

Iskop stijena hidrauličnim čekićima

Ružić, Šimun

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:021313>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij Rudarstva

ISKOP STIJENA HIDRAULIČNIM ČEKIĆIMA

Diplomski rad

Šimun Ružić

R-250

Zagreb, 2021.

ISKOP STIJENA HIDRAULIČNIM ČEKIĆEM

Šimun Ružić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Hidraulični čekići se intenzivno koriste od 60-tih godina prošlog stoljeća. Kao alat su našli primjenu u graditeljstvu i u rudarstvu. Između ostaloga u rudarstvu se koriste za iskop stijena, odnosno za iskop tunela i za iskop mineralne sirovine na površinskim kopovima. U oba slučaja je bitan pravilan izbor čekića koji se vrši preko jednadžbi dobivenih raznim istraživanjima. Kao što mora biti pravilno odabran tako mora biti i pravilno usklađen s bagerom. Odabir metode iskopa tunela je proces koji uključuje puno kriterija. Iskop tunela hidrauličnim čekićem se odabire kada postoje određeni geološki, vremenski, investicijski zahtjevi. Isto tako je potrebno i odabrati način iskopa pomoću hidrauličnog čekića. Postoji više načina odnosno metoda iskopa. Primjeri koje imamo nam ukazuju na neke probleme, a i pokušavaju riješiti neke probleme koji su se dogodili tijekom iskopa. Iskop u površinskom kopu hidrauličnim čekićem je metoda koja je dobila zapaženu primjenu zbog sve više ekspanirajućih gradova i naseljenih mjesta. Navedena metoda se ponudila kao rješenje za probleme buke, prašine i vibracija u kamenolomima koji se nalaze blizu upravo takvih mjesta. Iako je metoda iskopa mineralne sirovine hidrauličnim čekićima ekološki prihvatljiva i ona ima svoje mane.

Ključne riječi: iskop tunela, mehanički iskop, hidraulični čekić
Završni rad sadrži: 45 stranica, 3 tablice, 34 slike, i 16 referenci.
Jezik izvornika: Hrvatski
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Mentor: Dr. sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF
Ocjenjivači: Dr. sc. Trpimir Kujundžić, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Tomislav Korman, docent RGNF
Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF

ROCK EXCAVATION WITH HYDRAULIC BREAKERS

Šimun Ružić

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of mining engineering and geotechnics
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Hydraulic breakers are used extensively since 1960s. As a tool, they have found application in civil and mining engineering. Among other things, in mining they are used as primary tool in excavation of tunnels and for excavation of mineral raw materials in open pit mines. In both cases correct choice of the breaker is important which is done through equations obtained by various researches. Just as it must be properly selected it needs to be compatible with the excavator. Choosing a tunnel excavation method is a process that involves a lot of different criteria. Excavation of the tunnel with a hydraulic hammer is selected when there are certain geological, timing and investment requirements. It is also necessary to choose method of excavation using a hydraulic breaker. There are several ways or methods of excavation. The examples we have, point out some problems and also try to solve some of those problems that occurred during the excavation. Excavation in a surface mine with a hydraulic breaker is a method that has gained notable traction due to the increasing number of expanding cities and settlements. This method has been offered as a solution to the problem of noise, dust and vibrations in quarries located near such places. Although the method of excavating mineral raw materials with hydraulic breakers is environmentally friendly it also has its drawbacks.

Keywords: tunneling, mechanical excavation, hydraulic breaker

Thesis contains: 45 pages, 3 tables, 34 figures, and 16 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Full Professor Trpimir Kujundžić, PhD

Reviewers: Full Professor Trpimir Kujundžić, PhD
Assistant Professor Tomislav Korman, PhD
Assistant Professor Dubravko Domitrović, PhD

Defence date: September 28, 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ, PRINCIP RADA I BRZINA OTKOPA HIDRAULIČNIH ČEKIĆA	2
2.1. Razvoj hidrauličnih čekića	2
2.3. Princip rada hidrauličnih čekića	3
2.2. Efikasnost i brzina otkopa hidrauličnih čekića	4
2.3. Usklađenost hidrauličnog čekića i bagera	6
2.4. Radni alat hidrauličnog čekića.....	8
3. ISKOP TUNELA HIDRAULIČNIM ČEKIĆEM	10
3.1. Geomehanički model	10
3.1.1. RQD (<i>Rock Quality Designation</i>) klasifikacija	11
3.1.2. RMR (<i>Rock Mass Rating</i>) klasifikacija	12
3.1.3. Nova austrijska metoda iskopa tunela	12
3.1.4. GSI (geološki indeks čvrstoće) klasifikacija	13
3.2. Odabir metode iskopa	13
3.3. Odabir hidrauličnog čekića za iskop tunela	17
3.4. Metode iskopa tunela hidrauličnim čekićima	19
3.5. Podgrađivanje i napredak tunela.....	24
3.6. Primjeri iskopa tunela hidrauličnim čekićem	25
3.6.1. Istanbul metro Levent – Yenikapi	25
3.6.2. Istanbul metro Seyrantepe – Maslak.....	29
3.6.3. Iskop hidrotehničkog tunela Dicle – Krakizi	32
4. ISKOP HIDRAULIČNIM ČEKIĆEM NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA.....	37
4.1. Primjeri iskopa u površinskim kopovima	39
4.1.1. Kamenolom Chittorgarh	39
4.1.2. Kamenolom Pozzelle	41
5. ZAKLJUČAK	43
6. LITERATURA	44

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Hidraulični čekići u kamenolomu (Iskop hidrauličnim čekićem, 2013.)	1
Slika 2-1. Uzdužni presjek Ingersoll-Randovog hidrauličnog čekića (Kujundžić, 2015.)....	4
Slika 2-2. Shematski prikaz instalacije hidrauličnog čekića na bager (Kujundžić, 2015.)...	7
Slika 2-3. Usklađenost bagera i hidrauličnog čekića prema Andersonu i Papineauu (Kujundžić, 2015.).....	8
Slika 2-4. Dijagram za utvrđivanje usklađenosti čekića i bagera (Kujundžić, 2015.)	8
Slika 2-5. Radni alati hidrauličnog čekića (Kujundžić, 2015.).....	9
Slika 3-1. Primjer RQD klasifikacije (Amato i dr., 2013.).....	11
Slika 3-2. TBM za iskop odvodnog tunela (TBM, 2020.)	15
Slika 3-3. Iskop tunela tradicionalnom metodom bušenja i miniranja (Spajanje bušotina, 2016.).....	16
Slika 3-4. Zaštitini prsten (Epiroc zaštitni prsten, bez dat.)	18
Slika 3-5. Sustav automatskog podmazivanja čekića (Amato i dr., 2013.)	19
Slika 3-6. Iskop tunela jednim bagerom (Amato i dr., 2013.)	20
Slika 3-7. Parcijalizirani iskop (Amato i dr., 2013.).....	21
Slika 3-8. Iskop s dva bagera s hidrauličnim čekićima u razmaknutom položaju (Amato i dr., 2013.)	21
Slika 3-9. Iskop pomoću hidrauličnih čekića s obje strane tunela (Amato i dr., 2013.).....	22
Slika 3-10. Redoslijed iskopa hidrauličnim čekićem (Amato i dr., 2013.).....	23
Slika 3-11. Redoslijed iskopa s rasjedima (Amato i dr., 2013.)	24
Slika 3-12. Linija Yenikapi – Levent (Bilgin i dr., 2002.).....	25
Slika 3-13. Ilustracija iskopa na dvije etaže (Bilgin i dr., 2002.).....	26
Slika 3-14. Vremenski udio pojedinih operacija u prvoj fazi iskopa (Bilgin i dr., 2002.)..	27
Slika 3-15. Vremenski udio pojedinih operacija u drugoj fazi iskopa (Bilgin i dr., 2002.)	27
Slika 3-16. Odnos brzine iskopa i rezultata Schmidtovog čekića (Bilgin i dr., 2002.).....	28
Slika 3-17. Odnos između brzine iskopa i rezultata Schmidtovog čekića za RQD od 25% do 49% (Bilgin i dr., 2002.).....	29
Slika 3-18. Položaj tunela Seyrantepe – Maslak (Tuncdemir, 2007.).....	29
Slika 3-19. Poprečni presjek tunela (Tuncdemir, 2007.)	30
Slika 3-20. Odnos između neto brzine iskopa i RMR-a na gornjoj etaži (Tuncdemir, 2007.)	31

Slika 3-21. Odnos između neto brzine iskopa i RMR-a na donjoj etaži (Tuncdemir, 2007.)	31
.....	
Slika 3-22. Udio pojedinih operacija u ukupnom vremenu na dionici Levent – Maslak (Tuncdemir, 2007.)	32
.....	
Slika 3-23. Položaj hidrotehničkog tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)	33
.....	
Slika 3-24. Poprečni presjek tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)	34
.....	
Slika 3-25. Ilustracija metode iskopa tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)	35
.....	
Slika 3-26. Udjeli pojedinih operacija u ukupnom vremenu iskopa (Ayhan i Topal, 2004.)	36
.....	
Slika 4-1. Hitachi 1200 s hidrauličnim čekićem u kamenolomu Chittorgarh (Hitachi 1200, 2016.)	40
.....	
Slika 4-2. Kamenolom Pozelle (HP 18000 FS, 2016.)	41

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Vrijednosti RMR-a (Amato i dr., 2013.)	12
.....	
Tablica 3-2. Performanse strojeva u tunelu Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)	34
.....	
Tablica 4-1. Primjeri iskopa mineralne sirovine hidrauličnim čekićem (Kujundžić, 2015.)	39
.....	

POPIS KORIŠTENIH JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
SE	<i>J</i>	specifična energija
E_i	<i>J</i>	energija udara
k		konstanta
M	<i>kg</i>	masa klipa
V	<i>m/s</i>	brzina klipa
P_{in}	<i>kW</i>	ulazna snaga
Q	<i>l/min</i>	protok ulja
p	<i>bar</i>	pritisak ulja
P_{out}	<i>kW</i>	izlazna snaga
n	<i>min⁻¹</i>	frekvencija udara
H_{eff}		efikasnost čekića
IBR	<i>m³/h</i>	otkopni učinak čekića
P	<i>kW</i>	snaga hidrauličnog čekića
RMCI		indeks rezivosti stijenske mase
σ_c	<i>MPa</i>	jednoosna tlačna čvrstoća
RQD		indeks kvalitete jezgre (<i>rock quality designation</i>)
m_h	<i>kg</i>	masa čekića
m_c	<i>kg</i>	masa bagera

1. UVOD

Hidraulični čekići imaju široku primjenu u rudarstvu i graditeljstvu od 60-tih godina prošlog stoljeća sve do danas. Njihov razvoj je potaknut potrebom za strojem za selektivno otkopavanje, porastom troškova radne snage, zbog problema vezanih uz prašinu kao i zbog štetnih efekata miniranja.

Rad hidrauličnih čekića se bazira na mehanici fluida te su na široku primjenu naišli zbog velikih udarnih sila, jednostavnog načina rada i svoje efikasnosti. Danas postoje puno različitih vrsta hidrauličnih čekića, a razlikuju se po svojoj veličini, težini kao i primjeni.

Hidraulični čekići se koriste za usitnjavanje blokova nakon masovnog miniranja, pri iskopu kanala, zasjeka, usjeka, za rušenje građevina, za iskop tunela te kao samostalni alat za iskop mineralne sirovine u kamenolomima.

Tema ovog rada je iskop stijena hidrauličnim čekićima te će se fokusirati na njegovu primjenu kao samostalnog alata. Kao takav za iskop tunela se prvi put koristio u Italiji 1985. godine. Pokazao se kao odlična alternativa u područjima u kojima su druge metode ograničene, bilo to zbog geoloških, financijskih ili nekih drugih razloga.



Slika 1-1. Hidraulični čekići u kamenolomu (Iskop hidrauličnim čekićem, 2013.)

2. RAZVOJ, PRINCIP RADA I BRZINA OTKOPA HIDRAULIČNIH ČEKIĆA

2.1. Razvoj hidrauličnih čekića

Unatoč tome što su već postojali razni strojevi koji su radili na konceptu mehaničkog udarnog razbijanja stijene kao što je ručni udarni otkopni čekić još uvijek je postojala potreba za snažnim rudarskim strojem za selektivno otkopavanje. Navedeni ručni udarni otkopni čekić je bio limitiran reaktivnim udarima koje je čovjek mogao podnijeti što je maksimalno iznosilo oko 140 J. Kod mekših stijena selektivni otkop se mogao postići strojevima za sukcesivni iskop tunela, ali oni su se pokazali neupotrebljivima pri iskopu tvrdih stijena. Jedina alternativa koja je preostala je miniranje (Kujundžić, 2015..).

U 60-im godinama prošlog stoljeća došlo je do porasta troškova radne snage, rad sa strojevima za sukcesivni iskop tunela je za sobom vukao probleme vezane uz prašinu, a miniranje je imalo svoje štetne utjecaje. Zbog toga je bilo potrebno razviti novu metodu selektivnog otkopavanja.

U Engleskoj se 1961. godine pokušalo uvođenjem udarnih plugova. Taj koncept koji je korišten u Škotskim rudnicima ugljena izbačen je već 1964. jer se pokazao problem vezan za upravljanje strojem. Dvije godine kasnije je udarni mehanizam premješten na „ruke“ mobilnih bušilica, ali je i to imalo svoje probleme. Kvarovi su se događali upravo na „rukama“ koje nisu bile dimenzionirane za visoka naprezanja. Krajem 1969. i početkom 1970. godine se pojavljuju prvi hidraulični udarni čekići. Bilo je raznih proizvođača koji su ih ugrađivali u podgradne konstrukcije ili na samohodna vozila. Već do kraja 70-tih je postojalo oko 50 različitih tipova hidrauličnih čekića koji su se većinom koristili u rudnicima ugljena (Kujundžić, 2015.).

U Americi je razvoj hidrauličnih čekića počeo nešto ranije odnosno 1966. godine kao suradnja dvije firme, Ingersoll-Rand i Impuls products. Njihova ideja je bila da se tehnologija korištena u vojnoj industriji, uljno-plinski akceleratori koji su se koristili u testiranju projektila primjene u privredne svrhe. Tako je nastao „Hobgoblin“, prvi hidraulični čekić predstavljen 1967. godine čija je energija udarca iznosila 1360 J (Kujundžić, 2015.).

Iste godine je u Njemačkoj firma Krupp predstavila svoj hidraulični čekić „HM 400“. Navedeni je imao puno manju energiju udarca koja je iznosila 542 J.

Značajniji iskorak hidrauličnih čekića je došao tek s pojavom hidrauličnih bagera. Njihova prednost je u tome što vlastiti hidraulični pogon mogu iskoristiti za pogon raznih

priključaka pa time i hidrauličnih čekića što je dovelo do puno veće snage koja se mogla primijeniti hidraulikom u odnosu na komprimirani zrak.

U početnom razdoblju razvoja hidrauličnih čekića koje je trajalo do sredine 80-tih godina težilo se tome da čekići budu što teži i što snažniji. Nakon toga su se pojavili mini-bageri te je to povuklo za sobom razvoj manjih čekića u klasi do 150 kg.

Općenito gledajući mogli bismo reći da se u razdoblju od 1967 -1990. godine razvoj hidrauličnih čekića bazirao na slijedećim smjernicama (kronološki poredanim) (Kujundžić, 2015.):

- testiranje raznih osnovnih konstruktivnih principa
- konstruiranje čekića sa što većom energijom pojedinog udarca
- prilagođavanje čekića mini-bagerima (manja masa čekića)
- istraživanje raznih područja moguće primjene hidrauličnih čekića
- smanjenje buke i vibracije pri radu

U razdoblju od 1990. godine pa do današnjih dana došlo je do promjene u smjernicama (Kujundžić, 2015.):

- težnja za visokim poboljšanjem izvedbe
- nastojanje na unapređenju pouzdanosti čekića (što manje kvarova)
- proizvodnja čekića sa širokom lepezom kombinacija broja udaraca i energije pojedinog udarca
- još izraženija nastojanja na smanjenju buke prilikom rada hidrauličnog čekića

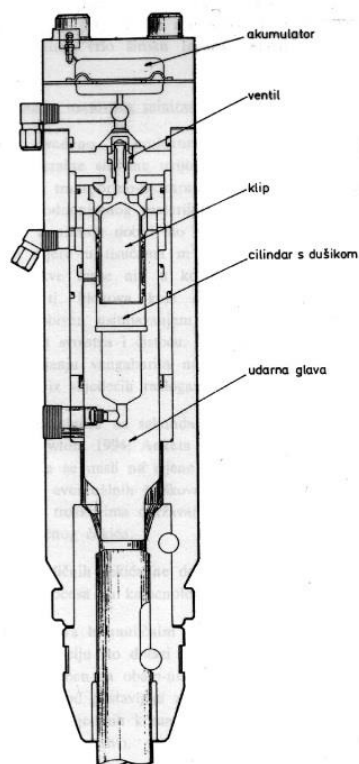
2.3. Princip rada hidrauličnih čekića

Hidraulički čekić je stroj čiji je zadatak energiju fluida pod pritiskom pretvoriti u mehaničku energiju. Po njihovom principu rada odnosno po načinu na koji se ostvaruje udarno gibanje klipa unutar čekića ih možemo podijeliti u 3 skupine:

- isključivo pomoću hidrauličnog ulja
- isključivo pomoću plina
- kombinacijom plina i hidrauličnog ulja

Svim vrstama hidrauličnih čekića princip rada je uglavnom isti. Svaki od njih ima priključak za ulaz ulja kao i priključak za izlaz ulja. Zbog toga prilikom rada čekića nema naizmjenične promjene dovoda i odvoda ulja. Pri pokretanju čekića podešena količina ulja sa podešenom vrijednošću radnog pritiska dovodi se u čekić. Ulje koje je pod pritiskom i

kojim upravlja razvodni mehanizam čekića djeluje na klip čekića koji udara u radni alat te tako prenosi udar na određeni materijal.



Slika 2-1. Uzdužni presjek Ingersoll-Randovog hidrauličnog čekića (Kujundžić, 2015.)

2.2. Efikasnost i brzina otkopa hidrauličnih čekića

Specifična energija je dobar indikator energije razbijanja koju čekić posjeduje. Mnoga istraživanja su pokazala da je specifična energija potrebna za razbiti volumen stijene obrnuto proporcionalna udarnoj energiji. Zbog toga je dosta rada usmjereno kako bi se uspjela povećati brzina klipa kao i njegova težina kako bi dobili jaču energiju udara. To je prikazano slijedećom jednačbom koja pokazuje kako se energija udara linearno povećava sa operativnom masom čekića (Tuncdemir, 2007.):

$$SE = k/\sqrt{E_i} \quad (J) \quad (2-1)$$

gdje je: SE – specifična energija (J)
E_i – energija udara (J)
k – konstanta

Odnos između energije udara, mase i brzine klipa je dan u slijedećoj jednadžbi (Tuncdemir, 2007.) :

$$E_i = MV^2/2 \quad (\text{J}) \quad (2-2)$$

gdje je: E_i – energija udara (J)
 M – masa klipa (kg)
 V – brzina klipa (m/s)

Teško je na pouzdan način usporediti performanse različitih hidrauličnih čekića. Tehničke specifikacije mogu biti nekonzistentne, a nekad i zavaravajuće. Zbog toga ih možemo usporediti po nekim njihovim osnovnim karakteristikama. Odnos između izlazne i ulazne snage nam daje vrijednost koju nazivamo efikasnost hidrauličnog čekića. Iznimno je važno da se procjeni efikasnost čekića prije njegovog odabira za iskop stijena. Efikasnost hidrauličnog čekića se računa preko slijedećih jednadžbi (Tuncdemir, 2007.):

$$P_{in} = Q \times p \quad (\text{kW}) \quad (2-3)$$

$$P_{out} = n \times E_i \quad (\text{kW}) \quad (2-4)$$

$$H_{eff} = P_{out} / P_{in} \quad (2-5)$$

Gdje je: P_{in} – ulazna snaga (kW)
 Q – protok ulja (l/min)
 p – pritisak ulja (bar)
 P_{out} – izlazna snaga (kW)
 n – frekvencija udara (min^{-1})
 E_i – energija pojedinog udara (J)
 H_{eff} – efikasnost čekića

Prvi konkretan teorijski rad o performansama hidrauličnog čekića je napravio Evans 1974. godine u kojem je istaknuo da osjetljivost stijene na lom ne ovisi samo o tlačnoj nego i vlačnoj čvrstoći. Tlačna čvrstoća kao jedini kriteriji se pokazala kao zavaravajuća. Nakon

toga su nastala brojna laboratorijska istraživanja koja su dala empirijske jednadžbe za izračun sposobnosti iskopa hidrauličnih čekića. Bilgin je analizirao podatke skupljene kroz nekoliko godina iskopa istanbulskog metroa te je predložio formulu za izračun otkopnog učinka hidrauličnih čekića (Tuncdemir, 2007.):

$$IBR = 4.24P(RMCI)^{-0.567} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2-6)$$

$$RMCI = \sigma_c(RQD/100)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{MPa}) \quad (2-7)$$

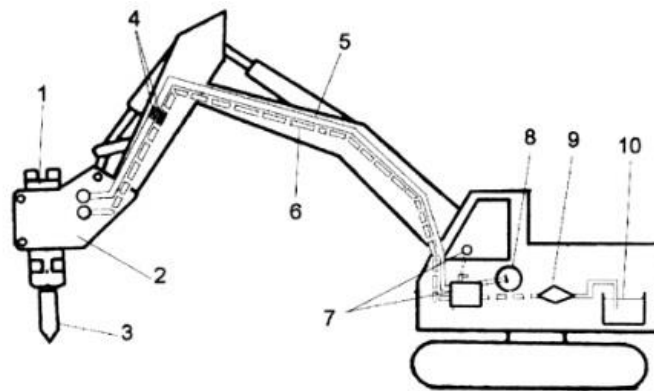
gdje je:

- IBR – otkopni učinak čekića (m^3/h)
- P – snaga hidrauličnog čekića (kW)
- RMCI – indeks rezivosti stijenske mase
- σ_c – jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
- RQD – indeks kvalitete jezgre

Snaga hidrauličnog čekića se izračuna preko jednadžbe 2-4. Razna neovisna istraživanja su potvrdila odnos između brzine otkopa hidrauličnih čekića i indeksa rezivosti stijenske mase. Bilgin je također pokazao kako je vrijednost ispitivanja tvrdoće Schmidtovim čekićem dobar indikator karakteristika stijenske mase te je u korelaciji sa brzinom otkopa što će biti detaljnije obrađeno u poglavlju iskopa tunela hidrauličnim čekićem.

2.3. Uskladenost hidrauličnog čekića i bagera

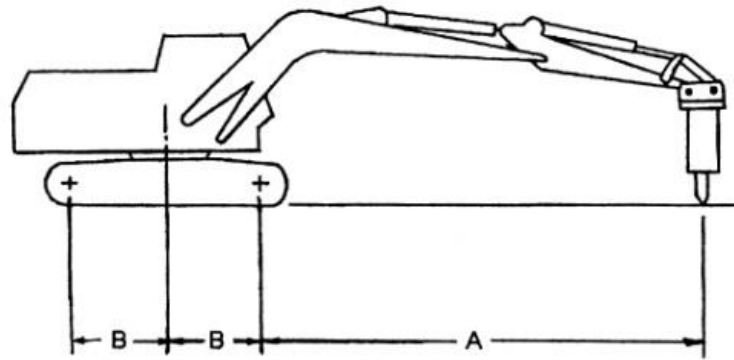
Hidraulični čekići mogu biti priključeni na razne vrste bagera i pokretani hidrauličkim sustavom stroja koji ih nosi. Mnogi strojevi imaju vanjske ventile koji se koriste kako bi se upravljalo čekićem. Na slici 2-2. je prikazana tipična instalacija hidrauličnog čekića na bager.



1. Hidraulični čekić
2. Nosач čekića
3. Radni alat
4. Hidraulični ventil za regulaciju radnog tlaka i protoka ulja u čekiću
5. Cjevovod hidrauličnog ulja pod visokim tlakom
6. Cjevovod hidrauličnog ulja pod niskim tlakom
7. Ograničavanje tlaka ulja na izvodu iz hidraulične pumpe bagera
8. Hidraulična pumpa
9. Hladnjak ulja
10. Rezervoar hidrauličnog ulja

Slika 2-2. Shematski prikaz instalacije hidrauličnog čekića na bager (Kujundžić, 2015.)

Jako je bitno zbog sigurnosti i efikasnosti radova da veličina i jačina čekića odgovara stroju koji ga nosi. Zbog toga je pri spajanju čekića jako bitno provjeriti da li navedeni stroj posjeduje adekvatnu težinu. Ukoliko čekić i stroj nisu dobro upareni može doći do toga da ruka bagera ne može prenijeti dovoljno energije te se počne tresti što dovodi do toga da će se efikasnost čekića smanjiti. Također će dovesti do povećanog habanja čekića kao i bagera. Što je dulja ruka bagera i težina bi mu trebala bit veća. Prihvatljiva masa bagera je navedena u tehničim karakteristikama čekića, ali se može provjeriti na dodatna dva načina. Jedan je utvrđivanje usklađenosti prema Andersonu i Papineauu koji je prikazan na slici 2-3. (Kujundžić, 2015.).



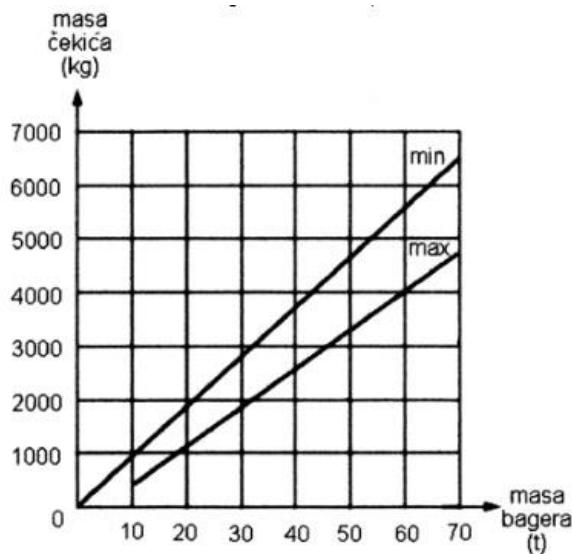
$$0,3 < \frac{A \cdot m_h}{B \cdot m_c} < 0,5$$

gdje je:

- m_h - masa čekića
- m_c - masa bagera

Slika 2-3. Usklađenost bagera i hidrauličnog čekića prema Andersonu i Papineauu (Kujundžić, 2015.)

Drugi način je prema dijagramu koji je dobiven usporedbom karakteristika raznih hidrauličnih čekića. Navedeni dijagram je prikazan na slici 2-4.

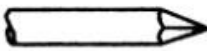
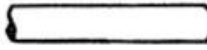
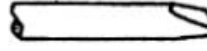


Slika 2-4. Dijagram za utvrđivanje usklađenosti čekića i bagera (Kujundžić, 2015.)

2.4. Radni alat hidrauličnog čekića

Hidraulični čekići imaju dva načina rada, otkopavanje prodiranjem i razrušavanje udarom. Otkopavanje prodiranjem se sastoji od drobljenja stijenskog materijala kombinacijom valova naprezanja odnosno visokih razina naprezanja koji djeluju u kratkom vremenskom razdoblju i „efekta klina“ koji proizvodi oblik radnog alata. Razrušavanje udarom lomi materijal pomoću valova naprezanja s minimalnim udjelom prodiranja. Na koji

će način čekić raditi ovisi o odabiru radnog alata. Razne kompanije su razvile više vrsta radnih alata ali ih možemo podijeliti u tri glavne skupine prikazane na slici 2-5.

oštri završetak (moil)	
tupi završetak (blunt)	
dlijeto (chisel)	

Slika 2-5. Radni alati hidrauličnog čekića (Kujundžić, 2015.)

Za otkopavanje prodiranjem se koriste oštri završetak ili dlijeto. Radni alat s oštrim završetkom usmjerava udarnu energiju čekića u jednu točku što se obično koristi kod usitnjavanja vangabaritnih blokova stijena kad je izražena potreba za točno određenom granulacijom razbijenih komada. Kod iskopa stijena (usjeci, zasjeci, eksploatacija mineralne sirovine, kanali, itd.) se najučinkovitiji pokazao alat u obliku dlijeta jer se stijena iskopava njegovim zabijanjem u postojeće šupljine i pukotine u stijeni. Za razrušavanje udarom se koristi alat s tupim završetkom. Kod njega se postiže najgušći tj. najučinkovitiji prijenos udarne energije čekića na materijal što se pokazalo vrlo učinkovito kod razbijanja vangabaritnih blokova stijena, međutim pri tome se ne može kontrolirati granulacija razbijenih komada (Kujundžić, 2015.).

3. ISKOP TUNELA HIDRAULIČNIM ČEKIĆEM

S građevinskog stajališta tuneli su među najsloženijim objektima za rad zbog rizika koje predstavlja geologija povezana s njima kao i zbog logističkih problema iskopa, podgrađivanja te otpreme iskopanog materijala. Zbog toga je njihova izgradnja vremenski dulja i skuplja u odnosu na druge projekte izgradnje cesta i željeznica. Kako ne bi došlo do kašnjenja radova, velikih ekonomskih gubitaka ili do povrede sigurnosti na radu potrebno je da su izvođači radova upoznati s geologijom, geometrijom pojedinih sekcija tunela, geografskim uvjetima kao i uvjetima pristupa gradilištu. Time će izvođač radova procijeniti i definirati sve što je potrebno za uspješno izvršenje projekta. Uz sve navedene, najznačajniji čimbenik odnosno onaj koji ima ključnu ulogu o kojoj ovisi uspješnost projekta je točnost i pouzdanost geoloških istraživanja. Ako se dogodi odstupanje geomehaničkog ponašanja stijene od predviđenog posljedice mogu biti drastične i neizbježne jer to može dovesti u pitanje odabranu metodu iskopa kao i podgrađivanja. Zbog toga je sam odabir metode iskopa vrlo važan jer se navedeni problem može „ublažiti“ na način da odaberemo metodu koja se može bolje i brže prilagoditi promjenjivim karakteristikama stijenske mase (Amato i dr., 2013.).

3.1. Geomehanički model

Kao što je spomenuto geološka istraživanja su vrlo bitna kako bi znali procijeniti uvjete rada, ali je isto tako bitno napomenuti da njihova primarna namjena nije odabir metode iskopa (Amato i dr., 2013.).

Navedena istraživanja nam služe kako bi odredili RMR, RQD, GSI kako bi definirali:

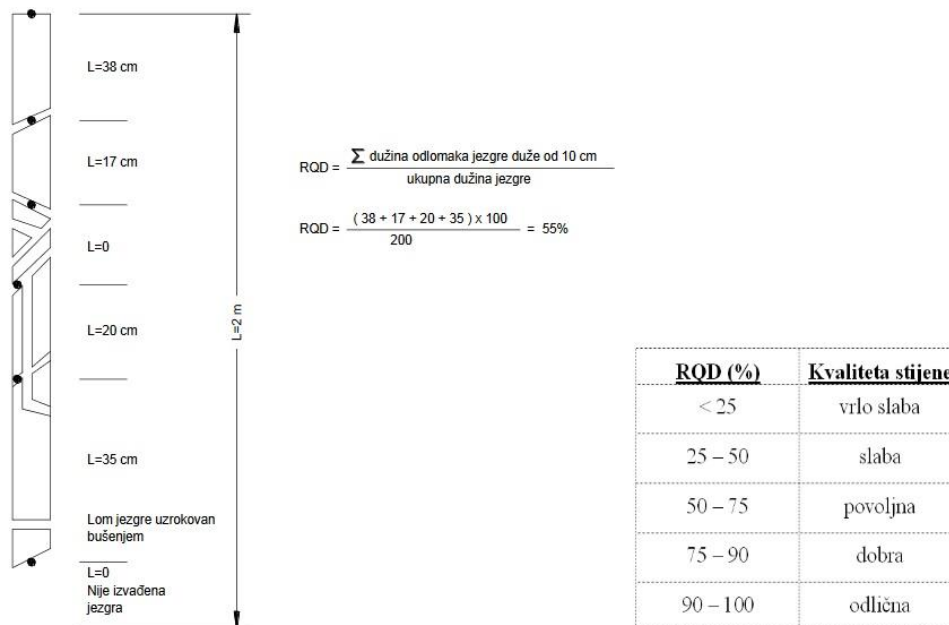
1. Geomehaničke karakteristike stijenskih masa i njihovo stanje naprezanja
2. Hidrogeološke strukture i provjerili prisutnost plinova
3. Strukturno-geološke karakteristike koje mogu imati utjecaj na raspodjelu naprezanja u području oko tunela tijekom i nakon iskopa stijenske mase

Geološka istraživanja nemaju za primarni cilj odrediti i istaknuti metodu iskopa već precizno odrediti stanje stijenske mase kao i odrediti najefikasniju metodu podgrađivanja tijekom iskopa.

Među metodama vrednovanja koje se koriste i često se uključuju u geomehničke modele koji se koriste u izgradnji postoje kvantitativni i kvalitativni kriteriji koje je Beniawski iznio 1974. godine i sažeo u RMR i kvalitativni kriteriji proizašli iz studija Ladislausa Von Rabcewicza i Franz Pachera između 1957. i 1965. u Austriji koji su proizveli NATM (Nova austrijska tunelska metoda). Važan doprinos ocjenjivanju kvalitativne metode dao je i razvijeni Q-sustav norveškog geotehničkog instituta 1974. godine. Temeljeći se na procjeni podataka od preko 200 tunela, Q-sustav uzima u obzir različite parametre (RQD, stupanj izmjene, hrapavost površine, diskontinuitete, stupanj promjene diskontinuiteta, prisutnost vode i čimbenik smanjenja naprezanja) te može odrediti čimbenik koji predstavlja strukturu stijenske mase i veličinu stijenskih blokova, posmičnu čvrstoću koju razvijaju i stanje naprezanja (Amato i dr., 2013.).

3.1.1. RQD (*Rock Quality Designation*) klasifikacija

Ova klasifikacija je razvijena 1964. godine za iskop tunela te je jedan od parametara RMR i Q klasifikacije. Izražava se kao postotak jezgre koja sadrži odlomke duljine 10 cm ili dulje u ukupnoj duljini izbušene jezgre (slika 3-1.). Rezultat RQD klasifikacije sam po sebi nije dovoljan za odrediti sve geomehničke karakteristike stijenske mase kao kompliciranija klasifikacija po RMR-u. Unatoč tome navedena klasifikacija može poslužiti kao orijentir u odabiru najefikasnije metode iskopa (Amato i dr., 2013.).



Slika 3-1. Primjer RQD klasifikacije (Amato i dr., 2013.)

3.1.2. RMR (*Rock Mass Rating*) klasifikacija

RMR klasifikacija u obzir uzima slijedeće parametre:

- jednoosna tlačna čvrstoća
- RQD
- razmak diskontinuiteta
- stanje diskontinuiteta
- uvjeti podzemne vode
- orijentacija diskontinuiteta

Kada se koriste RMR vrijednosti za odabir metode iskopa, pogotovo u slučaju kada se razmatra korištenje hidrauličnog čekića posebnu pažnju treba posvetiti vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće koje se i samostalno bilježe u geomehaničkom modelu te vrijednostima koje se odnose na diskontinuitete. Vrijednosti koje se odnose na diskontinuitete imaju veliku važnost jer pokazuju lomljivost i slabost stijenske mase te tako utječu na njeno ponašanje (Amato i dr., 2013.).

Za svaki od pojedinih čimbenika se dodjeljuju bodovi te RMR može imati vrijednost od 0 do 100 što je prikazano u tablici 3-1.

Tablica 3-1. Vrijednosti RMR-a (Amato i dr., 2013.)

Klasa 1	RMR 81-100	Jako dobro
Klasa 2	RMR 61-80	Dobro
Klasa 3	RMR 41-60	Srednje
Klasa 4	RMR 21-40	Loše
Klasa 5	RMR < 20	Jako loše

3.1.3. Nova austrijska metoda iskopa tunela

Cilj ove metode je odrediti samostalnu sposobnost stajanja stijenske mase pomoću podataka o naprežanju. Na temelju tih podataka ovom metodom određujemo sustav podgrade. Koristeći ovu metodu moraju se konstanto mjeriti naprežanja s napretkom tunela i sukladno tome mijenjati način podgrađivanja

Po ovoj metodi se stijenska masa dijeli na slijedeće klase (Amato i dr., 2013.):

- Klasa 1 – nefrakturirana, iskop punog profila bez potrebnog podgrađivanja u stropu nekoliko dana bez potrebe za podgrađivanjem bokova
- Klasa 2 – slabo frakturirana, iskop punog profila, moguće otpadanje materijala, nekoliko dana bez potrebe podgrađivanja stropa i bokova
- Klasa 3 i 3B – frakturirana do jako frakturirana, otpadanje materijala u bokovima i stropu, iskop punog profila uz sisteme koji garantiraju stabilnost čela tunela
- Klasa 4 – izmijenjena stijenska masa, puno rasjeda, potrebne posebne vrste podgrađivanja odnosno potrebna intenzivna potpora čela tunela
- Klasa 5A – jako izmijenjena stijenska masa, zdrobljena, oslobađanje pritiska u svim smjerovima pri iskopu, deformacije limitiraju sekcije iskopa, istovremeno podgrađivanje u stropu i nakon par sati u bokovima
- Klasa 5B – rastresita, nestabilna tla, iskop se ne može obaviti konvencionalnim metodama već je reguliran sustavom podgrade

Osim podataka za podgrađivanje ova metoda također indirektno nudi elemente koji su bitni pri odabiru metode iskopa.

3.1.4. GSI (geološki indeks čvrstoće) klasifikacija

GSI se zasniva na procjeni strukture, litologije i uvjeta površine diskontinuiteta u stijenskoj masi. Određuje se vizualnim ispitivanjem stijenske mase kao što je lice tunela. Klasifikacija se obavlja procjenom blokovitosti i značajkama diskontinuiteta.

3.2. Odabir metode iskopa

Odabir metode iskopa iako ovisi o geomehaničkim karakteristikama koje su izražene preko geomehaničkog modela isto ovisi o logističkim i ekonomskim procjenama. U odabir metode ulaze različiti čimbenici kao što su produktivnost, profitabilnost, broj radnika, strojeva i opreme, pristup radilištu, utjecaj na okoliš itd. Važno je napomenuti kada se govori o iskopu tunela da se radi o iskopu punog profila jer se takav način iskopa danas gotovo uvijek koristi. Današnjom tehnologijom iskopa kao i upotrebom TBM-ova djelomični iskop profila je gotovo u potpunosti izbačen iz upotrebe te se koristi samo u posebnim slučajevima.

Danas postoje dvije metode iskopa punog profila tunela:

1. Tradicionalna metoda (bušenje i miniranje i hidraulični čekić za pomoćne poslove)
2. Mehanički iskop (TBM, strojevi za sukcesivni iskop i hidraulični čekić)

Kao što je već spomenuto odabir metode iskopa je kompleksan sustav donošenja odluka koji ovisi o puno više čimbenika od samog oslanjanja na geomehaničke izvještaje i modele stijenske mase. Sve čimbenike možemo podijeliti u dvije grupe. Jedna grupa su čimbenici koji se tiču karakteristika stijenske mase i geometrije iskopa dok su druga grupa čimbenici koji se odnose na metodu iskopa odnosno na karakteristike strojeva koji se koriste.

Čimbenici koji se odnose na karakteristike stijenske mase i geometriju iskopa (Amato i dr., 2013.):

- UCS (jednoosna tlačna čvrstoća)
- RQD (indeks kvalitete jezgre)
- RMR (geomehanička kalsifikacija)
- RMCI (indeks rezivosti stijenske mase)
- geometrija iskopa (duljina, dionice tunela, itd.)

Čimbenici koji se odnose na karakteristike iskopne metode (Amato i dr., 2013.):

- snaga potrebna stroju i/ili u sustavu
- cijena stroja i/ili sustava, cijena po satu
- satna proizvodnja koja se izražava u m^3/h

Ovdje će se prikazati prednosti uporabe hidrauličnog čekića u određenim uvjetima u odnosu na tradicionalnu metodu bušenja i miniranja kao i u odnosu na TBM (slika 3-1.). Strojevi za sukcesivni iskop se kao samostalni alat iskopa jako rijetko koriste. Također je bitno istaknuti da gdje god postoje geomehanički, logistički i ekonomski uvjeti za uporabu TBM-a njegova produktivnost je nemjerljivo veća u odnosu na druge metode. Njihov razvoj ih je doveo do jako velike pouzdanosti i produktivnosti te su čak došli do položaja da se smatraju najpovoljnijom i najnaprednijom metodom bez uzimanja u obzir njihovih nedostataka i ograničenja. Takav naglasak na TBM-ove čak i kad postoji odstupanje geomehaničkih uvjeta od stvarnih je u više slučajeva dovelo do problema odnosno do zastoja TBM-a (Amato i dr., 2013.).



Slika 3-2. TBM za iskop odvodnog tunela (TBM, 2020.)

TBM se ne može smatrati kao metoda iskopa u slijedećim slučajevima (Amato i dr., 2013.):

- kada istraživanja ne mogu garantirati dovoljno podataka o homogenosti stijenske mase
- kada je stijenska masa jako ispucala i hidrogeološki uvjeti su kritični
- u tunelima kraćim od 2 km je njihova upotreba neisplativa
- kada tunel ima velike radijuse zakrivljenosti
- kada je dio tunela policentričan (TBM-ovi uvijek prave savršen krug)
- kada ne postoje uvjeti za njihovo sastavljanje/rastavljanje (manjak prostora, mostovi, vijadukti)

Isto tako TBM ne dozvoljava promjenu metode iskopa kada se karakteristike stijenske mase razlikuju u odnosu na one određene geomehaničkim modelom. Takva promjena metode iskopa bi rezultirala logističkim i ekonomskim izazovima što bi vjerojatno rezultiralo neuspješnim projektom. U takvim slučajevima tradicionalna metoda bušenja i miniranja (slika 3-2.) ili mehaničko otkopavanje hidrauličkim čekićem iako nemaju ni približan dnevni napredak su bolja opcija. Te dvije metode nude veće šanse za uspjeh u iskopu tvrde stijenske mase promjenjivih uvjeta kojoj moramo prilagođavati iskop. Ovisno o tipu stijene navedene metode mogu biti alternativa jedna drugoj, ali isto tako se mogu koristiti zajedno. Također je bitno naglasiti da se u slučaju korištenja tradicionalne metode uvijek koristi hidraulični čekić

za pomoćne poslove odnosno za uklanjanje nestabilnih dijelova stijene kao i za iskop podinskog svoda tunela jer se u tim operacijama pokazao nezamjenjivim (Amato i dr. 2013.).



Slika 3-3. Iskop tunela tradicionalnom metodom bušenja i miniranja (Spajanje bušotina, 2016.)

Tradicionalna metoda i mehanički iskop hidrauličnim čekićem se zajedno koriste (Amato i dr., 2013.):

- kada mehanički model pokazuje raznolikost stijenske mase sa visokom rasprostranjenošću jako raspucale stijene
- kada se na kratkim udaljenostima izmjenjuju kompaktna i nekoherenta stijenska masa

Hidraulični čekići se samostalno koriste kada tunel posjeduje geološke presjke i veličinu koja tradicionalnu metodu bušenja i miniranja čini teškom i neekonomičnom. Tradicionalna metoda nam pruža dobru brzinu napretka kada stijena posjeduje određenu kompaktnost dok se hidraulički čekić koristi kada stijena ima manju čvrstoću (ispod 50 MPa) i određenu raspucalost. Hidraulični čekić također ima pozitivan utjecaj na potrebnu logistiku. On zahtjeva puno manje osoblja i strojeva potrebnih za iskop tunela. Također nam dopušta istovremeni iskop tunela i utovar i transport iskopanog materijala van radilišta.

Kada procjenjujemo financijsku isplativost korištenja hidrauličnog čekića za iskop tunela moramo uzeti u obzir više čimbenika:

1. tip stijene
2. duljinu tunela
3. oblik poprečnog presjeka tunela

4. lokaciju tunela
5. zadane rokove
6. dostupnost opreme
7. obuku osoblja

Da bi iskop stijena hidrauličnim čekićem bio ekonomski isplativ moraju biti zadovoljeni uvjeti produktivnosti. Stijena da bi bila podložna iskopu hidrauličnim čekićem mora imati slijedeće karakteristike (Amato i dr., 2013.):

- fragmentirana stijena s diskontinuitetima i pukotinama od 30 – 50 cm
- RQD < 40 – 50%
- kompaktnost i čvrstoća (50 – 150 MPa) koje omogućavaju odgovarajuću produktivnost
- odgovarajući stupanj abrazivnosti i čvrstoće

Kada se gleda lokacija tunela važno je napomenuti da iskop čekićem uzrokuje stupanj vibracija od 5-10% manji u odnosu na bušenje i miniranje što može biti presudan faktor ako se u blizini nalaze građevine ili naseljena mjesta gdje postoje određena ograničenja.

Što se tiče obuke osoblja činjenica je da iskop čekićem zahtjeva manje specijaliziranog osoblja u odnosu na tradicionalnu metodu.

Kada se u obzir uzmu svi faktori možemo reći da su glavne prednosti iskopa tunela hidrauličnim čekićem samostalno u odnosu na druge metode slijedeće (Amato i dr., 2013.):

1. niski investicijski troškovi
2. niži troškovi radne snage
3. sigurnija radna okolina (nema upotrebe eksploziva)
4. veća preciznost iskopa

3.3. Odabir hidrauličnog čekića za iskop tunela

Odabir specifičnog hidrauličnog čekića za iskop tunela primarno ovisi o poprečnom presjeku tunela koji nam ujedno određuje i veličinu bagera. Generalno govoreći odabir se sveđe na najveći mogući čekić koji se može uskladiti s bagerom. Ukoliko na raspolaganju imamo bager koji je specijaliziran za rad u tunelu, odnosno bager s kraćom rukom i većim podvozjem, to nam dopušta upotrebu nešto težeg čekića. Upotreba težeg čekića i manjeg

bagera nam smanjuje cijenu bagera u odnosu na količinu otkopanog materijala. U globalu se čekići dijele po svojoj masi i po promjeru radnog alata odnosno ti podaci nam daju predodžbu njihove veličine i snage. Čekići korišteni u tunelima posjeduju masu do 4000 kg sa promjerom alata od 160 mm do 180 mm. Bageri koji najbolje odgovaraju ovim zahtjevima posjeduju masu od 30 t do 50 t. Ukoliko posjedujemo čekić mase 3000 kg optimalan bager bi trebao imati masu od 30 t do 40 t iako se on može upariti s bagerom mase od 27 t do 50 t. Ako želimo koristiti navedeni čekić od 3000 kg za iskop tunela upotreba bagera od 50 t u odnosu na onaj od 35 t podrazumijeva:

- veće investicijske troškove
- veće troškove održavanja bagera
- veće troškove upotrebe
- otežano korištenje zbog većih dimenzija bagera
- neujednačenu produktivnost jer ona ovisi o performansama čekića

Iskop tunela je jedan od najtežih zadataka za hidraulični čekić. Kako bi čekić bio pouzdan i siguran, zbog velike koncentracije prašine i smanjene vidljivosti, moraju se poduzeti posebne mjere pri njegovoj pripremi za rad. Upravo zbog toga postoje određene karakteristike za koje bi bilo dobro da čekić posjeduje kao npr. zaštitu od prašine.

Zaštita od prašine može biti riješena na više načina. Čekić može posjedovati zaštitni prsten koji se nalazi između radnog alata i samog tijela čekića što će spriječiti ulazak prašine na mjesto gdje klip udara u radni alat (slika 3-4).



Slika 3-4. Zaštitni prsten (Epiroc zaštitni prsten, bez dat.)

Zaštita od prašine također može biti riješena pomoću sustava komprimiranog zraka. Ovaj sustav štiti klizne dijelove čekića kao i njegov udarni sustav. Također čekić može biti opremljen sustavom mlaznica koje raspršuju vodu te poboljšavaju vidljivost pri radu.

Kada se govori o opterećenju čekića moguća je instalacija posebne spojne ploče koja pomaže pri radu i opterećenju pri „oštrim“ kutovima čekića.

Sustav automatskog podmazivanja nam osigurava kontinuirano podmazivanje alata u svim uvjetima rada. Navedeni sustav prikazan na slici 3-5. smanjuje habanje čekića, a pogotovo njegovih kliznih dijelova pri horizontalnom radu (Amato i dr., 2013.).



Slika 3-5. Sustav automatskog podmazivanja čekića (Amato i dr., 2013.)

3.4. Metode iskopa tunela hidrauličnim čekićima

Metoda iskopa tunela hidrauličnim čekićem je diktirana površinom poprečnog presjeka i duljinom tunela. Minimalni poprečni presjek tunela prikladan za male čekiće težine do 2 tone i bagere od 20-25 tona je 30 m².

Faze koje uključuje iskop hidrauličnim čekićima su (Amato i dr., 2013.):

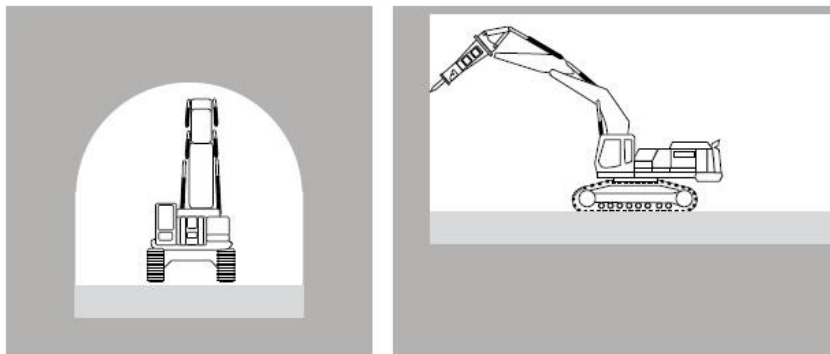
1. iskop čela tunela i eventualno otklanjanje nestabilnih komada stijene
2. utovar i izvoz otkopanog materijala
3. podgrađivanje otkopane sekcije tunela
4. eventualna izrada podinskog svoda tunela sa izvozom otkopanog materijala

U prosjeku, tijekom smjene od 8 sati operacije su vremenski podijeljene na slijedeći način (Amato i dr., 2013.):

- 20 - 25% (1,5 - 2 sata) iskop stijene
- 15 - 20% (1,2 – 1,5 sati) utovar i transport otkopanog materijala
- 10 - 15% (0,8 – 1,2 sata) otklanjane nestabilnih komada stijene
- 40 - 55% (3,2 – 4,4 sata) podgrađivanje

Najčešća metoda iskopa tunela sa poprečnim presjekom većim od 70 m² je sa jednim bagerom s hidrauličnim čekićem koji vrši iskop čela tunela prikazan na slici 3-6. Na ovaj način iskop i utovar i transport se mogu izvršavati istodobno pa su faze rada slijedeće:

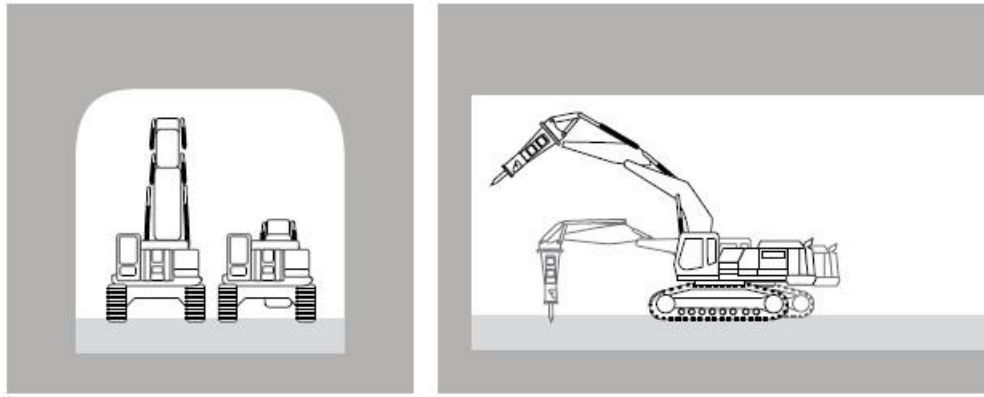
1. iskop hidrauličnim čekićem te utovar i transport pomoću utovarivača
2. podgrađivanje otkopane sekcije tunela



Slika 3-6. Iskop tunela jednim bagerom (Amato i dr., 2013.)

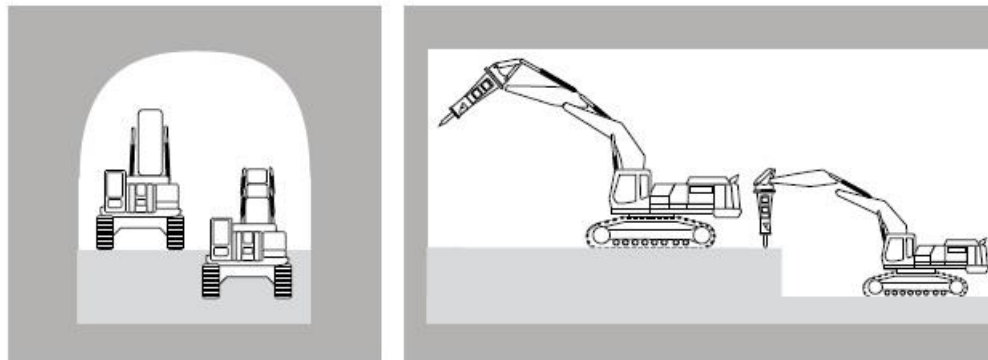
Istovremeni iskop i transport materijala se odvija na način da kada bager iskopa jednu stranu tunela on se prebaci na suprotnu. Dok otkopava suprotnu stranu tunela vrši se utovar i transport materijala već iskopane strane. Istovremeni transport otkopanog materijala također nudi veću vidljivost tijekom slijedećih operacija iskopa.

Također postoji mogućnost da se iskop podijeli u dvije faze ili u parcijalizirani iskop što trenutno nije uobičajena tehnika. Prva faza je glavni iskop čela tunela pomoću bagera s hidrauličnim čekićem dok je druga faza pomoću bagera koji uklanja stijensku masu u svom podnožju (slika 3-7.).



Slika 3-7. Parcijalizirani iskop (Amato i dr., 2013.)

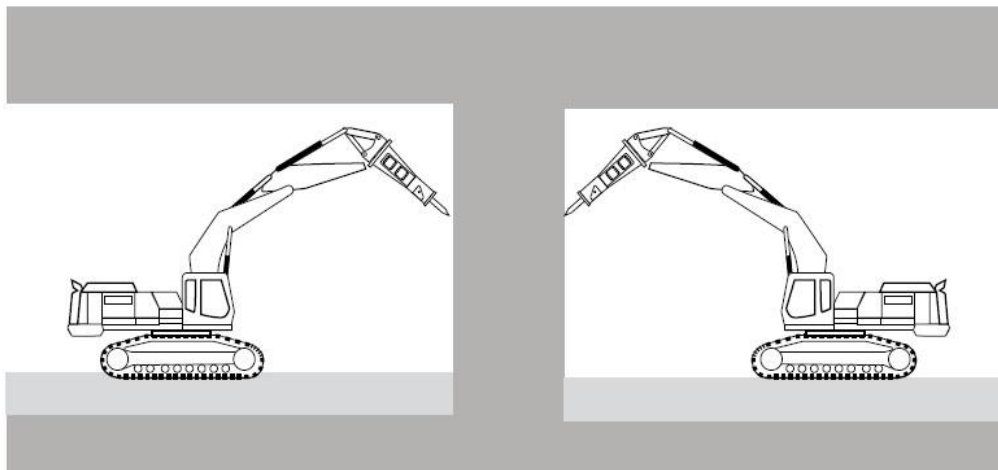
Puno češća metoda od parcijaliziranog iskopa je iskop s dva bagera u razmaknutim pozicijama u odnosu na čelo tunela prikazan na slici 3-8. Ova metoda dopušta upotrebu dva hidraulična čekića na istom čelu tunela. U ovoj metodi nije neobično da se koriste manji bageri s manjim čekićima kako bi se osigurala što veća sigurnost te kako bi se omogućio pristup drugim strojevima za utovar i transport otkopanog materijala. Ova metoda dovodi do puno veće produktivnosti jer omogućava rad dva čekića sa istovremenim utovarom i transportom otkopanog materijala (Amato i dr. 2013.).



Slika 3-8. Iskop s dva bagera s hidrauličnim čekićima u razmaknutom položaju (Amato i dr., 2013.)

Kao što je već spomenuto iskop hidrauličnim čekićem ne zahtjeva visoko specijalizirano osoblje kao što je slučaj s tradicionalnom metodom. Dodatna prednost ovoj metodi je što je iskop kontinuiran odnosno nema dugih prekida radova koji su potrebni zbog sigurnosti s metodom bušenja i miniranja (Amato i dr., 2013.).

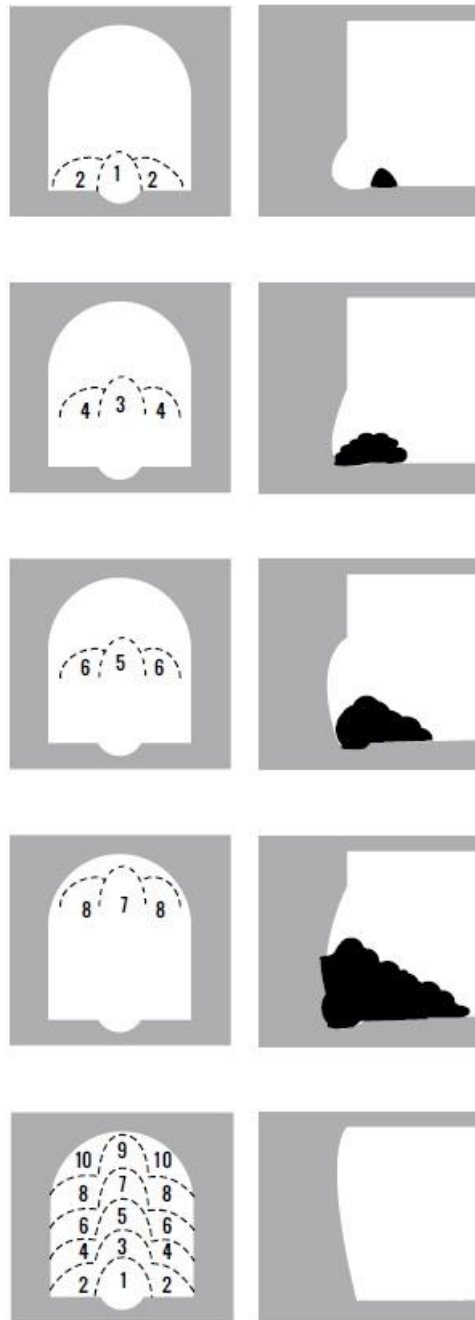
Ukoliko je tunel jako dugačak prednost ima metoda iskopa s obje strane prikazana na slici 3-9. Također se može vršiti iskop tunela na jednoj strani dok se u međuvremenu vrši podgrađivanje na drugoj. Kad se navedene radne faze izvrše dolazi do njihove izmjene (Amato i dr., 2013.).



Slika 3-9. Iskop pomoću hidrauličnih čekića s obje strane tunela (Amato i dr., 2013.)

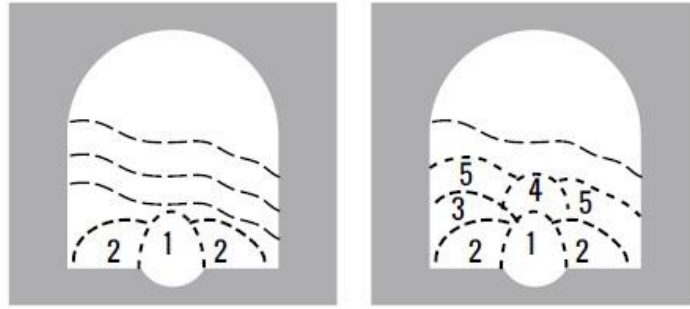
Kao što je već spomenuto, iskop tunela je jedan od najtežih zadataka za hidraulični čekić. Vremena udara su dulja i snažnija te oduzimaju 80% vremena rada bagera. Sile kojima bager opterećuje čekić u subhorizontalnom položaju su puno veće od onih kada čekić radi u vertikalnom položaju. To zahtjeva puno održavanja i periodičnih pregleda. Zbog toga je, ukoliko je potreban kontinuiran iskop, optimalno rješenje rad sa dva čekića istovremeno te s još jednim koji je u stanju pripravnosti (Amato i dr., 2013.).

Metoda koja se generalno koristi pri iskopu hidrauličnim čekićem je da se prvo otkopava po sredini poprečnog presjeka na visini od 1 - 1,5 i dubinom 1,2 - 2 m. Iskop se zatim nastavlja lateralno po širini cijelog tunela. Nakon što je završena prva faza iskop se kreće po visini, od dolje prema gore. Redoslijed iskopa je prikazan na slici 3-10. Nakon što je iskop završen slijedi otklanjanje nestabilnih komada stijena te utovar i izvoz otkopanog materijala (Amato i dr., 2013.).



Slika 3-10. Redosljed iskopa hidrauličnim čekićem (Amato i dr., 2013.)

Ukoliko su na čelu tunela vidljivi diskontinuiteti i rasjedi redosljed iskopa ih treba pratiti i to uvijek od dna tunela prema gore. Na ovaj način se iskoriste prirodne slabosti stijene kako bi povećali produktivnost čekića. Primjer ovakvog redosljeda je prikazan na slici 3-11.



Slika 3-11. Redoslijed iskopa s rasjedima (Amato i dr., 2013.)

3.5. Podgrađivanje i napredak tunela

Podgrađivanje je ključni aspekt iskopa tunela neovisno o tome da li se iskop vrši tradicionalnom metodom ili pomoću čekića te o njemu ovisi vrijeme napretka tunela. Obe vrste iskopa zahtijevaju podgrađivanje otkopanog dijela tunela prije završne obloge. Jedina razlika između navedenih metoda je logistika i ekonomija.

Kao što je već rečeno upotreba hidrauličnog čekića u odnosu na miniranje ima dvije velike prednosti. Ako se npr. vrši iskop tunela za autocestu koji ima površinu poprečnog presjeka od otprilike 140 m² hidraulični čekić nam dopušta iskop i uklanjanje iskopanog materijala istovremeno. Također nije potrebno uklanjati nestabilne komade stijene jer čekić može precizno profilirati presjek tunela tijekom iskopa (Amato i dr., 2013.).

Za obje metode iskopa podgrađivanje ima značajan utjecaj na vrijeme napredovanja tunela. Ono mora biti obavljeno odmah nakon iskopa i što bliže čelu tunela. Iskop je samo jedan od aspekata napredovanja tunela i tu dolazi do zabune kada se uspoređuju metode iskopa. Kada koristimo metodu bušenja i miniranja pri jednom otpucavanju bušotina iskop napreduje 4 do 5 metara, ali to ne znači da je toliko napredovala i cijela izgradnja tunela. Upravo zbog ovoga brže vrijeme iskopa pomoću tradicionalne metode zna biti zavaravajuće. Kada zbrojimo vrijeme koje je potrebno za pripremu miniranja, a i vrijeme potrebno za uklanjanje iskopanog materijala koje je dulje nego kod iskopa čekićem u nekim slučajevima njihova vremena napredovanja mogu biti jednaka.

Operacije potrebne za napredak tunela su slijedeće (Amato i dr., 2013.):

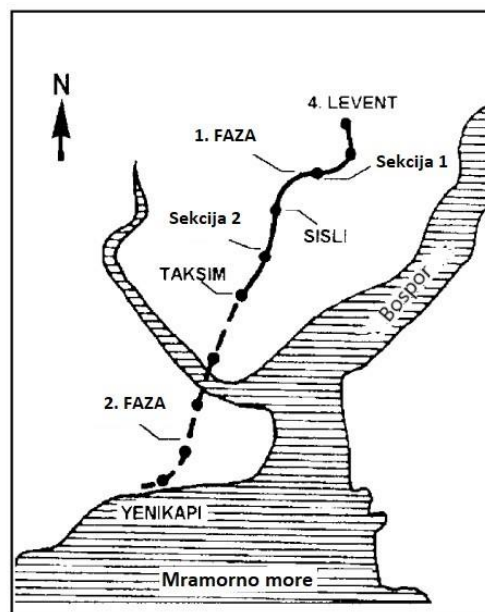
- pojačanje kalote tunela (ako je potrebno)
- iskop
- sidrenje

- primjena mlaznog betona ojačanog vlaknima
- iskop podinskog svoda tunela
- betoniranje podinskog svoda i bokova
- ugradnja pvc obloge
- betoniranje završne obloge

3.6. Primjeri iskopa tunela hidrauličnim čekićem

3.6.1. Istanbul metro Levent – Yenikapi

Navedena linija je počela sa izgradnjom 1992. godine te je prve putnike primila 2000. godine kada je završena prva faza radova. U ovoj liniji istanbulskog metroa je iskopano oko 11 km jednostranih tunela dok se sa svim pomoćnim tunelima i stanicama ta brojka penje na 15 km. Iskop je podijeljen u dvije faze. U prvoj fazi se vršio iskop 7 km tunela do stanice Taksim dok je u drugoj fazi izvršen iskop od stanice Taksim do stanice Yenikapi. Faze iskopa su prikazane na slici 3-12 (Bilgin i dr., 2002.).



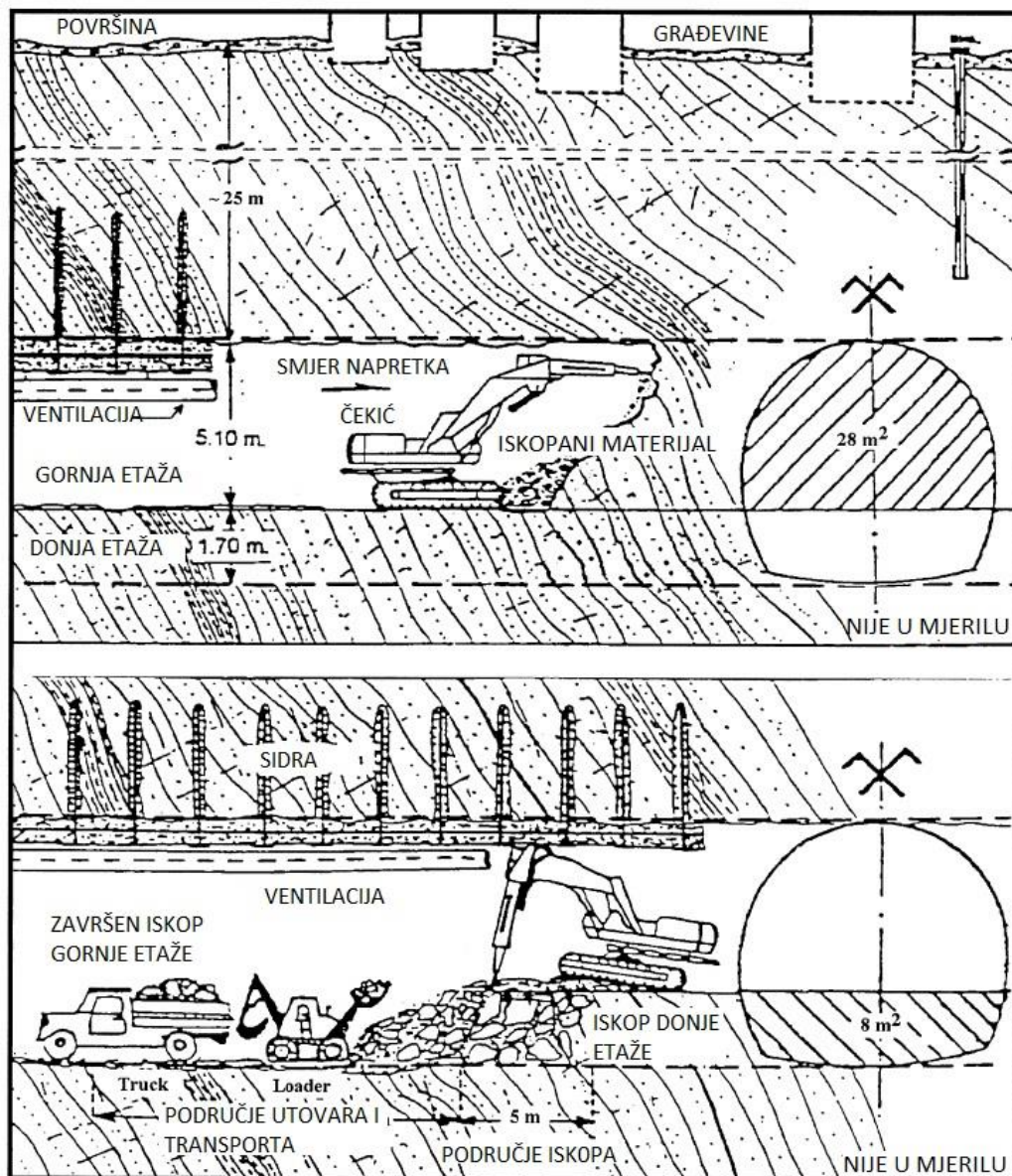
Slika 3-12. Linija Yenikapi – Levent (Bilgin i dr., 2002.)

Iskop se vršio pomoću hidrauličnog čekića zbog nižih kapitalnih investicija kao i zbog geoloških uvjeta. Istanbul se nalazi u Trakijskoj regiji. RQD vrijednosti navedene regije imaju raspon od 0-75%. Tijekom iskopa se naišlo na nekoliko dajkova andezita i dijabaza koji imaju RQD 100% što je imalo utjecaj na vrijeme napretka. Također je stijena u nekim

zonama bila visoko frakturirana zbog velikog broja rasjeda i diskontinuiteta. Jednoosna tlačna čvrstoća stijene je varirala od 30 do 150 MPa (Bilgin i dr., 2002.).

Pri iskopu se koristila Nova Austrijska Tunelska Metoda (NATM) zbog velike razlike u strukturi stijene po cijeloj duljini metroa. Za privremenu podgradu su se koristila sidra duljine 3-4 metra, žičana mreža i mlazni beton. Završna obloga tunela je napravljena od lijevanog betona debljine 35-45 cm ovisno o promjeru tunela (Bilgin i dr., 2002.).

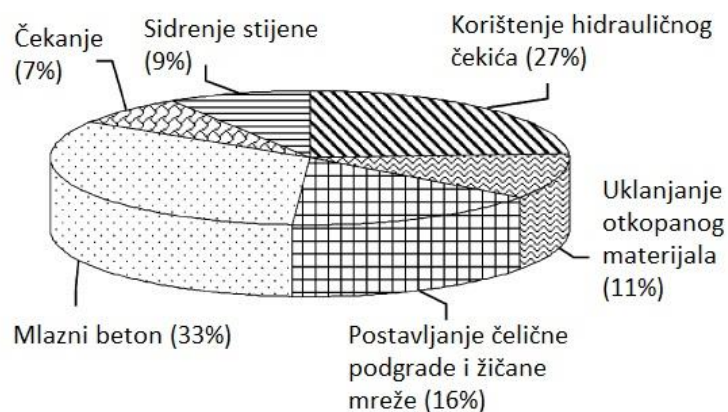
Jednotračni tuneli su poprečnog presjeka od 36 m² te se iskop vršio u dva koraka. Navedeni poprečni presjek je podijeljen na dvije etaže. Prvo se vrši iskop gornje etaže koja ima poprečni presjek 28 m². Nakon što je postignut napredak od 30 m na gornjoj etaži bager se prebacuje na iskop donje etaže. Donja etaža je poprečnog presjeka 8 m². Navedeni proces je prikazan na slici 3-13.



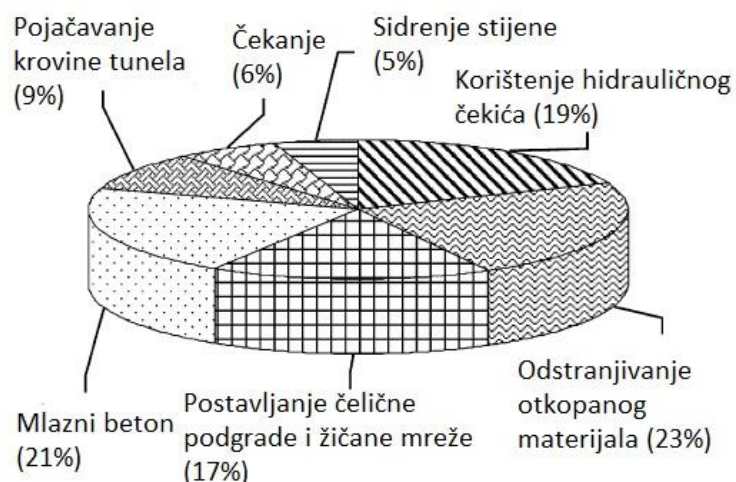
Slika 3-13. Ilustracija iskopa na dvije etaže (Bilgin i dr., 2002.).

Kada pogledamo vrijeme iskorištenja čekića za obje faze možemo vidjeti da su u prosjeku korišteni 22% vremena dok je na transport i utovar otpalo 17% vremena. Podgrađivanje mlaznim betonom je uzelo 27%, a vrijeme čekanja u koje spadaju kvarovi strojeva i dolazak radnika na radilište 6-7% vremena. U drugoj fazi radova je stijena bila više frakturirana što je zahtijevalo radove na pojačanju kalote tunela. Velika razlika u vremenu za utovar i transport materijala između prve i druge faze je zbog toga što su korištene drukčije metode. Postotci vremena potrebni za razne operacije su prikazani na slikama 3-14. i 3-15. Vrijeme napretka se najčešće izmjenjivalo od 2 do 3 m dnevno (Bilgin i dr., 2002.).

Važno je napomenuti da nisu za iskop svih tunela korišteni hidraulični čekići. Tuneli kao što je platformni tunel stanice Taksim poprečnog presjeka 64 m² i duljine 238 m su iskopani pomoću strojeva za sukcesivni iskop (Bilgin i dr., 2002.).

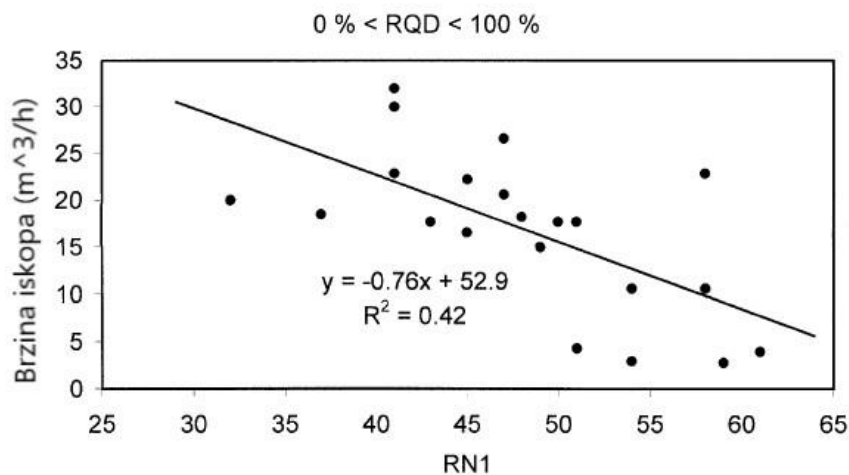


Slika 3-14. Vremenski udio pojedinih operacija u prvoj fazi iskopa (Bilgin i dr., 2002.)



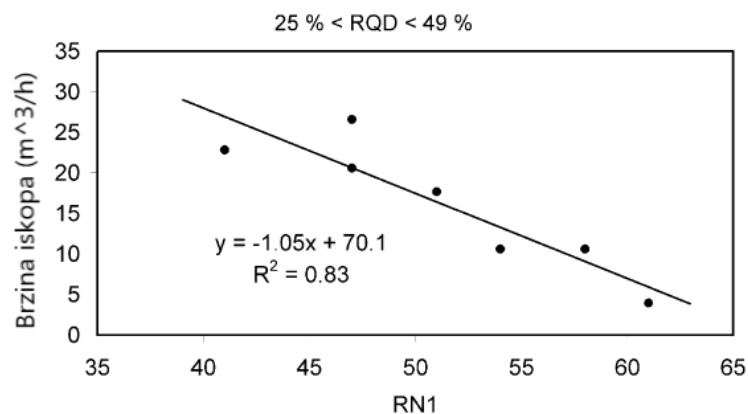
Slika 3-15. Vremenski udio pojedinih operacija u drugoj fazi iskopa (Bilgin i dr., 2002.)

Kao što je već spomenuto u poglavlju 2.2. postoji odnos između vrijednosti ispitivanja tvrdoće Schmidtovim čekićem i brzine otkopa hidrauličnim čekićem. Model koji predviđa brzinu otkopa u odnosu na tlačnu čvrstoću i vrijednosti RQD-a je obradio i objavio Bilgin 1996. i 1997. Još prije toga je poznato da su vrijednosti tvrdoće dobivene Schmidtovim čekićem dobar indikator tlačne čvrstoće i diskontinuiteta stijene. To je potaklo istraživanje o korištenju Schmidtovog čekića za predviđanje brzine iskopa hidrauličnog čekića. Upravo su ovi tuneli odnosno tuneli linije Levent i tunel linije Taksim bili korišteni za navedeno istraživanje. Za ispitivanje se koristio čekić Montabert BRH 625 montiran na bager Fiat Hitachi FH tip 200 E. Odnos između vrijednosti dobivenih Schmidtovim čekićem, označeni sa RN1, i brzine iskopa navedenim čekićem su prikazani na slici 3-16 (Bilgin i dr., 2002.).



Slika 3-16. Odnos brzine iskopa i rezultata Schmidtovog čekića (Bilgin i dr., 2002.)

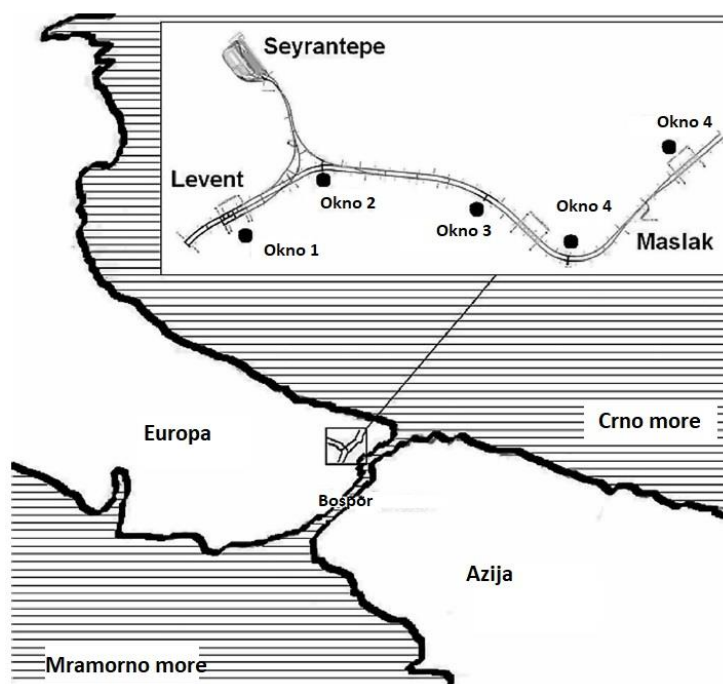
Na ovoj slici su prikazani rezultati svih vrijednosti RQD-a. Jasno je vidljivo da su „raspršeni“ te imaju jako nizak koeficijent korelacije od samo 0,4. Zbog toga su se brzine otkopa i vrijednosti dobivene Schmidtovim čekićem morale grupirati po vrijednostima RQD-a. Primjer rezultata koji su dobiveni je prikazan na slici 3-17. Ono što se vidi nakon grupiranja rezultata je da je koeficijent korelacije skočio sa 0,4 na 0,8. Iz toga možemo zaključiti da grupiranjem podataka dobivamo puno pouzdanije rezultate za predviđanje performansi hidrauličnog čekića. Također se strogo naglašava kako je još in-situ ispitivanja potrebno kako bi ovaj model predviđanja performansi postao što bolji (Bilgin i dr., 2002.).



Slika 3-17. Odnos između brzine iskopa i rezultata Schmidtovog čekića za RQD od 25% do 49% (Bilgin i dr., 2002.).

3.6.2. Istanbul metro Seyrantepe – Maslak

Na ovoj liniji se vršio iskop dva paralelna tunela ukupne duljine 16,189 m što je uključivalo 5234 m spojnih i servisnih tunela. Glavni izvođači su bili Garanti-Koza i Alsim-Alarko konzorciji. Radovi su započeli 2005. godine te su završeni 2009. Iskop tunela se vrši na 4 otkopna čela, 2 za svaki tunel, koji idu jedan prema drugom. Do radnog čela tunela se pristupalo pomoću okna dubokih od 18 m do 30 m poprečnih presjeka 108 m². Položaj tunela je prikazan na slici 3-18 (Tuncdemir, 2007.).

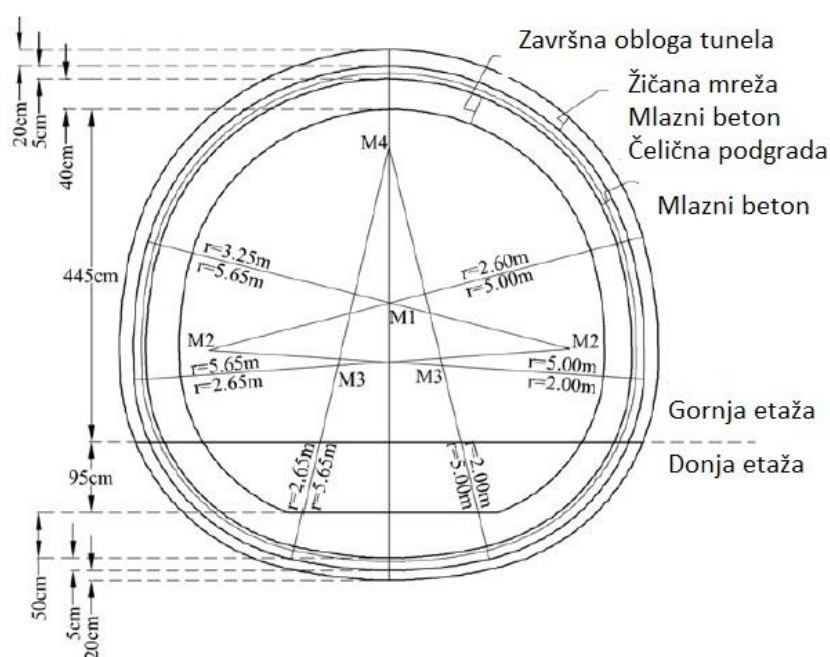


Slika 3-18. Položaj tunela Seyrantepe – Maslak (Tuncdemir, 2007.)

Poprečni presjek tunela iznosi $36,85 \text{ m}^2$ te se iskopava u dvije etaže. Gornja etaža je poprečnog presjeka $28,79 \text{ m}^2$ dok je donja etaža poprečnog presjeka $13,67 \text{ m}^2$ (Tuncdemir, 2007.). Presjek tunela je prikazan na slici 3-19.

Iskop se vrši pomoću hidrauličnog čekića zbog niskih vrijednosti RMR-a. Metoda bušenjem i miniranjem nije bila prikladna zbog toga što se radovi vrše ispod naseljenog mjesta što ju dosta ograničava (Tuncdemir, 2007.).

Kao sustav podgrade se koristi sidrenje stijene, žičana mreža, mlazni beton i čelični lukovi. Debljina mlaznog betona iznosi 20 cm, čelična podgrada je postavljena svaka 1,2 m dok duljina sidara iznosi 3 do 4 m. U oknima broj 3 i 5 se koristio sustav cijevnih kišobrana zbog jako meke stijene kako bi se učvrstilo čelo i kalota tunela (Tuncdemir, 2007.).



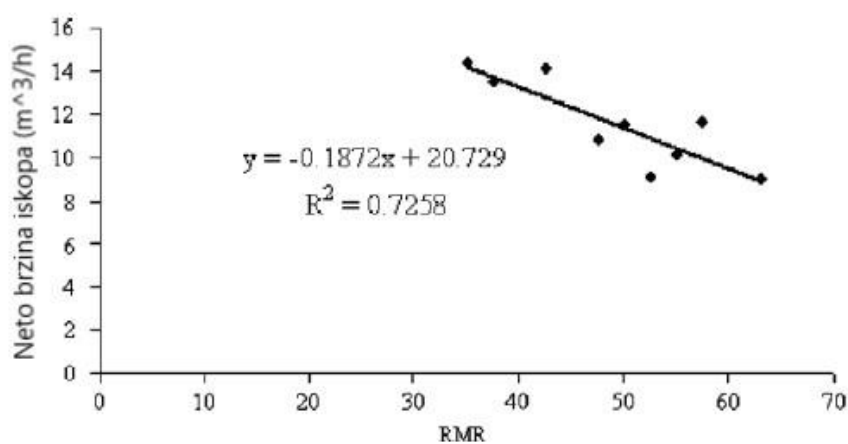
Slika 3-19. Poprečni presjek tunela (Tuncdemir, 2007.).

Učinkovitost hidrauličnih čekića je mjerena u oknu broj 4 na sva 4 tunela. Koristili su se Volvo EW160B i EC180B bageri koji su upareni s hidrauličnim čekićima MTB 85.

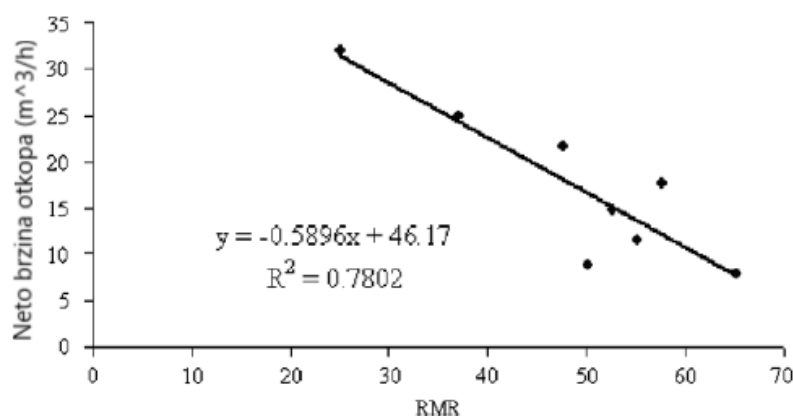
Karakteristike čekića su slijedeće (Tuncdemir, 2007.):

- težina čekića = 950 kg
- energija udara = 1660 J
- frekvencija udara = 350 – 700 udara/min
- protok ulja = 60 – 120 l/min
- operativni pritisak = 125 bara

Također su se mjerila vremena svih pojedinih operacija pri iskopu tunela kao i vrijednosti RMR-a. Pronađena je uska povezanost između vrijednosti RMR-a i brzine otkopa hidrauličnog čekića. Ta povezanost nam sugerira da je moguće predvidjeti brzinu otkopa preko vrijednosti RMR-a. Odnos između te dvije vrijednosti je prikazan na slikama 3-20. i 3-21. Važno je napomenuti da ta povezanost vrijedi samo za hidraulične čekiće pri iskopu tunela dok se za druge primjene preporuča korištenje formula iz poglavlja 2.2. (Tuncdemir, 2007.).



Slika 3-20. Odnos između neto brzine iskopa i RMR-a na gornjoj etaži (Tuncdemir, 2007.)

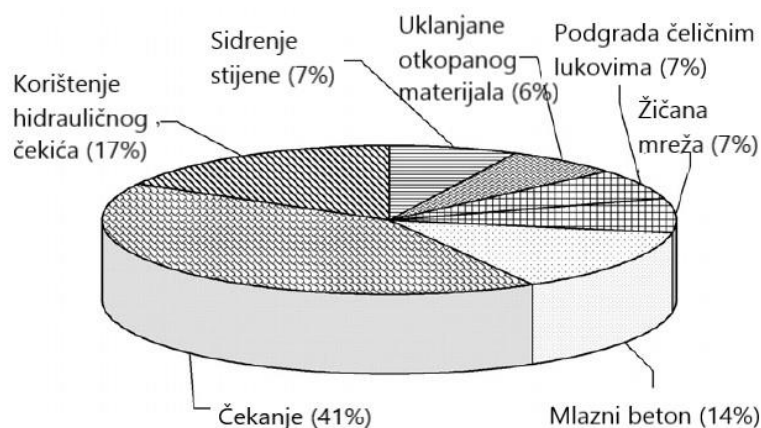


Slika 3-21. Odnos između neto brzine iskopa i RMR-a na donjoj etaži (Tuncdemir, 2007.)

Ono što se može primijetiti je da je za iste vrijednosti RMR-a brzina iskopa na donjoj etaži duplo veća. Drukčija primjena čekića može biti objašnjenje za ovo. Pri iskopu donje

etaže ne postoje neka pravila iskopa kojih se moramo pridržavati kao pri iskopu samog čela tunela na gornjoj etaži. Razlog ovoga također može biti orijentacija čekića. Pri iskopu donje etaže čekić je vertikalna dok je pri iskopu gornje etaže u horizontalnom položaju. Zbog toga masa čekića značajno pridonosi efikasnosti iskopa na donjoj etaži (Tuncdemir, 2007.).

Udio pojedinih operacija u vremenu iskopa je prikazan na slici 3-22. Tu možemo vidjeti da je korištenje čekića u ukupnom vremenu iskopa na ovoj dionici metroa samo 17%. Kada se uzme u obzir da je masa korištenog čekića manja od jedne tone može se doći do zaključka da bi se upotrebom većeg čekića znatno povećao napredak tunela.

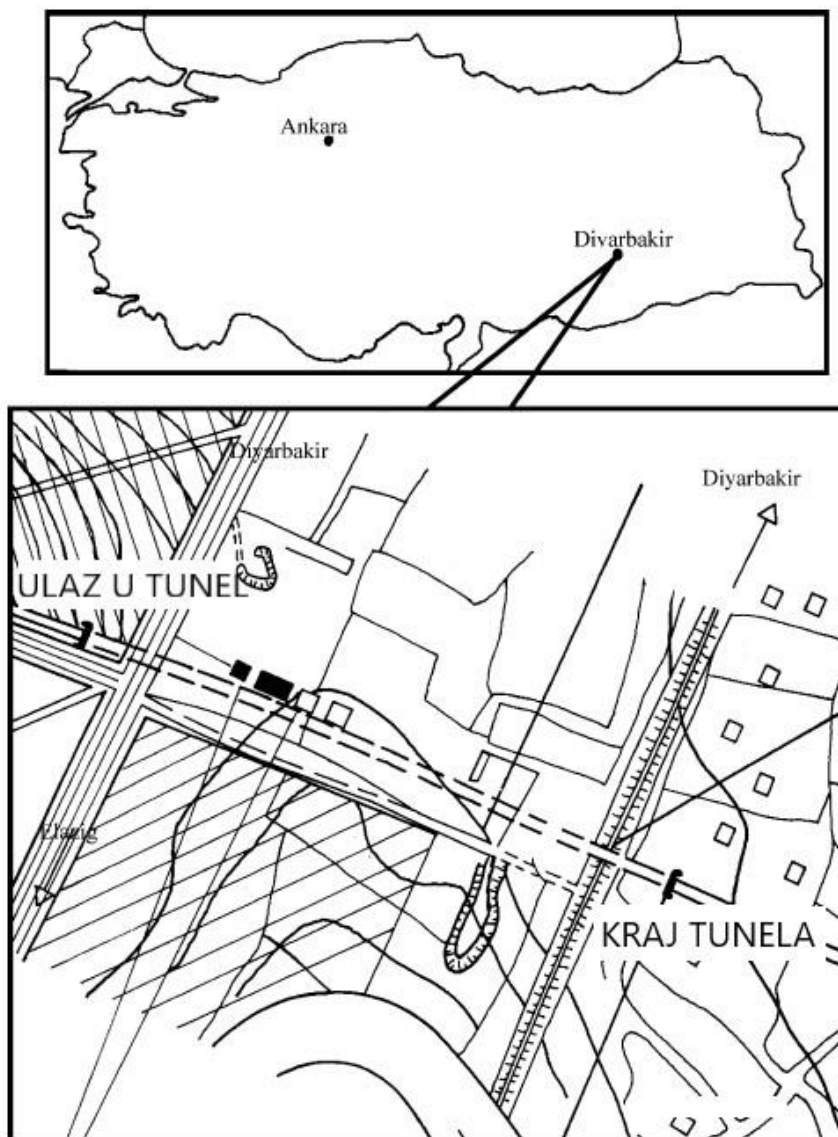


Slika 3-22. Udio pojedinih operacija u ukupnom vremenu na dionici Levent – Maslak (Tuncdemir, 2007.)

3.6.3. Iskop hidrotehničkog tunela Dicle – Krakizi

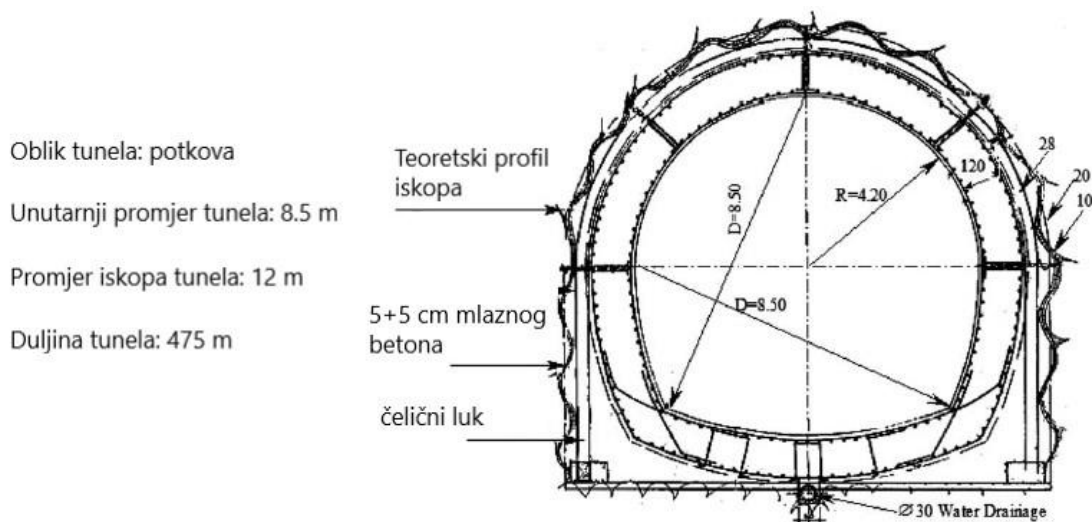
Projekt Dicle - Krikazi je nastao u svrhu navodnjavanja ravnica Mardin i Svur te ga je napravila GURIS korporacija. Iskop tunela je potreban zbog autoceste i željeznice dok je ostatak projekta napravljen kao otvoreni kanal. Položaj tunela je prikazan na slici 3-23.

Provedena geotehnička istraživanja su pokazala veliku raznolikost geoloških formacija. Prvih 65 m tunela je prekriveno Selmo formacijom koja se sastoji od glinenaca, pješčenjaka i konglomerata. Ostatak tunela je prekriven Selmo formacijom iznad koje se još nalazi bazalt. Budući da je debljina bazalta između 1 i 9 m odlučeno je da će tunel ići kroz Selmo formaciju. Isto tako je tunel izgrađen ispod razine podzemne vode (Ayhan i Topal, 2004.)



Slika 3-23. Položaj hidrotehničkog tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)

Zbog velikog promjera tunela i čestih izmjena geoloških formacija koristila se Nova Austrijska Tunelska Metoda (NATM). Tunel se iskapa u dvije etaže. Prvo se vrši iskop gornje etaže u punoj duljini od 475 m poprečnog presjeka 56,52 m². Nakon toga se vrši iskop donje etaže presjeka 68,4 m² (Ayhan i Topal, 2004.). Poprečni presjek tunela je prikazan na slici 3-24.



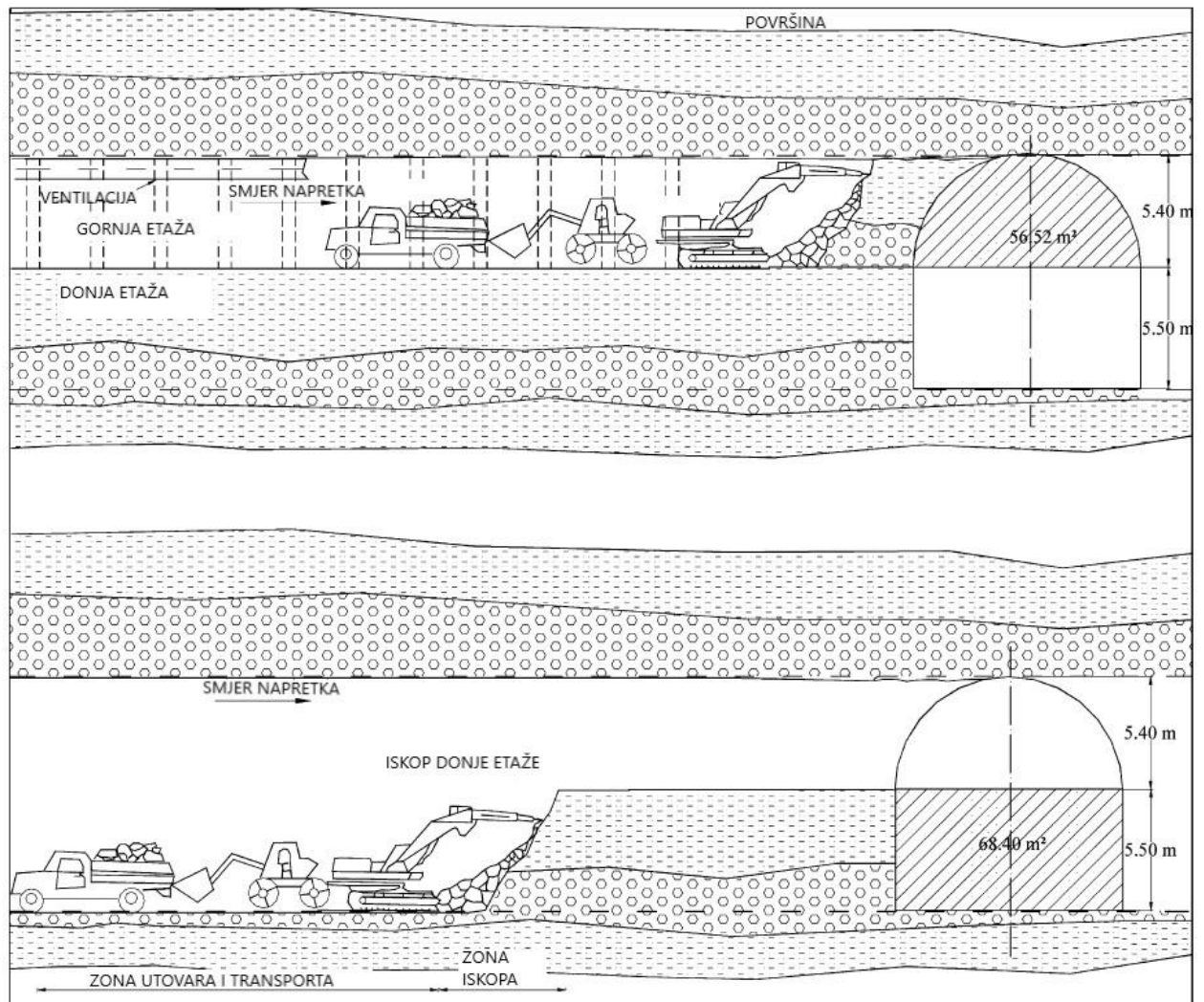
Slika 3-24. Poprečni presjek tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)

Zbog slabe strukture Selmo formacije i prisutnosti podzemne vode nepodgrađena udaljenost od čela tunela iznosi samo 0,8 m te se čelični lukovi postavljaju svakih 0,5 m. Za privremenu podgradu je korišteno 5 + 5 cm mlaznog betona u kombinaciji s žičanom mrežom. Obloga tunela se sastoji od 120 cm debelog ojačanog betona koji čini oblik konjske potkove (Ayhan i Topal, 2004.).

Iskop dvije etaže prikazan na slici 3-25 se vršio sa bagerom CAT-320 mase 20 t u kombinaciji s MTB-210 hidrauličnim čekićem mase 1250 kg kao i s bagerom HITACHI-355 mase 35 t s čekićem MTB-210 mase 2100 kg. Iskopani materijal se uklanjao pomoću utovarivača i kamiona. (Ayhan i Topal, 2004.). Performanse strojeva su prikazane u tablici 3-2.

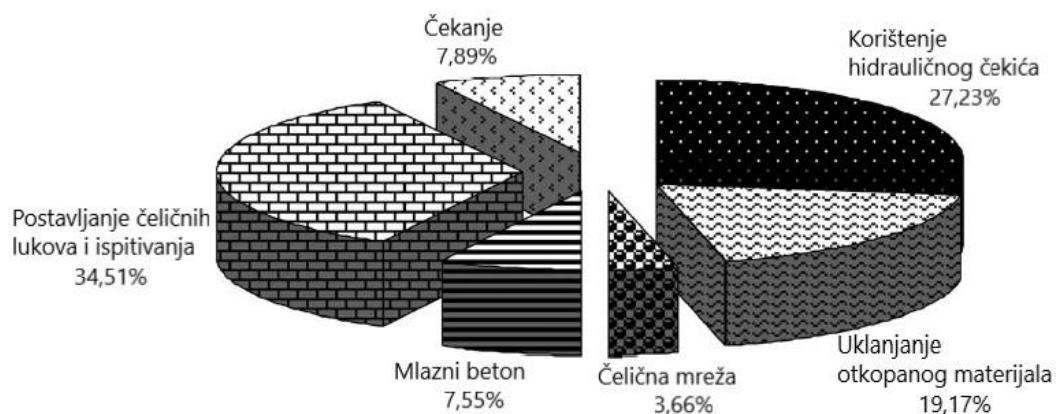
Tablica 3-2. Performanse strojeva u tunelu Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)

Parametar	Stopa iskopa
Prosječno vrijeme napretka	7,49 m ³ /h
Prosječno dnevno vrijeme napretka	1,44 m/dan
Prosječno tjedno vrijeme napretka	10,08 m/tjedan
Prosječno mjesečno vrijeme napretka	43,18 m/mjesec
Najbolje dnevno vrijeme napretka	1,68 m/tjedan
Najbolje tjedno vrijeme napretka	11,76 m/tjedan
Najbolje mjesečno vrijeme napretka	50,37 m/mjesec



Slika 3-25. Ilustracija metode iskopa tunela Dicle – Krakizi (Ayhan i Topal, 2004.)

Generalno je iskop hidrauličnim čekićima bio uspješan, ali je na dijelu tunela od 419 – 430 m zbog velikog RQD-a od 90% stopa iskopa pala za 33%. Također je bila velika potrošnja alata zbog velike čvrstoće stijenske mase. Položaji rada hidrauličnog čekića su često prouzrokovali kvarove kao što su kvarovi klipova, curenje ulja te oštećenja radnog elementa. Ti kvarovi su uzeli 75% zastoja iskopa. Također je i postavljanje podgrade izvođeno sa maksimalnim oprezom zbog dubine tunela, podzemne vode kao i promjera tunela. Na slici 3-26. je prikazan udio pojedinih operacija u ukupnom vremenu iskopa (Ayhan i Topal, 2004.).



Slika 3-26. Udjeli pojedinih operacija u ukupnom vremenu iskopa (Ayhan i Topal, 2004.)

Tijekom iskopa gornje etaže tunela prtok vode je iznosio 10 l/s. Taj pretjerani prtok vode je uzrokovao urušavanja u zoni kalote tunela koja se sastoji od zdrobljenog i frakturiranog konglomerata i pješčenjaka. Takvi prekidi u krovini su se nalazili na svaka 2 m s šupljinama dubokim 10-20 cm. To je generiralo dodatnih 330 m³ materijala koji se morao ukloniti. Urušena područja su popunjena mlaznim betonom. U zoni tunela od 180 – 331 je također bio prtok vode od 10 l/s. Zbog toga je konstruiran sustav odvodnje odnosno kanali sa svake strane tunela. Unatoč tome kombinacija frakturiranog konglomerata i vode je stvorila kaverne duboke 60 – 170 cm volumena 1320 m³. Nakon 419 m su takvi prekidi nestali zbog tvrdog i čvrstog glinenca (Ayhan i Topal, 2004.).

Iako su podzemne vode doprinijele velikom broju problema što se tiče stabilnosti, mjerenjima u tunelu i na površini je utvrđeno da nije došlo do značajnih slijeganja i deformacija. Kao što je već prikazano najviše vremena je potrošeno na sami iskop hidrauličnim čekićem kao i na podgrađivanje. Veća urušavanja su spriječena pomoću malih razmaka između lukova. Zbog radnog položaja hidrauličnog čekića, njegovi kvarovi su uzrok većine zastoja iskopa.

4. ISKOP HIDRAULIČNIM ČEKIĆEM NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

Pri eksploataciji tehničkog kamena na površinskim kopovima najraširenija i mogli bismo reći najekonomičnija metoda dobivanja mineralne sirovine jest masovno miniranje. Pri otpucavanju u metodi masovnog miniranja u trenu dobijemo goleme količine materijala koji se dalje oplemenjuju (Kujundžić, 2015.).

Kamenolomi su dugotrajni projekti te se sirovina u njima može eksploatirati desetljećima. Kao što je već rečeno ekspanzijom gradova i naseljenih mjesta kroz to vrijeme kamenolomi se mogu naći u njihovoj neposrednoj blizini. Upravo u takvim sredinama hidraulični čekići nude svoje prednosti. U njima su miniranja, kao najproduktivniji i najekonomičniji način dobivanja čvrstih i vrlo čvrstih stijena, nepoželjna ili čak zabranjena. U tim slučajevima nam hidraulični čekići nude rješenje koje uklanja probleme vezane za rukovanje eksplozivima, smanjuje utjecaj na okolinu, odnosno smanjuje štetne utjecaje buke, vibracije i prašine i to bez prekida radnih operacija. Isto vrijedi i za sekundarni iskop odnosno za usitnjavanje vangabaritnih blokova. Kada uspoređujemo hidraulični čekić s ostalim metodama mehaničkog iskopa stijena koje se primjenjuju u sličnim stijenama hidraulični čekić zahtjeva manju potisnu silu. Noseća konstrukcija bagera koji nosi hidraulični čekić ne mora biti velika da bi omogućila prodiranje radnog alata. Upravo zbog toga su bageri koji nose hidraulični čekić puno pokretljiviji i fleksibilniji te njihova selektivnost otkopavanja kao i bolja mogućnost iskorištenja defekata stijenske mase za njeno veće pridobivanje (Klanfar, 2014).

Kao što je već spomenuto ne postoji standardizirani ili opće prihvaćeni način određivanja učinka hidrauličnog čekića. Proizvođači u svojim materijalima odnosno dokumentaciji navode okvirne procjene učinka temeljene na rezultatima iz prakse. Takve informacije mogu biti zavaravajuće i kontradiktorne. Caterpillar npr. vapnence i dolomite stavlja u grupu gdje su hidraulični čekići najproduktivniji dok ih po tome Atlas Copco svrstava u srednje produktivne (Klanfar, 2014).

Također učinak iskopa ovisi i o ljudskom faktoru odnosno o sposobnosti onoga koji upravlja strojem. Produktivnost hidrauličnog čekića pri iskopu mineralne sirovine iznosi od 30 – 250 m³/h. Za proračun iskopa se koriste jednadžbe iz drugog poglavlja ovog rada koje su bazirane na iskopu tunela jer navedena istraživanja nisu provedena na površinskim kopovima.

Ukoliko koristimo hidraulični čekić za iskop na površinskim kopovima bolje ćemo rezultate postići u uslojenoj i razlomljenoj stijeni, što je upravo suprotno od miniranja.

Metodu eksploatacije hidrauličnim čekićima karakteriziraju niske etaže (3-5 m) kako bi bila osigurana čim veća dostupnost i preglednost pri radu s bagerom (Kujundžić, 2015.).

Čimbenici koji utječu na izbor metode iskopa hidrauličnim čekićima:

- mali obujam proizvodnje
- geologija
- selektivno otkopavanje
- zaštita okoliša

U nekim slučajevima malog obujma proizvodnje eksploatacija hidrauličnim čekićima može biti ekonomičnije rješenje od miniranja. Korištenjem hidrauličnih čekića eliminiramo potrebu za skladištenjem eksploziva ili za kooperantima koji će navedeno izvesti. Iskop je također kontinuiran te nema prekida u radovima.

Selektivno otkopavanje nam dopušta da eksploatiramo sirovinu različite kvalitete u nehomogenom ležištu. To se radi ako postoje posebni zahtjevi za kvalitetom ili čistoćom mineralne sirovine. Također velike razlike u kvaliteti mogu prouzrokovati veće troškove pri oplemenjivanju mineralne sirovine. Ono što karakterizira selektivni otkop je da se eksploatira na više mjesta odjednom kao i niske etaže. Ovaj način iskopa je jako fleksibilan.

Kada se govori o zaštiti okoliša osim već spomenute buke i prašine problem može biti i emisija plinova pri miniranju pogotovo ako se u blizini nalazi zaštićeni okoliš poput parkova prirode i nacionalnih parkova.

U tablici 4.1. su prikazani neki primjeri iskopa mineralne sirovine pomoću hidrauličnog čekića.

Tablica 4-1. Primjeri iskopa mineralne sirovine hidrauličnim čekićem (Kujundžić, 2015.)

God.	Država, lokacija	Mineralna sirovina	Tip čekića i teh. karakteristike	Tip bagera	Učinkovitost
1989.	Velika Britanija, Everard	Pješčenjak	Montabert BRV 32, 1050-440 udaraca/min, energija udarca varijabilna 1000-4000 J, Masa čekića 1250 kg	CAT 215	20000 t/mjeseč ⁽¹⁾
1989.	Italija, Monterotondo (Rim)	Vapnenac	Krupp HM 2000CS, Masa čekića 2970 kg, 250-550 udaraca/min	CAT 235	300-400 m ³ /dan ⁽²⁾
1990.	Velika Britanija, Dorset	Lapor (tvrđi)	Rammer G120, Masa čekića 5800 kg, Energija pojedinog udarca 12000 J, 300-450 udaraca/min	Liebherr 974	200 t/h ⁽³⁾
1993.	Rusija, Poluotok Kola	Željezna ruda	2 x Krupp HM 2000CS, 2 x Krupp HM 185, masa čekića 243 kg, 450-1200 udaraca/min	Nepoznat	300 m ³ /8h ⁽⁴⁾
1993.	Velika Britanija, Chorley Lanes	Pješčenjak	Rammer G100 City, masa čekića 3800 kg, energija pojedinog udarca 9000 J, 350-550 udaraca/min	Akerman H25c	Radi sa 70% kapaciteta 500-750t/dan ⁽⁵⁾
1995.	Italija, Palermo	Vapnenac	2 x Krupp 2500CS-Cs, masa čekića 4120 kg, 240-530 udaraca u minuti 1 x Krupp HM 4000CS-c, masa čekića 6900 kg, 230-440 udaraca/minuti	Nepoznat	Nepoznat ⁽⁶⁾

4.1. Primjeri iskopa u površinskim kopovima

4.1.1. Kamenolom Chittorgarh

Kamenolom Chittorgarh se nalazi u saveznoj državi Radžastan te je pod upraviteljstvom Birla korporacije u odjelu za proizvodnju cementa. U kamenolomu se vrši eksploatacija vapnenca koji se dostavlja u tvornicu cementa Chanderiya. Navedena tvornica može proizvesti preko 6,5 milijuna tona cementa godišnje (Indeco, 2016.).

U kamenolomu se koristila metoda bušenja i miniranja 20 godina sve do 2011. godine. Te je godine sudski odlučeno da se navedena metoda ne može više koristiti iz razloga jer je preveliki rizik za oštećenje tvrđave iz 14. stoljeća koja se nalazi u blizini koja je ujedno i

nacionalni spomenik. Navedena odluka je imala za posljedicu potpunu reorganizaciju kamenoloma i investiciju u nove strojeve (Indeco, 2016.). Bager s hidrauličnim čekićem je prikazan na slici 4-1.



Slika 4-1. Hitachi 1200 s hidrauličnim čekićem u kamenolomu Chittorgarh (Hitachi 1200, 2016.)

Vapnenac koji se eksploatira ima promjenjivu tlačnu čvrstoću. Ona se kreće od 100 do 150 MPa. Udio kalcijevog karbonata u stijeni je od 72% do 88%. Fragmentacija također varira i zbog toga u kombinaciji s tlačnom čvrstoćom proizvodni učinak jako ovisi o geološkim karakteristikama. Satna proizvodnja varira od 110 t do 170 t (Indeco, 2016.).

Ležište se trenutno otkopava sa 16 bagera i 7 hidrauličnih čekića koji se rotiraju u 3 smjene. Bageri koji se koriste uključuju Hitachi 1200, Komatsu 1250 i Liebherr 984, dok su neki od čekića Indeco HP 18000 i Epiroc HB 10000 (Indeco, 2016.).

Kamenolom bi trebao opskrbljivati tvornicu sa 15000 t mineralne sirovine, ali trenutni mehanički iskop za to nije dovoljan. Dnevno se uspije iskopati 7500 t te su zbog toga kao i zbog nedovoljne kvalitete proizvodnju morali udružiti s drugim kamenolomom (Indeco, 2016.).

4.1.2. Kamenolom Pozzelle

Kamenolom Pozzelle se nalazi blizu grada Canosa uz cestu 181. Kamenolom koji je aktivan od 1980. te je dosad eksploatirao samo arhitektonski kamen tek je nedavno otkrio da može proizvoditi tehničko – građevni kamen za kolosječni zastor. Ono što je zanimljivo je da se na nekim mjestima eksploatira arhitektonsko - građevni kamen dok se na drugima eksploatira navedeni materijal (Indeco, 2016.). Kamenolom je prikazan na slici 4-2.



Slika 4-2. Kamenolom Pozzelle (HP 18000 FS, 2016.)

Skup istraživanja i laboratorijskih analiza je pokazao da ležište sadrži metamorfne karbonatne stijene s dolomitnim karakteristikama. Takav kamen se smatra idealnim za proizvodnju zastora jer zadovoljava sve standarde. Zastor može biti napravljen samo od prirodnog materijala koji posjeduje dobru tlačnu čvrstoću, otpornost na abraziju i mraz te ne smije sadržavati štetna vlakna poput azbesta. Laboratorijski testovi su pokazali da sirovina iz Pozzelle kamenoloma posjeduje čvrstoću od 139 do 144 MPa kao i dobru otpornost na abraziju te se može koristiti kao zastor prve ili druge kategorije (Indeco, 2016.).

Razlog zašto se eksploatacija vrši hidrauličnim čekićima je blizina ceste 181 kao i zbog toga što je područje oko kamenoloma agrikulturno aktivno pa je zbog toga prašina veliki problem. Za iskop je odabran bager Hitachi 870 mase 90 t u paru s hidrauličnim čekićem Indeco 18000 FS. U kamenolomu postoji i drugi hidraulični čekić ali se on koristi za razbijanje blokova arhitektonskog kamena. Tijekom smjene od 8 sati navedeni čekić uspije

iskopati 700-800 m³. U ovom slučaju je potrebno i dodatno oplemenjivanje sirovine. Primarno drobljenje se izvodi u kamenolomu dok se sekundarno drobljenje , prosijavanje i pranje sirovine odvijaju u sjedištu firme gdje se strogo nadgledaju (Indeco, 2016.).

Bitno je napomenuti da je eksploatacije ovog materijala jako teška zbog njegove tvrdoće kao i činjenice da navedeni nije uopće frakturiran. Zbog toga je odabran čekić s udarnom energijom od 25000 J i 460 udara po minuti.

5. ZAKLJUČAK

Hidraulični čekići su naišli na široku primjenu kako u građevinskoj tako i u rudarskoj struci zbog svoje fleksibilnosti i jednostavnosti. Široka primjena je dovela do njihovog ubrzanog razvoja. Osim što imaju sve veću masu i energiju udara isto tako postaju sve pouzdaniji razvojem raznih sigurnosnih sustava.

Jako je bitan pravilan izbor hidrauličnog čekića koji mora biti usklađen sa strojem koji ga nosi. Pri izboru čekića se mora paziti na tehničke specifikacije koje proizvođači navode na svojim stranicama i u brošurama jer su navedene nekonzistentne i zavaravajuće. Iz tog razloga potrebno je koristiti jednadžbe kako bi dobili neke rezultate i preko njih usporedili čekiće. Postoji sve više istraživanja koja nam služe da bi saznali otkopni učinak čekića bilo to preko RMR-a, RQD-a kao i izračunom preko formula.

Iako se danas za iskop tunela TBM smatra najboljom metodom jednostavno postoje slučajevi gdje je njihova upotreba ograničena. U tim slučajevima moramo se okrenuti drugim metodama, a jedna od njih je iskop hidrauličnim čekićem. Čekić se koristi kada su geološki, lokacijski i vremenski uvjeti pogodni za njegovu upotrebu. Iako imaju svoje prednosti poput niskih investicijskih troškova i sigurnije radne okolina vremena napredovanja su još uvijek niža nego kod tradicionalne metode. Ono što se vidi iz primjera iskopa tunela hidrauličnim čekićem u ovom radu je da njihovo vrijeme napredovanja ovisi o dosta očekivanih čimbenika kao što su kvarovi, vrijeme za podgrađivanje tunela, vrijeme uklanjanje iskopanog materijala, ali i o neočekivanim čimbenicima kao što je položaj rada čekića. Za neke od tih čimbenika postoje jednostavna rješenja poput držanja jednog čekića u stanju pripravnosti.

Kada govorimo o iskopu na površinskim kopovima metoda bušenja i miniranja neupitno ima veću produktivnost, ali postoje slučajevi gdje jednostavno nije upotrebljiva bilo to iz ekoloških razloga, zbog buke i vibracija ili nam je potreban selektivan iskop. Hoće li iskop hidrauličnim čekićem biti ekonomski isplativiji? Vjerojatno ne, ali je i to moguće u nekim kamenolomima gdje se proizvodi mala količina materijala. Kada je odabrana metoda iskopa hidrauličnim čekićem gotovo uvijek je posrijedi neka zabrana koja se odnosi na miniranje, a tu se navedena metoda pokazala kao dobra alternativa te se sve češće upotrebljava.

6. LITERATURA

Ayhan M., Topal E., 2004., Excavation and support of the Dicle-kralkizi water tunnel: an overview. Izvješće. Turska: Sveučilište Dicle

Bilgin N., Copur H., Balci C., 2013., Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries, Boca Raton, CRC press

Bilgin N., Copur H., Dincer T., 2002., The performance prediction of impact Hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. Studija. Istanbul.

Klanfar M., 2014., Optimizacija eksploatacije dijabaza u složenim ležišnim uvjetima., Zagreb. Doktorat. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Kujundžić T., 2015., Rudarski i geotehnički strojevi., Zagreb. Nastavni tekst. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Tuncdemir H., 2007., Impact hammer applications in Istanbul metro tunnels. Studija. Istanbul

WEB IZVORI:

Amato M., Ciccolella A., Colaluca N., Garofalo L., Reina A., Focus on: Tunnels: Excavation with hydraulic breakers: An guide to methods, tools and advantages.

URL: https://www.indeco.it/focuson/index_en.html (1.7.2021.)

Atlas Copco.

URL: <https://www.scribd.com/document/443741734/Hydraulic-Breakers-Mining-Applications> (02.08.2021.)

Epiroc zaštitni prsten, bez dat.

URL: [https://epiroc.scene7.com/is/image/epiroc/Breaker-dust-protector-2?\\$landscape800\\$](https://epiroc.scene7.com/is/image/epiroc/Breaker-dust-protector-2?$landscape800$) (07.07.2021.)

Hitachi 1200, 2016.

URL: https://indec.it/en/indec_applications/the-hp-18000-rises-to-the-challenge-of-an-indian-quarry/#gallery-613ffd853b074-3 (03.08.2021.)

HP 18000 FS, 2016.

URL: https://indec.it/en/indec_applications/an-hp-18000-takes-on-the-ballast-challenge/#gallery-613ffc0ddcccf-4 (03.08.2021.)

Indec, 2016., An HP 18000 takes on the ballast challenge.

URL: https://indec.it/en/indec_applications/an-hp-18000-takes-on-the-ballast-challenge/ (03.08.2021.)

Indec, 2016., The HP 18000 rises to the challenge of an indian quarry

URL: https://indec.it/en/indec_applications/the-hp-18000-rises-to-the-challenge-of-an-indian-quarry/ (03.08.2021.)

Iskop hidrauličnim čekićem, 2013.

URL: <https://www.aggbusiness.com/sites/ropl-ab/files/89005.jpg> (28.06.2021.)

Spajanje bušotina, 2016.

URL: <https://ded2pkq5zsyd4.cloudfront.net/images/article-0488/Image-3-Brenner-Base-Tunnel-Drill-blast-advance-large.jpg?v=f895d6d3c5f55ac21f4244fedca659f2ec7baf46> (04.07.2018.)

TBM, 2020.

URL: <https://miningzimbabwe.com/wp-content/uploads/2020/01/Robbins-Main-Beam-Tunnel-Boring-Machine-1024x682.jpg> (04.07.2020.)



KLASA: 602-04/21-01/144
URBROJ: 251-70-11-21-2
U Zagrebu, 13.09.2021.

Šimun Ružić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/144, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 28.04.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

ISKOP STIJENA HIDRAULIČNIM ČEKIĆIMA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Trpimir Kujundžić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Prof.dr.sc. Trpimir Kujundžić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)