



ID 07

ANALIZE SPREMEMB NAPETOSTI IN DEFORMACIJ V PROSTORU V VPLIVNEM OBMOČJU NAPREDOVANJA ŠIROKOČELNEGA ODKOPAVANJA PREMOMA

dr. Andrej BLAŽIČ¹, doc.dr. Evgen DERVARIČ¹, Janez MAYER¹,
Marijan LENART¹, Robert LAH¹, Gregor JEROMEL¹,
prof.dr. Jakob LIKAR², Jurij ČADEŽ³

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

² UL Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo
Aškerčeva 12, LJUBLJANA

³ Geoportal d.o.o., Brnčičeva 13, LJUBLJANA

POVZETEK

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 rušnih procesov z 3D numerično metodo končnih diferenc. Geometrična priprava podatkov je bila narejena z, v ta namen razvitim, posebnim računalniškim programom, ki omogoča hitro in kakovostno načrtovanje in uporabo velikih mrež končnih diferenc velikostnega reda več kot 180.000 prostorskih elementov. Obsežne računske simulacije razvoja odkopavanja, ki so bile narejene za potrebe analiziranja rušnih procesov pri odkopavanju premoga v Premogovniku Velenje so pokazale, da je v bodoče 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, rušni procesi, komprimirana krovina, metoda končnih diferenc, 3D numerična metoda.

UVOD

Širokočelne odkopne metode in odkopne metode z magaciniranjem rude imajo to skupno značilnost, da je hribina v neposredni okolici podvržena velikim deformacijam, zaradi česar posledično prihaja na površini do velikih posedkov. Ob tem prihaja do zapolnjevanja odkopanih prostorov za odkopom pod vplivom zaruševanja, povečevanja in akumulacije energije v okolni neporušeni hribini, ki se kasneje tudi sprošča v raznih oblikah. Do sedaj imamo v Premogovniku Velenje precej dobro obdelane deformacije hribine, vsled odkopavanja na površini, v tem smislu, da znamo s precejšnjo zanesljivostjo predvideti velikost posedkov na površini. Bolj malo pa poznamo dogajanje v neposredni okolici odkopa, predvsem koncentracije napetosti v okolni hribini, koncentracije energije v hribini in sproščanje te energije vsled odkopavanja. V zvezi s tem je problematično tudi

dimenzioniranje stebrov med odkopi in določanje dinamike odkopavanja, predvsem v tem smislu, koliko časa mora preteči, da se za odkopom vzpostavi prvotno napetostno stanje.

Negativnim učinkom odkopavanja z rušenjem hribine se je možno izogniti ali vsaj omiliti posledice predvsem z omejevanjem deformacij okolne hribine v območju odkopavanja. To dosežemo predvsem z:

- uporabo hidravličnega podporja na čelu odkopa,
- zapolnjevanjem starega dela za odkopam,
- puščanjem ustrezno dimenzioniranih stebrov hribine vzdolž celotnega odkopa.

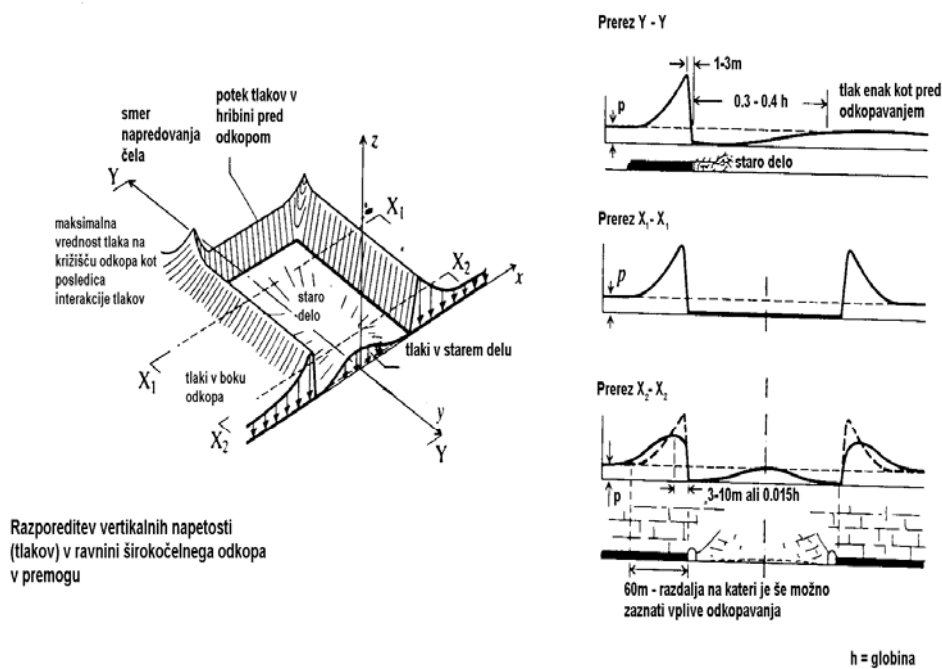
Eden od pomembnih dejavnikov pri širokočelnem odkopavanju v premogu je tudi kontinuirano poganje hribine za odkopom, ki je tudi posledica nizkih enoosnih tlačnih trdnosti premoga. Predvsem zaradi nizkih vrednosti enoosne tlačne trdnosti premoga prihaja do pojava, ko se hribina deformira pred odkopom že na razdalji 100 m in več. To pa ima za posledico uporabo čisto specifičnih podpornih ukrepov:

- podporje na čelu odkopa mora ščititi delovišče pred padanjem kosov premoga nad in za odkopom in v tem smislu zagotavljati pogoje za nemoteno delo na čelu;
- pogosto se kot ukrep uporablja tudi zapolnjevanje starega dela z namenom zmanjšanja deformacij v krovlini in v zvezi s tem tudi za zmanjšanje posedkov na površini;
- podporje etažnih prog, ki zagotavljajo dostop do čela, je pogosto zaradi tega predimenzionirano, saj morajo proge med vso svojo življenjsko dobo zagotavljati funkcionalnost, kljub temu pa so pogosto potrebne pretesarbe, saj tako močnega podporja, ki bi to v vseh pogojih zagotavljalo, nimamo vedno na razpolago;
- puščanje stebrov med odkopi, ki preprečujejo oziroma zmanjšujejo konvergenco etažnih prog.

TEORETIČNE RAZLAGE POTEKA TLAKOV V OKOLICI ODKOPA

Na sliki 1 je prikazan splošno sprejet potek tlakov v okolici odkopa po Whittakerju. (Prikazana je σ_{zz} komponenta napetosti.) Vrednost le te je na samem čelu in robu stebra enaka nič. Tlak strmo narašča z oddaljenostjo od čela proti hribini in doseže največjo vrednost na določeni razdalji, ki je odvisna od trdnostnih lastnosti premoga. Največja vrednost tlaka je v tem primeru 2 krat večja od primarnega tlaka pred odkopavanjem. Od te razdalje, kjer nastopa največja vrednost tlaka, pa se tlak z oddaljevanjem od čela zmanjšuje in se asimptotično približuje primarnemu tlaku ($p = \gamma \cdot H$).

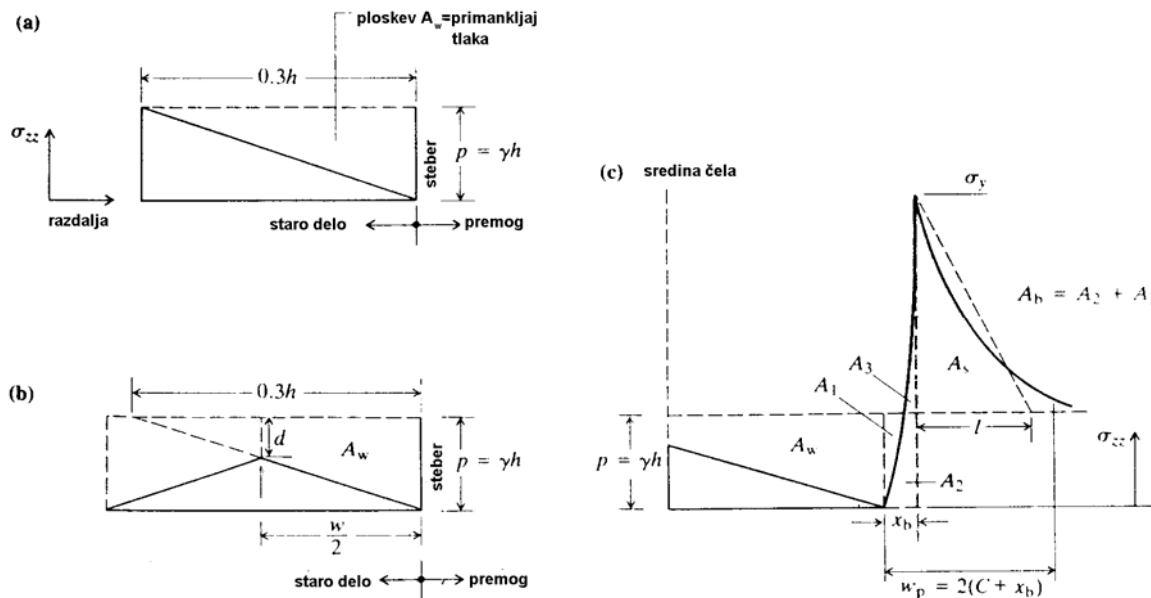
V odkopanem področju je efekt tvorjenja svoda in učinek odkopnega podporja in podporja v progi tako majhen, da so tlaki, tudi za odkopom, precej majhni. Kot je prikazano na slikah, tlak narašča z oddaljenostjo od čela in se približuje prvotni vrednosti tlaka $p = \gamma \cdot H$. Kjer pa pride do zarušenja krovline, pa ta polagoma prevzame polno, to je prvotno obremenitev (slika 1)



Slika 1.: Potek tlakov v okolici odkopa v ravnini odkopa po Whittakerju.

Wilson je postavil teorijo razporeditve in poteka tlakov v okolici širokočelnega odkopa. Analiza temelji na predpostavki, da je bilanca vseh vertikalnih sil na neko določeno ploskev enaka nič in da tako tudi ostane po tem, ko se določen del sloja (odkop) odstrani. Tlaki, ki pa jih povzroči podporje kot reakcijo na tlak hribine, so v primerjavi s tlaki v hribini majhni in se v tem primeru ne upoštevajo.

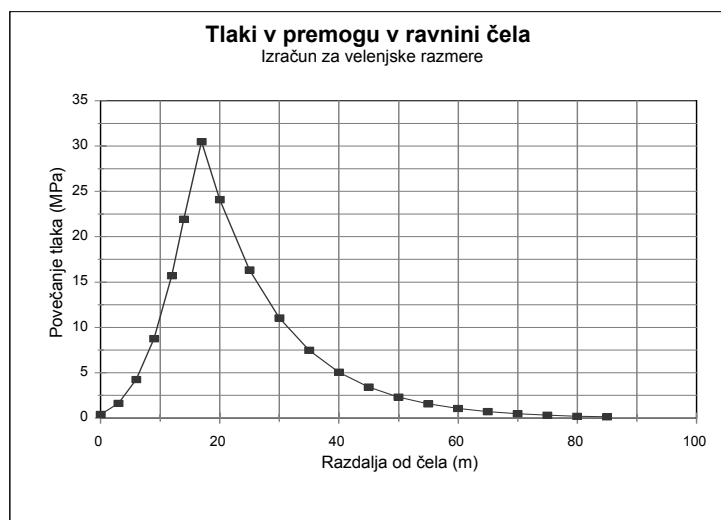
Slika 2 prikazuje aproksimacijo razporeditve tlakov po Wilsonu, ki učinkujejo v prerezu X_2-X_2 . Potek tlakov v starem delu temelji na meritvah tlakov in predpostavki, da tlak v starem delu doseže svojo prvotno vrednost na razdalji $0.3h$ od čela (Slika 2 a). Potek tlakov v stebru pred čelom pa je določen s pomočjo elasto-plastične analize. Kot je prikazano na Sliki 2 c, je privzeta trikotna razporeditev napetosti.



Slika 2. : Idealizirana razporeditev vertikalnih tlakov σ_{zz} v zarušenem starem delu za odkopom za:

- (a) širina čela je $w > 0.6h$,
- (b) širina čela je $w < 0.6h$ in
- (c) potek tlakov vzdolž čela po Wilsonu.

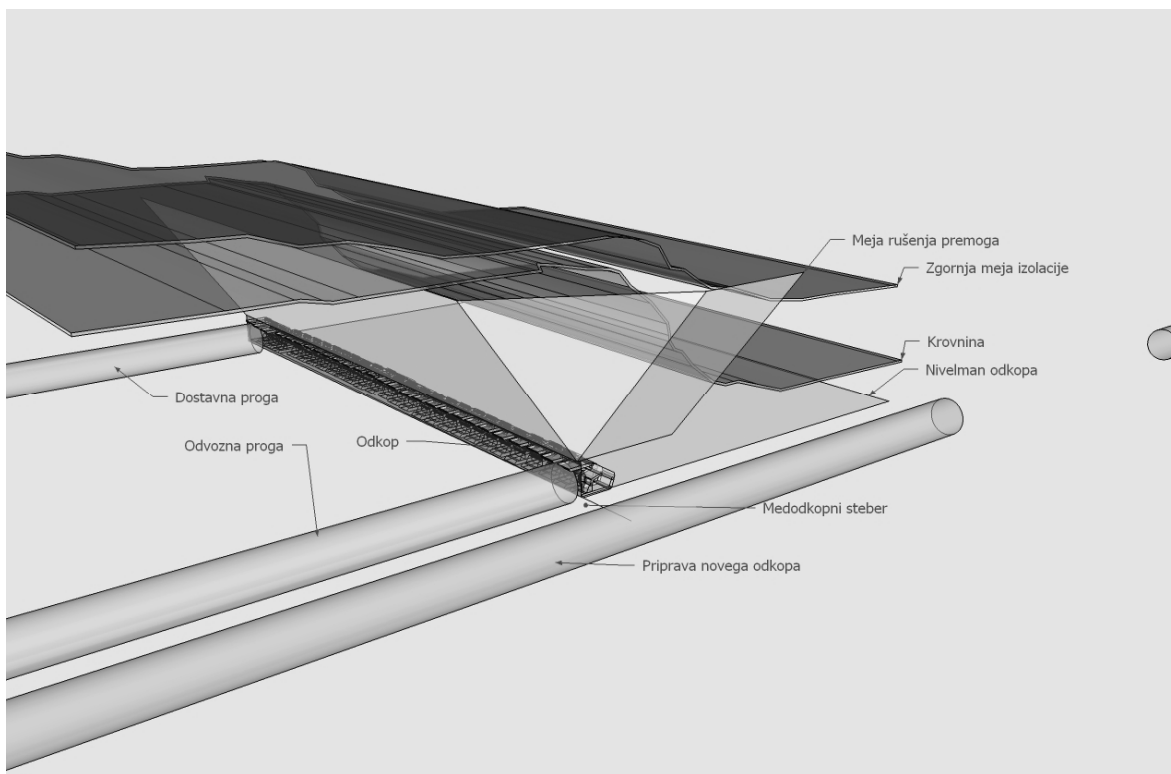
Na sliki 3 je prikazan potek napetosti po Wilsonu za razmere, ki vladajo v velenjski premoški kadunji. Na diagramu so prikazane napetosti v medodkopenem stebru do razdalje 17 m. V nadaljevanju je prikazano padanje tlakov od roba odkopa proti sredini.



Slika 3.: Prikaz napetosti na odkopu in medodkopenem stebru po Wilsonu za razmere, ki vladajo v jamah PV.

PRAKTIČEN PRIMER OBDELAVE

Obdelava je potekala na konkretnem primeru srečanja pripravske številke 8, ki izdeluje dostavno progo za novi odkop et.k.-110B v jami Preloge Jug, z aktivnim odkopom k.-110A. Ta primer je bil izbran zaradi svoje aktualnosti in zaradi tega, ker postavitve takšnega numeričnega modela omogoča parametrične analize, kjer z variiranjem različnih parametrov lahko ugotovimo kateri izmed njih je tisti, ki ima na stabilnost prog največji vpliv. Gre za zelo zahtevno geometrijo, ki jo moramo spraviti v model in vsebuje dve progi, sam odkop in najbolj zahteven del: dogajanje nad odkopom, rušenje, poleganje više ležečih plasti, različni koti rušenja in različni načini pridobivanja nadkopnega dela premoga, koliko se na križišču lahko približamo s pridobivanjem nadkopnega dela in kaj se zgodi v primeru ko povečamo medodkopni steber. (Slika 4)



Slika 4.: Geometrija širokočelnega odkopa s pridobivanjem nadkopnega dela.

Največji vpliv na stabilnost izdelanih prog imamo v fazi projektiranja s pravilno izbranim podporjem. V primeru, ko pa je njegova nosilnost maksimalno izkoriščena pa se zatečemo k povečanju medodkopnega stebra. Pri dimenzioniranju medodkopnega stebra gre vedno za kompromis med količino premoga, ki ostane v stebri, stabilnostjo prog in povečano možnostjo nastanka stebrih udarcev. Predvidevamo, da bomo na naslednjih etažah, ki bodo odkopavale v južnem krilu jame Preloge imeli podobne razmere, kot nastopajo sedaj, zato je smiselnost takšne obdelave toliko večja. Poleg geometrijskih parametrov lahko v modelu

variiramo tudi različne vrste podporja prog, prečkanje prelomnic in spremembe fizikalno mehanskih lastnosti premoga in prihrbine.

Glede na to, da imamo srečanja aktivnih odkopov in pripravskih števil, ki izdelujejo prognozo za nov odkop večkrat letno je postavitvev takšnega modela, ki bo pomagal razjasniti dogajanje v tem primeru toliko bolj smiselna.

V prihodnjih obdelavah, ki bodo rezultat sodelovanja med Premogovnikom Velenje in NTF-OGR nameravamo obdelati s pomočjo tovrstnih numeričnih simulacij še različne dinamike odkopavanja aktualnega odkopa in priprave sosednjega odkopa.

NUMERIČNA SIMULACIJA

Numerično simulacijo smo napravili s pomočjo programskega paketa FLAC 3D, ki je tridimenzionalen program končnih diferenc za inženirsko mehnično raziskovanje. Ta program simulira obnašanje struktur sestavljenih iz zemljin, kamnin ali drugih materialov, ki lahko podležejo plastičnemu toku, kadar so dosežene njihove meje prožnosti oz. elastičnosti. Materiali so zastopani kot elementi ali območja, ki sestavljajo polje, to pa je prikrojeno s strani uporabnika, da ustreza obliki objekta, ki ga modelira. Vsak element se obnaša primerno, kot predpisani linearni ali nelinearni tlačno/natezni napetostni zakon, kot posledica apliciranih sil ali mejnih omejitev. Material lahko popusti ali teče in polje se lahko deformira (v veliko-napetostnem modulu) in premika z materialom, ki ga predstavlja. Določena Lagranževa računška shema uporabljena v FLAC-u zagotavlja, da sta plastični zrušek in tok modelirana zelo natančna. Matrice se ne izoblikujejo, zato je možno računati velike tridimenzionalne izračune brez posebno velikih spominskih zahtev.

Tabela 1.: Geomehanske lastnosti premoškega sloja uporabljene pri numerični simulaciji:

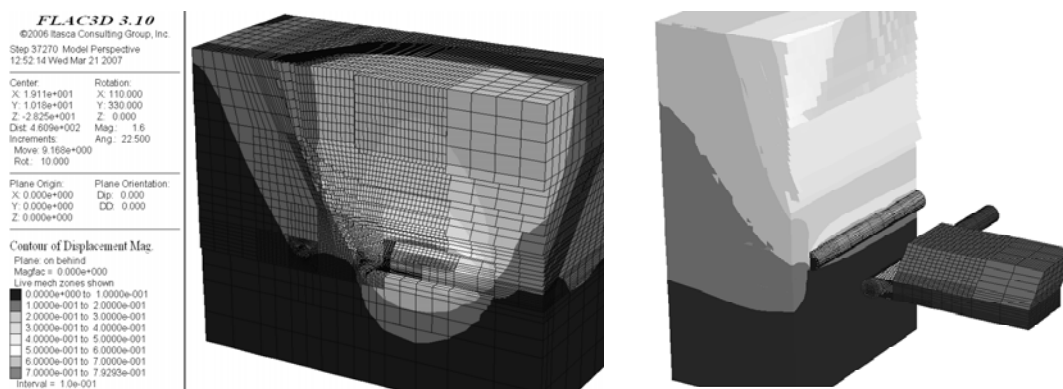
	Prostorninska teža	Strižni modul	Kompresijski modul	Kot notranjega trenja	Kohezija	Natezna trdnost
enota	[kN/m ³]	[Pa]	[Pa]	[°]	[Pa]	[Pa]
Porušeni premog	8,2	1,95E+08	3,2 E+08	30	7 E+05	5,9E+06
Premog 1	13,6	1,68E+08	4 E+08	25	3,2E+05	2 E+06
Premog 2	12,67	1,68E+08	4,51E+08	30	1,5E+06	2 E+06

Naša opazovana mreža končnih diferenc ima razsežnosti 110 x 90 x 60 m. Skupno število elementov je več kot 180000. Z variiranjem parametrov smo prišli do uravnave modela z realnim stanjem. Uporabili smo naslednje geomehanske lastnosti premoškega sloja:

Primarno napetostno stanje je izoblikovano z razmerjem vertikalnih in horizontalnih napetosti 0,85. Ker ne opazujemo celotnega območja do površine smo na vrh našega modela aplicirali napetost 10 MPa, ki simulira vertikalno napetost zgoraj ležečih plasti. Hitrost napredovanja odkopa je simulirana kot 1,5 m/korak. Horizontalna koncentracija pridobljenega premoga sega v višino 4m, vertikalna koncentracija pa 10m. Hitrost odkopavanja vzporedne proge je naravnana na napredek 3m/korak.

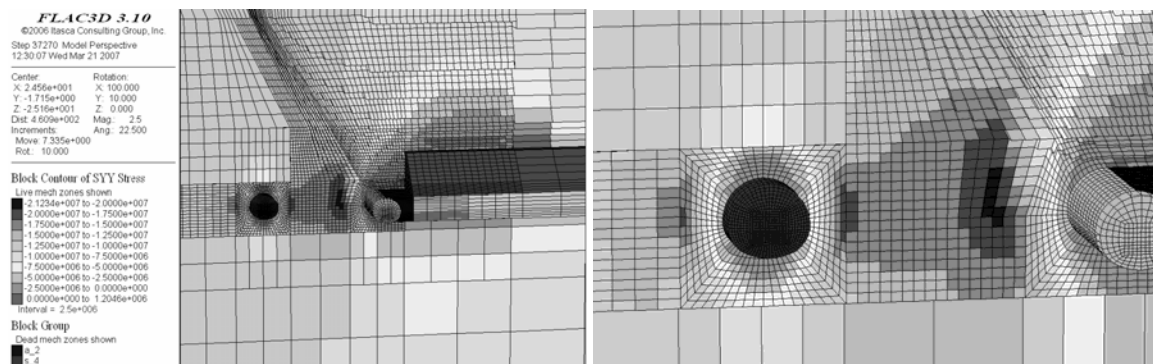
Vsak korak sestoji iz odzema elementov, ki predstavljajo korak napredovanja odkopa ter odzema elementov, ki predstavlja korak napredka izdelave proge. Vsak zaključen korak smo pognali v programu, tako da je napetostno stanje prišlo v ravnovesje. Računska simulacija je sestavljena iz 10 korakov.

Rezultati simulacije:



Slika 5.: Pomiki v okolici odkopa in proge.

Slika 5 prikazuje vpliv odkopa na sosednjo proggo. Pomiki so jasno prikazani in nakazujejo, da ima bližina odkopa velik vpliv na stabilnost sosednje proge.



Slika 6.: Vertikalne napetosti v okolici odkopa in proge.

Slika 6 prikazuje vpliv vertikalnih napetosti, ki so posledica odkopavanja na sosednjo proggo. Vertikalne napetosti so reda velikosti 20 MPa.

ZAKLJUČEK

Teoretični pristopi k modeliranju geomehanskih procesov v rudarstvu izgubljajo proti modernemu pristopu z računalniško podprtim numeričnim modeliranjem. Teoretični pristopi so bili zelo dobri v časih, ko ni bilo na voljo numeričnih simulacij, katerih izračuni še vedno bazirajo na teh osnovah. Sedaj pa služijo bolj v pedagoške namene in za posredovanje splošne slike dogajanja v okolici odkopa in se ne morejo kosati s kapacitetami numeričnih modelov in njihovo sposobnostjo vizualizacije. V obeh primerih pa je vloga geomehnikov posredovanje tega znanja v prakso in analiziranje primerov, kjer smo od narave dobili lekcijo.

Najboljše lekcije so pa vedno bile tiste, od katerih smo kaj odnesli, kaj ugotovili in te zaključke uporabili za naprej. V konkretnem primeru smo se odločili za povečanje medodkopnega stebra za 4m, kaj pa bo to pomenilo za kompromise, ki vedno so, pa bo pokazal čas. V tem trenutku jih lahko le predvidevamo, kako intenzivni bodo, pa ni odvisno le od tega, kako je na projektnem nivoju zastavljena etaža, ampak v veliki meri tudi od zatečenih naravnih pogojev, praktičnega dela in izvajanja del. V tem delu se pogosto pojavijo neki momenti, ki pomenijo določen odmik od prognoziranega stanja. Prednost numeričnih simulacij pa je ravno v tem, da lahko s tem, ko je tak model sedaj postavljen, zelo hitro izvedemo različne simulacije in obdelamo primer na dejansko stanje ter predvidimo dogajanje preden nastopijo nepopravljive posledice. Ključ do tega pa je v sodelovanju med projektantom na eni, izvajalcem na drugi in fakulteto na tretji strani, v posvetovanju vseh treh in stalni izmenjavi znanja in izkušenj.

LITERATURA

1. Blažič Andrej: Geomehanske osnove za projektiranje širokočelnih odkopov na območjih s tanko izolacijsko plastjo; Mag. delo, 1997.
2. Blažič Andrej: Aktivno podgrajevanje v slabo nosilnih hribinah, Doktorska disertacija, 2004.
3. Brady B.H.G./E.T.Brown 1985. Rock Mechanics For Underground Mining, George Allen & Unwin Ltd., London 1985.
4. Jamnik Rajko: Matematična statistika, Ljubljana 1980.
5. Kočar s sodelavci: Študija za reševanje problematike varnega odkopavanja in določitev kriterijev za projektiranje in odkopavanje premoga pod vodonosnimi plastmi v jamah RLV, Ljubljana 1987.
6. Kočar s sodelavci: Klasifikacija ležišča premoga glede na kurilno vrednost in geomehanske lastnosti hribin, Ljubljana 1989.
7. Murray R. Spieegel: Theory and problems of statistics, Schaum, New York, 1989.