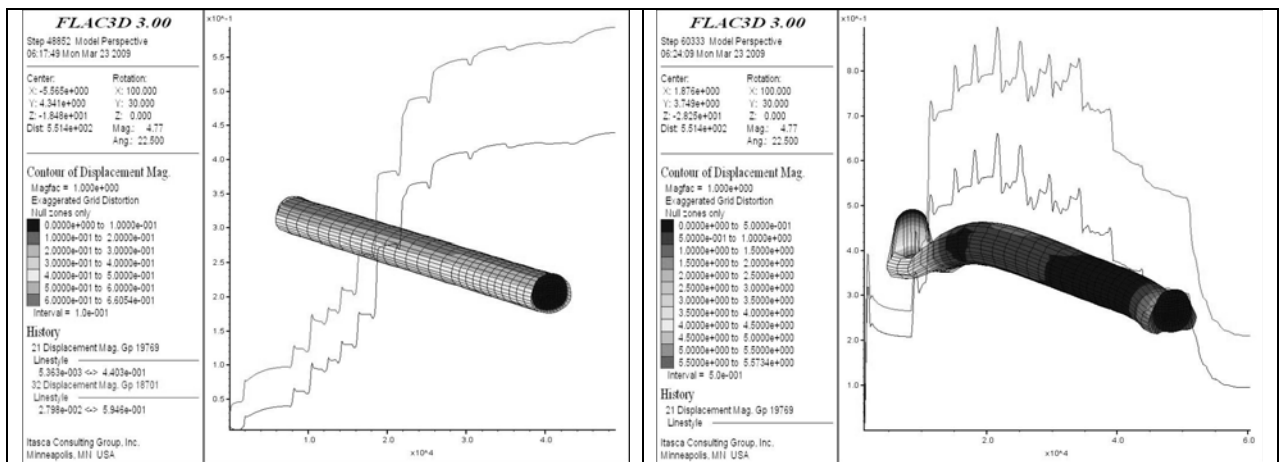
Rezultati simulacije

Analiza numerične simulacije idealizirane hribinske sestave ter napredujočega odkopa premoškega sloja je pokazala naslednja stanja:



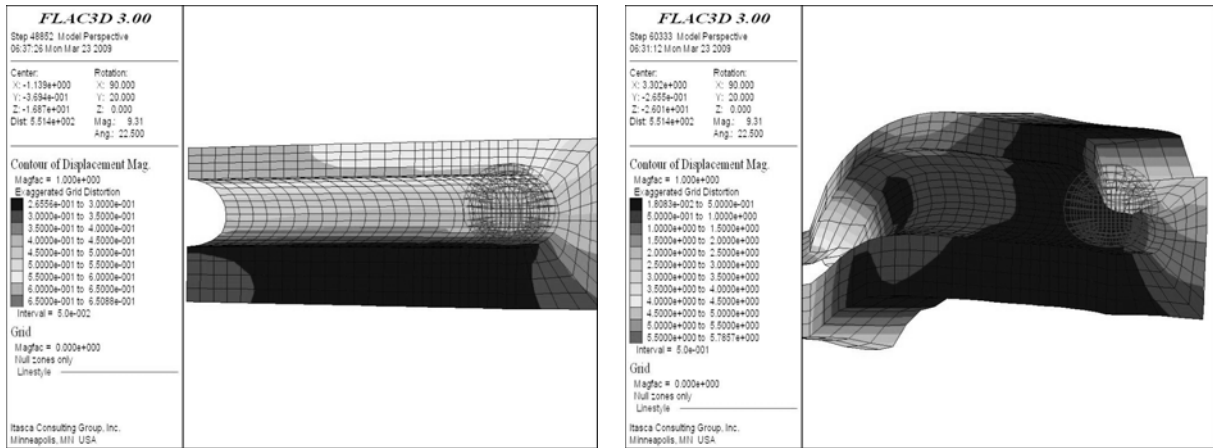
Slika 3.: Prikaz deformacij v okolici odkopa.

V primeru odkopa in pripravske proge, ki je potekala na robu odkopa vidimo, da se največje deformacije pojavljajo ob samem robu odkopa, ki se nato z oddaljenostjo hitro zmanjšajo. Za odkopanim prostorom se pojavljajo največje deformacije, saj potekajo v tem območju intenzivni rušni procesi. Na dnu odkopa so zaradi odkopavanja prisotne razbremenitve, kjer je pogojno možen tudi dvig tal.



Slika 4.: Razvoj deformacij v boku in stropu proge.

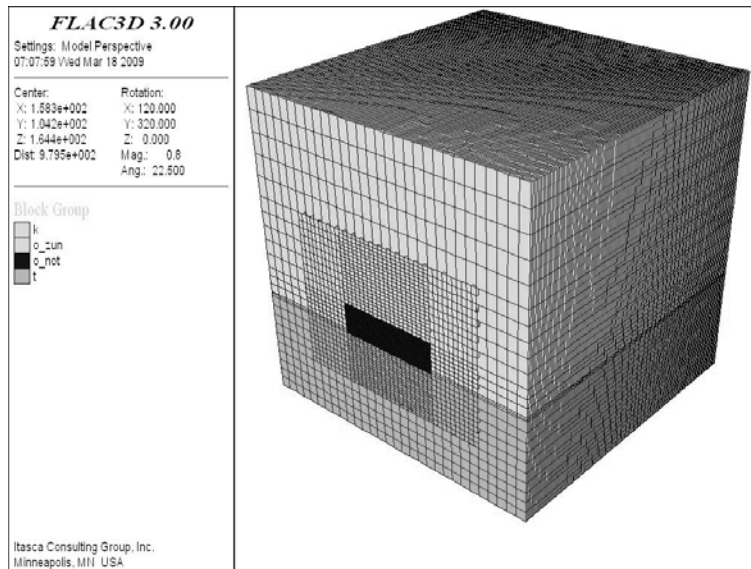
Vplive odkopavanja v primeru napredujočega odkopa in pripravske proge, ki poteka na robu odkopa, je možno s primernimi podpornimi ukrepi omejiti. V drugem primeru, kjer poteka pripravka proga po sredinski osi pod delujočim odkopom, pa so deformacije tako velike, da bi bila uporaba močnejšega podporja prav tako neuspešna.



Slika 5.: Shematski prikaz deformiranosti proge po prehodu odkopa.

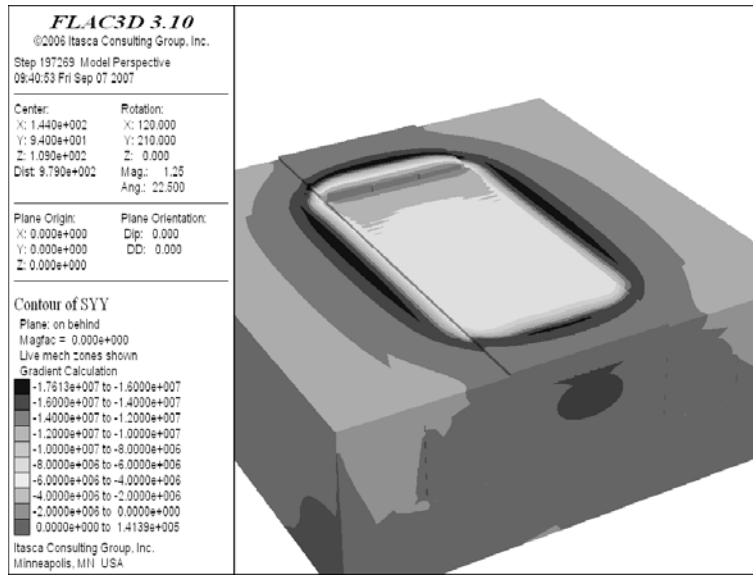
Numerični model odkopa

Za te analize je bila Mreža končnih diferenc narejena za območje 300 m x 300 m x 300 m. V globino so bili elementi razdeljeni na 2 m. Model obsega skupaj 355500 elementov. Postavitve mreže končnih diferenc je vsebovala izdelavo mreže modela v Autodesk-ovi aplikaciji AutoCAD in prenos geometrije modela s posebnim programom v prepoznavno obliko programa FLAC 3D. Vnos podatkov v program FLAC 3D ter določitev skupin prostorskih območij.



Slika 6.: Prikaz mreže modela v programu FLAC 3D.

Podobno kot pri predhodnem analiziranem primeru, je bilo primarno napetostno stanje upoštevano tako, da je razmerje med horizontalnima in vertikalno napetostjo znašalo 0.85. Geometrična zasnova odkopa etaže je bila izdelana iz segmentov podkopa višine 4 m ter nadkopa dodatne višine 11 m. V simulaciji odkopavanja je za vsaka dva koraka reza čelne stene premoga simuliran odkop tretjinskega dela nadkopnega območja do predpisane skupne odkopne višine 15m.

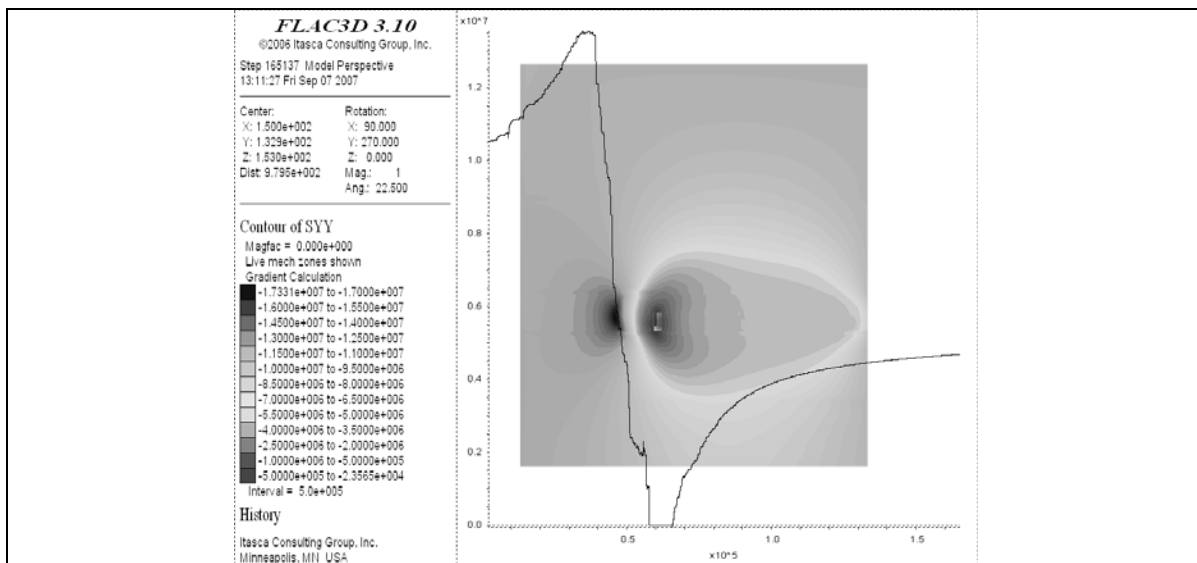


Slika 7.: Porazdelitev vertikalnih napetosti v območju odkopa.

Rezultati simulacije

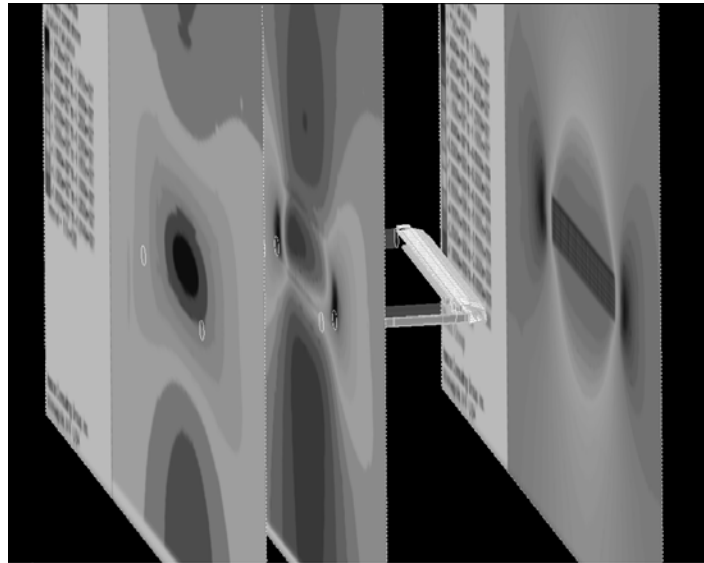
Numerična simulacija idealizirane hribinske sestave ter napredujočega odkopa premoškega sloja je pokazala določene koncentracije napetostnih dogajanj v širšem območju odkopavanja.

Pred čelom odkopa in prav tako na obeh straneh odkopa so skladno s teorijo prerezporanja napetosti (Whittaker & Wilson), pojavijo porasti koncentracij napetosti. Vertikalne dodatne napetosti pred odkopom začnejo naraščati že 4-5 odkopnih višin pred odkopom. V območju od čela podkopa pa do 2 odkopni višini pred čelom, dosežejo največje vrednosti.



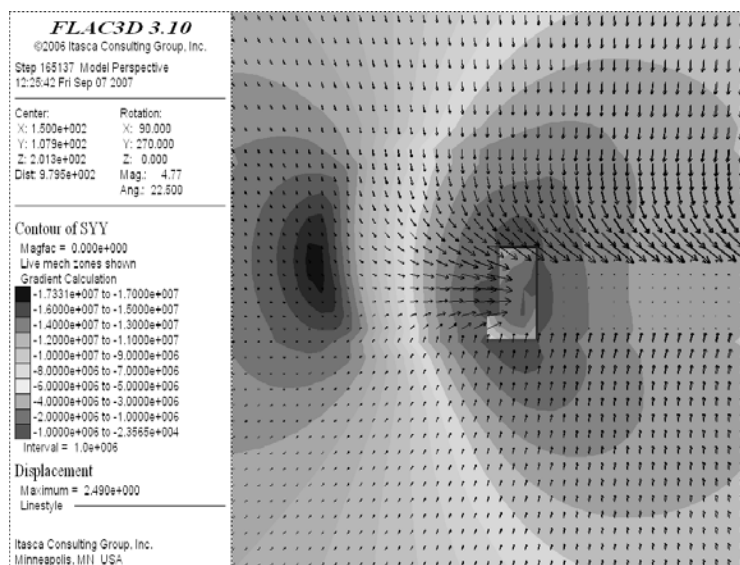
Slika 8.: Porazdelitev vertikalnih napetosti v območju odkopa in krivulja napetosti.

Opazen porast vertikalnih napetosti pred čelom odkopa znaša tudi do 180% primarnega napetostnega stanja in je pri analiziranju napredujočega odkopa praktično konstanten. Pod odkopom dosega vrednosti vertikalnih napetosti pred čelom odkopa tudi do 140% primarnega napetostnega stanja, nato pa proti čelu odkopa pride do razbremenitve območja.



Slika 9.: porazdelitev vertikalnih napetosti v območju odkopa.

V prostoru za odkopom se pojavi veliko razbremenjeno območje. Na samem odkopu v tleh in stropu ter tik za odkopom pa so dodatne vertikalne napetosti praktično nič. Postopni proces komprimacije za odkopom pa povzroči ponovni porast vertikalnih napetosti, ki v končni fazi doseže vrednosti primarnega napetostnega stanja. V stebru premoga ob boku odkopa je opazen vpliv razbremenilne cone do 15m stran zaradi odkopa. Naprej je v notranjosti strm preskok na največjo vrednost vertikalne napetosti, 180% primarnega napetostnega stanja, potem pa postopoma ta sekundarni vpliv napetosti pada vse do vrednosti primarnega napetostnega stanja.



Slika 10.: Porazdelitev vertikalnih napetosti v območju odkopa ter vektorji pomikov.

ZAKLJUČKI

Numerična simulacija podetažnega odkopavanja premoga z metodo končnih diferenc daje rezultate, ki so primerljivi z izmerjenimi vrednostmi v jami med odkopavanjem premoga. Obsežne izračune sekundarnih napetostno deformacijskih polj, kot posledice simulacije odkopavanja premoga z nadkopnim pridobivanjem omogočajo globlje razumevanje zapletenih rušnih procesov, ki se dejansko dogajajo v krovlini in starem delu pri odkopavanju premoga.

Na osnovi navedenih analiz lahko povzamemo naslednje:

- ✧ V prvem primeru, ko je potekala pripravna proga ob robu odkopa, so izračunane napetosti in deformacije po celotni dolžini dokaj konstantne. Vse je še v mejah, ki jih dopušča podporje. Da bi se realno zmanjšali deformacijski vplivi na progo, bi bilo smiselno povečati širino varnostnega stebra. Podporne ukrepe bi prilagodili povečanim deformacijam. Z uporabo sider in z večjo gostoto segmentov jeklenega ločnega podporja na meter proge bi lahko povišali nosilnosti. V skrajnem primeru bi na najbolj deformiranih odsekih izvršili sanacijo jamske proge.
- ✧ Rezultati drugega primera so v dobršni meri inženirsko sprejemljivi. Proga poteka neposredno pod sredinsko osjo odkopa. V tem delu se pojavljajo velike razbremenitve, kar pokažejo tudi izračunane deformacije. Izračunani pomiki proge so tolikšni, da lahko upravičeno sklepamo, da bi prišlo do porušitve oz. tolikšnih deformacij, da bi bila proga neuporabna. Tudi z dodatnimi podpornimi ukrepi bi verjetno takšne pomike težko preprečili.

Če analiziramo oba primera in računsko določena napetostna polja pod odkopom, lahko ugotovimo, da je gradnja proge ob robu odkopa možna. Podporne ukrepe bi bilo treba prilagoditi razmeram, ki vladajo na posameznem območju. Koliko bi bilo to ekonomsko upravičeno, bi pokazala analiza, ki pa v tem prispevku ni zajeta.

VIRI IN LITERATURA

1. B.H.G. Brady, E.T.Brown, Rock Mechanics for Underground Mining; Second edition, Culver Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London, 1993;
2. Itasca Consulting Group, Inc: FLAC 3D 3.0 User's manual, Minneapolis, 2005;
3. J. Likar in sod., Numerična tridimenzionalna raziskava rušnih procesov v različnih geološko geotehničnih in rudarsko tehničnih pogojih, Raziskovalna naloga, Velenje, Ljubljana, 2007;