

INTERPRETACIJA MODELA KAPACITETA DROBLJENJA KOD UDARNE DROBILICE IZBOROM KLJUČNIH PARAMETARA

INTERPRETATION OF THE MODEL OF CAPACITY CRUSHING IMPACT CRUSHERS BY THE SELECTION OF KEY PARAMETERS

mr.sc. Jasmin Fejzić, dipl.ing.maš.
JP Elektroprivreda BiH
Termoelektrana Tuzla

dr.sc. Izet Džananović, dipl.ing.el.
JP Elektroprivreda BiH
Termoelektrana Tuzla

dr.sc. Ifet Šišić, vanr. prof.
Biotehnički fakultet Bihać

dr.sc. Nedžad Alić, vanr. prof.
Rudarsko-geološko-građevinski fakultet
Tuzla

REZIME

Veličina kapaciteta drobljenja Q_{dr} je uzet kao osnovni (izlazni) pokazatelj konstruktivno-tehnoloških sposobnosti drobilice sa gredama jer se kroz ovaj pokazatelj mogu sagledati konstrukcijska osposobljenost, pouzdanost u radu i kvalitet proizvoda. Na učinkovitost drobilice sa gredama utiču fizičko-mehanička svojstva mineralne sirovine, geometrijska forma drobilišne komore i konstrukcijska osposobljenost. Promjenljivi parametri procesa kao ulazne varijable, određuju uslove i nivo eksperimenata istraživanja adekvatnog matematičkog modela koji će realno oslikati proces usitnjavanja mineralnih sirovina u udarnoj drobilici. Na osnovu datog pristupa izvršen je izbor reduciranog modela ključnih parametara modeliranja Q_{dr} : $Y = Q_{dr} = f(n_k, n_r)$.

Ključne riječi: udarna drobilica, kvalitet drobljenja, model produktivnosti

ABSTRACT

The size of the crushing capacity Q_{dr} is taken as the basic (exit) indicator of the structural and technological abilities of the crusher with the beams, because through this indicator one can observe the construction capability, reliability and quality of the product. The efficiency of the crusher with beams is influenced by the physical and mechanical properties of the mineral raw material, the geometric shape of the crushing chamber and the constructional capability. The variable parameters of the process as input variables determine the conditions and the level of experimentation of the research of an adequate mathematical model that will realistically reflect the process of mining mineral raw materials in the impact crusher. Based on the given approach, a reduced model of key modeling parameters was performed. Q_{dr} : $Y = Q_{dr} = f(n_k, n_r)$.

Key words: impact crusher, quality of crushing, model of productivity

1. UVOD

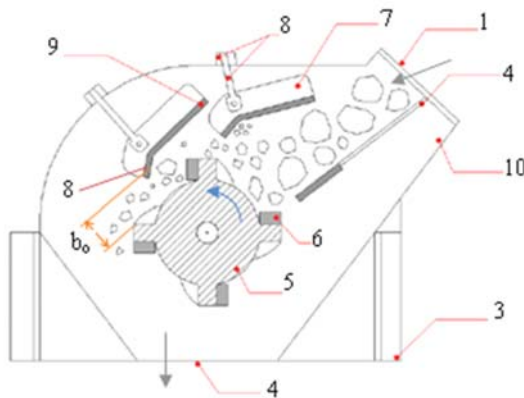
Udarne drobilica sa gredama namijenjene su za drobljenje svih vrsta čvrstih materijala u kojem se pretežno traži odgovarajuća usitnjenost i krupnoća zrna. Pogodne su za drobljenje srednje tvrdih, tvrdih, krutih i neabrazivnih mineralnih sirovina kao što su krečnjak, dolomit, gips, bazalt, dijabaz, granit i slične sirovine. U praktičnim uslovima, osim stijenskih minerala, pokazale su

se djelotvorne kod drobljenja građevinskog otpada, asfaltnih degradiranih materijala te drugih krutih materijala za reciklažu. Pojedine konstrukcije mašina za drobljenje rijetko se koriste samo jednim mehanizmom usitnjavanja stijenskog materijala. Obično u jednoj mašini dolazi do izražaja više metoda drobljenja. Mogu se postaviti u primarnom i sekundarnom stadijumu drobljenja [1].

2. HORIZONTALNE UDARNE DROBILICE

2.1. Opis rada udarnih drobilica sa gredama

U drobilicama sa gredama drobljenje se obavlja udarnom deformacijom smicanja u kojoj se koristi mehanizam kidanja i savijanja. Kod većine stijenskih materijala odnos čvrstoće na pritisak i smicajne čvrstoće stijenskih materijala se kreće u odnosu 10:1. Drobljenje smicanjem koristi se: kod materijala koji je lomljiv i ima nizak udio SiO_2 , kod materijala niske i srednje tvrdoće i kada je potreban minimalan udio sitnih čestica u usitnjenom proizvodu [2,3] Na slici 1. prikazani su dijelovi i elementi udarne drobilice sa gredama, tipske izvedbe.



Pozicije:

1. Ulaz sirovine
2. Kućište drobilice
3. Postolje drobilice
4. Izlaz usitljenog materijala
5. Rotor drobilice
6. Udarne grede (4 kom)
7. Prva odbojna ploča
8. Druga odbojna ploča
9. Vijci za regulaciju otvora drobljenja b_o
10. Obloga fiksne odbojne ploče

Slika 1. Shematski prikaz horizontalne udarne drobilice tip HSI

Za čvrste i jako tvrde mineralne sirovine granična vrijednost brzine obrtanja rotora v_r [3] kreće se od 52 do 60 [m/s], u primarnom stadijumu drobljenja v_r iznosi oko 36 [m/s] a sekundarnom stadijumu v_r iznosi oko 46 [m/s]. Najveće udarne drobilice imaju kapacitet drobljenja Q_{dr} do 3000 [t/h]. Zbog povećanog habanja udarnih greda i odbojnih ploča ne preporučuje se korištenje udarnih (HSI) drobilica za drobljenje materijala sa sadržajem SiO_2 većim od 15%. Stepem drobljenja u primarnom stadijumu je 6:1, dok on može biti i do 40:1 ako je prirodni materijal relativno neabrazivan i ako je umjesto greda na rotor postavljena serija udarnih čekića [4].

2.2. Pregled uticajnih i korekcionih faktora

- Osnovni faktori koji utiču na kvalitet drobljenja mašine su:
 - a) svojstva i (ne)pogodnosti drobljenja sirovine. Naime učinak u mnogo većoj mjeri zavisi od karakteristika sirovine nego što je to slučaj kod drugih drobilica.
 - b) obilježja, kontinualnost protoka materijala i dizajn sheme procesa prerade.
 - c) radni uslovi mašine (samostalne, povezane sa drugim mašinama i uređajima, drobljenje ili mljevenje materijala, kontinuiran ili diskontinuiran rad i sl.).
 - d) iskorištenje radnog vremena, prikazano kroz model organizacije i upravljanja proizvodnjom i postavku tehnološke sheme procesa.
- U skup tehnoloških veličina spada: ugrađeni kapacitet Q_k , brzina zahvata materijala v_m , jačina udara greda $F (M_o)$, broj obrtaja rotora sa gredama n_r , kapacitet prolaza materijala kroz drobilicu/mlin Q_{dr} , specifična potrošnja elektroenergije $E_{sp}(W)$ i stepen drobljenja n_u .

- U konstruktivnom pogledu na kapacitet drobilice utiču: veličina ulaznog otvora, veličina prečnika i dužina rotora, broj i masa ugrađenih udarnih greda, pogonska snaga, masa drobilice, brzina okretanja rotora sa gredama, veličina zahvatnih i drobećih tijela, zapremina drobeće komore ili prostora [5].
- Korekcionim faktorima vrši se korekcija kapaciteta drobljenja a time i učinka drobljenja. Kod udarnih drobilica se najčešće predstavljaju preko korekcionih (redukcionih) faktora, koeficijenata i pokazatelja (izračunati, empirijski, zadani i iskustveno dokazani u praksi). Uticajni faktori na učinak drobljenja ili produktivnost uz faktore organizacije proizvodnje, se uzimaju pri izradi planova proizvodnje i kod mjerenja učinkovitosti mašina i ukupnog postrojenja, čime dobijene veličine oslikavaju realne uslove proizvodnje ($\pm Q_{pr}$).

2.3. Izračunavanje kapaciteta drobljenja udarnih drobilica

Kapacitet udarnih drobilica sa gredama (UD_g) može se dobiti na osnovu sljedećih veličina:

- preko snage i pogonske energije:

$$Q_{dr} = \frac{0,8 \cdot P}{E_{sp}}, [t/h] \quad \dots(1)$$

gdje je:

P – instalisana snaga elektromotora, [kW]
 E_{sp} – specifična potrošnja elektroenergije, [kWh/t]

- snaga elektromotora udarne drobilice se može dobiti iz sljedeće empirijske formule:

$$P = 0,15 \cdot D^2 \cdot L \cdot n_r, [kW] \quad \dots(2)$$

gdje je:

D – prečnik rotora, [m]
 L – dužina rotora, [m]
 n_r – broj obrtaja rotora, [°/min]

- kapacitet drobljenje dobijen preko *Bond-ovih* veličina [5]:

$$Q_{dr} = \frac{3,16 \cdot \xi \cdot \sqrt{D \cdot d}}{W_i \cdot (\sqrt{D} - \sqrt{d})}, [t/h] \quad \dots(3)$$

gdje je:

D i d - veličine otvora sita kroz koja prolazi 80% materijala prije i poslije drobljenja, [mm] → [μm]
 W_i - eksperimentalno utvrđen radni indeks, [kWh/t]
 ξ - koeficijent korisnog dejstva drobilice i kreće se od 0,9 do 0,95

- stvarna produktivnost rada mašine:

$$Q_{pr(s)} = \frac{q_{mas}}{t_s}, [t/h], [t/dan] \quad \dots(4)$$

gdje je:

q_{mas} - ostvarena količina proizvodnje, [t]
 t_s – stvarno utrošeno radno vrijeme, [h]

2.4. Modeliranje kapaciteta drobilice sa gredama odabranim parametrima

Izbor modaliteta drobljenja vrši se programiranom selekcijom ulaznih parametara drobilice sa utvrđivanjem mogućih ograničenja. Proizvodna funkcija drobljenja se može prikazati preko matematičke formulacije odnosa parametara drobilice, kao promjenljivih veličina, i slijednom

funkcijom regresije. Regresijska analiza predstavljena preko regresijskog modela, podrazumijeva određivanje funkcionalne veze između jedne zavisno promjenljive veličine y i jedne ili više nezavisno promjenljivih veličina. Koristi se u slučajevima kada su mjerenja fizičkih pokazatelja rada mašina otežana, skupa ili neizvodiva: $y = f(x_i) \quad i=1,2,3,\dots,n$ [6].

Funkcija produktivnosti drobilice po podskupovima varijabilnih veličina izgleda ovako:

$$\left. \begin{aligned} Q_{pr} &= f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ Q_{pr} &= [f(KMS), f(KKM), f(TKM), f(E_nKM)] \\ Q_{pr} &= f[B_e, n_r, n_k, D_r, L_r, b_o, P, \rho] \end{aligned} \right\} \dots(5)$$

Ključni parametri iz skupa konstruktivnih (KKM), tehnoloških (TKM), energetskih (E_nKM) karakteristika mašine su osnova za uslove i nivo eksperimenata istraživanja adekvatnog matematičkog modela koji će realno oslikavati proces usitnjavanja mineralnih sirovina.

a) Izbor reduciranog modela i ključnih parametara modeliranja Q_m

$$Y = Q_m = f(b_o, n_r)$$

Tabela 1. Matrica plana varijabli modela mašine za usitnjavanje, vrsta UD_g

Q_m [t/h] mjerena veličina			Broj obrtaja rotora n_r [°/min] fizikalna varijabla										
			800	800	700	700	600	700	700	600	500	500	
Izlazni otvor drobljenja b_o [mm] fizikalna varijabla	20	n_k izračunata veličina	10 (200/20)	80	150	200	250	350	primarno drobljenje ↓				
	40		5 (200/40)	150	250	300	350	600					
	40		10 (400/40)	100	150	200	250	400					
	60		6,67 (400/60)	150	200	250	350	500					
	100		6 (600/100)	sekundarno drobljenje ↑					250	350	400	650	1300
	200		3 (600/200)						250	300	400	600	1200
	100		8 (800/100)						350	500	600	950	2000
	200		4 (800/200)						350	450	550	900	1800

- Matematički model linearnog tipa $y = b_0 + b_1x$

Jednačine promjene kapaciteta drobljenja drobilica sa vrijednostima koeficijenata, sa linearnim zavisnostima, imaju oblik:

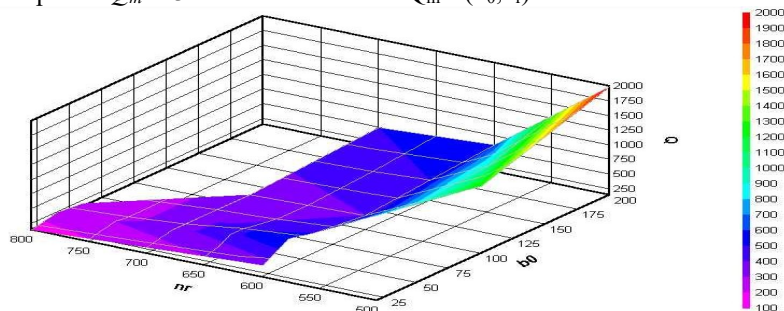
$$\text{za } b_o = 20 - 60[\text{mm}], n_r = 800 [^\circ/\text{min}] \rightarrow Q_m(y_{800}) = 1,25b_o + 125$$

$$\text{za } b_o = 100 - 200[\text{mm}], n_r = 700 [^\circ/\text{min}] \rightarrow Q_m(y_{700}) = 1,50b_o + 200$$

$$\text{za } b_o = 100 - 200[\text{mm}], n_r = 600 [^\circ/\text{min}] \rightarrow Q_m(y_{600}) = 2,0b_o + 200$$

$$\text{za } b_o = 100 - 200[\text{mm}], n_r = 500 [^\circ/\text{min}] \rightarrow Q_m(y_{500}) = 8,0b_o + 400$$

Na slici 2. je dat prikaz Q_m u 3D vizuelnom efektu $Q_m = f(b_o, n_r)$.



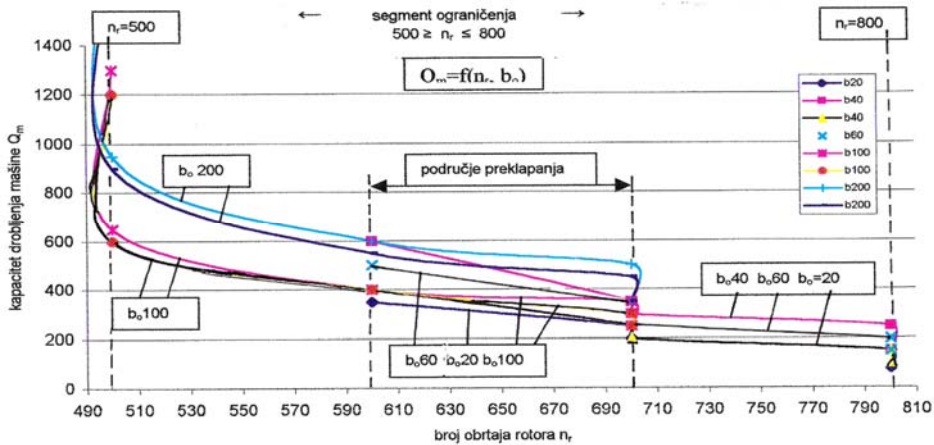
Slika 2. Prikaz Q_m u neprekidnoj površini u 3D vizuelnom efektu $Q_m = f(b_o, n_r)$

- Matematički model Q_m (Q_{dr}) polinomski oblik I reda: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$

Računarskom operacijom dobiven je eksperimentalni matematički model:

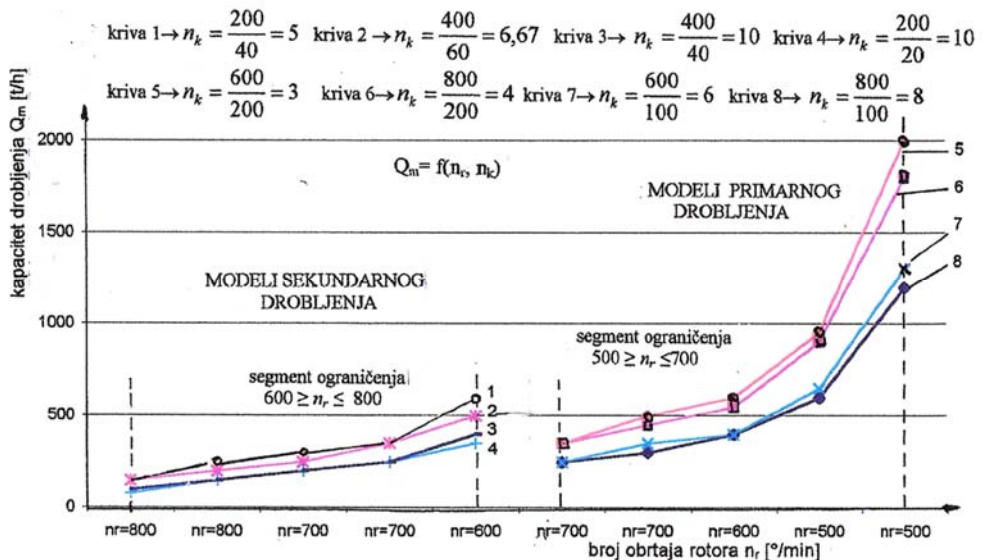
$$Q_m = 2,3322 \cdot b_o - 3,13709 \cdot n_r + 2417,91$$

koeficijent korelacije ili uzajamne zavisnosti: 0,823214



Slika 3. Grafička interpretacija modeliranja ovisnosti kapaciteta drobljenja o parametrima udarne drobilice, $Q_m = f(n_r, b_0)$

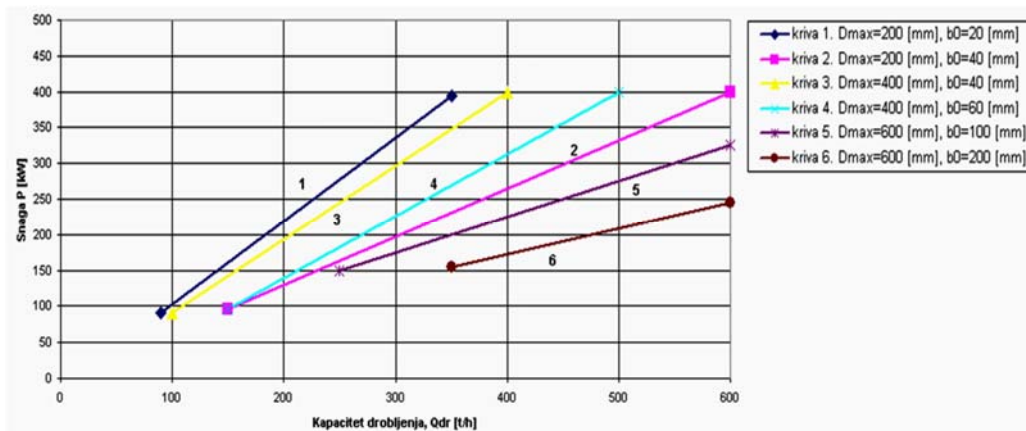
b) Izbor reduciranog modela i ključnih parametara modeliranja $Q_m = f(n_r, n_k)$



Slika 4. Grafička interpretacija zavisnosti kapaciteta Q_m od n_r prema n_k

c) Izbor snage pogona iz skupa odabranih parametara, Q_{dr} , P , D_{max} i b_0

Iznalaženje optimalne veličine pogonske snage drobilice sa gredama u industrijskim uslovima izvodljiva je ciljanim promjenama veličina: ulazne krupnoće sirovine D_{max} , veličine ulaznog otvora B_u , broja obrtaja rotora n_r , promjenama konstruktivnog stepena usitnjavanja n_k ($n_k = D_{max}/b_0$) i otvora drobljenja (greda-ploča) b_0 . Na slici 5. prikazana je funkcionalna ovisnost pogonske snage P od parametara: D_{max} , Q_{dr} i b_0 .



Slika 5. Tipična područja pogonske snage P prema kapacitetu kod udarnih drobilica sa gredama

3. ZAKLJUČAK

Ocjena rada drobilice sa gredama sa aspekta kvaliteta drobljenja se može obaviti nakon detaljnog sagledavanja efekata rada u realnom periodu kroz pokazatelje kvalitete usitnjenog proizvoda (agregata). Korištenjem grafičkih prikaza modeliranja kapaciteta drobljenja, koji je funkcionalno ovisan od ključnih tehničkih i konstrukcijskih parametara, mogu se utvrditi realne vrijednosti produktivnosti drobljenja, procesna ograničenja, ugrađene performanse i elementi ocjene. Izborom ključnih parametara su u direktnoj vezi sa formom drobilne komore i konstrukcijskim parametrima udarnih organa, sa tehničkim performansama a što je sve u ovisnosti od svojstva prirodnih ili reciklažnih sirovina u pogledu mehaničke otpornosti, lomljivosti, kalavosti (sistem ravnina po kojima bi se mineral mogao lako razdvojiti), krtosti i stepena sraslosti. Mjerenjima protoka masa materijala, stepena usitnjenosti i kvaliteta zrna agregata u odnosu na ulaznu sirovinu, može se doći do praktičnih rezultata produktivnosti drobilice sa gredama a time identifikaciju ključnih parametara na modeliranja Q_m ili Q_{dr} i P na način uključenja i drugih i/ili više ključnih parametara.

4. LITERATURA

- [1] Salopek, B., Bedeković, G.: Sitnjenje: I stupanj u oplemenjivanju mineralnih sirovina. RGN zbornik vol. 12. Zagreb: RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2000., str. 83-88.
- [2] Major, K. 2002. Types and characteristics of Crushing Equipment and Circuit Flowsheets. U: Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2002, str. 566-584.
- [3] Šišić, I., Alić, N.: „Uloga svojstava stijenskih materijala u metodološkim tokovima izbora i ocjene drobilica i mlinova“, VIII Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem „MNM 2010“ Zenica, BiH, 27-28. april 2010.
- [4] Wills, B.A.: Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8. izdanje. Oxford: Elsevier 2016.
- [5] Schubert H., Kennzeichnen von Kornerkollektiven, Kennzeichnung von Aufbereitungserfolg und Rennerfolg, Zerkleinerung, Klasierung VEB Deutscher Verlag fuer Grundstoffindustrie Leipzig 1989.
- [6] Jurković M.: Matematičko modeliranje inženjerskih procesa i sistema, Mašinski fakultet Bihać, Bihać 1999.