

Određivanje učinkovitosti hidrauličnih čekića pri usitnjavanju blokova stijena

Brečić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:048337>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Prijeđiplomski studij rudarstva

**ODREĐIVANJE UČINKOVITOSTI HIDRAULIČNIH ČEKIĆA PRI
USITNJAVANJU BLOKOVA STIJENA**

Završni rad

Lovro Brečić

R4439

Zagreb, 2024



KLASA: 602-01/24-01/61
URBROJ: 251-70-11-24-2
U Zagrebu, 13.09.2024.

Lovro Brečić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/61, URBROJ: 251-70-11-24-1 od 30.04.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

ODREĐIVANJE UČINKOVITOSTI HIDRAULIČNIH ČEKIĆA PRI USITNJAVANJU BLOKOVA STIJENA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog 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)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

ODREĐIVANJE UČINKOVITOSTI HIDRAULIČIH ČEKIĆA PRI USITNJAVANJU BLOKOVA
STIJENA

Lovro Brečić

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

Sažetak

U radu se analizira učinkovitost hidrauličnog čekića Komac koji se koristi u kamenolomu Vetovo. U radu je također ukratko opisan princip rada hidrauličnog čekića, razvoj hidrauličnih čekića kroz povijest, te nove tehnologije u modernim hidrauličnim čekićima. U poglavlju o terenskim ispitivanjima je prikazana tablica s podacima prikupljenim na terenu.

Ključne riječi: rudarstvo, hidraulični čekić, učinkovitost, amfibolit,

Završni rad sadrži: 28 stranice, 3 tablica, 16 slika, 0 priloga, i 6 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: prof. dr. sc. Trpimir Kujundžić

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Trpimir Kujundžić
izv. prof. dr. sc. Tomislav Korman
izv. prof. dr. sc. Mario Klanfar

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO	2
2.1. Hidraulični čekić	2
2.1.1. Povijesni razvoj hidrauličnih čekića	2
2.1.2. Primjena i način rada	2
2.1.3. Moderni hidraulični čekići	5
2.2. Eksploatacijsko polje tehničko građevnog kamena „Vetovo“	6
2.2.1. Zemljopisni položaj	6
2.2.2. Fizikalno – mehanička svojstva mineralne sirovine	8
3. TERENSKA ISPITIVANJA	9
3.1. Analiza podataka	14
4. USPOREDBA UČINKOVITOSTI KOMAC HIDRAULIČNOG ČEKIĆA S KRUPP, ATLAS COPO I EPIROC ČEKIĆIMA	16
4.1. Krupp HM 1500	16
4.1.1. Izračun prosječne učinkovitosti čekića	16
4.1.1.1. <i>Izračun prosječne smjenske učinkovitosti</i>	17
4.1.1.2. <i>Izračun prosječne učinkovitosti po satu</i>	17
4.2. Atlas Copco HB 2200	17
4.2.1. Izračun prosječne učinkovitosti čekića	17
4.2.1.1. <i>Izračun prosječne učinkovitosti u t/h</i>	17
4.2.1.2. <i>Izračun srednje vrijednosti volumne gustoće</i>	18
4.2.1.3. <i>Pretvorba prosječne učinkovitosti iz t/h u m³/h</i>	18
4.3. Epiroc HB 2500	19
4.3.1. Izračun prosječne učinkovitosti čekića	19
4.3.1.1. <i>Izračun prosječne učinkovitosti u t/h</i>	19
4.3.1.2. <i>Pretvorba prosječne učinkovitosti iz t/h u m³/h</i>	19
4.4. Usporedba učinkovitosti hidrauličnih čekića	20
5. ZAKLJUČAK	21
6. LITERATURA	22

POPIS SLIKA

Slika 2-1, Shema rada i dijelovi hidrauličnog čekića (Kujundžić , 2015).....	3
Slika 2-2, Dijagram za utvrđivanje usklađenosti hidrauličnog čekića i bagera (Kujundžić , 2015).....	4
Slika 2-3, Tipovi radnog alata hidrauličnih čekića (Kujundžić, 2015)	5
Slika 2-4. Hidraulični čekić manjih gabarita korišten u graditeljstvu i radni alat oštrog završetka	5
Slika 2-5, Eksploatacijsko polje „Vetovo“	7
Slika 2-6, Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja.....	7
Slika 3-1, Bager Fiat FH270.3	9
Slika 3-2, Bager Fiat FH270.3 specifikacijska pločica	10
Slika 3-3, Bager Fiat FH270.3 katarka	10
Slika 3-4, Promjer i oblik radnog alata u kamenolomu Vetovo	11
Slika 3-5, Obilježavanje vangabaritnog bloka broj 4	12
Slika 3-6, Izgled materijala nakon usitnjavanja.....	12
Slika 3-7. Pozicioniranje čekića prije usitnjavanja vangabaritnog bloka broj 13	13
Slika 3-8. Dijagram zavisnosti.....	15
Slika 4-1, Usporedba učinkovitosti hidrauličnih čekića.....	20

POPIS TABLICA

Tablica 2-1, Fizikalno - mehanička svojstva materijala	8
Tablica 3-1, Tablica uzoraka	14
Tablica 4-1. Specifikacija hidrauličnih čekića po proizvođačima.....	16

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
L	m	duljina
l	mm	duljina
ρ	kg/m ³	gustoća
v	m/s	brzina
U_s	m ³ /8h	smjenska učinkovitost
U	m ³ /h	satna učinkovitost
U_t	t/h	satna učinkovitost u tonama
Q	l/min	protok hidrauličnog ulja,
E	kJ	energija udarca hidrauličnog čekića,

1. UVOD

Tema ovog završnog rada je usporedba učinkovitosti hidrauličnog čekića kojeg smo imali priliku testirati u kamenolomu Vetovo. Radi se o čekiću tvornice Komac, težine oko 2500 kg , promjera radnog alata 150 mm montiranog na hidraulični bager marke Fiat oznake modela FH270.3.

U daljnjem tekstu rada će se ukratko opisati razvoj, glavni dijelovi i način rada hidrauličnog čekića, te osnovno o eksploatacijskom polju tehničko – građevnog kamena Vetovo. Potom se u Tablici uzoraka 3-1, mogu vidjeti popisani i izmjereni uzorci koji su se usitnjavali hidrauličnim čekićem na željenu granulaciju od 150 – 400 mm. Na kraju će se na dijagramu na slici 4-1 prikazati usporedba učinkovitosti ispitanog čekića s čekićima sličnih karakteristika dostupnih na tržištu od proizvođača Krupp, Atlas Copco i Epiroc.

2. OPĆENITO

2.1. Hidraulični čekić

2.1.1. Povijesni razvoj hidrauličnih čekića

Počeci primjene udarnog razrušavanja stijena kreću od 1849. godine razvojem strojeva na principu mehaničkog udarnog razbijanja (Couch i Fowle). U početku su takvi alati služili za manje radove i manjih promjera bušotina zbog malih energija udara. Stotinjak godina poslije, točnije 1963. godine počinje istinski razvoj hidrauličnih čekića i njihova sve veća primjena. Krupp patentira hidraulički vođene udarne mehanizme te proizvodi čekić HM 400. Krupp nije jedini u tome, uspješnu proizvodnju još ostvaruju razne britansko – američke firme razvojem uljno-plinskih akceleratora koji su se koristili u vojne svrhe, ali su se primijenili i u privredi. Na primjer firma Ingersoll-Rand zajedno sa kompanijom Impuls products proizvodi hidraulični čekić “Hobgoblin”.

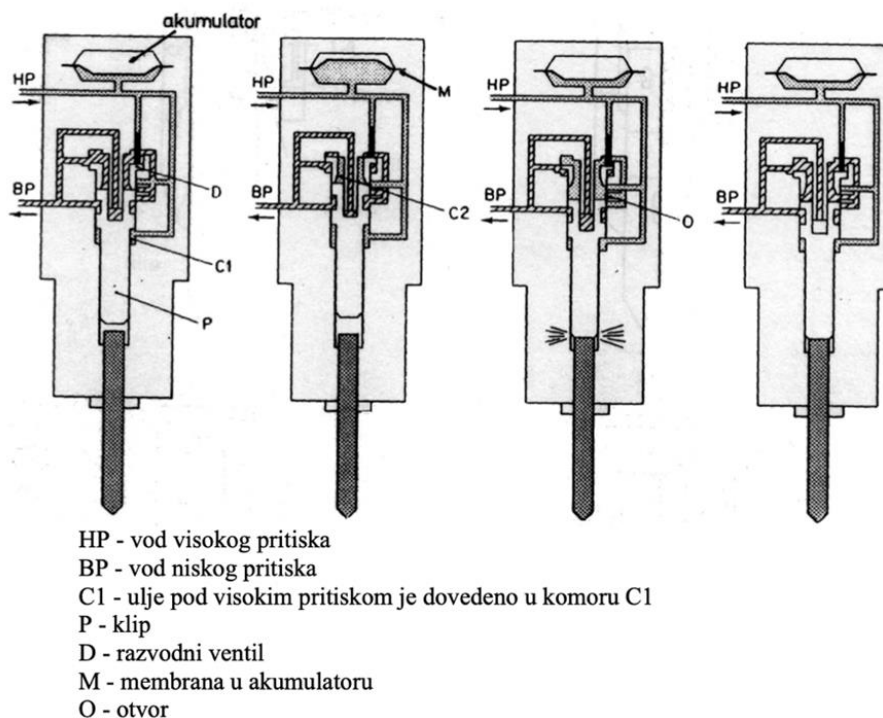
2.1.2. Primjena i način rada

Sušтина rada i princip su ostali isti od 20. stoljeća kod hidrauličnih čekića, ali razvojem tehnologije išlo se u smjeru sve veće pouzdanosti, sve većih udarnih sila, što manje vibracije i buke, proizvodnjom lakših i gabaritno manjih čekića za montažu na manje i agilnije bagere, povećavanjem ponude čekića s obzirom na potrebe privrede.

Hidraulični čekić ima široku primjenu u modernom rudarstvu i graditeljstvu te čini nezaobilazan alat. Na slici 2-4 možemo vidjeti primjer primjene hidrauličnog čekića u graditeljstvu, manjih je gabarita i na ovom se gradilištu koristio za skidanje gornjeg sloja asfalta prije dubinskih radova. U rudarstvu, kao što ćemo vidjeti i u daljnjoj razradi ovog rada, najčešća uporaba hidrauličnog čekića je na usitnjavanju vangabaritnih blokova nakon odrađenog miniranja koje želimo usitniti na red veličine 150 - 400 mm kako bi ih dalje mogli usitnjavati u drobilicama u oplemenjivačkom procesu. Komadi većih gabarita ne bi mogli proći kroz otvor primarne rešetke na oplemenjivačkim postrojenjima. Još nalazimo primjenu u radu direktno na otkopavanju, u otkrivanju otkrivke, u izradi kanala ako se na njega montira takav alat.

Glavni medij za rad hidrauličnog čekića je stlačeno ulje, iako postoje izvedbe i isključivo pomoću plina i kombinacijom stlačenog ulja i plina. Razvojem hidrauličnih bagera raste i

uporaba i razvoj hidrauličnih čekića jer se isti samo spajaju na hidraulični sustav bagera. Na slici 2-1 možemo vidjeti shemu rada hidrauličnog čekića i njegov unutarnji prikaz.



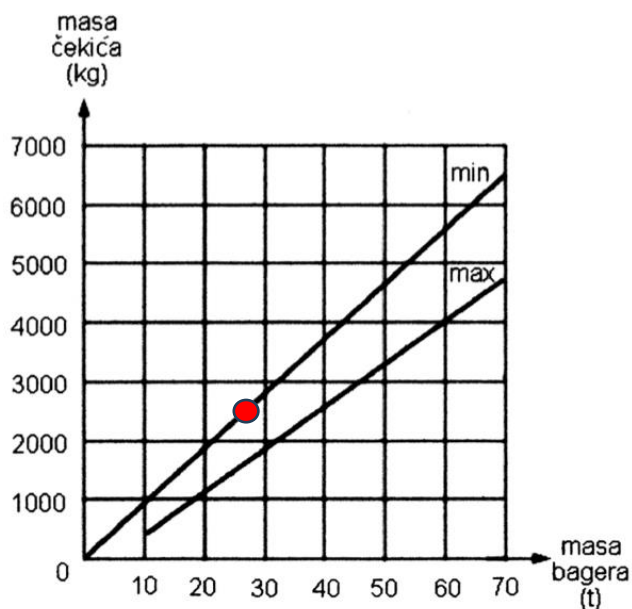
Slika 2-1, Shema rada i dijelovi hidrauličnog čekića (Kujundžić , 2015)

Ključne komponente hidrauličnog čekića uključuju:

1. **Okvir:** Drži sve dijelove zajedno i osigurava stabilnost uređaja.
2. **Cilindar s klipom:** Hidraulična tekućina pokreće klip unutar cilindra, čime se generira potrebna udarna sila.
3. **Alat za razbijanje:** Ovaj dio dolazi u kontakt s materijalom i može biti različitih oblika, ovisno o primjeni (npr. šiljak, dlijeto).
4. **Ventili:** Reguliraju protok hidraulične tekućine, omogućujući kontrolu rada čekića.
5. **Akumulator:** Održava stabilan tlak tekućine i pomaže u ublažavanju povratnih udaraca tlaka u hidrauličnom sustavu.

Svaki hidraulični čekić mora biti ispravno usklađen s masom bagera, te ne smije biti prevelikih odstupanja niti u korist jednog. To najbolje možemo vidjeti na slici 2-2. Gdje nam je jasno vidljivo da bi omjer mase bagera koji je prikazan na osi apscisa i mase čekića koji je prikazan na osi ordinata morao biti između dva prikazana pravca. Svako odstupanje od neuravnoteženosti čekića i bagera neće nužno biti vidljivo odmah na početku rada, ali kasnije će doći do smanjene učinkovitosti u radu, većeg habanja dijelova što povećava troškove i

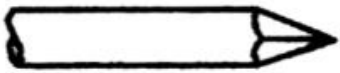
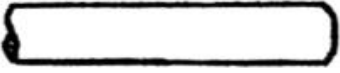
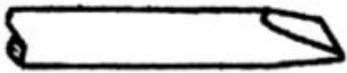
kvarove na opremi što uzrokuje zastoje u radu kamenoloma. Prema dobivenim podacima pri posjetu kamenoloma Vetovo možemo zaključiti ispravno dimenzioniranje omjera masa čekića i bagera, gdje je masa čekića 2500 kg dok je masa bagera 27 t. Označeno crvenom točkom na slici 2-2.



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

Najvitalniji dio svakog hidrauličnog čekića je njegov radni alat, koji nam je i jedino vidljiv uz sami okvir. Postoje više tipova radnog alata i njegova uporaba ovisi o potrebama svakog pojedinog radilišta, vrsti stijene koja se lomi, potrebe za finalnim proizvodom itd.

Na slici 2-3 možemo vidjeti 3 tipa radnog alata prema obliku udarnog završetka. Oštri završetak u obliku „špice“ (slika 2-4) prebacuje svu energiju rada u jednu točku, tupi završetak (korišten u kamenolomu Vetovo slika 3-4) je učinkovitiji i snažnije prenosi silu na blok, ali prilično ne selektivno lomi blokove s obzirom na željenu veličinu, dok se dljetu više koristi prilikom iskopa u stijeni. Materijal za proizvodnju radnog alata mora biti izrazito čvrst i žilav materijal kako bi habanje sveo na minimum i produžio njegov životni vijek u cilju smanjenja operativnih troškova svakog radilišta. Tako možemo naći alate proizvedene od legiranog čelika (čelik s dodacima tvrdih materijala: vanadija, kroma, nikla, molibdena) ili za vrlo teške radne uvijete gdje je abrazivnost stijene velika radni alat može biti napravljen od volfram – karbida.

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

Slika 2-3, Tipovi radnog alata hidrauličnih čekića (Kujundžić, 2015)



Slika 2-4. Hidraulični čekić manjih gabarita korišten u graditeljstvu i radni alat oštrog završetka

2.1.3. Moderni hidraulični čekići

Razvojem tehnologije razvijaju se i sve bolji i snažniji čekići, čekići za rad pod vodom. U ovom potpoglavlju će se navesti samo neke novitete koji se danas javljaju kao standardna ili dodatna oprema.

Na primjeru čekića tvornice Krupp možemo vidjeti kako su novi čekići opremljeni funkcijama „Autocontrol“, „Dustprotector“, „ContiLube® II“:

- „Autocontrol“ omogućava automatsko prilagođavanje jačine udarca kako bi smanjio sile koje djeluju na čekić, smanjio habanje ostalih dijelova, povećao učinkovitost čekića i proizveo ugađeni rad.
- „Dustprotector“ blokira prašinu pri ulasku u donje dijelove čekića i sa time sprječava habanje, pospješuje podmazivanje čime sprječava trenje, i produžuje servisne intervale.
- „ContiLube II“ je funkcija automatskog podmazivanja dijelova čekića sa čime se dobiva mogućnost kontinuiranog dugotrajnog rada, a time je habanje i trenje dovedeno na minimum.

2.2. Eksploatacijsko polje tehničko građevnog kamena „Vetovo“

2.2.1. Zemljopisni položaj

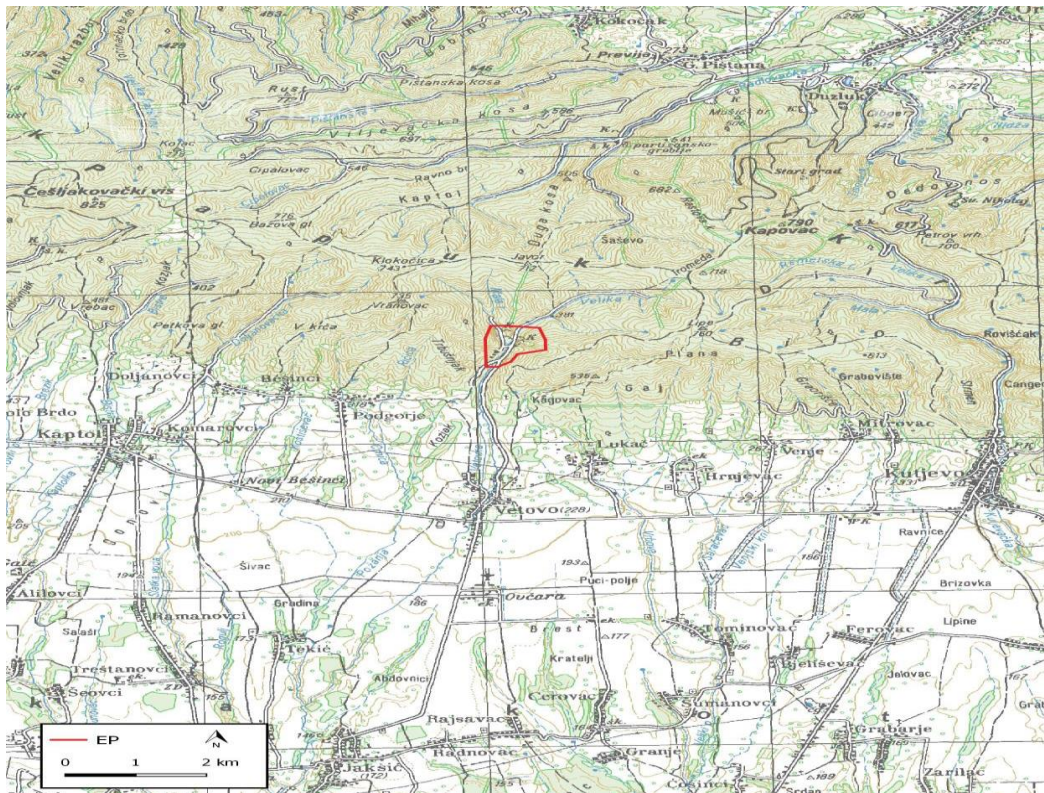
Eksploatacijsko polje „Vetovo“ (Slika 2-5) je smješteno iznad naselja Vetovo, 15 km zračne linije sjeveroistočno od Požege, podno Papuka i Krndije. Do spoja na autocestu A3 Zagreb – Lipovac, čvor Lužani udaljenost je 40 km. Na slici 2-6 vidi se kartografski položaj eksploatacijskog polja.

Površina EP-a je oko 63 hektara i nepravilnog je oblika mnogokuta. Kamenolom Vetovo je kamenolom tehničko – građevnog kamena (u daljnjem tekstu „t-g kamen“) koji ima široku primjenu u građevinskoj industriji, kako u niskogradnji tako i u visokogradnji. Visina etaža u kamenolomu se kreće od 10 do 15 metara.

Tehnike rada unutar kamenoloma su klasične za kamenolome t-g kamena diskontinuiranog sustava; prvo se pristupa otkopavanju površinske jalovine, potom eksploataciji mineralne sirovine tehnikama bušenja, miniranja, obaranja te na kraju utovar i transport mineralne sirovine do oplemenjivačkog postrojenja na završnu obradu u skladu s potrebama tržišta.



Slika 2-5, Eksploatacijsko polje „Vetovo“



Slika 2-6, Zemljopisni položaj eksploatacijskog polja

2.2.2. Fizikalno – mehanička svojstva mineralne sirovine

Makroskopska i mikroskopska ispitivanja stijene u kamenolomu Vetovo pokazuju nam da se radi o Amfibolitu gustoće 2 800 – 3 000 kg/m³ koji ima široku primjenu u građevinskoj industriji, a nabrojati ćemo samo neke:

- Drobljeni kamen za održavanje i gradnju cesta
- Agregat za beton
- Agregat za mješavine bitumena za gornje slojeve i površinsku obradu cesta, avionskih pista
- Agregat u proizvodni morta
- Agregat za željeznički tucanik

Tablica 2-1, Fizikalno - mehanička svojstva materijala

Svojstvo		Vrijednost	
Tlačna čvrstoća (MN/m ³)	U suhom stanju	max.	223
		min.	46
		sred.	/
	U vodom zasićenom stanju	max.	256
		min.	190
		sred.	144,9
	Poslije smrzavanja	max.	/
		min.	/
		sred.	/
Otpornost na habanje struganjem po Bohmeu (cm ³ /50cm ²)		/	
Otpornost protiv udara metodom Treton (%)		/	
Gustoća (g/cm ³)		2,96	
Volumna gustoća (g/cm ³)		2,915	
Poroznost (%)		1,02-4,6	
Upijanje vode (%)		0,3	
Postojanost na mraz		postojan	

3. TERENSKA ISPITIVANJA

Terenska ispitivanja provodili smo u kamenolomu Vetovo na jednom od radnih platoa kamenoloma. Ispitivanja su se provodila na 36 kamenih blokova nepravilnog oblika, mjereći potrebno vrijeme razbijanja tih blokova na željenu granulaciju od 150-400 mm.

Za ispitivanje smo koristili hidraulični bager marke Fiat oznake modela FH270.3, mase 27 tona (Slika 3-1) i Komac hidraulični čekić mase 2500 kg, promjera radnog alata 150 mm (Slika 3-4), tupog oblika radnog alata, udarne energije 6,14 kJ te protoka ulja 190 l/min.

Prije razbijanja blokova, prethodili su radovi na razgrtanju blokova po polju (kako bi ih lakše izmjerili) što je odradio strojar pomoću bagera, potom smo pristupili mjerenju svakog pojedinog bloka čije su dimenzije prikazane u tablici te obilježavanja svakog bloka permanentnim lakom crvene boje. (Slika 3-5)

Nakon izvršenog mjerenja bloka pristupili smo razbijanju istih i mjerenju vremena potrebnog za razbijanje svakog bloka, važno je napomenuti kako se vrijeme razbijanja odnosi samo na vrijeme rada čekića, a ne na kretanje bagera ili namještanje čekića pri samom radu.



Slika 3-1, Bager Fiat FH270.3



Slika 3-2, Bager Fiat FH270.3 specifikacijska pločica



Slika 3-3, Bager Fiat FH270.3 katarka



Slika 3-4, Promjer i oblik radnog alata u kamenolomu Vetovo



Slika 3-5, Obilježavanje vangabaritnog bloka broj 4



Slika 3-6, Izgled materijala nakon usitnjavanja



Slika 3-7. Pozicioniranje čekića prije usitnjavanja vangabaritnog bloka broj 13

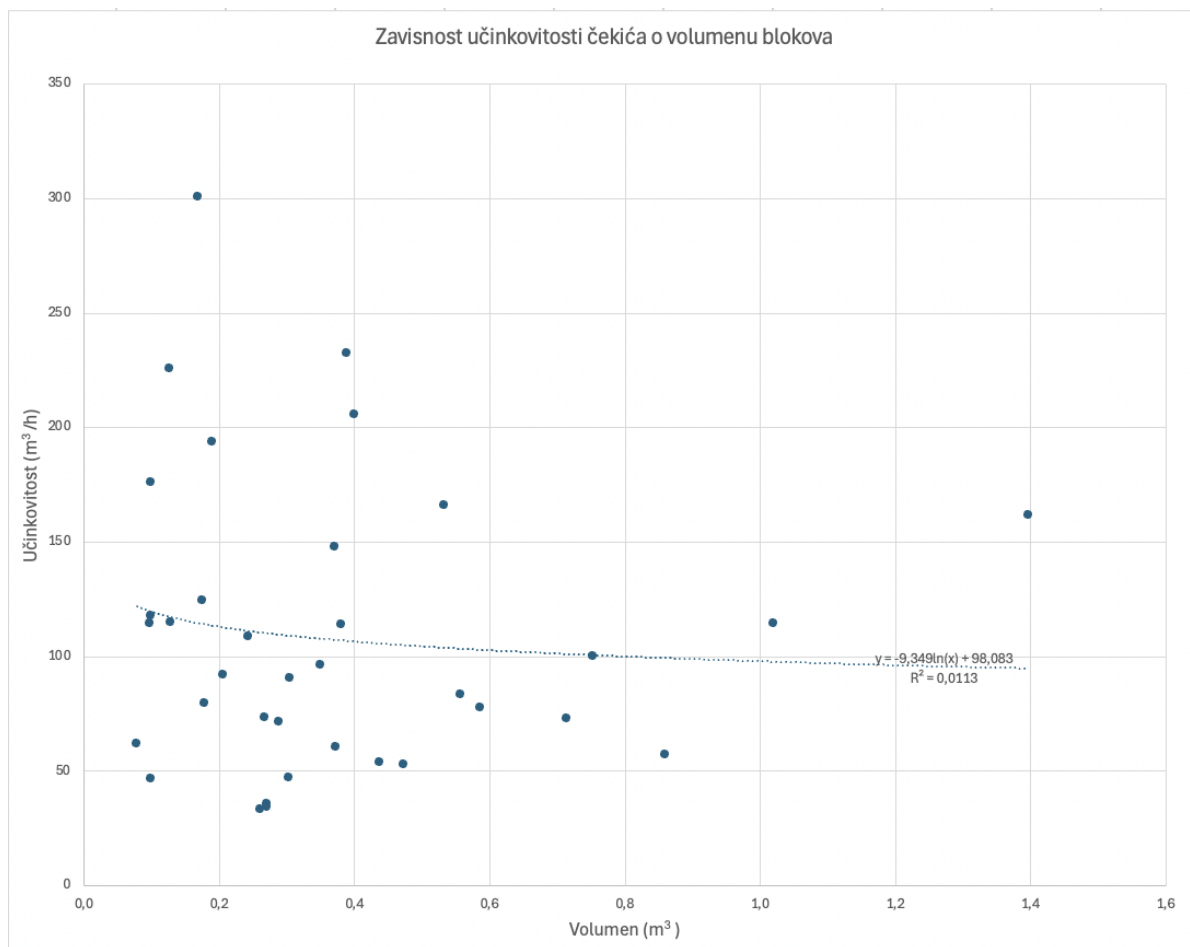
3.1. Analiza podataka

Iz dobivenih podataka možemo vidjeti u tablici 3-1 kako se učinkovitost kreće od 33 do 301 m³/h, dok je prosječna učinkovitost 110 m³/h. Iz dijagrama zavisnosti na slici 3-9 vidi se da učinkovitost gotovo uopće ne ovisi o volumenu blokova jer je koeficijent determinacije $R^2 = 0,0113$. Tablica 3-1 nam još prikazuje da je ukupni volumen blokova koje smo razbijali 13,4 m³, dok je ukupno vrijeme potrebno za razbijanje te količine bilo 557 sekundi.

Tablica 3-1, Tablica uzoraka

Broj uzorka	Dužina (cm)	Širina (cm)	Visina (cm)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Vrijeme razbijanja bloka (s)	Učinkovitost (m ³ /h)
1	130	50	90	585000	0,6	27	78
2	70	40	35	98000	0,1	2	176
3	80	60	60	288000	0,3	14,5	72
4	82	90	72	531360	0,5	11,5	166
5	100	68	57	387600	0,4	6	233
6	53	42	43	95718	0,1	3	115
7	48	45	36	77760	0,1	4,5	62
8	50	65	30	97500	0,1	7,5	47
9	110	122	104	1395680	1,4	31	162
10	85	33	35	98175	0,1	3	118
11	75	54	31	125550	0,1	2	226
12	102	56	33	188496	0,2	3,5	194
13	95	71	55	370975	0,4	22	61
14	114	51	60	348840	0,3	13	97
15	40	72	58	167040	0,2	2	301
16	53	54	94	269028	0,3	28	35
17	127	108	52	713232	0,7	35	73
18	124	110	63	859320	0,9	54	57
19	160	70	91	1019200	1,0	32	115
20	104	70	37	269360	0,3	27	36
21	93	82	62	472812	0,5	32	53
22	94	60	46	259440	0,3	28	33
23	57	114	57	370386	0,4	9	148
24	63	65	59	241605	0,2	8	109
25	88	72	60	380160	0,4	12	114
26	88	57	53	265848	0,3	13	74
27	74	73	56	302512	0,3	23	47
28	146	78	66	751608	0,8	27	100
29	60	91	80	436800	0,4	29	54
30	60	101	50	303000	0,3	12	91
31	75	86	62	399900	0,4	7	206
32	50	68	51	173400	0,2	5	125
33	43	55	54	127710	0,1	4	115
34	53	88	38	177232	0,2	8	80
35	76	50	54	205200	0,2	8	92
36	102	70	78	556920	0,6	24	84
Ukupno					13,4	577,5	

Učinkovitost = 33 - 301 m³/h



Slika 3-8. Dijagram zavisnosti

4. USPOREDBA UČINKOVITOSTI KOMAC HIDRAULIČNOG ČEKIĆA S KRUPP, ATLAS COPO I EPIROC ČEKIĆIMA

Nakon dobivenih podataka iz terenskih ispitivanja i njihove analize u poglavlju 3. ovdje će se usporediti predmetni hidraulični čekić Komac sa čekićima drugih proizvođača sličnih karakteristika. Za usporedbu ćemo koristiti prospekte svakog pojedinog proizvođača. Prosječna učinkovitost Komac hidrauličnog čekića iz tablice 3-1 bila je 110 m³/h.

Tablica 4-1. Specifikacija hidrauličnih čekića po proizvođačima

Proizvođač	Model	Masa (kg)	Promjer radnog alata (mm)	Maksimalna masa bagera (t)	Protok ulja (l/min)	Energija udarca (kJ)
Komac	N/A	2500	150	27-35	190	6,13
Krupp	HM 1500	2200	150	26-40	180	6,7
Atlas copco	HB 2200	2150	150	26-40	180	5,4
Epiroc	HB 2500	2500	155	27-46	220	4,4

4.1. Krupp HM 1500

Za usporedbu učinkovitosti sa kompanijom Krupp izabran model HM 1500, tvorničke specifikacije prikazane su u tablici 4-1.

4.1.1. Izračun prosječne učinkovitosti čekića

Iz prospekta tvornice Krupp očitana je smjenska učinkovitost odabranog čekića koja iznosi između 475 i 1000 m³/8h. Trebamo izračunati prosječnu smjensku učinkovitost čekića te nakon toga učinkovitost po satu da bismo je mogli usporediti s Komac čekićem.

4.1.1.1. *Izračun prosječne smjenske učinkovitosti*

Prosječna smjenska učinkovitost čekića izračunava se zbrajanjem donje i gornje granice te dijeljenjem sa 2.

$$\text{Prosječna smjenska učinkovitost } \left(\frac{m^3}{8h} \right) U_s = \frac{475 + 1000}{2} = \frac{1475}{2} = 737.5 \frac{m^3}{8h}$$

Dakle, prosječna smjenska učinkovitost čekića iznosi 737.5 m³/8h.

4.1.1.2. *Izračun prosječne učinkovitosti po satu*

Da bi se dobila prosječna učinkovitost po satu, potrebno je podijeliti prosječnu smjensku učinkovitost s brojem sati u smjeni (8 sati):

$$\text{Prosječna učinkovitost po satu } \left(\frac{m^3}{h} \right) U = \frac{737.5}{8} = 92.1875 \frac{m^3}{h}$$

Zaokruženo na dvije decimale, prosječna učinkovitost Kruppovog čekića iznosi 92.19 m³/h.

4.2. Atlas Copco HB 2200

Za usporedbu s kompanijom Atlas Copco izabran je čekić HB 2200, specifikacije su prikazane u tablici 4-1.

4.2.1. *Izračun prosječne učinkovitosti čekića*

Učinkovitost odabranog čekića je prema prospektu između 110 i 330 t/h. Trebamo izračunati prosječnu smjensku učinkovitost prosječnu učinkovitost čekića te učinkovitost po satu U (m³/h).

4.2.1.1. *Izračun prosječne učinkovitosti u t/h*

Prosječna vrijednost učinkovitosti čekića izračunava se zbrajanjem donje i gornje granice te dijeljenjem sa 2:

$$\text{Prosječna učinkovitost u tonama } \left(\frac{t}{h}\right) U_t = \frac{110 + 330}{2} = \frac{440}{2} = 220 \frac{t}{h}$$

Prosječna učinkovitost čekića u tonama po satu iznosi 220 t/h.

4.2.1.2. *Izračun srednje vrijednosti volumne gustoće*

Da bi smo dobili količinu materijala u m³/h moramo izračunati srednju vrijednost volumne gustoće. Volumna gustoća materijala je između 2.72 i 3.11 t/m³ (Fundurulja i dr, 2023.).

Srednja vrijednost volumne gustoće izračunava se kao:

$$\text{Srednja vrijednost volumne gustoće} = \frac{3,11 + 2,72}{2} = \frac{5,83}{2} = 2,915 \frac{t}{m^3}$$

Dakle, srednja vrijednost volumne gustoće materijala je 2.915 t/m³.

4.2.1.3. *Pretvorba prosječne učinkovitosti iz t/h u m³/h*

Da bismo pretvorili prosječnu učinkovitost čekića iz t/h u m³/h, koristimo formulu:

$$\text{Učinkovitost } \left(\frac{m^3}{h}\right) U = \frac{\text{Prosječna učinkovitost (t/h)} U_t}{\text{Srednja vrijednost volumne gustoće (t/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Učinkovitost } \left(\frac{m^3}{h}\right) U = \frac{220 \text{ t/h}}{2,915 \text{ (t/m}^3\text{)}} = 75,47 \text{ m}^3\text{/h}$$

Prosječna učinkovitost čekića, pretvorena u kubne metre po satu (m³/h) za materijal s volumnom gustoćom od 2.915 t/m³, iznosi 75,47 m³/h.

4.3. Epiroc HB 2500

Za usporedbu s kompanijom Epiroc izabran je čekić HB 2500, specifikacije prikazane u tablici 4-1.

4.3.1. Izračun prosječne učinkovitosti čekića

Učinkovitost mu se kreće od 90 do 160 tona po satu (t/h) iz prospekta. Želimo izračunati prosječnu učinkovitost čekića te učinkovitost po satu.

4.3.1.1. Izračun prosječne učinkovitosti u t/h

Prosječna vrijednost učinkovitosti čekića izračunava se zbrajanjem donje i gornje granice te dijeljenjem sa 2:

$$\text{Prosječna učinkovitost } \left(\frac{t}{h}\right) = \frac{160 + 90}{2} = \frac{250}{2} = 125 \frac{t}{h}$$

Prosječna učinkovitost čekića iznosi 125 t/h.

4.3.1.2. Pretvorba prosječne učinkovitosti iz t/h u m³/h

Volumna gustoća je ostala ista kao u prethodnom primjeru jer se radi o istom materijalu, stoga samo uvrštavamo u formulu.

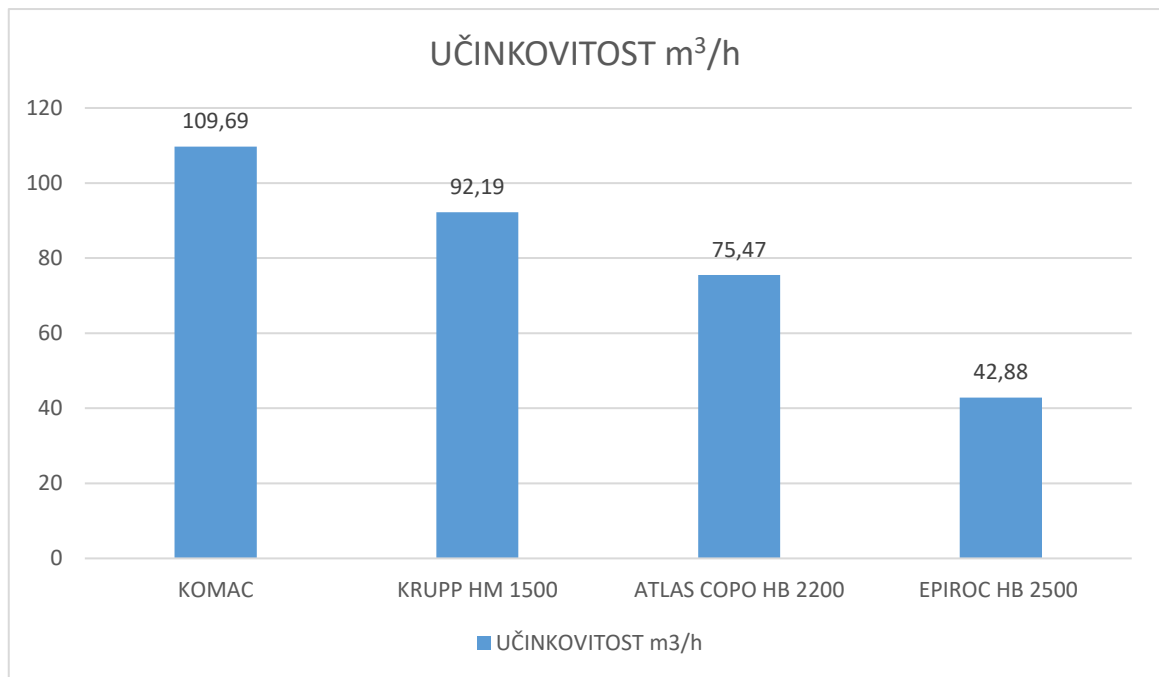
Da bismo pretvorili prosječnu učinkovitost čekića iz t/h u m³/h, koristimo formulu:

$$\text{Učinkovitost } \left(\frac{m^3}{h}\right) U = \frac{\text{Prosječna učinkovitost (t/h)} U_t}{\text{Srednja vrijednost volumne gustoće (t/m}^3\text{)}}$$
$$\text{Učinkovitost } \left(\frac{m^3}{h}\right) U = \frac{125 \text{ t/h}}{2,915 \text{ (t/m}^3\text{)}} = 42,88 \frac{m^3}{h}$$

Prosječna učinkovitost čekića, pretvorena u kubne metre po satu (m³/h) za materijal s volumnom gustoćom od 2.915 t/m³, iznosi 42,88 m³/h.

4.4. Usporedba učinkovitosti hidrauličnih čekića

Na slici 4-1, prikazane su izračunate učinkovitosti svakog pojedinog čekića, vidljivo je kako je Komac čekić sa terenskih ispitivanja relativno slične učinkovitosti kao Krupp HM 1500, a za Atlas Copco HB 2200 i Epiroc HB 2500 dobivamo niže vrijednosti učinkovitosti.



Slika 4-1, Usporedba učinkovitosti hidrauličnih čekića

5. ZAKLJUČAK

Primjena hidrauličnog čekića danas je najčešća kod usitnjavanja vangabaritnih blokova kako bi isti mogli proći kroz otvore na primarnoj rešetki u procesu oplemenjivanja t – g kamena. Dakako, hidraulični čekići se mogu koristiti i za druge poslove kao što su probijanja tunela, rada u urbanim sredinama, direktan iskop u stijeni, kopanje rovova i kanala ako se umjesto radnog alata postavi za to specijaliziran alat.

Prednosti korištenja hidrauličnog čekića su razne nabrojati ćemo samo neke od njih:

- ne stvaraju preveliku buku,
- nema podrhtavanja tla koja nepovoljno utječu na okolne objekte,
- nema razbacivanja materijala,
- nema zagađivanja okoline prašinom
- omogućuju veću ekonomičnost.

Iz rezultata s terenskih ispitivanja uočili smo da uopće nema zavisnosti učinkovitosti o volumenu bloka, to znači da će učinkovitost usitnjavanja vangabaritnih blokova ovisiti o fizikalno mehaničkim svojstvima stijenskog materijala i količini udarne energije koju razvija primijenjeni čekić.

6. LITERATURA

1. Atlas Copco Construction Tools GmbH 2004,
URL: www.atlascopco.com (01.09.2024)
2. Epiroc Construction Tools GmbH 2020,
URL: <https://www.epiroc.com> (01.09.2024)
3. Fundurulja D., Markoc S., Domanovac T., Orlović Špelić A., Novak Mujanović S., 2023.
Elaborat zaštite okoliša – Izmjena zahvata eksploatacije tehničko građevnog kamena na eksploatacijskom polju „Vetovo“ spuštanjem u dubinu, Velički kamen d.o.o. Vetovo
4. Krupp Berco Bautechnik GmbH 2000,
URL: www.krupp-berco-bautechnik.com (01.09.2024)
5. Kujundžić, T., 2015. *Rudarski i geotehnički strojevi*. Interna skripta. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
6. LECTURA GmbH
URL: <https://www.lectura-specs.com/en/specs/construction-machinery/attachments-hydraulic-breakers-komac> (02.09.2024)