

**UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
RUDARSKI FAKULTET PRIJEDOR**



**IZVJEŠTAJ**  
*o ocjeni urađene doktorske teze*

**PODACI O KOMISIJI**

Na osnovu člana 32. Pravilnika o nastavno-naučnom radu za sticanja zvanja magistra i doktora nauka, Nastavno-naučno vijeće Rudarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, na sjednici održanoj dana 18.02.2014. godine donijelo je Odluku broj: 21/3.60/14 o formiranju komisije za ocjenu urađene doktorske disertacije kandidata mr Semira FEJZIĆA, pod nazivom: “Naponska analiza podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima ankerisanjem” u sljedećem sastavu:

- 1.Dr. Jovo MILJANOVIĆ, docent, uža naučna oblast „Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina“ Rudarski fakultet Prijedor, Univerzitet u Banjoj Luci, predsjednik
- 2.Dr. Kemal GUTIĆ, vanredni profesor, uža naučna oblast „Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina“ Rudarsko geološko građevinski fakultet Tuzla, mentor
- 3.Dr. Slobodan MAJSTOROVIĆ, docent, uža naučna oblast „Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina“ Rudarski fakultet Prijedor, Univerzitet u Banjoj Luci, član.

Komisija je detaljno proučila urađenu doktorsku disertaciju mr Semira Fejzića pod naslovom “Naponska analiza podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima ankerisanjem” i u potpunoj međusobnoj saglasnosti podnosi Nastavno-naučnom vijeću Rudarskog fakulteta Prijedor, Univerziteta u Banjoj Luci ovaj Izvještaj

**1. UVODNI DIO OCJENE DOKTORSKE TEZE**

Doktorska teza mr Semira Fejzića, diplomiranog inženjera rudarstva, napisana je latiničnim pismom pregledno, jasno i jezički korektno. Teza je napisana na ukupno 212 stranica, kompjuterski složenog i formatiranog teksta i štampana je na A4 formatu. Rukopis sadrži i 139 slika, te 44 tabele. U radu je korišteno 70 referenci.

U skladu sa metodologijom pisanja naučnoistraživačkih radova, doktorska teza sadrži: Uvodna razmatranja (4-5) u vezi sa temom doktorske teze praćena su sa pet radnih djelova koji čine teorijsko-praktično-analitički djelovi teze, a posljednji, šesti dio, je sinteza rezultata sa zaključcima i preporukama. Na kraju je dat popis literature, sažetak, popis tabela, popis slika, spisak simbola i skraćenica, te prilozi korišteni u procesu istraživanja.

Prvo poglavlje čine UVODNA RAZMATRANJA, u kome su obrađeni značaj i aktuelnost teme doktorske disertacije, problem i predmet istraživanja, ciljevi istraživanja, polazna i naučna hipoteza, metode istraživanja, očekivani naučni doprinos i primjena rezultata istraživanja.

Naslovi ostalih poglavlja doktorske teze su sljedeći:

I ANALIZU SADAŠNJEG NAČINA PODGRAĐIVANJA PODZEMNIH PROSTORIJA U LEŽIŠTIMA LIGNITA (6-16),

II ANKERI I ANKERNA PODGRADA (17-53),

III KLASIFIKACIJU STIJENSKIH MASA ZA POTREBE IZBORA VRSTE PODGRADE PODZEMNIH PROSTORIJA I MOGUĆNOSTI PRIMJENE ANKERA U ZAŠTITI PODZEMNIH PROSTORIJA (54-87),

IV GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA LIGNITA KREKANSKOG UGLJENOG BASENA (88-105),

V ANALIZA NAPONSKIH STANJA (106-186),

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA (187 -189),

LITERATURA ( 190-193)

POPIS SLIKA

POPIS TABELA

SPISAK SIMBOLA

SPISAK SKREĆENICA

PRILOZI

## 2.UVOD I PREGLED LITERATURE

Kao što to metodološki pristup za izradu svakog naučnog rada nalaže i u ovoj doktorskoj disertaciji se prvo daju uvodna razmatranja u vezi sa temom disertacije. Kandidat je ukazao na značaj i aktuelnost teme, problem, predmet i ciljeve istraživanja. Izabrana tema disertacije je veoma aktuelna i zapažena u naučnoj literaturi i stručnoj praksi većine razvijenih zemalja, dok se istoj u zemljama tranzicije, kao što je i naša, nije dao pravi i potreban značaj.

Izborom takve teme, kandidat je zadovoljio osnovnu odliku koju treba da ima svaki naučnoistraživački rad, a to je njegova originalnost.

Ankerna podgrada u rudarstvu razvijenih zemalja, zbog niza prednosti, preovladava u odnosu na druge vrste podgrade. Njene prednosti se manifestuju u nižim specifičnim troškovima podgrađivanja, jednostavnoj i lakoj ugradnji, lakom transportu do mjesta ugradnje, te u dobroj nosivosti, odnosno pouzdanosti podgrađivanja.

Iako se sredinom prošlog vijeka intenzivno radilo na uvođenju ankerne podgrade u našim rudnicima, ona se danas rijetko koristi, uglavnom iz razloga što je u tadašnjoj ekonomiji forsirana metalna industrija i proizvodnja klasične metalne podgrade za rudarstvo. I pored toga, u nekim rudnicima ankerna podgrada se primjenjivala i održala do danas, kao nezamjenjiva za određene uslove i metode otkopavanja.

Kroz rad analizom je dat kratak presjek sadašnjeg načina podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima lignita, gdje su tretirane podzemne prostorije, od njihovog oblika i dimenzija, do klasifikacije prostorija prema namjeni i vijeku trajanja. Također, obrađena je klasifikacija radne sredine prema uslovima podgrađivanja podzemnih jamskih prostorija, sa datim tehničkim opisom pojedinih načina podgrađivanja jamskih prostorija izgrađenim u slojevitim ležištima, na primjeru rudnika lignita Mramor kao dio sistema rudnika Kreka.

Polazeći od hipoteze da primjena ankera, kao podgradnog sistema podzemnih prostorija za brzu stabilizaciju podzemnih prostorija, je efikasan sistem za slojevita ležišta, u radu su detaljno obrađeni svi parametri vezani za ankere i ankernu podgradu, od opštih karakteristika, vrsta i podjela ankera, do nosivosti, proračuna i testova čupanja ankera.

Prilikom podgrađivanja, potreban pristup za procjenu podgrade uključuje adekvatan odabir klasifikacije stijenskih masa, kao i drugih tehničkih uslova koji se moraju istražiti kako bi se napravio dobar projekt vezan za izbor podgrade. U primijenjenoj mehanici stijena, na područja rudarstva, projektovanje uključuje izbor određenih objekata i predviđa izučavanje ponašanja stijene u promijenjenim uslovima sekundarnog stanja napona, koristeći pri tome i jednačine teorijske i primijenjene mehanike stijena. U svakom od tih slučajeva projektovanja moraju se koristiti neka od mehaničkih svojstva stijene kod rješavanja namjenski formulisanih jednačina. Tačnost rješenja koje se time dobije nije veća od tačnosti dobijenih mehaničkih svojstava stijene. Mehanička svojstva uzoraka stijene, koji se ispituju u laboratoriji, mogu se mnogo razlikovati od mehaničkih svojstava stijenske mase *in situ* iz koje je uzorak uzet.

Rad tretira mehaničke osobine radne sredine, čvrstoću na zatezanje, čvrstoću na pritisak, oštećenje stijenskog masiva i stabilnost stijenskog masiva. Također, klasificira stijenske mase sa stanovišta izrade podzemne prostorije, daje kvalitet stijenske mase po Deer-u, i koristi druge metode koje će biti zastupljene u disertaciji, RSR klasifikacija, geomehanička klasifikacija stijenske mase, RMR- Klasifikacija Bieniawskog, Klasifikacija NGI ili Q klasifikacija. Tretira i slojevita ležišta i izbor sistema osiguranja podzemnih prostorija po Meritu, a na osnovu RQD klasifikacije.

U radu su prezentirani precizni podaci o geološkim karakteristikama ležišta lignita krekanskog ugljenog basena sa posebnim akcentom na rudnik lignita Mramor, te se sažeto prezentiraju naponska stanja (primarno, sekundarno i tercijarno), a dat je teorijski i šematski prikaz stanja napona za različite oblike podzemnih prostorija.

Stanje napona i analiza sekundarnog naponskog stanja, metodom konačnih elemenata i eksperimentalnom metodom u *in situ* uslovima prije, za vrijeme i poslije ugradnje ankera u podzemnoj prostoriji za slojevita ležišta, daju korisna, efikasna i opravdana rješenja. Primarni cilj istraživanja ovog rada je numerička potvrda empirijskog proračuna i dokazivanje, kroz eksperiment, primjenjivog modela sistema podgrađivanja podzemnih prostorija, a korištenjem ankera kod slojevitih ležišta.

Obimna istraživanja tretiraju se i numeričkim metodama korištenjem programa ABACUS i AUTOMATSKO DINAMIČKO INCREMENTAL NELINEARNOM ANALIZOM (u daljnjem tekstu ADINA), zatim selektuju, a nakon toga u *in situ* uslovima izvode praktični eksperimenti. Komparativnim metodama izvršena je analiza naponskih stanja, i izvršen je optimalan izbor vrste i broja ankera za uslove slojevitih ležišta.

Mjernim metodama izvršen je monitoring i, nakon toga, dat adekvatan model za tipična slojevita ležišta. Neophodno je istaći da rezultati istraživanja, dati u ovom radu, mogu biti primjenjivi i za druge podzemne infrastrukturne građevine u uslovima slojevitih stijenskih formacija. Također, ono što je značajno za ovo istraživanje jeste i sagledavanje interakcije stijenske slojevite radne sredine i podgrade (ankerne).

Zbog energenta koji iskopavamo, te poboljšanja uslova i efektivnosti, od strateškog su značaja smanjenje troškova i brže napredovanje i sigurnost radnika koji to izvode, što ovoj temi daje dodatnu važnost. Istraživanjem se nastojalo doći do novog, ekonomski opravdanog, jednostavnijeg i efikasnijeg podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima uglja, te ga, s tim u vezi, i praktično dokazati. Sa takvim efikasnim sistemom podgrađivanja stvorit će se mogućnosti za veći stepen mehanizovanosti, povećat će se dimenzije iskopa prostorija neophodnih za obezbjeđenje zadate površine poprečnog presjeka, te će sve navedeno imati indirektni uticaj na zaštitu životne sredine.

Prilikom formulisanja predmeta istraživanja kandidat je vodio računa da izabrani predmet ima potrebnu važnost u području na koje se odnosi ali i pravovremenost i praktičnu vrijednost, kao i da za proces istraživanja postoji pristupačnost odgovarajućih podataka, opreme i metoda.

Pored svega navedenog, istraživanjem je dat značajan broj podataka obrađenih matematičkim proračunima, koristeći pri tome sva dosadašnja domaća i međunarodna iskustva.

Sumarno se može reći da su uvodnom poglavlju detaljno i jasno prezentovani podaci neophodni za razumijevanje kompleksnosti problematike vezane temu ovog rada, pri čemu je, kao i kroz cijeli rad, konsultovana većim dijelom izvorno najrelevantnija svjetski priznata literatura, od najjemenitnijih stručnjaka (Bieniawski, Deer, Hoek, Barton, Brown i drugi) iz te oblasti, kao i savremena literatura novijeg izdanja domaćih i međunarodnih autora, te se u okviru referenci nalazi i širok spektar radova značajnih za obradu teme, problema a i predmeta istraživanja. Također, primjetan je i veliki broj primjera kao usporedba primjene ankera u drugim uslovima i drugim ležištima u rudnicima u BiH.

Kandidat je u radu sažeto obradio i dao najznačajnije parametre i rezultate do sada provedenih istraživanja u svim većim rudnicima u BiH( i to: Kakanj, Zenica, Breza, Banovići i Đurđevik).

Naučnu vrijednost daju i rezultati opsežnog istraživanja zasnovanih na odgovarajućoj metodologiji i primjeni relevantnih metoda.

### 3. MATERIJAL I METOD RADA

Kandidat je precizno obradio stanje napona i analizu sekundarnog i tercijarnog naponskog stanja, metodom konačnih elemenata i eksperimentalnom metodom u *in situ* uslovima prije, za vrijeme i poslije ugradnje ankera u podzemnoj prostoriji za slojevita ležišta.

U posljednjim desetljećima razvijene su nove metode, efektivne linearne i nelinearne analize stanja napona oko podzemnih prostorija, koje mogu poslužiti kod projektovanja podzemnih prostorija u stijenskoj masi, kao realnoj radnoj sredini. To je omogućilo da se poveća sigurnost - stabilnost izgrađenih objekata, te da se troškovi izgradnje reduciraju na efektivnu mjeru. Analiza kompleksnog stanja u stijenskoj masi, i podgradi koju treba koristiti da bi se obezbijedila izgrađena struktura, (podzemna prostorija), može se izvesti kroz diskretizaciju stvarnog stanja koristeći računarske programe. Efektivna procedura diskretizacije može se izvesti koristeći metodu konačnih elemenata.

U ovoj disertaciji tretiraju se dvije numeričke metode, odnosno kandidat koristi dva programa; ABACUS i ADINA. Zatim selektuju brojne podatke, a nakon toga u *in situ* uslovima izvodi i praktični eksperiment na dvije lokacije i to na 15 i 16 spratu u rudniku Mramor, revir Marići, i to za dva oblika prostorija trapezni i polukružni. Numeričkim metodama izvedena je naponska analiza kao pouzdan metod, što potvrđuje praktična primjena. U ovom radu prvo je linearno elastična analiza korištena kao provjera da li je ispravno postavljeno primarno naponsko stanje. Potrebno je istaći da je program ABACUS kandidat koristio kao još jednu od mogućih metoda dodatne provjere analize naponskih stanja. Iako se program ABACUS, najčešće koristi za linearno elastični model, kandidat je isti adekvatno primijenio i njime također dokazao da postoji razlika između nepodgrađene prostorije i podgrađene ankerima i da je prostorija podgrađena ankerima stabilnija. Druga analiza urađena je licenciranim softverom RGGF-a Tuzla ADINA verzija 8.6., s ciljem dobivanja što objektivnijih analiza i proračuna.

#### ***1. Numeričke metode korištenje ABACUS -a i ADINE***

Ova analiza je urađena softverskim program ABACUS koji se koristi na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Tuzli, i riječ je o linearno elastičnoj analizi.

U suštini, razlog zbog kojeg je kandidat prvo uradio ovu linearno elastičnu analizu, jeste da se vidi razlika i uticaj između podgrađenog i nepodgrađenog sistema, iz razloga što u stijenama u kojima je izrađena prostorija, iste ne pripadaju grupi stijena koje pokazuju linearno elastično svojstvo. U 90% slučajeva u magmatskim stijenama stijena je toliko čvrsta, da se ponaša kao da je linearno elastični materijal.

Ovom analizom sa većim brojem elementa kandidat je pokušao napraviti usporedbu i vidjeti koje će pokazatelje dobiti u prvoj fazi u linearnoj analizi, koje će poslije uporediti sa nelinearnom analizom koju je radio sa ADINOM.

MKE model za ABACUS, kandidat je uradio u dimenzijama 40m x 40m kako bi se eliminisao uticaj rubnih uslova, a obzirom na dubinu prostorije, na gornju površinu modela je kao eksterno opterećenje zadat ravnomjerno raspoređeni površinski pritisak koji odgovara litostatskom pritisku u krovinskom sloju na odgovarajućoj dubini. Time je izbjegnuta velika visina modela (135 m) i veliki broj stepeni slobode modela koji iz toga proizilazi, uz minimalni gubitak tačnosti.

Slojeviti 2D model je urađen na osnovu raspoložive dokumentacije i uzima u obzir sve litološke slojeve (tri ugljena sloja različitih geomehaničkih karakteristika, te krovinski i podinski sloj), uključujući i tanke proslojke u zoni prostorije. Model je urađen za dva oblika podzemnih prostorija; trapeznog profila veličine 2,8 x 2,4 m i podzemnu prostoriju poluokruglog svodnog profila veličine 3 x 2,7 m, obje na dubini od 135m.

Ankeri su modelirani kao čelični štapovi, prečnika 50mm. Kandidat je vršio analizu sa tri simetrično postavljena ankera, dva od tri ankera prelaze granice slojeva dok je jedan u potpunosti u homogenom ugljenom sloju. Model je diskretizirao na 2D kvadrilateralne linearne konačne elemente (ukupno 12000 elemenata). Srednji dio modela, u kome su ankeri, je diskretizirao znatno finijom mrežom kako bi se dobila pouzdanija distribucija svih veličina. Uticaj ankera analizirao je poređenjem naponsko-deformacionih stanja u zoni prostorije bez ankera i sa ankerima. Porede se apsolutne veličine i distribucije vertikalne, horizontalne i tangencijalne komponente napona, te maksimalnog glavnog (istežućeg) napona jer je isti najodgovorniji za pojavu pukotina u stijenskom masivu.

Drugu analizu kandidat radio je licenciranim softverom RGGF-a Tuzla ADINA.

Prvu uporednu analizu ADINOM kandidat je uradio na modelu konačnih elemenata sa **polukružnom** prostorijom bez ugrađenih ankera, i sa ugrađenim 3 i 5 ankera, i položajem litoloških članova. Također, na modelu je dao prikaz rubnih uslova i opterećanja. Model se sastoji od 3207 čvorova sa pet grupa elemenata, a ankeri 14 generalisanih linijskih (*truss*) elementa. 2D elementi koji predstavljaju ugalj, krovinu i materijal 1044 kvadrilateralna elementa sa 8 Gaussov integracionih tačaka.

Drugu uporednu analizu sa ADINOM kandidat je uradio na modelu konačnih elemenata sa **trapeznom** prostorijom bez ugrađenih ankera, i sa ugrađenim 3 i 5 ankera, koji se sastoji od 2960 čvorova, 963 kvadrilateralna elementa, a koji predstavljaju masiv koji je modeliran sa Mohr-Coulombovim uslovom loma. Također, i ankeri u 14 generalisanih linijskih (*truss*) elementa za model sa tri ankera, odnosno i u 23 generalisanih linijskih (*truss*) elementa za model sa 5 ankera. Evidentno je da je manji broj tačaka nego kod polukružnog oblika (svoda) iz razloga što je ovo jednostavniji model.

Na istom modelu, samo iz različitih pozicija ugrađenog ankera u strop vertikalno, ili u bok prostorije, kandidat razmatra i daje rezultate sile čupanja ankera. U rezultatima obrađuje vertikalni pomak i prikazuje intezitet sila. Modelirao je silu čupanja, prvo bočnog ankera, a zatim i silu čupanja ankera iz stropa.

Veličine sila i pomaka su prezentirane i date na adekvatnim crtežima, a ono što je evidentno da je veća sila čupanja kod ankera ugrađenog u strop.

Dobijena sila čupanja iz modelirane vrijednosti je značajno manja od sile čupanja stvarnog (praktičnog) čupanja sa pumpom, iz razloga što praktičnog čupanja stvara oslonac koji prave oslonac pumpe i privremeno ugrađena podgrada, te se time dobije veća vrijednost sile čupanja od modelirane vrijednosti. Logično je da se dobije veća vrijednost.

Kandidat u ovom dijelu rada daje vrlo precizne grafičke usporedbe za dva tipa prostorija i to trapeznu (15 sprat - TOH) i polukružnu (16 sprat- GDVH) i to za sljedeće:

- Urađen je MKE model sa naznačenim rubnim uslovima i zadanim opterećenjem i to bez ugrađenih ankera i sa ugrađenih 3 i 5 ankera
- Dat je prikaz napona  $\sigma_z$  i aksijalnih sila u ankerima nakon iskopa profila (svoda) i ugradnje 3 i 5 ankera
- Prikazane su plastične deformacije prije i nakon ugradnje 3 i 5 ankera
- Dat je uporedni vektorski prikaz napona u masivu za vrijeme prije iskopa i nakon ugradnje 3 i 5 ankera
- Dat je uporedni prikaz vertikalnih pomaka u vremenu prije i nakon ugradnje 3 i 5 ankera
- Dat je uporedni prikaz plastičnog flaga (pokazatelj nastanka plastične deformacije u Gaussovima tačkama elemenata) u vremenu prije i nakon ugradnje 3 i 5 ankera.

### ***Praktična ugradnja ankera i rezultat čupanja ankera sa prikazom metodologije rada***

Ugradnja i čupanje ankera u *in situ* uslovima rudnika Mramor revir "Marići" izvršena je u pripremljenim prostorijama sa OMEGA ankerima i opremom slijedećih karakteristika:

- Anker L=2,4 metra, prečnika ankera od 35-36 mm, prečnik krunice za bušenje 42 mm
- Bušača garnitura Rudnika Mramor (42mm).
- Ugradnja PSP-300 AC pumpa
- Testiranje pull test-čupanja Keller hidraulična pumpa do 100 tona,  
*uključujući i :*
- Pripremu i izradu prateće tehničke dokumentacije u režiji Rudnika.
- Edukaciju osoblja za instaliranje primarne podgrade ankera sa kontinualnim učvršćenjem.

TIP ankera koji je testiran :

Omega bolt 240 ERB sa pločicom

- Komada 200 sa isto toliko pločica – SS
- Dužina l=2,4m (i duži) masa 9,6 (kg)
- Nosivost preko 24 tone sa povećanjem za 20 %

Ekspanziono frikcijski anker ili omega bolt anker je relativno novi proizvod za rudarstvo i tunelogradnju. Cijevni anker je dobio ime po grčkom slovu "Omega", koji je vrlo sličan u neugrađenoj formi. Izrađen je visokokvalitetnog čelika debljine stijenke 2,0 i 3,0 mm u kvaliteti S235 do EN10025.

Ugradnja ankera vršena je sa PSP pumpom 300 bar - zračna (hidraulična pumpa na komprimirani zrak). Ekspanzioni frikcijski anker je umetnut u bušotinu, i sa vodom pod pritiskom do 300 bara ekspandira. Hidrodinamički pritisak vode uzrokovao je ekspanziju ankera, pri čemu se ekspanzioni frikcijski anker izobličio tako da odgovara nepravilnom obliku bušotine.

Anker se svojom plastičnošću i elastičnošću deformisao prema stijenskom zidu, odnosno svojim trenjem o stijensku masu u bušotini stvorio čvrstu vezu između ankera i stijenske mase. Nakon dovršetka instalacije, deformirani zasun održava svoj instalacijski pritisak na stijensku površinu.

Zbog svoje fleksibilnosti deformacije, ekspanzioni frikcijski anker se pokazao kao posebno pogodan za korištenje u seizmičkim i veoma aktivnim rudarskim prostorijama, ili u visoko fragmentiranoj zemlji, a zbog svoje sposobnosti može da poveže više slabih slojeva u jednu cjelinu. Na kraju, po završetku procesa, iz cijevi izlazi zaostala voda, tj. cijev se prazni.

Pošto testirani omega anker preuzima nosivost po cijeloj dužini bušotine na bazi trenja, nosivost na bazi učvršćenja ankera je teško teoretski odrediti. Jedini ispravan podatak je određivanje nosivosti ankera metodom čupanja direktno u jami, što je kandidat i uradio jami "Marići" u rudniku Mramor. Ovaj model pokazao se jedino ispravnim i može se primijeniti i na ostale podzemne građevine.

### *Testiranje, pull test, čupanje*

Ispitivanja je izvršila ekipa koja je brojala 10 ljudi, jedan sa RGGF Univerziteta u Tuzli (mentor rada), kandidat, jedan ispred proizvođača opreme, inženjersko osoblje jame "Marići" rudnika Mramor, kao i pomoćni radnici iz istoimenog podzemnog rudnika. Prvo je izvršeno ispitivanje opreme na površini, kao i upoznavanje sa opremom od strane proizvođača, a koja se sastoji iz opreme za ugradnju ankera, kao i opreme za ispitivanje (čupanje) ugrađenih ankera. Nakon bušenja i ugradnje ankera pristupilo se testiranju nosivosti ankera, odnosno čupanju ugrađenog ankera, te su i dobijeni rezultati ispitivanja koje je kandidat predočio u radu.

Prva lokacija rudarske prostorije u kojoj je vršeno ispitivanje je TOH - 15 sprat, Napravljen je strukturni profil krovine, ugljenog sloja i podine sa položajem, vrstom i oblikom podzemne prostorije koja je predmet istraživanja i podgrađivanja, a na bazi raspoloživih geomehaničkih karakteristika ugljenog sloja i pratećih naslaga revir „Marići“.

Druga lokacija gdje je izvršena probna ugradnja i testiranje na čupanje omega bolt ankera bila je u GDVH - 16 sprat, gdje je, i obzirom da je riječ o ranije izgrađenoj prostoriji (polukružnog oblika) koja ima trajni karakter, ista već podgrađena sa čeličnom podgradom. u su ugrađena tri ankera u jednom luku (jedan u strop i dva u bokove) i pet ankera u drugom luku (tri u strop i dva u bokove prostorije) u uglju. Oprema, metodologija i procedure su ugradnje i testiranja su iste kao i na prethodnom primjeru, te su i dobijeni rezultati ispitivanja koje je kandidat predočio u radu.

Odobreni ciljevi i metodologija koji su dati prilikom prijave doktorske teze ostali su nepromijenjeni tokom istraživanja, a navedene metode su savremene i u potpunosti adekvatne ispitivanoj tematici, te su dobijeni rezultati jasno prikazani, sa dosta uporednih pokazatelja, grafički i analitički.



#### 4. REZULTATI I NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA

Nepovoljni uslovi u kojima se nalazi naše rudarstvo uzrokovali su uglavnom stagnaciju, ili čak nazadovanje, većine rudnika uglja u tehničko-tehnološkom, ekonomskom i sigurnosnom pogledu. Najčešće se sve radne operacije (bušenje, punjenje minskih bušotina, podgrađivanje i utovar uglja) obavljaju bez primjene savremene opreme u proizvodnom i sigurnosnom smislu.

Jedna od važnijih operacija u sistemu rada rudnika, koju treba rješavati sa ekonomskog i sigurnosnog aspekta, je i modernizacija podgrađivanja jamskih prostorija. Ono što se može izdvojiti kao pozitivno, kada je u pitanju nabavka opreme u rudnicima uglja, kako u slojevitim, tako i drugim ležištima, a čime su poboljšani uslovi sa aspekta modernizacije u sistemu izrade jamskih prostorija, jeste nabavljena kvalitetna mehanizacija za kopanje-dobivanje uglja (kombajni AM-50) sa dodatnom opremom, koja pruža mogućnost poboljšanja radne operacije podgrađivanja ankerima. Moramo konstatovati da, postojeća mogućnost, brže i efikasne ugradnje ankera i podgrađivanja ankerima, sa korištenjem dodatne opreme koju posjeduje ova mehanizacija, do sada nije iskorištena.

Zbog toga je jasna težnja kandidata da se sve više razvijaju instrumenti i metode za *in situ* ispitivanja stijenskih masa. Stoga su u radu prezentirane sve važnije klasifikacije stijenskih masa sa ciljem ukazivanja na potrebu i značaj poznavanja tih klasifikacija za izbor vrste podgrade podzemnih prostorija. Posebno su tretirane dvije, u svijetu najzastupljenije klasifikacije stijenskih masa, i to klasifikacija zasnovana na rejtingu stijenske mase, nazvana RMR klasifikacija - klasifikacija Bieniawskog i Q klasifikacija - Klasifikacija Norveškog geotehničkog instituta ili klasifikacija Bartona.

Na osnovu navedenog iz rada proizilaze sljedeći zaključci:

- U korištenju ankera u podzemnim prostorijama u slojevitim ležištima, da bi se osigurala dobra stabilnost prostorije, ankeri trebaju biti ugrađeni što je moguće prije nakon izrade prostorije kako bi se smanjile i spriječile pojave koje slijede kod deformacije prostorije;
- Analiza naponskog stanja oko podzemnih prostorija u slojevitim ležištima je sigurna metoda za izbor podgrađivanja podzemnih prostorija ankerima;
- Uslov za podgrađivanje ankerima podzemnih prostorija, na osnovu analiza napona, jeste kvalitetno rušenje radne sredine sa i bez upotrebe eksploziva. Primjena miniranja mora biti dobro analizirana sa aspekta geomehaničkih klasifikacija, kao i izbor eksploziva, specifične potrošnje, raspored bušotina, kvalitetno miniranje, sa posebnim osvrtom na upotrebu kombajna;
- Numeričkim metodama izvedena je naponska analiza kao pouzdan metod, što potvrđuje praktična primjena. U ovom radu prvo je linearno elastična analiza korištena kao provjera da li je primarno naponsko stanje postavljeno na adekvatan način. Bez obzira što je program ABACUS, koji je urađen za linearno elastični model, taj model je pokazao da

postoji razlika između nepodgrađene prostorije i podgrađene ankerima, te da je prostorija podgrađena ankerima stabilnija;

- Druga analiza urađena je licenciranim softverom RGGF-a Tuzla tzv. ADINA verzija 8.6., s ciljem dobijanja što objektivnijih analiza i proračuna. Model ADINA-e u inženjerskom smislu daje bolje i kvalitetnije rezultate, te se stoga i u radu dobila pouzdana slika napona i sila u ankerima;

- Istraživanjem u *in situ* uslovima Rudnika lignita Mramor, kroz prethodnu softversku analizu napona, egzaktno je dokazana teza o preraspodjeli napona za sekundarno i tercijarno naponsko stanje napona u svodu i bokovima prostorije ugradnjom ankera, a što dokazuje i praktični test čupanja, odnosno dobijeni rezultati, koje je kandidat prikazao;

- Prilikom testa čupanja ankera u prostorijama TOH -15 sprat i GDVH - 16 sprat revir "Marići" Rudnik lignita Mramor u skladu sa EU standardom i korištenjem certificirane opreme, izvršeno je čupanje 10% ankera od ukupnog broja ugrađenih ankera u tretiranim prostorijama;

- Test čupanja dokazuje da ankeri preuzimaju nosivost, te su, tom prilikom, isti dali dobijene vrijednosti sile a da nisu iščupani ili prekinuti, što znači da je njihova nosivost još i veća, te da u navedenom ležištu nominalna sila nosivosti ankera odgovara deklaracijskim karakteristikama.

- U poređnom analizom nosivosti jednog okvira čelične podgrade u odnosu na testirani omega anker zaključuje se da je zbir nosivosti ankera u konturi veći od nosivosti jednog okvira čelične podgrade:

$$\Sigma N_A = ( N_{A1} + N_{A2} + N_{A3} + N_{A4} + N_{A5} ) > N_L$$

Gdje je :

$\Sigma N_A$  - zbir nosivosti ankera

$N_{A1}, N_{A2} \dots$  - pojedinačna nosivost ankera

$N_L$  ---- nosivost čeličnog luka

čime je postignut faktor sigurnosti  $F_S > 3$ .

Faktor sigurnosti, ako bi ovu usporedbu izveli za sa drvenu trapeznu podgradu bio bi znatno veći od tri. Ovim je zadovoljen uslov u sistemu prednaprezanja koji je objašnjen u radu.

- Osmatranjem i primjenom geodetskih metoda mjerenja kod ankerima podgrađene podzemne prostorije u slojevitim ležištima, gdje su izvođeni eksperimenti u raznim vremenskim razmacima, nije promijenjena kontura podgrađene jamske prostorije nakon praćenja od 6 mjeseci.

- Analizom svih dobijenih rezultata (softverski i praktično), i naponskih stanja u slojevitim ležištima lignita Mramor, kandidat primjenu ankera preporučuje za podgrađivanje svih privremenih prostorija, prilikom njihove izgradnje, kao jednog od savremenih modela ankerne podgrade.

Također, svi modeli se mogu koristiti kao pouzdan osnov za podgrađivanje prostorija koje imaju namjenu trajnih prostorija, s tim što se za iste predlaže osim ankera i korištenje i kombinacije mreža, što može biti predmet dodatnog proračuna i istraživanja.

## 5. ZAKLJUČAK I PRIJEDLOG

Kandidat je na osnovu provedenih istraživanja ponudio odgovor na postavljena pitanja u uvodnom dijelu rada, na način da je identifikovao osnovna obilježja koja određuju naučnu spoznaju na objektivni, precizan i sistematičan način.

Provedena istraživanja su zasnovana na naučnom pristupu, te se može konstatovati da ispunjen društveni karakter i aspekt u smislu usmjerenosti ka interesima čovjeka, jednostavnijeg i sigurnijeg rada, ali i šire društvene zajednice u kontekstu ekonomskih ušteda, koje će biti ostvarene primjenom ovog savremenog načina podgrađivanja podzemnih prostorija.

Naprijed predočena analiza doktorske teze mr sc. Semira Fejzića, diplomiranog inženjera rudarstva, govori u prilog da su svi zahtijevani kriterijumi ispunjeni, kao i da je izrađena doktorska teza u skladu sa obrazloženjem, koje je dato u prijavi doktorske teze. Teza je jasno koncipirana, sažeta i eksplicitna.

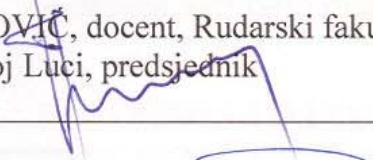
U provedenom istraživanju kandidat je došao do odgovora na postavljeni problem istraživanja, te je urađenom doktorskom tezom "Naponska analiza podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima ankerisanjem" dokazana postavljena polazna hipoteza „Primjena ankera, kao podgradnog sistema podzemnih prostorija za brzu stabilizaciju podzemnih prostorija, je efikasan sistem za slojevita ležišta“ i naučna hipoteza „Naponska analiza, kao efikasna metoda za istraživanje stabilnosti podzemnih prostorija podgrađenih ankerima, potvrđuje efikasnost te podgrade, što se potvrđuje eksperimentom u datim uslovima ležišta uglja“.

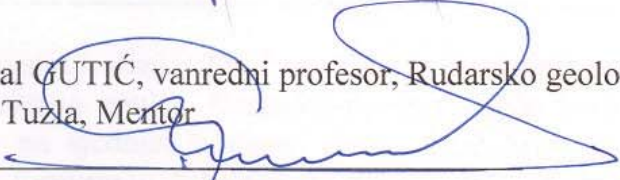
Doktorska teza nema nedostatka koji bi uticali na njenu konačnu vrijednost. Kandidat je ovladao metodologijom naučnoistraživačkog rada, i u cijelosti obradio problem iz prijave doktorske disertacije.

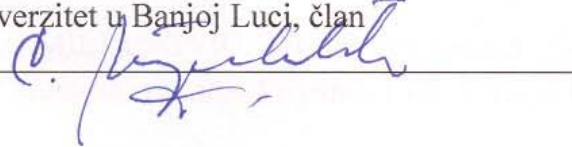
Doktorska teza mr sc. Semira Fejzića, diplomiranog inženjera rudarstva, pod nazivom "Naponska analiza podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima ankerisanjem" je originalno naučno ostvarenje i predstavlja istraživački doprinos u podgrađivanju podzemnih prostorija ankerima. Također, navedena teza predstavlja dobru polaznu osnovu svima onima koji svoje istraživačke aspiracije žele usmjeriti na daljnja istraživanja u ovoj oblasti.

Na osnovu navedenog Komisija smatra da ova doktorska disertacija predstavlja originalan naučni doprinos i jednoglasno predlaže Naučno - nastavnom vijeću Rudarskog fakulteta Prijedor, Univerziteta u Banjoj Luci, da se doktorska disertacija mr sc. Semira Fejzića "Naponska analiza podgrađivanja podzemnih prostorija u slojevitim ležištima ankerisanjem" prihvati, a kandidatu odobri odbrana ovog rada.

**POTPIS ČLANOVA KOMISIJE:**

1. Dr. Jovo MILJANOVIĆ, docent, Rudarski fakultet Prijedor,  
Univerzitet u Banjoj Luci, predsjednik  


---
2. Dr. Kemal GUTIĆ, vanredni profesor, Rudarsko geološko građevinski  
fakultet Tuzla, Mentor  


---
3. Dr. Slobodan MAJSTOROVIĆ, docent Rudarski fakultet Prijedor,  
Univerzitet u Banjoj Luci, član  


---