



REZULTATI GEODETSKIH OSMATRANJA KARAKTERISTIČNE ZONE SLIJEGANJA NA SOLNOM LEŽIŠTU U TUZLI ANALIZIRANIH KROZ 3D MODELE U POSTEKSPLOATACIJSKOM RAZDOBLJU

Nermin Taletovi¹, dipl. ing. geol.
Jasmin Isabegovi¹, dipl. ing. geol.
mr. sc. Azra Avdi¹, dipl. ing. geol.
Dr.sc. Almir Šabovi¹ dipl.ing.geol.
¹Rudarski institut d.d Tuzla

Sažetak: Kroz ovaj rad izvršena je obrada i analiza rezultata dugogodišnjeg geodetskog monitoringa u zoni slijeganja Grada Tuzle. Rezultati monitoringa analizirani su kroz vremenski određene 3D modele u cilju prikaza manifestacija na površini terena, a koja su nastala usljed promjena naponskog stanja u masivu nakon obustave eksploatacije soli. Izvršena analiza i sama daje mogućnost za donošenje zaključaka o ponašanju masiva te pruža osnovu za daljnje usporedbe s rezultatima drugih metoda monitoringa.

Ključne riječi: ležište soli, 3D modeliranje, monitoring, geodetska mjerenja

RESULTS OF GEODETIC OBSERVATIONS AT CHARACTERISTIC SUBSIDENCE ZONE IN SALT DEPOSIT AT TUZLA ANALYZED THROUGH 3D MODELS IN POST EXPLOITATION PERIOD

Abstract: This paper elaborates processing and analysis of the results of long term geodetic monitoring in the area of settlement of the City of Tuzla. Monitoring results are analyzed through time-based 3D models in order to display events on the ground surface which are caused due to changes in the stress state in the massif after the suspension of exploitation of salt. An analysis itself provides the ability to draw conclusions about the behaviour of the massif and provides a basis for further comparisons with results of other methods of monitoring.

Key words: salt deposit, 3D modelling, monitoring, surveys



1. UVOD

Metodom nekontroliranog izluživanja na reviru Hukalo – Trnovac proizvedeno je oko 80.000.000 m³ slane vode, odnosno stvoren je deficit solne mase od oko 12.000.000 m³ ispod najužeg urbanog područja grada Tuzle. Ova dugogodišnja nekontrolirana eksploatacija soli u gradu Tuzli imala je za posljedicu slijeganje u središnjem dijelu Grada Tuzle uzrokujući značajne štete na infrastrukturi i objektima.

Slijeganje i površinske deformacije uzrokovale su rušenja oko 2.700 stambenih jedinica, oko 67.000 m² proizvodnih objekata i 130.888 m² obrazovnih, zdravstvenih, kulturnih i sportskih objekata. Zbog svega ovoga sa ugroženog područja iseljeno je oko 15.000 stanovnika.

Kontrola deformacije terena na području eksploatacije Tuzlanskog sonog ležišta se vrši kontinuirano od 1956. godine. Najveća slijeganja tla zabilježena su u periodu 1947.-1991. gdje je u središnjem dijelu registrirano potonule od više od 12 m. Maksimalno slijeganje u toku jedne godine zabilježeno je 1979. godine i iznosilo je 745 mm te 1983. godine kada je iznosilo 1100 mm.

Nakon navedenih devastacija započeo je proces obustave eksploatacije te se kao zvanici dan obustavljanja eksploatacije slanice uzima 31.03.2006. godine. U periodu mart 2006 do maj 2007. vrši se postepeno smanjivanje proizvodnje slanice i monitoring, 29.05.2007. :

Službeno potpuno obustavljanje crpljenja na solnim bunarima nastupilo je 29.05.2007. godine od kada se vrši kontinuiran i kompleksan monitoring. Istovremeno, proizvodnja soli se seli na ležište Tetima gdje se odvija i danas, zadovoljavajući potrebe kemijske industrije.

Jedna od metoda monitoringa koji se provode je i geodetski monitoring. U ovom radu je na osnovu rezultata vertikalnih pomaka, koristeći softver „Surfer“, kreiran niz vremenski definiranih modela, imenovan uvid u procese prijenosa deformacija masiva na površini terena nakon potapanja i njihovo praćenje i usporedbe u vremenu. [1] [4]

Cilj ovih modela je da se na osnovi međusobnih usporedbi utvrdi ponašanje masiva kao i da se isti usporede s rezultatima drugih metoda promatranja (dinamikom podzemnih voda, geofizikom i seizmikim istraživanjima i praćenje inženjerskogeoloških pojava na površini terena).

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Ležište se nalazi u sjeveroistom dijelu Bosne i Hercegovine u samom centru grada Tuzle, koja je smještena na obroncima planine Majevice, na prosječnoj visini od oko 239 m. [3]

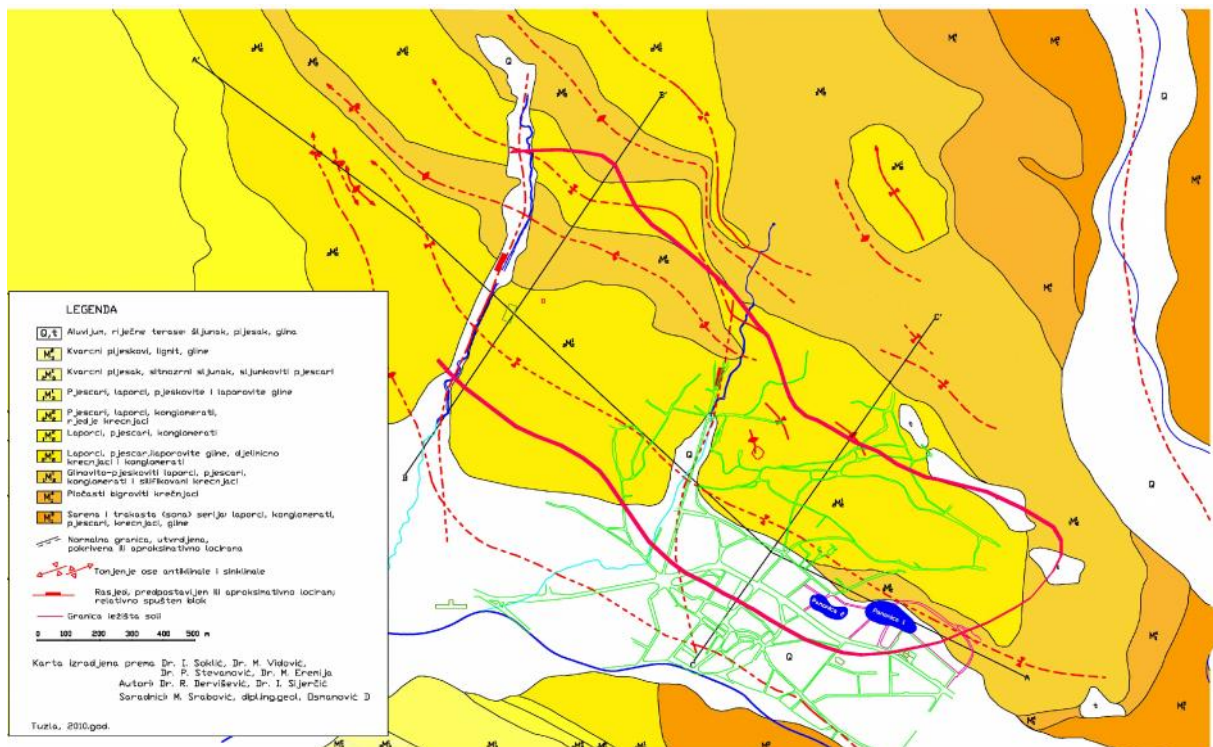
U pogledu prostornog položaja, ležište kamene soli „Tušanj“ zaliže ispod površine terena na oko 150m na krajnjem jugoistoku, do 700m na krajnjem sjeverozapadu. Ležište kamene soli u Tuzli je bilo podijeljeno na dva eksploataciona polja i to: Hukalo-Trnovac i revir Tušanj. Eksploatacijsko polje Hukalo-Trnovac, koje zauzima JI dio ležišta, eksploatirano je metodom nekontroliranog izluživanja preko dubokih eksploatacijskih bušotina, dok je revir Tušanj, koji zauzima SZ dio ležišta, bio otvoren izvoznim i ventilacijskim oknom te se eksploatacija obavljala podzemno, na klasičan rudarski način. (Slika 1.).



Slika 1. Satelitski snimak prostorne pozicije tuzlanskog solnog ležišta Tušanj

3. GEOLOGIJA PODRUČJA

Ležište je smješteno u južnom krilu antiklinale Dolovi, a isto nje dijelom zaliježe u semisinklinali Gradina-Trnovac. Ležište je izgrađeno od pet sonih serija moćnosti od 14 do 56 metara. Međusobno su odvojene dolomitičnim glinovito-lapornim sedimentima. Isto nje, površinski dio ležišta je smješten u jezgru semisinklinale Gradina-Trnovac, a dublji u jugozapadnom krilu antiklinale Dolovi. U planu ležište je nepravilnog elipsastog oblika s kraćom osom od 600 do 900 metara i dužom oko 2500 metara. Geologija područja je prikazana na karti (slika br. 2).



Slika 2: Geološka karta ležišta soli [2]

I serija soli - ima malo rasprostiranje na ležištu, prosje ne može nositi oko 14 metara, slojevitog je oblika, izuzev u jugozapadnom dijelu gdje je tektonski slabije koncentrirana. Podina je sloj tufa koji je ispucao i slabije ubran.

II serija soli - ima najveću zastupljenost i primarnu debljinu od 55 metara koja je tektonski koncentrirana i uvećana, može nositi preko 250 metara. Na jugozapadnom dijelu ležišta ova serija je slojem anhidrita i anhidritsko-laporovite breče i podijeljena na II gornju i II donju seriju. Podinu ove serije čini sloj trakastog anhidrita od 8 cm. Sjeveroistočni rub ove serije je zahvaćen nekontroliranim otapanjem. Na sjeverozapadnom dijelu ležišta II serija naglo isklinjava što je utvrđeno jamskim radovima (tektonska granica ležišta).

IIIB serija soli - ima slojevitom formu koja prati podinu II serije soli i nije razvijena na jugozapadnom dijelu ležišta. Sjeveroistočni rub ove serije je otopljen. Karakterizira se relativno malim sadržajem soli i ujednaenom može nositi od 31 metar. Laporac, može nositi 24 metra odvaja ovu seriju od III A serije. Pored kamene soli ova serija sadrži i tenardit.

IIIA serija soli - na jugoistočnom dijelu ležišta ima slojevitom formu koja na tušanjskom reviru poprima formu dvostrukog nabora. Karakterizira se tektonskom koncentracijom i značajnom uvećanjem primarne može nositi sa 55 metara na oko 200 metara. Slojem laporca, debljine 3 metra, ova serija je podijeljena na dva dijela. Ova serija sadrži i tenardit u vidu slojevitih i sočivastih formi. Slojevite forme tenardita su prisutne u krovini i podini serije a u središnjem dijelu prevladava tenardit u vidu pojedinačnih kristala i slojeva centimetarske može nositi. Podinu ove serije čini trakasti laporac može nositi oko 20 metara.

IV serija soli - predstavlja najdublju seriju u ležištu i ima slojevitom formu uvjetovanu prisutnošću u trakastih laporaca, a prati podinu III A serije. Serija je može nositi na oko 30 metara i pored kamene soli sadrži i tenardit. Neposrednu podinu ove serije čine trakasti laporci.

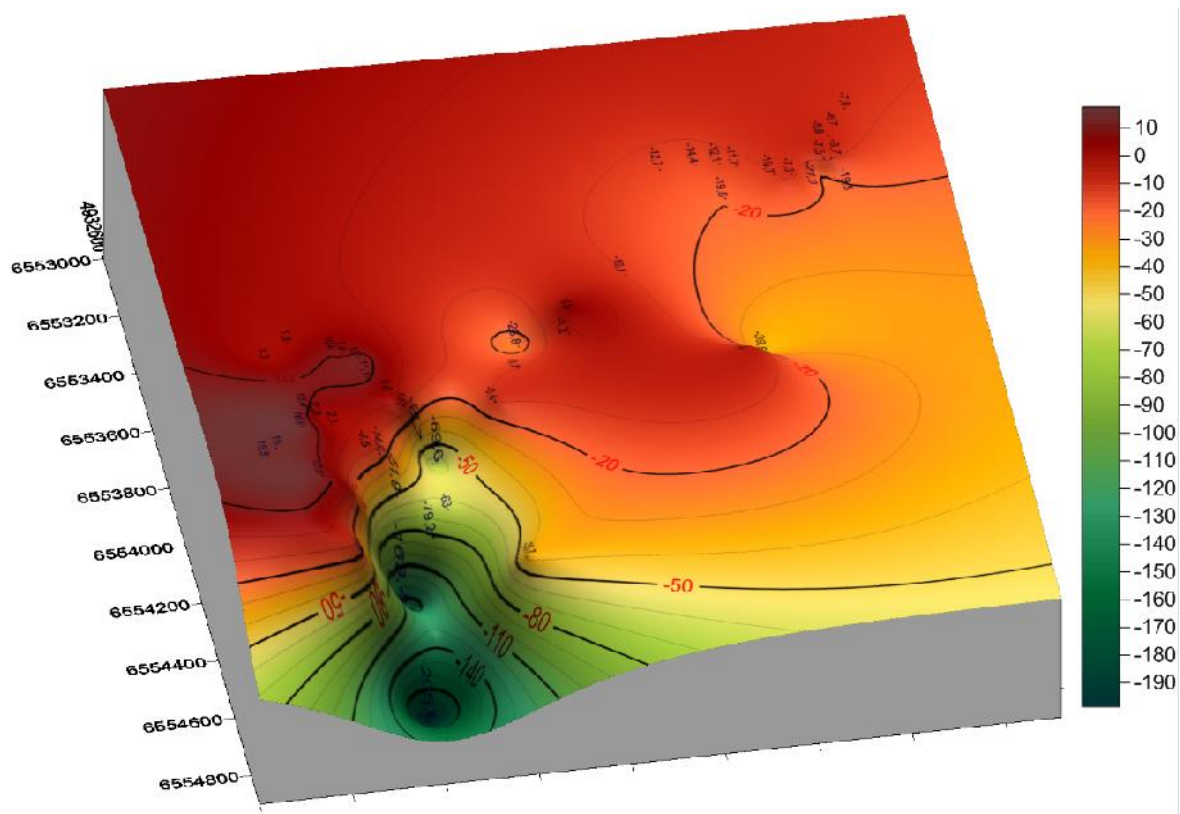


Karakteristika ovog ležišta je da su sone serije tektonski koncentrirane, a II i III A i višestruko uvećane zbog uslijed tektonskih pritiska. Uslijed izmjene sedimenata i različitosti plastičnosti, u ležištu se javljaju raznovrsne strukture i pukotine. [1] [5]

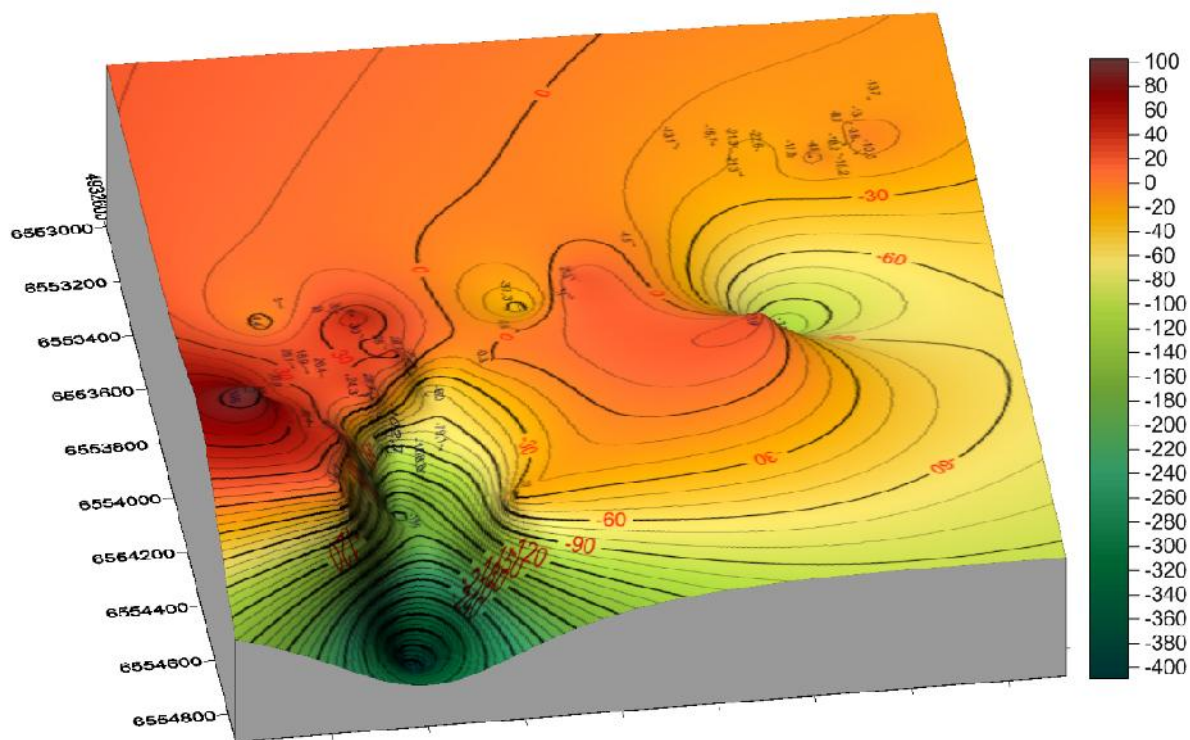
4. METODOLOGIJA OBRADJE REZULTATA GEODETSKOG MONITORINGA

Za analizu su korištena geodetska snimanja – 7 serija, na 9 kontrolnih profila i 131 točkica. Problem vertikalnih pomaka predstavljaju i horizontalni pomaci koja se događaju uslijed klizišta i antropogenog djelovanja što je predstavljalo poseban problem u procesu pripreme baze podataka za analizu.

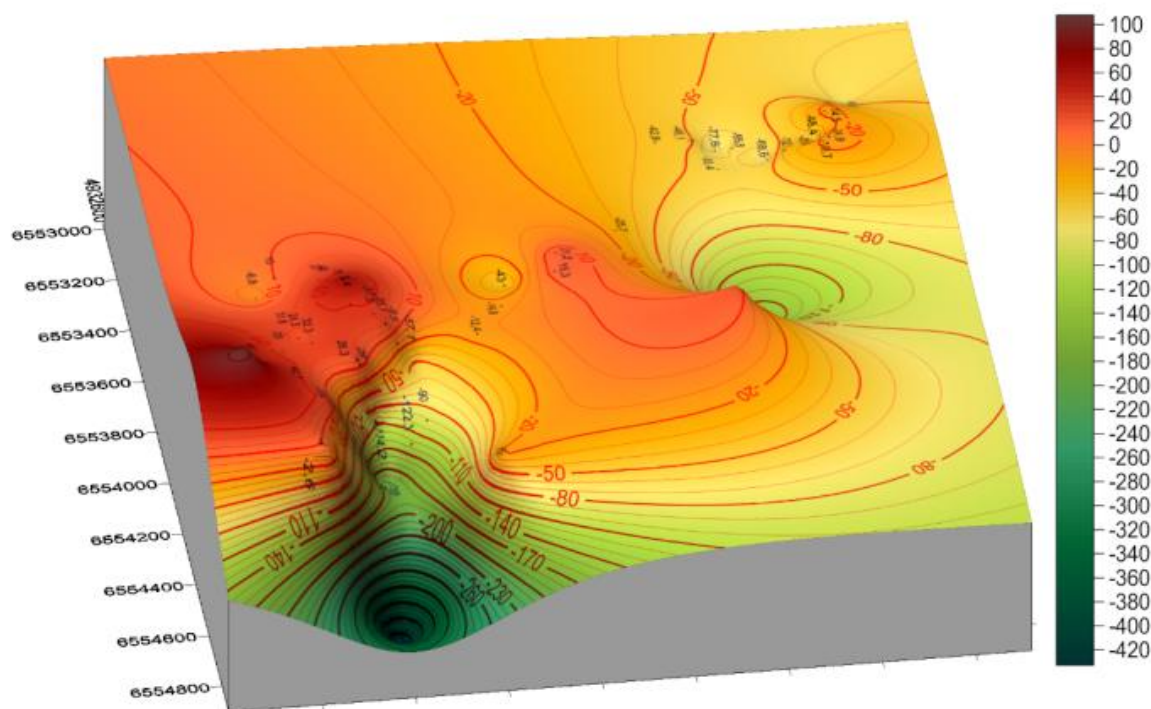
Za obradu i analizu rezultata korišten je softver „Surfer“ u kojem je urađen geostatistički postupak krigriranja kao metoda kojom se na osnovi poznatih vrijednosti određenog parametra u poznatim tačkama vrši procjena vrijednosti tog parametra u bilo kojoj, proizvoljnoj točkici promatranog prostora unutar poznatih tačkica. Postupkom krigriranja na osnovi podataka o slijeganju terena u poznatim tačkama koje se geodetski promatraju moguće izvršiti određbu vrijednosti pomaka u svim drugim tačkama promatranog prostora. Danas je uopće usvojeno da je geostatističko krigriranje najpoznatija metoda procjene vrijednosti traženog parametra, kojom se minimizira disperzija, optimalno koriste podaci o vrijednosti analiziranog parametra u promatranim tačkama i daje najtočniju procjenu srednje vrijednosti parametra u promatranom dijelu prostora za koji se vrši procjena. Za razmatranje i kreiranje 3D modela izabrane su lokacije „Pinga“ i „Tušanj“ kroz vremensko razdoblje geodetskog promatranja (2006-2012).[5][6]



Slika 3. Model slijeganja (mm') (Razdoblje 2006-2007)



Slika 4. Model slijeganja (mm') (Razdoblje 2006-2010)



Slika 5. Model slijeganja (mm') (Razdoblje 2006-2012)



5. ZAKLJUČAK

Red veli ina sveukupnih komponenata deformacija terena ukazuje da je od zaustavljanja eksploatacije u 2006. godini došlo do smanjene destrukcije površine terena, a samim tim i do smanjene ugroženosti objekata i infrastrukture u užem dijelu gradskog područja u odnosu na razdoblje intenzivne eksploatacije slanice.

Iz dostupnih podataka promjena visina poligonalnih točaka i repera između u pojedinim serijama opažanja, uoči čega se u razdoblju 2007-2009 godina prelaz iz procesa slijeganja u proces izdizanja kao logička posljedica promjena zavodnjenosti (hidrostatičkog tlaka) masiva. Tako u razdoblju 2007-2008. godina oko 50,5% točaka se izdiže, a u razdoblju 2008-2009. oko 88%, da bi zatim uslijedilo smirivanje i nastavak minimalnog slijeganja.

Ove promjene potvrđuju proces konsolidacije i prilagodbu masiva novonastalim uvjetima naprezanja, bez novonastalog deficita vrste mase izluživanjem soli.

činjenica da nisu uočene brze denivelacije površine terena na kratkim udaljenostima ukazuje na odsustvo koncentriranih šupljina u dubini jer bi u suprotnom masiv, u ambijentu njegove izrazite destrukcije, a uz prisutnost blokovske strukture i složene rasjedne tektonike, brzo reagirao i u procesu uravnoteženja prouzročio pokrete koji bi se mogli, na površini terena, manifestirati kao prolomi.

U ovom radu prikazani su modeli slijeganja (Slike 3, 4 i 5) koji govore da proces konsolidacije na području ležišta soli u Tuzli i dalje traje i trajat će i u budućnosti s minimalnim vrijednostima slijeganja koje ima tendenciju daljeg smirivanja. U ovom je radu iskorišten softver Surfer, koji omogućuje moderan pristup k obradi, analizi i vizualizaciji rezultata na jedan karakterističan i zanimljiv način. [6] [7] [8]

LITERATURA

1. Hrustić, H. I., Dopunski rudarski projekt obustave eksploatacije ležišta kamene soli u Tuzli, Rudarski Institut d.d Tuzla, 2014,
2. Development of a Monitoring NATO Project, ESP.EAP.SFP.983305, Tuzlak 2009-2010, autori karte: dr. R. Dervišević, dr. I. Sijerčić, suradnici M. Srabović, dipl. ing. geol., D. Osmanović
3. Hrvatović, H., Geološki vodi kroz Bosnu i Hercegovinu, Tuzla 2008.
4. Hrustić, H. I., Dopunski rudarski projekt obustave crpljenja slane vode na reviru Trnovac–Hukalo, Rudarski Institut d.d Tuzla, 2006,
5. Hrustić, H. I., Dopunski rudarski projekt obustave crpljenja slane vode na reviru Trnovac–Hukalo, II faza, Rudarski Institut d.d Tuzla, 2007.
6. Elaborati o izvršenim geodetskim mjerenjima površine terena u sklopu monitoringa masiva na solnom ležištu u Tuzli, „ZEDIS” d.o.o. Zenica,
7. Golden Software, Inc., 809 14th Street, Golden, Colorado, 80401-1866, USA
8. www.goldensoftware.com