

## Sanacija i stabilizacija kosina na površinskom kopu Momin Kamen u cilju izrade deonice autoputa E75, Koridor 10

Kričak Lazar, Abolmasov Biljana, Čebašek Vladimir, Negovanović Milanka, Marjanović Miloš, Pejić Marko, Marković Jovan, Milanović Stefan, Simić Nikola



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Sanacija i stabilizacija kosina na površinskom kopu Momin Kamen u cilju izrade deonice autoputa E75, Koridor 10 | Kričak Lazar, Abolmasov Biljana, Čebašek Vladimir, Negovanović Milanka, Marjanović Miloš, Pejić Marko, Marković Jovan, Milanović Stefan, Simić Nikola | TR33003 | 2017 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004117>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)



**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET**

Đušina 7, Beograd, Republika Srbija

**TEHNIČKO REŠENJE**

**SANACIJA I STABILIZACIJA KOSINA NA POVRŠINSKOM  
KOPU MOMIN KAMEN U CILJU IZRADE DEONICE  
AUTOPUTA E75, KORIDOR 10**

Naziv projekta:

**„Višenamenski autonomni sistem za daljinsko praćenje parametara stanja u  
rudnicima i okruženju”**

**TR 33003**

*Beograd, septembar 2017. godine*



**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET**

Đušina 7, Beograd, Republika Srbija

**TEHNIČKO REŠENJE**

**SANACIJA I STABILIZACIJA KOSINA NA POVRŠINSKOM  
KOPU MOMIN KAMEN U CILJU IZRADE DEONICE  
AUTOPUTA E75, KORIDOR 10**

Naziv projekta:

**„Višenamenski autonomni sistem za daljinsko praćenje parametara stanja u  
rudnicima i okruženju”**

**TR 33003**

Rukovodilac projekta TR 33003:

Dekan Rudarsko-geološkog fakulteta:

---

Prof. dr Lazar Kričak

---

Prof. dr Dušan Polomčić

Tehničko rešenje prijavljuje:	Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet Beograd
Adresa:	Beograd, Dušina br. 7
Telefon:	011/3219-100
Naziv tehničkog rešenja:	SANACIJA I STABILIZACIJA KOSINA NA POVRŠINSKOM KOPU MOMIN KAMEN U CILJU IZRADE DEONICE AUTOPUTA E75, KORIDOR 10
Korisnik:	INTEGRAL INŽENJERING A.D.
Autori tehničkog rešenja:	Prof. dr Lazar Kričak, dipl. inženjer rudarstva Prof. dr Biljana Abolmasov, dipl. inženjer geotehnike Prof. dr Vladimir Čebašek, dipl. inženjer rudarstva Doc. dr Milanka Negovanović, dipl. inženjer rudarstva Doc. dr Miloš Marjanović, dipl. inženjer geotehnike Doc. dr Marko Pejić, dipl. inženjer geodezije Jovan Marković, master inženjer rudarstva Stefan Milanović, master inženjer rudarstva Nikola Simić, master inženjer rudarstva

## **1.0 OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI**

Tehničko rešenje je iz naučne oblasti Rudarstvo – Površinska eksploatacija ležišta mineralnih sirovina. Tehničko rešenje može naći primenu u oblasti građevinarstva, naročito u niskogradnji, kao i u oblasti geomehanike, zaštite životne sredine i dr.

Tehničko rešenje se odnosi na izradu etaža za stalnu sanaciju i stabilizaciju kosina na lokaciji nekadašnjeg površinskog kopa Momin kamen km 891+300,00 - km 891+625,00, na dužini trase od 325 m, koja je deo projekta izgradnje autoputa E75, deonice Beograd – Niš-granica sa BJR Makedonijom, poddeonica Caričina dolina – tunel Manajle.

## **2.0 OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA**

Tehničko rešenje podrazumeva izradu etaža primenom različitih metoda miniranja u cilju stalne sanacije i stabilizacije kosina na lokaciji Momin Kamen km 891+300,00 - km 891+625,00, na dužini trase od 325 m. Ova zona je deo projekta izgradnje autoputa E75, deonice Beograd – Niš – granica sa BJR Makedonijom, poddeonica Caričina dolina – tunel Manajle i nalazi se između vijadukta preko kamenoloma Momin kamen i mosta Kučajska dolina.

Trasa autoputa je prema projektu locirana u dolini reke Južne Morave i to duž brdovitog dela između vijadukta preko površinskog kopa Momin kamen i mosta Kučajska dolina. Konfiguracija terena je uslovala izradu etaža i sanaciju kosine, kako bi se sprečio odron, povećala sigurnost prilikom postavljanja zaštite na kosine i izvođenju daljih radova na izgradnji ovog dela autoputa.

Projektom predviđena trasa autoputa preko površinskog kopa Momin kamen, uslovala je naknadnu izradu većeg broja etaža u cilju postizanja potrebne stabilnosti završne konture kopa. Poseban problem je predstavljao ograničen prostor u gornjem delu kopa, uslovljen granicom eksproprijacije zemljišta, gde nije predviđeno dalje proširenje završne konture kopa, što bi znatno olakšalo smanjenje ugla završnih kosina etaža. Specifičnost situacije se ogledala i u tome, što na samom kopu prethodno nisu bile precizno definisane etaže sa projektovanim uglovima završnih kosina. U pojedinim delovima kopa postojali su strmi i nepristupačni delovi terena, dok je stenski materijal u određenim segmentima bio poprilično narušen prethodnim miniranjima.

U tako specifičnim uslovima, bilo je neophodno izvršiti određene analize za precizno definisanje broja etaža i njihovih konstruktivnih elemenata. Poseban izazov je bio projektovati puteve do svake etaže za pristup opreme i ljudstva u cilju uspešnog izvođenja operacija bušenja i miniranja, zbog ograničenih uslova rada i nemogućnosti proširenja konture kopa u cilju smanjenja ugla kosina etaža.

### **3.0 SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA**

Koncepcija tehničkog rešenja zasniva se na izradi etaža za stalnu sanaciju i stabilizaciju kosina na lokaciji Momin kamen. Sanacija i stabilizacija kosina na površinskom kopu Momin kamen, vrši se kombinacijom metoda primarnog, konturnog i u pojedinim slučajevima i specijalnog miniranja, uz primenu drugih metoda koje se koriste pri analizi stabilnosti kosina i projektovanju površinskih kopova, kao što je definisanje konstruktivnih elemenata etaža, pristupnih puteva i dr.

Realizacija tehničkog rešenja omogućena je primenom savremenih tehničkih i tehnoloških dostignuća, poput bespilotnih letilica i kamera visoke rezolucije, kao i savremenih softverskih paketa za analizu i obradu snimaka. Na taj način su dobijeni precizni podaci o konfiguraciji terena, stanju kosina i nestabilnih delova terena, što je glavni preduslov za precizno izvođenje bušenja i miniranja u složenim i nepristupačnim uslovima kakav je ovde bio slučaj.

Tehničko rešenje omogućava da se u što kraćem roku izvrši fragmentacija i uklanjanje još oko 320 000 m<sup>3</sup> čvrste stenske mase (uz već otkopanih 130 000 m<sup>3</sup>), primenom bušenja i miniranja sa svim potrebnim merama bezbednosti i zaštite životne sredine. Na taj način moguće je formirati projektovanu završnu konturu sa odgovarajućim nagibom i omogućiti lakše postavljanje zaštitnih mreža na kosinu.

### **4.0 DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA**

Zbog nepristupačnosti terena i vrlo nepovoljnih geomehaničkih uslova, bilo je jako teško sagledati celokupan prostor koji je potrebno sanirati za bezbedan i nesmetan prolaz trase autoputa.

Snimanje terena nije bilo moguće uraditi klasičnom geodetskom opremom za snimanje sa zemlje, već je urađeno iz vazduha bespilotnom letelicom opremljenom kamerom visoke rezolucije.

Fotografije su obradjene u softveru u kome je dobijen 3D model terena na osnovu koga je detaljno analiziran svaki deo kosine, sa potencijalno nestabilnim delovima za koje su urađene geomehničke analize, (Slika 1).



*Slika 1. 3D model terena dobijen analizom snimaka dobijenih primenom kamere visoke rezolucije montirane na platformu drona*

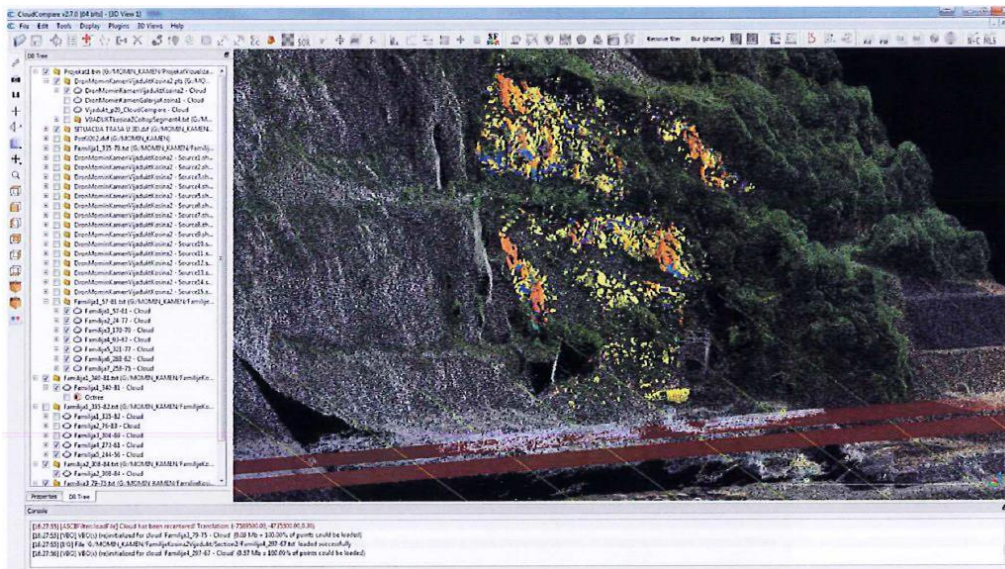
Pomoću markera koji su pre snimanja određeni na datoj lokaciji, 3D model je georeferenciran, čime je omogućeno postavljanje izolinija na željenom rastojanju i na taj način olakšano projektovanje završne kosine, Slika 2.



*Slika 2. Georeferenciran 3D model sa prikazom izolinija terena*

Pri razmatranju mogućih rešenja koje treba primeniti na datoj lokaciji, primenjeni su rezultati i zaključci do kojih se došlo u Izveštaju o stabilnosti kosina na deonici Caričina dolina-Tunel Manajle (LOT5) u zoni vijadukta i galerije Momin kamen na stacionaži km 890+725 do

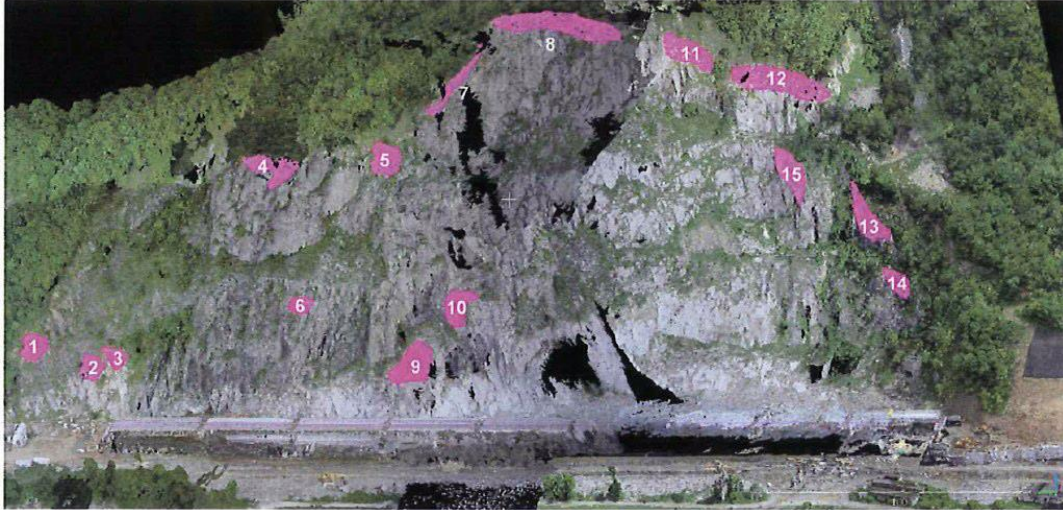
km 891+093,00 i km 891+300,00 do km 891+625,00, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2016 [1]. U Izveštaju je dat prikaz rezultata kinematske analize za pojedinačne sekcije i položaji potencijalno nestabilnih blokova koji ispunjavaju neki od kinematskih uslova za određene mehanizme kretanja (blokovo smicanje, ispadanje klina, preturanje). Prikaz je dat i na oblaku tačaka dobijenim fotogrametrijskim snimanjem sa RGB vrednostima. Na slici 3, dat je prikaz položaja izdvojenih trasa i površi izdvojenih familija pukotina na oblaku tačaka dobijenim UAV letilicom sa RGB vrednostima za sekciju 1 [1].



Slika 3. Prikaz trasa i površi pukotina na oblaku tačaka sa RGB vrednostima za sekciju 1 [1]

Od posebne važnosti za sagledavanje nestabilnih zona, predstavljali su rezultati dobijeni nizom kompjuterskih simulacija iz potencijalnih zona odlamanja, radi utvrđivanja ugroženosti vijadukta od pojave odrona stenskih blokova različitih veličina prikazani u gore navedenom Izveštaju [1]. Na slici 4, dat je prikaz zona odlamanja stenske mase za koje su izvršene simulacije (zona vijadukta km 890+725,00 do km 891+093,00).

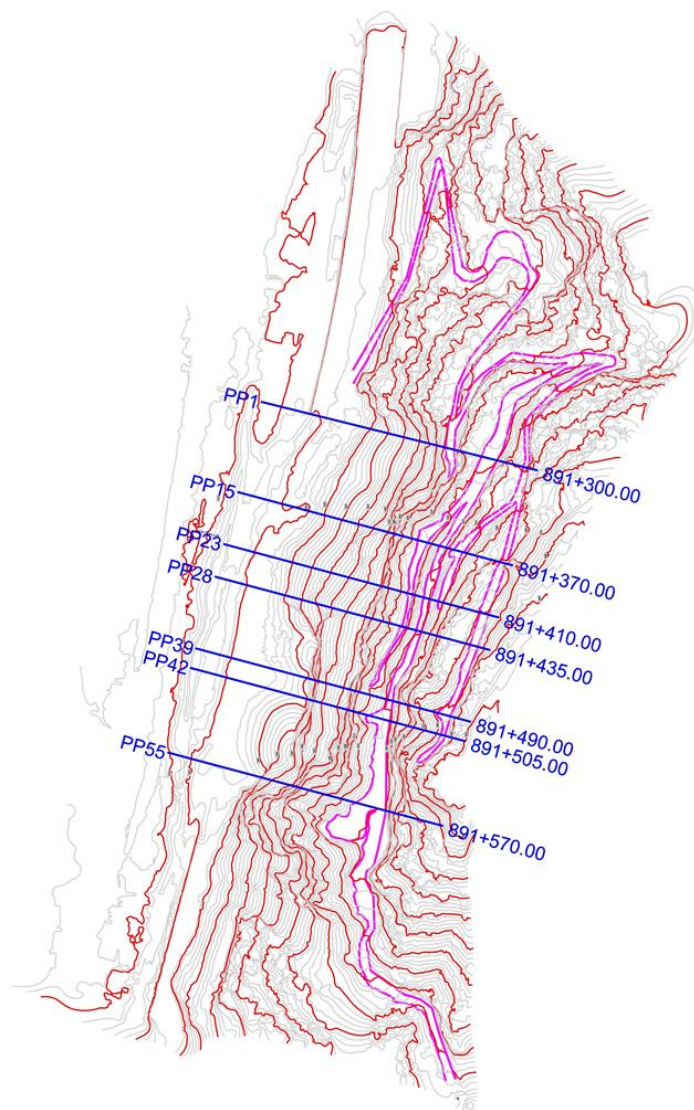




*Slika 4. Prikaz zona odlamanja stenske mase (source area) za koje su izvršene simulacije (zona vijadukta km 890+725,00 do km 891+093,00) [1]*

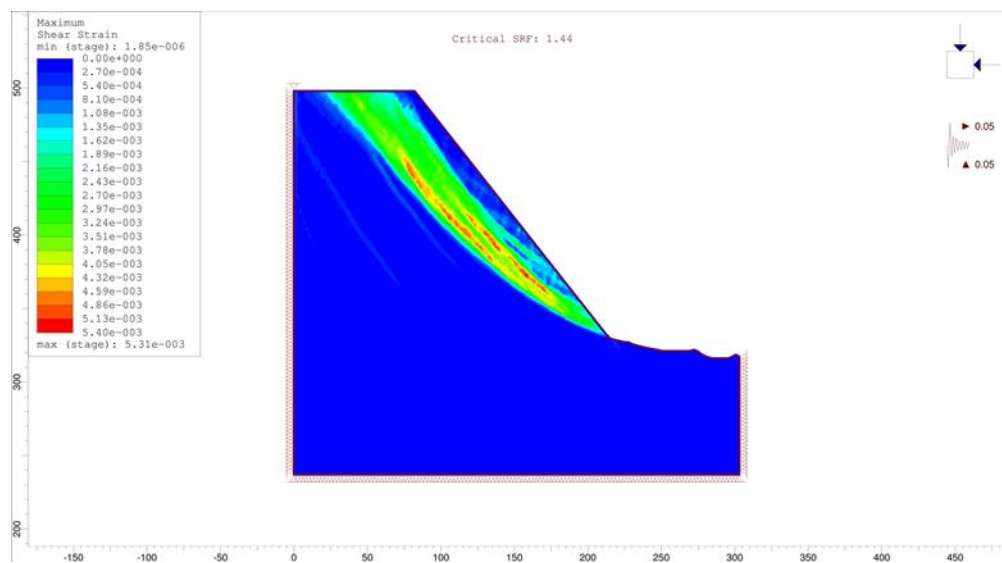
Analiza stabilnosti kosina na lokalitetu "Momin kamen" izvršena je od strane stručnjaka Katedre za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, metodom konačnih elemenata, koja pripada grupi naponsko-deformacionih metoda. Za ove potrebe je korišćen programski paket "RS2" verzija 9.0 firme Rocscience Inc. (broj licence: 3FE32E49H7B8DBD8E, vlasništvo Katedre za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu).

Analiza stabilnosti kosine na lokalitetu "Momin kamen" izvršena na ukupno sedam karakterističnih profila i to: PP-1, PP-15, PP-23, PP-39, PP-42 i PP-55. Položaj karakterističnih profila je prikazan na slici 5.



*Slika 5. Izgled lokaliteta "Momin kamen" sa položajem geomehaničkih profila (PP-1, PP-15, PP-23, PP-39, PP-42 i PP-55), (Analiza stabilnosti kosina, Katedra za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu)*

Detaljan prikaz rezultata analize stabilnosti na profilu PP – 42 dat je na slici 6.



Slika 6. Analiza stabilnosti kosine na profilu PP – 42, (Analiza stabilnosti kosina, Katedra za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu)

Geometrija kosine na karakterističnim profilima prikazana je u tabeli 1. Na navedenim profilima završnu kosinu izgrađuje stenski masiv dacita, a na pojedinim profilima i nožičnim delovima i kombinacija siparsko-deponovanog materijala.

Tabela 1. Geometrija kosina na karakterističnim profilima sa rezultatima analize, (Analiza stabilnosti kosina, Katedra za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu)

<i>Profil</i>	<i>Visina kosine H (m)</i>	<i>Ugao nagiba kosine <math>\alpha</math> (°)</i>	<i>Faktor sigurnosti <math>F_s</math></i>
PP – 1	131	44	1,69
PP – 15	152	45	1,90
PP – 23	156	42	1,51
PP – 28	163	44	1,74
PP – 39	167	53	1,90
PP – 42	169	55	1,44
PP – 55	159	49	1,54

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 1, za analizirano stanje kosine na karakterističnim profilima faktor sigurnost zadovoljava kriterijum stabilnosti za sistem radnih kosina,  $F_s \geq 1,05$ , kao i kriterijum stabilnosti za završne kosine,  $F_s \geq 1,30$  (Analiza stabilnosti kosina, Katedra za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu).

Nakon analize geoloških i geomehaničkih istraživanja, kao i drugih uticajnih faktora, došlo se do zaključka da je u cilju nastavka izgradnje autoputa E75, na deonici Caričina dolina-Tunel Manajle, neophodno izvršiti sanaciju i stabilizaciju kosine primenom različitih metoda bušenja i miniranja i na taj način postići projektovanu završnu kosinu kopa. U tom smislu, tehničkim rešenjem predviđeno je sledeće:

1. Formiranje završne kosine (**4 etaže po 10 m** od kote 430 do kote 390, **4 etaže po 15 m** od kote 390 do kote 330 i **1 etaža** promenljive visine (5-10 m) od kote 330 do kote 325 i 320);
2. Formiranje pristupnih puteva i rampi;
3. Proračun količina materijala koje je neophodno ukloniti miniranjem;
4. Definisane parametara bušenja i miniranja;
5. Ostala ograničenja i mere zaštite.

#### **4.1 Vertikalna podela kosine i konstruktivni parametri etaža**

Prilikom usvajanja vertikalne podele kosine na pojedine etaže, neophodno je obratiti posebnu pažnju na postizanje geomehaničke stabilnosti kosine u cilju bezbednog prolaska trase autoputa. Pošto se ne radi o eksploataciji stenskog materijala, već o izradi etaža u cilju sanacije i stabilizacije kosine, svako povećanje količina odminiranog i transportovanog materijala uvećava troškove i potrebno vreme za izvršenje radova. Iz tog razloga, određeni delovi kosine, za koje je utvrđeno da ne predstavljaju smetnju bezbednom prolasku trase autoputa, izuzeti su od etažiranja i na njima, kao i na ostalim delovima kosine, potrebno je izvršiti postavljanje sredstava za zaštitu od erozije i odrona stenskih komada (ankeri, zaštitne mreže...). Pored smanjena količine materijala koje treba ukloniti, poseban akcenat je stavljen na bezbednost radnika i opreme i zaštitu životne sredine.

Prilikom određivanja visina etaža, širina etažnih ravni (bermi) i uglova nagiba etaža, bitni faktori koji imaju uticaja jesu i konstruktivna ograničenja radne opreme, u prvom redu bušilica za izradu minskih bušotina, kao i težnja ostvarenju optimalnih efekata bušenja i miniranja u pogledu ujednačene krupnoće stenskog materijala, minimalizaciji seizmičkih potresa i prekomernog razletanja izminiranih komada stenskog materijala.

Parametri radnih etaža, prema tome, određeni su na osnovu sledećih ograničavajućih faktora:

- normativa koji su definisani pravilnicima,

- geomehantičke analize radnih etaža i završne kosine,
- sistema eksploatacije,
- opreme kojom izvođač raspolaže.

Na osnovu navedenih ograničenja, usvojena je sledeća vertikalna podela kosine i konstruktivni parametri etaža:

- Visina etaža:

$$H_{e1} = 10 \text{ m}$$

(4 etaže od kote 430 do kote 390)

$$H_{e2} = 15 \text{ m}$$

(4 etaže od kote 390 do kote 330)

$$H_{e3} = 5\text{-}10 \text{ m}$$

(1 etaža od kote 330 do kote 325-320)

- Ugao nagiba etaža:

$$\alpha = 70^\circ\text{-}80^\circ$$

- Ugao nagiba završne kosine:

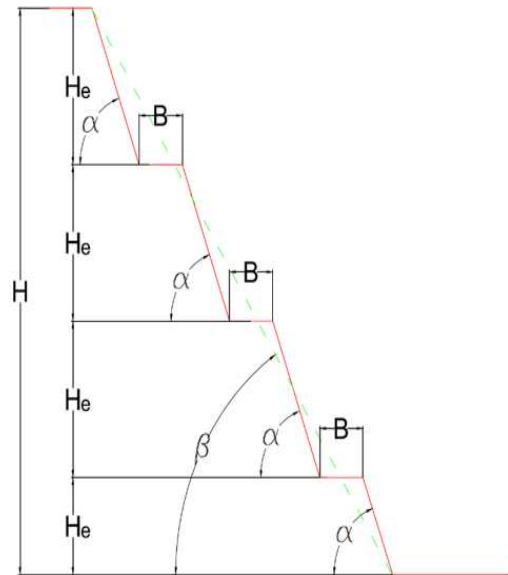
$$\beta = 51^\circ\text{-}54^\circ$$

- Širina bermi:

$$B_1 = 5 \text{ m}$$

$$B_2 = 2 \text{ m (na koti 420)}$$

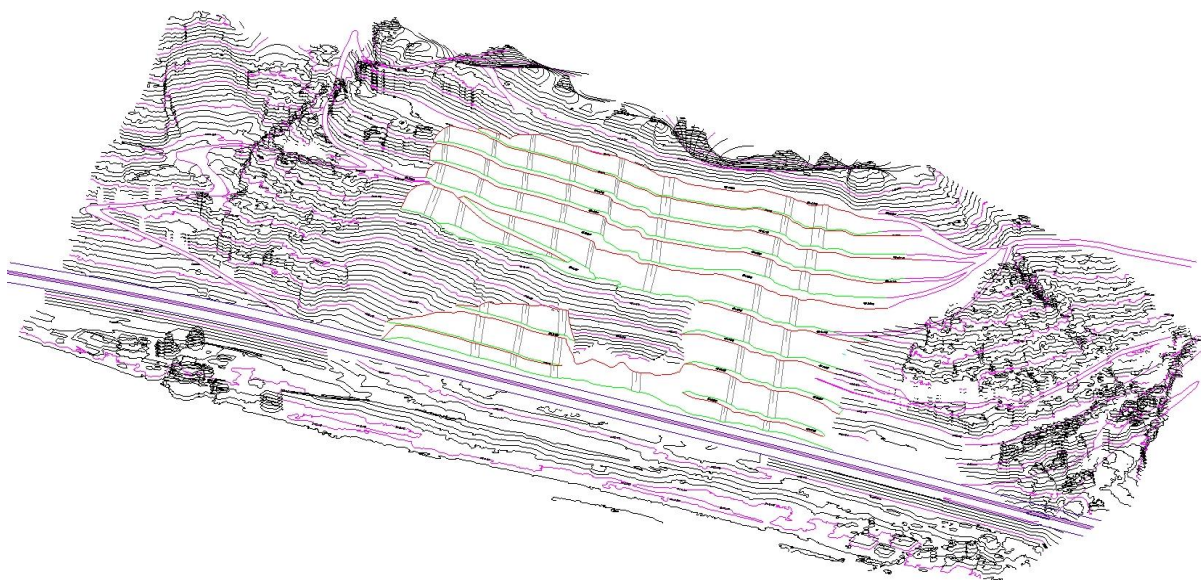
$$B_3 = 10\text{-}12 \text{ m (na koti 390)}$$



Slika 7. Konstruktivni elementi etaža

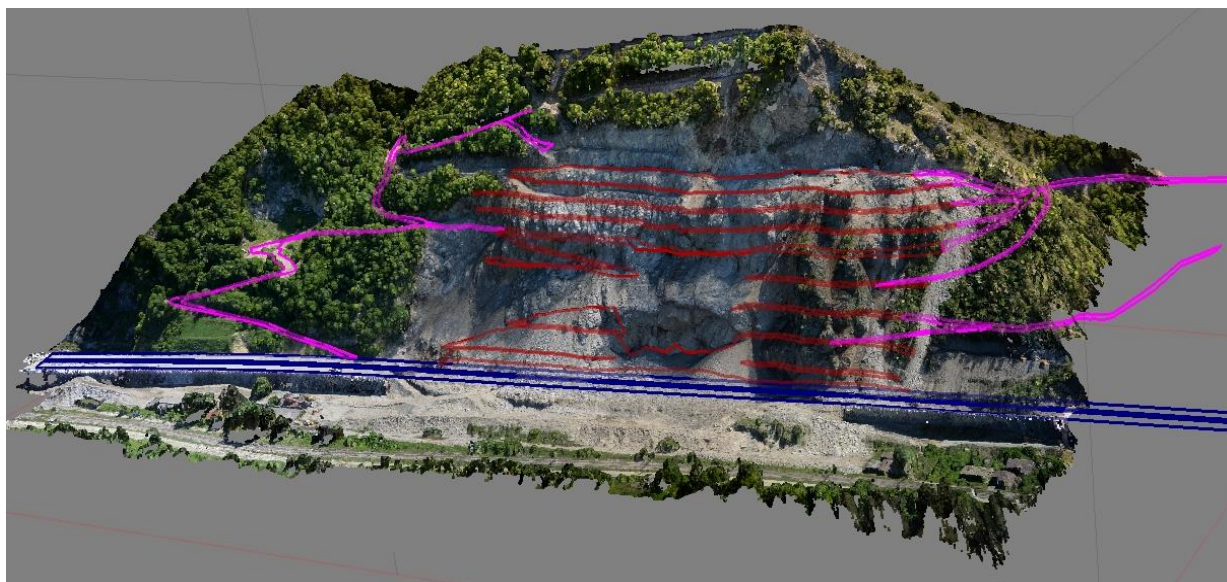
Etažiranje kosine, u cilju njene sanacije i stabilizacije, neophodno je izvršiti od kote 430 do kote 325-320 (kote prolaska trase autoputa), tako da se ukupna visina završne kosine kreće u opsegu od 105 m do 110 m.

Širina bermi iznosi 5 m, izuzev na koti 420, gde iznosi 2 m, kao i na koti 390, gde je njena širina u opsegu 10 – 12 m, iz razloga koji će biti detaljnije pojašnjeni u delu koji se bavi izradom pristupnih puteva do etaža. Prikaz etaža za sanaciju i stabilizaciju kosine površinskog kopa Momin kamen, dat je na slici 8.



*Slika 8. Prikaz etaža za sanaciju i stabilizaciju kosine površinskog kopa Momin kamen*

Na slici 9. prikazan je 3D model kosine, sa naknadno ucrtanim projektovanim izgledom etaža (crvena boja) i pristupnim putevima do svake etaže (ljubičasta boja).



*Slika 9. 3D model kosine sa naknadno ucrtanim projektovanim izgledom etaža (crvena boja) i pristupnim putevima do svake etaže (ljubičasta boja)*

## 4.2 Pristupni putevi

Zbog specifičnosti terena i nepristupačnih uslova, izrada pristupnih puteva do svake etaže, kako bi se omogućilo normalno i bezbedno kretanje opreme i ljudstva, predstavlja jedan od najvećih izazova.

Pristupni putevi na gornje etaže počevši od kote 430 do kote 400 izrađeni su sa leve i desne strane u odnosu na kosinu. Na ovim etažama se radovi na bušenju i miniranju, kao i gravitacijskom transportu do platoa u podnožju kosine (kota 320-325) obavljaju bez većih problema.

Berma na koti 390 treba da preuzme značajnu ulogu u obezbeđenju geomehaničke stabilnosti kosine i iz tog razloga, njena predviđena širina iznosi 10-12 m. Ova širina je predviđena i zbog kasnijeg silaska na kotu 375 pomoću rampe. Bitno je napomenuti da je ovo najniža berma koja „spaja” levu i desnu stranu kosine, odnosno ima pružanje celom dužinom kosine, dok se etaže ispod ove kote „ukidaju” u levom i u centralnom delu kosine.

Pristup na kotu 390 je moguće ostvariti se leve strane u odnosu na kosinu. Sa ove strane, nalazi se put sa oštrom krivinom na koti 390 sa koje je potrebno useći put kako bi se ostvario prilaz na etažnu ravan na koti 390.

Kao što je već napomenuto, berma na koti 390 ima širinu koja iznosi 10-12 m. Ova širina je predviđena zbog mogućnosti silaska na kotu 375 pomoću rampe, na levoj strani kosine. Rampa širine 5 m i dužine 100 m, konstruisana je pod nagibom od 15%.

Pristup sa desne strane na ovu kotu moguće je ostvariti pomoću puta konstruisanog na način kao što je prikazano na slikama 8 i 9.

Pristup na kotu 360 potrebno je ostvariti izradom puta sa južne strane, kao što je prikazano na slikama 8 i 9. Izrada puta se vrši u delu obraslom šumskim rastinjem, tako da je neophodno prethodno izvršiti sečenje stabala u pojasu potrebne širine koji prati izohipsu terena na nivou 360.

Silazak na etažu 345 biće izvršen odvajanjem silazne rampe sa pristupnog puta na koti 360, kao što je to dato na slikama 8 i 9.

Potrebna dužina rampe, kako bi se savladala visinska razlika od 15 m po nagibom od 15%, iznosi 100 m.

Što se tiče pristupa na kotu 330, kao i uklanjanja materijala duž donjeg dela kosine (levi i centralni deo), on će biti izveden sa platoa u podnožju (kota 325 - 320), izradom rampe u nasutom materijalu preko koje će se kretati mašine.

### 4.3 Metode miniranja za izradu etaža u cilju sanacije i stabilizacije kosina

Tehničko rešenje predviđa etažiranje kosine, u cilju njene sanacije i stabilizacije, primenom bušenja i miniranja, sledećim metodama:

- 1) primarnog miniranja, koja je karakteristična metoda etažnog miniranja na površinskim kopovima,
- 2) presplit miniranja,
- 3) specijalnih miniranja u specifičnim situacijama kada nije moguće izvesti prethodne dve metode.

Primarno miniranje se primenjuje za ukljanjanje čvrste stenske mase drobljenjem, s tim što u slučaju stabilizacije i sanacije kosina, granulometrijski sastav odminirane mase nije prioritet, kao što je to slučaj sa proizvodnim miniranjem na površinskim kopovima. Minske bušotine se buše i pune eksplozivnim punjenjima, prema projektovanim parametrima bušenja i miniranja. Minske bušotine primarnog miniranja se isključivo moraju inicirati sa usporanjem između svake minske bušotine, da bi se smanjio intenzitet seizmičkih potresa na stenski masiv, neposredno iza i iznad minskih polja i sprečilo razletanje odminirane stenske mase, naročito u nestabilnim zonama kosine.

Presplit metoda konturnog miniranja se primenjuje u sanaciji i stabilizaciji kosina za formiranje pukotine po predisponiranoj ravni definisanoj linijom bušenja. Pri tome se formira projektovana kosina etaže i štiti preostali stenski masiv od oštećenja uzrokovanih primarnim miniranjem. Minska punjenja u presplit bušotinama iniciraju se istovremeno, pre iniciranja primarnih bušotina.

Formirana pukotina predstavlja diskontinuitet u stenskom masivu, koji omogućava bolju fragmentaciju stenskog materijala u zoni primarnog miniranja, tako što udarni talas dolazi do slobodne površine i reflektuje se nazad prema bušotini. Reflektovani udarni talas smanjenom brzinom prolazi kroz stensku masu i formira dodatni sistem pukotina [2].

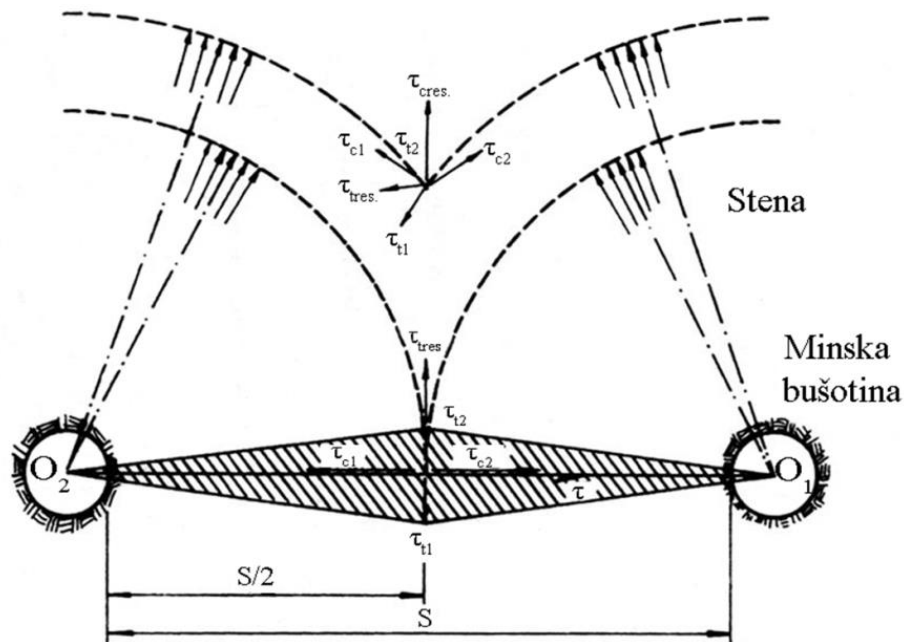
Formirana pukotina ima funkciju i zaštitnog ekrana koji smanjuje intenzitet seizmičkih talasa u zonama stenske mase iza linije presplit bušotina, jer se seizmički talasi nastali usled miniranja odbijaju od ekrana. Prema Berti, na rastojanjima većim od  $150 \cdot d_e$  ( $d_e$  prečnik eksplozivnog punjenja), intenzitet udarnog talasa opada do tačke gde se kroz stenu prenosi brzinom zvuka bez uzrokovanja pojave pukotina, a ponašanje stene u ovoj zoni je elastično. [3]



Presplit miniranjem se formira pravilna etažna kosina sa glatkom površinom, bez visećih blokova i što manjim oštećenjem stenske mase u kosini. Pri tom se formira stabilna etažna kosina i umanjuju neželjeni efekti miniranja (seizmički potresi, prekomerno razletanje komada...).

Iniciranje malih količina eksploziva presplit bušotina, pri velikom zazoru između prečnika bušotine i prečnika eksplozivnog punjenja, omogućava formiranje pukotine po predisponiranoj ravni bez drobljenja stenske mase, kao što je to slučaj sa primarnim miniranjem. Pri istovremenom iniciranju dva eksplozivna punjenja u konturnim bušotinama, radijalne pukotine imaju tendenciju prostiranja podjednako u svim pravcima, sve dok se talasi naprezanja ne sudare u centralnoj tački između dve bušotine stvarajući komplementarne sile zatezanja upravne na aksijalnu ravan. Kada zatezna naprezanja pređu graničnu čvrstoću stene na zatezanje, formira se pukotina u projektovanom pravcu odsecanja, prostiranja radijalnih pukotina.

U poslednjem stadijumu, proširenje pukotina je izazvano dejstvom gasova koji ih infiltriraju. Preferencijalno prostiranje pukotina u aksijalnoj ravni zajedno sa proširenjem usled dejstva gasovitih produkata eksplozije, omogućava formiranje ravni pucanja, (Slika 10).



Slika 10. Naprezanja nastala sudaranjem udarnih talasa usled istovremene inicijacije dva eksplozivna punjenja u minskim bušotinama, ( $\tau_c$  – naprezanje na pritisak,  $\tau_t$  – naprezanje na zatezanje,  $\tau_{res}$  – rezultujuće naprezanje), [4]

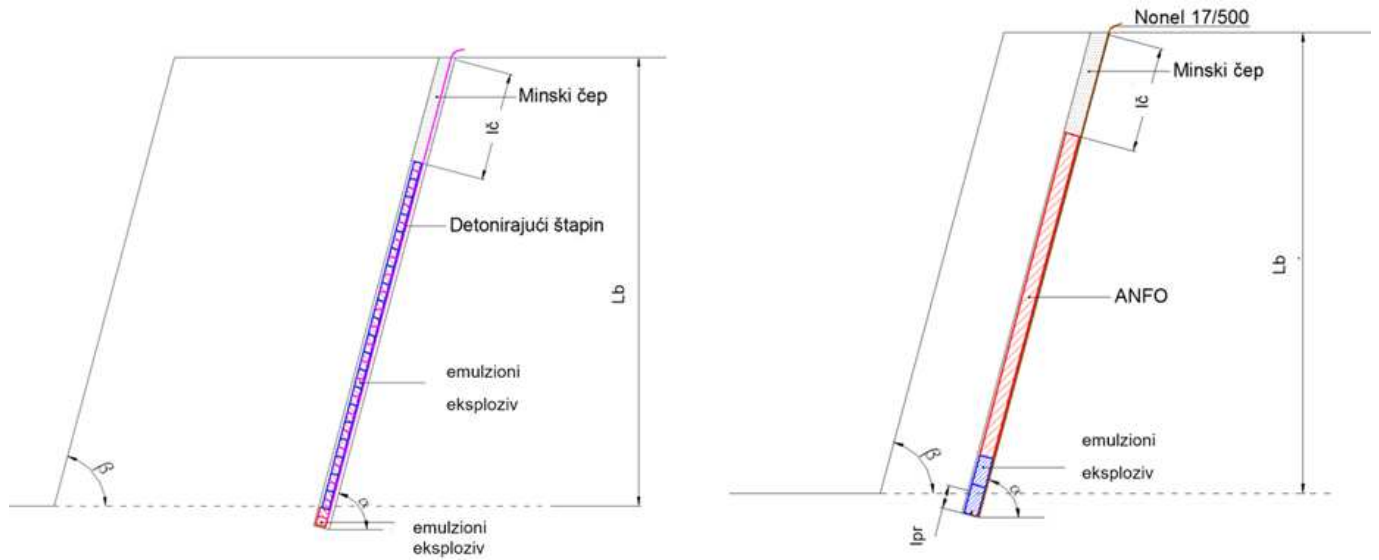
### 4.3.1 Konstrukcija minskih punjenja i šema iniciranja primarnih i konturnih bušotina za sanaciju i stabilizaciju kosina

Prečnik minskih bušotina primarnog miniranja iznosi 89 mm. Minska punjenja se sastoje od patroniranog emulzionog eksploziva prečnika 65 mm u podu etaže i ANFO eksploziva koji se puni do čepa minske bušotine. Dužina minskog čepa primarnih bušotina iznosi 2.5 m. Linija najmanjeg otpora primarnih bušotina iznosi 2.5 – 3.0 m, rastojanje između minskih bušotina u redu i između redova bušotina iznosi 2 m. Iniciranje se vrši neelektričnim sistemom iniciranja sa dvojn timer usporenjem, gde bušotinsko usporenje iznosi 500 ms, a usporenje površinskih konektora 17 ms. Parametri bušenja i miniranja primarnih bušotina dati su tabeli 2.

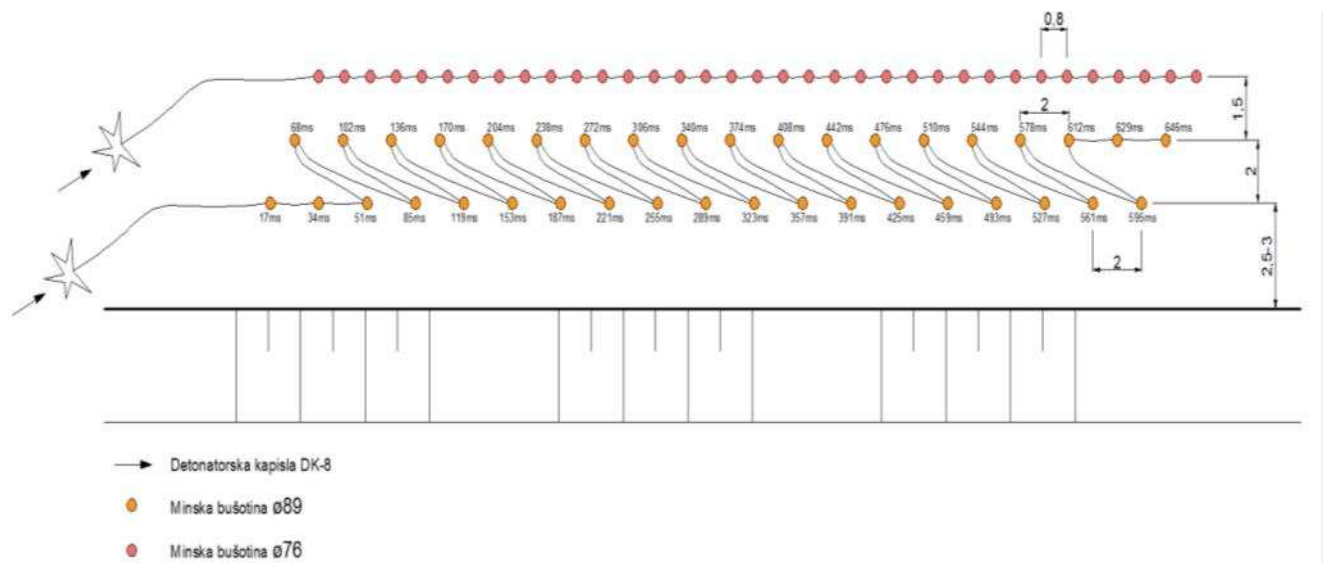
Prečnik presplit minskih bušotina, iznosi 76 mm. Minske bušotine se buše u jednom redu. Rastojanje između minskih bušotina iznosi 0.8 m. Minska punjenja se sastoje od patrona emulzionog eksploziva prečnika 38 mm koje se na određenim rastojanjima lepe na detonirajući štapin, dok se u podu bušotine primenjuje pojačano punjenje primenom patrone emulzionog eksploziva prečnika 65 mm. Dužina minskog čepa primarnih bušotina iznosi 2.5 m. Iniciranje presplit bušotina se vrši istovremeno. Parametri bušenja i miniranja presplit bušotina dati su tabeli 2. Na slici 11, dat je prikaz konstrukcije minskih punjenja primarnog i presplit miniranja, a na slici 12, prikazana je šema iniciranja minskih punjenja primarnog i presplit miniranja.

*Tabela 2. Parametri bušenja i miniranja primarnih i presplit bušotina*

	<b>Primarne bušotine</b>	<b>Presplit bušotine</b>
Prečnik (mm)	89	76
Rastojanje u redu (m)	2	0.8
Rastojanje između redova (m)	2	/
Linija najmanjeg otpora (m)	2.5-3.0	/
Dužina minskog čepa (m)	2.5	2.5
Način iniciranja	Nonel	Nonel i det. štapin
Vrsta eksploziva	ANFO i emulzioni patronirani eksploziv	Emulzioni patronirani eksploziv



Slika 11. Konstrukcija punjenja presplit i primarnih minskih bušotina



Slika 12. Šema iniciranja minskih punjenja presplit i primarnog miniranja

## 5.0 REALIZACIJA (PRIMENA) REŠENJA

Tehničko rešenje se primenjuje u cilju stalne sanacije i stabilizacije kosina od strane firme Integral Inženjering A.D., na lokaciji nekadašnjeg površinskog kopa Momin kamen km 891+300,00 - km 891+625,00, na dužini trase od 325 m, koja je deo projekta izgradnje autoputa E75, deonice Beograd – Niš - granica sa BJR Makedonijom, poddeonica Caričina dolina – tunel Manajle.

Tehničko rešenje omogućava da se prema proračunatim parametrima stabilnosti kosina, formira projektovana završna kontura sa odgovarajućim uglovima kosina, čime se omogućava da se u što kraćem roku ukloni određena količina čvrste stenske mase i na taj način spreči odron, poveća sigurnost prilikom postavljanja zaštite na kosine i omogući izvođenje daljih radova na izgradnji ovog dela autoputa.

Do ostvarenja ovog tehničkog rešenja se došlo primenom savremenih tehničkih i tehnoloških dostignuća poput bespilotnih letilica, čime je omogućena detaljna predstava terena sa svim potencijalno opasnim deonicama, na kojoj se moglo projektovati do najsitnijih detalja.

Primena tehničkog rešenja doprinela je postizanju:

- velike uštede zbog primenjene kombinacije rudarskih i građevinskih radova na stabilizaciji potencijalno opasnih blokova (na pojedinim etažama je vršena stabilizacija nestabilnih komada građevinskim radovima što je omogućilo da rudarski zahvat u cilju osiguranja završne konture kopa bude manji za oko 250000 m<sup>3</sup>čm);

- povećanja nivoa zaštite životne sredine i zaštite na radu na viši nivo, time što je uspela implementacija proračunima stabilnosti kosina u funkciji fizičko-mehaničkih karakteristika stenskog materijala, na veoma strm i nestabilan teren, čime je smanjena mogućnost pojave odrona, povrede ljudstva i gubitka opreme;

- povoljnog uticaja na dinamiku radova na konkretnoj deonici autoputa, jer se primenom tehničkog rešenja vrši sanacija i stabilizacija kosina, u što je moguće kratkom roku, čime se omogućava ubrzanje ostalih radova koji se izvode na izgradnji ovog dela autoputa.

Primena ovakvog tehničkog rešenja moguća je pre svega na izradi etaža u teško pristupačnim i u pogledu geomehaničkih uslova nestabilnih kosina, bilo da je reč o trasi autoputa ili izgradnji nekog drugog infrastrukturnog objekta. Tehničko rešenje se može primeniti za stabilizaciju ili sanaciju nestabilnih etaža pri eksploataciji na kopovima tehničko-građevinskog kamena.

## 6.0 ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje se odnosi na izradu etaža za stalnu sanaciju i stabilizaciju kosina na lokaciji nekadašnjeg površinskog kopa Momin kamen km 891+300,00 - km 891+625,00, na dužini trase od 325 m, koja je deo projekta izgradnje autoputa E75, deonice Beograd – Niš-granica sa BJR Makedonijom, poddeonica Caričina dolina – tunel Manajle.

Projektom predviđena trasa autoputa preko površinskog kopa Momin kamen, usloвила je naknadnu izradu većeg broja etaža u cilju postizanja potrebne stabilnosti završne konture kopa. Poseban problem predstavljao je ograničen prostor u gornjem delu kopa, uslovljen granicom eksproprijacije zemljišta, gde nije predviđeno dalje proširenje završne konture kopa, što bi znatno olakšalo smanjenje ugla završnih kosina etaža. Specifičnost situacije se ogledala i u tome, što na samom kopu prethodno nisu bile precizno definisane etaže sa projektovanim uglovima završnih kosina. U pojedinim delovima kopa postojali su strmi i nepristupačni delovi terena, dok je stenski materijal u određenim segmentima bio poprilično narušen prethodnim miniranjima.

Realizaciji tehničkog rešenja prethodila je detaljna analiza stanja kosina, kopa, snimanja i obrade terena savremenim tehnikama i tehnologijama, kao i primena rezultata prethodno izvršenih geoloških i geomehaničkih istraživanja. Tehničko rešenje predviđa izradu većeg broja etaža prema projektovanim konstruktivnim elementima, u cilju sanacije i stabilizacije završne kosine kopa, primenom: primarnog miniranja, presplit metodom konturnog miniranja i metodama specijalnih miniranja u nepristupačnim delovima terena i specifičnim situacijama kada nije moguće izvesti prethodne dve metode.

Tehničko rešenje omogućava da se prema proračunatim parametrima stabilnosti kosina uz dodatne građevinske radove na stabilizaciji nestabilnih deonica, formira projektovana završna kontura sa odgovarajućim uglovima kosina, čime se omogućava ubrzavanje radova, povećava sigurnost prilikom postavljanja zaštite na kosine i omogućava izvođenje daljih radova na izgradnji ovog dela autoputa.

Zbog multidisciplinarnog karaktera, tehničko rešenje se može primeniti u mnogim oblastima građevinarstva, rudarstva i sl., gde je potrebno izvršiti stabilizaciju ili sanaciju nestabilnih delova terena.

## 7.0 LITERATURA

1. Glavni projekat zaštite kosine Momin Kamen, km 891+300,00 do km 891+625,00, MAKSPRO D.O.O. Beograd, novembar 2016.
2. Izveštaj o stabilnosti kosina na deonici Caričina dolina-Tunel Manajle (LOT5) u zoni vijadukta i galerije Momin kamen na stacionaži km 890+725 do km 891+093 i km 891+300 do km 891+625, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2016.
3. Analiza stabilnosti kosina na karakterističnim profilima na lokaciji PK „Momin Kamen“, Katedra za mehaniku stena, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu), 2017.
4. Kričak L., Seizmika miniranja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005.
5. Giorgio B., Explosives an engineering tool. Milano, Italesplosivi, 1990.
6. Lopez, J. C., Lopez, J. E., Ayala, C. F. J., Drilling and blasting of rocks. Rotterdam: A.A.Balkema. 1995.