

## UTICAJI KARAKTERISTIKA DROBILICA NA KVALITET PROIZVODA KOD INDUSTRIJSKE PRERADE MINERALNIH SIROVINA

### EFFECTS OF GRINDER CHARACTERISTICS ON PRODUCT QUALITY IN INDUSTRIAL PROCESS MINERALS

Mr. Ifet Šišić, Ministarstvo privrede Unsko-sanskog kantona, Bihać

**Ključne riječi:** uticaj karakteristika drobilica, kvalitet sirovine, prerada mineralnih sirovina, kvalitet proizvoda

#### REZIME

*U tehnologijama vađenja i prerade mineralnih sirovina zastupljeni su različiti postupci industrijskog iskorištenja ruda i sirovina. Obzirom da se radi o neobnovljivim prirodnim resursima potrebno je sa svih aspekata postaviti optimalna tehničko-tehnološka rješenja po kojima će se uspostaviti kontrolirana proizvodnja. Standardi kvaliteta proizvoda su zasnovani na propisanim veličinama koje treba da zadovolji mineralna sirovina i konačni proizvod. Između toga jednu od glavnih uloga na ostvarivanju kvaliteta konačnih proizvoda ima proces drobljenja, u ovom slučaju nemetalnih mineralnih sirovina. Izvođenje mehaničkog postupaka drobljenja se vrši na mašinama za drobljenje ili kraće rečeno drobilicama. Danas imamo veliku ponudu mašina i postrojenja za preradu sirovina što nam daje mogućnost da vodeći računa o ekonomičnosti cjelokupnog procesa, moderniziramo postojeće prerađivačke kapacitete, primjenimo najnovije tehnologije drobljenja, prosijavanja, pripreme i uvedemo osnove upravljanja sistemom kvaliteta.*

**Keywords:** effects of grinder characteristics, feed quality, process of minerals, product quality

#### SUMMARY

*In the technologies of exploitation and process of minerals, there are different ways of ore and feed use. Considering that these are unregenerative natural resources it is needed to have optimal technical and technological solutions from each aspect due to establish controlled production. Standards of product quality are based on regulated size of feed and final product. Besides, grinding process is the most important in achieving good quality of final products, in this case in process of nonmetal minerals. Machines for grinding, or Grinders are used for mechanical process of grinding. Today, there are many different types of machines and plants available, what gives us a possibility, taking care of the economy of the entire process, to modernize present capacities and use the newest technology of grinding, screening, preparing and have management based on quality.*

#### 1. ZNAČAJ KARAKTERISTIKA MINERALNE SIROVINE ZA RAD DROBILICA I KVALITET PROIZVODA

Stijenska sirovina se odlikuje vrijednostima vlastite /prirodne/ čvrstoće, tvrdoće i otpornosti na razbijanje, sadržajem pratećih hemijskih elemenata i jalovine. Zbog toga je potrebno ukazati na potrebu pravilnog izbora procesnih mašina i postavki tehnološkog procesa. Identifikaciju faktora modeliranja proizvodnog procesa vršimo kroz:

- karakterizaciju stijenske mase po strukturno-teksturnim odlikama, načinu pojavljivanja i srastanja minerala;
- prirodne pogodnosti na usitnjavanje sa vrijednostima čvrstoće i tvrdoće kao otpora na dovođenju komada i zrna u zahtjevani oblik i sastav krupnoće;
- pripremne aktivnosti na prethodnom tretiranju sirovine kod eksploatacije /vađenja/ mašinskim putem ili miniranjem, prirodna i mehanički dirigirana krupnoća, odvajanje jalovine sa smanjenjem vanjskih uticaja na sadržaj vlage /fizička zaštita od padavina/;
- ostvarenje što većeg stepena prilagođavanja i bliskosti parametara stijenske sirovine i karakteristika radnih mašina na ostvarivanju maksimalnih učinaka i postizanju kvaliteta proizvoda.

- Tehnologiju drobljenja oslonjenu na tehnologiju prosijavanja definišemo kroz dva uticajna elementa:
- uticaj fizičko–mehaničkih osobina sirovine i tehnoloških parametara proizvodnje na izbor mašina za drobljenje;
  - uticaj konstruktivnih, tehničkih i tehnoloških karakteristika mašina za drobljenje i prosijavanje na kvalitet međuproizvoda i konačnih proizvoda;

Nemetalne mineralne sirovine se moraju prethodno analizirati i testirati u laboratorijskim i /polu/industrijskim uslovima sa ciljem potpune mehaničke identifikacije, odabira metoda i postupaka drobljenja i izboru najoptimalnije drobilice.

## 2. PREGLED PROPISA I STANDARDA KVALITETA SIROVINE I GRAĐEVINSKIH AGREGATA

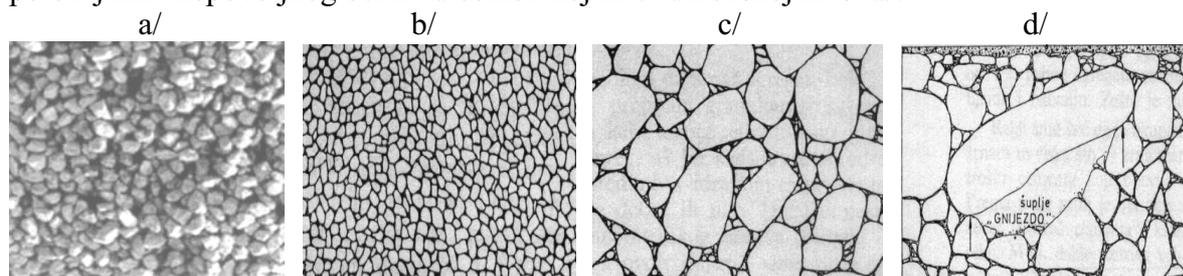
Moderni kvalitetni beton je građevinski materijal koji se može univerzalno upotrijebiti kod izrade elemenata, konstrukcija i objekata od betona i armiranog betona i svim vrstama cestovnih betonskih objekata i infrastrukture. U svim slučajevima zahtjeva se ugradnja mješavina kvalitetnog građevinskog agregata. Obaveznoj kontroli kvaliteta i obaveznom atestiranju proizvoda kod nas se vrši po osnovama odgovarajućih tehničkih propisa, pravilnika, naredbi i standarda. Do donošenja BiH-a standarda –BAS-ova, u primjeni su naredbe i standardi bivših JUS-eva. Svakako je za očekivati skoro donošenje vlastite normizacije i certifikacije kamena i kamenih proizvoda usaglašenih sa evropskim normama EN 12620 /zahtjevi za spojeve betona, cesti i kolnika/ i EN 13043 /opšti zahtjevi za betonske mješavine, presvlake za ceste, aerodromska uzletišta i druge prometne površine/. Utvrđivanje kvaliteta po standardnim propisima se vrše za mineralnu sirovinu i za konačne proizvode. Obavlja se od strane akreditirane, stručno i tehnički osposobljene institucije koja izdaje certifikat za svaki proizvod ponaosob. Postoji direktna ovisnost kvaliteta konačnih proizvoda u odnosu na tehnološki proces prerade i proizvodnje agregata za beton (B.B2.009), asfaltbeton /U.E4.014/ i BNS /U.E9.021/ u kojima je građevinski agregat osnovna ispunja. Danas na tržištima građevinskih agregata i proizvoda od cementa i bitumena posebno interesovanje kupaca se veže za kriterije ocjene građevinskog agregata. Oni su: porijeklo i vrsta mineralne sirovine, II propisane granice granulometrijskog sastava sa dozvoljenim odstupanjima; III sadržaj zrna nepovoljnog oblika; IV sadržaj muljevito–prašinstih čestica /- 0,09 mm / i V modul zrnivosti / unutrašnja raspodjela zrna /;

□ Modul zrnivosti  $M_z$  preko koeficijenta prikazuje zastupljenost zrna određene krupnoće. Izračunava se preko izraza:

$$M_z = \frac{\sum X_i}{100} [\%] \quad \dots\dots (1)$$

gdje je:  $\sum X_i$  – ukupan ostatak na pojedinom situ u % masa prema standardu B.B8.029. Za određivanje  $M_z$  koriste se vrijednosti ukupnih ostataka na sitima 0,09mm, 0,25mm, 0,71mm, 2mm, 4mm i 8mm.

□ Oblik zrna u međufrakcijama i frakcijama građevinskih agregata ima uticaj na kvalitet betona i asfaltnih mješavina. Povećani sadržaj zrna nepovoljnog oblika onemogućava skladno formiranje i slaganje kamenog skeleta u strukturu gotovog betonskog ili asfaltnog objekta. Zrnima nepovoljnog oblika smatraju se ona čiji je odnos najveće i najmanje dimenzije /ggk-gornja granična krupnoća i dgk-donja granična krupnoća/ veći od 3 : 1. Standardne veličine drobljenih frakcija i međufrakcija u pogledu granulometrijskog sastava su limitirane sa max. 15 % masenih udjela zrna nepovoljnog oblika /duguljasta, pločasta, štapčasta/. Na slici 1. je prikazana struktura kubičaste frakcije a/, sitnozrnaste frakcije b/, krupnozrnaste frakcije c/ i položaj zrna nepovoljnog oblika u cementnoj ili bitumenskoj masi d/.



SLIKA 1. PRIMJERI STRUKTURA FRAKCIJA OD ZNAČAJA ZA KVALITET PROIZVODA /MJEŠAVINA/

□ *Prašinaste čestice ili mulj* veličine ispod 0,09 [mm] ili 0,063 [mm] sa većim sadržajem u odnosu na propisanu vrijednost takođe nepovoljno utiču na kvalitet betonskih konstrukcija, elemenata i saobraćajnih objekata. Poremećaj se objašnjava time da je u masi mješavine potrebna veća količina cementa za spravljanje betona što u ukupnom rezultatu utiče na smanjenje pritisne čvrstoće betona. Inače, mulj kamenog porijekla je manje štetan u odnosu na mulj glinenog porijekla. Sadržaj muljevutih čestica u lošem proizvodu možemo dovesti u normirane okvire ugradnjom sistema za otprašivanje ili sistema pranja frakcija i međufrakcija.

### 3. DROBLJENJE MINERALNIH SIROVINA KAO GLAVNA OPERACIJA PRERADE

Drobljenje se vrši djelovanjem spoljašnjih mehaničkih sila na komade i zrna u drobećoj zoni drobilice. Kada vanjske sile razbijanja materijala nadvladaju sile kohezije unutar materijala dolazi do njegovog usitnjavanja na više komada manjih dimenzija i različitih oblika. Intenzitet usitnjavanja je predstavljen *stepenom drobljenja* ili *stepenom redukcije* “ $n_r$ ” koji nam kaže koliko puta su smanjene dimenzije komada/zrna na ulazu u odnosu na dimenzije zrna na izlazu iz drobilice u toku jednog prolaska kroz zonu drobljenja.

$$n_r = \frac{D_{sr}}{d_{sr}} \text{ ili } \frac{D_{max}}{d_{max}} \dots\dots\dots (2)$$

gdje je:  $D_{sr}$ ,  $D_{max}$  - srednja ili gornja granična krupnoća u mm /ulaz/  
 $d_{sr}$ ,  $d_{max}$  - srednja ili gornja granična krupnoća u mm /izlaz/

Ukupan stepen drobljenja je jednak proizvodu stepena drobljenja u pojedinačnim stadijumima:

$$n_{ru} = n_{r1} \cdot n_{r2} \cdot \dots \cdot n_{rx} \dots\dots\dots (3)$$

Sheme drobljenja mogu biti izvedene u jedan, dva i tri /rjeđe u 4/ stadijuma drobljenja tj. u primarnom, sekundarnom, tercijalnom ili kvardijalnom drobljenju, što ovisi od karakteristika sirovine, postavki procesa prerade i parametara mašina za usitnjavanje. Teorijski je moguće izvesti stepen drobljenja  $n_r = 50$  i više međutim, u tehničkom pogledu tako visok “ $n_r$ ” je nemoguće ostvariti jer dolazi do grubog poremećaja u protoku materijala kroz drobilicu i što su konstrukcije drobilica limitirane sa dimenzijama i sigurnosnim radnim parametrima. U praksi je potvrđeno da kada  $n_r$  prelazi veličinu 10 drobljenje treba vršiti u najmanje 2 stepena uključujući i stepenovano prosijavanje. Prethodno prosijavanje se preporučuje u slučajevima:

- kada se u ulaznom materijalu nalazi povećano prisustvo sitnijih klasa i
- kada je sadržaj vlage u kritičnoj vrijednosti što utiče na smanjenje produktivnosti drobilice

Uvođenjem prethodnog drobljenja stijenskog kamena direktno u kamenolomu može doprinjeti smanjenju stepena drobljenja na dva stepena, čak na jedan ako ostvarimo ggk-a proizvoda sa povoljnom granulometrijskom raspodjelom zrna. Karakterističan primjer ovoj tvrdnji se može dokazati kod proizvodnje tucanika /+65 –125 mm/ za željezničke pružne saobraćajnice kada koristimo metodu primarnog drobljenja i klasiranja.

### 4. KARAKTERISTIKE DROBILICA OD ZNAČAJA ZA TEHNOLOGIJU DROBLJENJA I OCJENU KVALITETA PROIZVODA

Prema krupnoći materijala na ulazu u drobilicu i na izlazu iz nje razlikujemo *krupno drobljenje* -ulaz 1500 do 300 mm, izlaz 500 do 100 mm; *srednje drobljenje* -ulaz 500 do 100 mm, izlaz 100 do 25 mm i *sitno drobljenje* -ulaz 100 do 25 mm, izlaz 20 do 5 mm. Po pravilu drobljenje se izvodi suhim postupkom. Osnovni deformacijski postupci razbijanja sirovine ili metode usitnjavanja jesu princip pritisaka i udara. Postizanje mehaničkih sila se omogućuje konstruktivnim i tehničkim izvedbama drobilica. Razvoj mašina za drobljenje ide u pravcima povećanja jediničnih razmjera i kapaciteta a malo u razvoju njihove konstrukcije i optimalnosti izvedbi. Proračun parametara mašina za usitnjavanje, uključujući i njihov izbor oslonjen je na empirijske i teorijske formule u kojima se preko iskustvenih koeficijenata izražavaju osobine sirovine, što ipak nije dovoljno za tačnost izračunavanja.

#### 4.1 Uticajni faktori na rad drobilica sa odrazima na efikasnost drobljenja

Faktori drobljenja su :

1. pogodnosti drobljenja materijala;
2. fizičko-mehaničke osobine materijala;

3. ulazno-izlazna krupnoća zrna sa stepenom usitnjavanja;
4. karakteristike drobilica, metoda drobljenja i sposobnosti za ostvarivanje radnih parametara;
5. tehnika doziranja materijala u drobilicu

Adekvatan izbor drobilica te ostvarenje pune produktivnosti i funkcionalnosti u radu omogućuje se uporednom analizom i razradom tehničkih, računskih i operativnih informacija za više vrsta drobilica a u okviru toga i serije/modela drobilica, sa korištenjem matične baze podataka i dokaza od proizvođača mašina. U tehnološkom prosecu prerade koriste se različite vrste mašina za usitnjavanje i svaka od njih ima svoje mjesto i funkciju sa mogućnostima da se univerzalno primjene u različitim stadijima drobljenja /osim čeljusnih koje su pretežno predodređene za primarno drobljenje/. Za analitičku i stručnu ocjenu karakteristika drobilica potrebno je izvršiti kategorizaciju prednosti i nedostataka od različitih proizvođača preko prikaza konstruktivnih i radnih parametara po utvrđenoj metodologiji, izvršiti analizu faktora koji utiču na konstrukciju, dati ekonomsku ocjenu i izvršiti širi a kasnije uži ili konačan izbor drobilice.

## 4.2 Konstruktivne izvedbe drobilica za upotrebu u različitim etapama drobljenja

### 4.2.1 Metoda primarnog drobljenja

Metoda primarnog drobljenja je ustvari postupak prvog usitnjavanja stijenskih komada ruda i minerala. Pretežno se izvodi na čeljusnim, kružnim i udarnim drobilicama sa gredama u ovisnosti od osobina stijenskog materijala i tehnoloških zahtjeva prerade. Kod određivanja pristupa izračunavanja i sagledavanja tehničko-tehnoloških i konstruktivnih karakteristika mašina za usitnjavanje postavlja se niz praktičnih pitanja koji model prioritarno izdvojiti radi dobijanja kvalitativnih podataka i informacija. Svaki od ponuđenih modela ima svoje mjesto u iznalaženju odgovora na pitanja primjene i upotrebe drobilica u postrojenju. Oni su:

1. karakterizacija jedne mašine – *jedinični model*
2. karakterizacija dijelova tehnološkog procesa: etapa pripreme, drobljenja, klasiranja i sl. – *djelimični model*,
3. ukupno sagledavanje ostvarenih proizvodnih parametara procesa i mašina – *model optimalnosti*,
4. karakterizacija sveukupnih učinaka, organizacijskog i tehničkog ustrojstva i ekonomskih efekata proizvodnje i prodaje – *proizvodno-ekonomski model*;

Predstavljeni modeli istraživanja imaju značaj i doprinos u analizama ocjena karakteristika mašina i procesa, kako bi se razbile dileme oko izbora vrste i modela mašina za preradu, dale ocjene efekata proizvodnje, stepen organiziranosti radnog osoblja i ostvareni nivo kontrolirane proizvodnje.

**a) Čeljusne drobilice** se proizvode u dva modela. Imamo, sa prostim kretanjem pokretne čeljusti, jedna raspona ploča -jednostruka i složenim kretanjem pokretne čeljusti, dvije raspone ploče -dvostruka. Primjenjuju se za drobljenje tvrdih abrazivnih i tvrdih lomljivih stijena.

*Karakteristike* jednostruke drobilice najbolje će se predstaviti na primjeru PEGSON-ove čeljusne jednostruke drobilice M serije. Posjeduje optimalnu geometriju drobljenja, sposobne za povećanu produktivnost, imaju veliki izlazni kapacitet i minimalno habanje drobećih tijela. Sa dodatnom opcijama: ploče za proširenje usipnog koša, suzbijanje prašine, zvučnik izolacije, mjerač količine izdrobljenog materijala, odabir drobećih tijela shodno vrsti i osobinama stijene daje im određene prednosti kod izbora.

U konstruktivnom pogledu ove drobilice su jednostavne za nadzor i održavanje, traže manje prostora za smještaj, pogodna za montažu i rad sa bilo kojom drugom opremom, za dugi vijek eksploatacije, izrađena od fleksibilne modularane konstrukcija. U toku drobljenja ova drobilica obrazuje tzv. *drobeću zonu* od nepokretnog i pokretnog unutrašnjeg zida čeljusti. Inače, drobeća tijela čeljusti u zoni drobljenja su izrađena od profilisanih obloga od tvrdog, slabohabajućeg i otpornog materijala. Mogu se lako zamjetiti ili okrenuti radi promjene ishabane ploče.

TABELA 1. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ČELJUSNE DROBILICE PEGSON, ENGLESKA

M SERIJA	Veličina otvora ulaza U [mm]	Raspon podešavanja izlaznog otvora u [mm]	KAPACITET u [t/h]
PEGSON	1010 x 650	75 – 200	170 – 400
	1100 x 800	90 - 2000	200 - 420

Za slučajeve ulaska sa drobećim materijalom stranih metala i jako tvrdih nedrobećih materijala u drobeću zonu ugrađen je kod novijih modela hidraulični cilindar koji će se kod podešenog napona sila aktivirati i propustiti "strani predmet". Time se vrši zaštita drobilice od većih havarija.

Tehnološke karakteristike čeljusnih drobilica izražene preko parametara imaju direktan uticaj na rezultate procesa drobljenja. Mogu se mjeriti, regulisati, neposredno podešavati u toku rada, prilikom uhadavanja procesa ili remonta i planiranih zastoja. Osnovne karakteristike su: ugao zahvata prihvaća materijala  $\alpha$  [°], brzina okretanja ekscentričnog vratila  $n$  [min<sup>-1</sup>], produktivnost ili tehnički kapacitet drobilice  $Q_{pr}$  [t/h] ili [m<sup>3</sup>/h], potrebna pogonska snaga  $N$  [kW], utrošak energije  $W$  [kWh/t] i stepen drobljenja  $n_r$ .

□ Na granulometrijsku raspodjelu drobećeg materijala utiče ugao zahvata  $\alpha$  kojeg stvara pokretna i nepokretna čeljust pri najmanjem otvoru za pražnjenje drobilice. Granična vrijednost ugla zahvata se dobije iz uslova ravnoteže sile koja djeluje na komad rude u radnoj zoni i sile trenja koja sprečava iskakanje komada. Ugao  $\alpha$  se kreće od 18° do 22°.

Sa porastom  $\alpha$  preko 24° dolazi do: povećanja stepena usitnjavanja, smanjenja kapaciteta drobilice, iskakanja komada u vis itd.. Čeljusne drobilice mogu dati krajnje proizvode kada su ugrađene u mobilna ili polumobilna postrojenja za preradu na licu mjesta što sa prosijavanjem dobijamo agregat srednje i visoke krupnoće.

Podešavanje izlaznog Otvora u [mm]	Kapacitet drobilice u [t/h]
40	35 – 50
50	40 – 55
63	45 – 60
75	55 – 75
90	65 – 85
100	75 – 100
125	90 – 130

SLIKA 1. GRANULOMETRIJSKA RASPODJELA ZRNA I KOMADA KOD RAZLIČITIH OTVORA IZLAZA I KAPACITETA /PEGSON M SERIJA

- Stepen usitnjavanja kreće se od  $n_r = 3$  do 4. Granični stepen usitnjavanja određuje se po formuli Taggartta :

$$n_{gr} = 0,85 \frac{B}{S_2} \dots\dots\dots (4)$$

gdje je:  $B$  – širina otvora krajnje drobilice u mm  
 $S_2$  – najveći otvor za pražnjenje izdrobljenog materijala u mm

Ove vrsta drobilice odlikuje se mogućnostima velikog kapaciteta prerade, proizvode komade i zrna duguljastog, izduženog i uglavnom pločastog oblika. Proizvod je sa visokim udjelom komada iznad dimenzija minimalnog otvora za pražnjenje drobilice. Udio ovisi od tvrdoće sirovine, sastava i oblika obloga pokretne i nepokretne čeljusti. Negativnost modela drobljenja kod ovih drobilica je pojava vibracija kod povratnog praznog hoda pokretne čeljusti čime se traže jači i moćniji osloni fudamenti. Kod ulaza mokrog i ljepljivog materijala dolazi do smanjenja kapaciteta prerade.

**b) Kružne drobilice** namjenjene su za drobljenje jako tvrdih i srednje tvrdih ruda i stijena sa većim kapacitetom prerade i sa velikom ulaznom krupnoćim komada u primarnom i sekundarnom drobljenju. Proces drobljenja se u njima vrši silom pritiska i silom savijanja zbog geometrijskog oblika drobeće zone /prstenasto- kupasta/. Namjenjene su za krupno drobljenje. Površine nepokretnog i pokretnog konusa su obložene zaštitnim oblogama od mangan-čelika. Kapacitet prerade je 2,5 do 3 puta veći u odnosu na čeljusne drobilice. Stepen usitnjavanja se kreće,  $n_r = 3$  do 4. Gornja granica krupnoće /ggk/ sirovine na ulazu ne smije prelaziti vrijednost 0,85 B. Ove drobilice daju proizvod ujednačenog granulometrijskog sastava sa većim prisustvom pravilnijih oblika kockastih zrna, ostala su duguljasta. Kapacitet prerade se kreće od 120 do 420 t/h, Nordbergova serija G –1100 ili od 150 do 680 t/h, serija G –1400. Regulacija širine izlaznog otvora vrši se pomoću hidrauličnog sistema izdizanjem ili spuštanjem konusne glave. To ujedno vrši zaštitu drobećih površina od upadanja stranih tvrdih predmeta.

#### 4.2.2 Metoda sekundarnog drobljenja

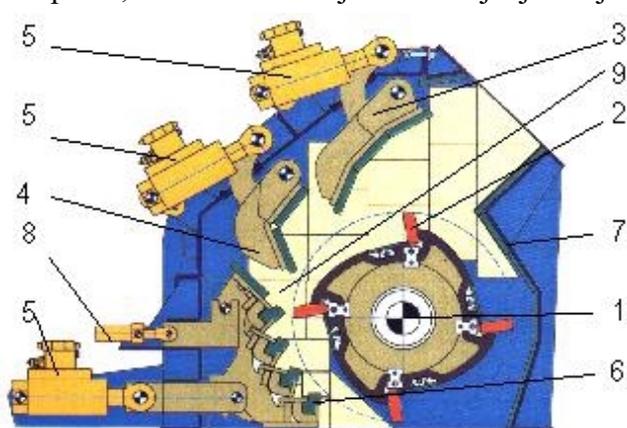
**Udarne horizontalne rotacione drobilice** Ovisno od konstruktivnog modela i materijala koji se drobi ove drobilice se osim upotrebe u I stadijumu primarnog drobljenja mogu koristiti i za sekundarno drobljenje. Primjenjuje se za drobljenje srednje tvrdih materijala. Kod kompaktnih i

zdravih komada koji se drobi dobije se kockasti oblik zrna, dok kod tektonski oštećenog materijala često se dobije nepravilan oblik čime se narušava kvalitet proizvoda. Na slici 2. dat je šematski prikaz drobilice za krupno drobljenje sa rotorom na kojem su postavljene 4 grede /može ih biti od 3 do 6/. U udaru na komade udarnih greda i odbojnih ploča učestvuje cijela masa rotora pri čemu su udari mnogo jači nego kod drobilice sa čekićima.

Radni parametri drobljenja materijala u ovim drobilicama mogu se podešavati: veličinom otvora između grede i ploča, promjenama brzina rotora, regulacijom krupnoće ulaznog materijala. Kapacitet drobilice u tehničkom pogledu određuje veličina prečnika i dužina rotora, broj ugrađenih udarnih greda i brzina okretanja rotora. Rotor sa gredama veće mase okreće se manjom brzinom, drobi komade stijene sa manjim preusitnjavanjem .

Na kapacitet i snagu elektromotora utiču osobine stijenskog materijala i zavise od veličine ulazne granulacije i željene konačne granulacije. To dokazuje nekoliko praktičnih primjera:

- za sitniji materijal – manji otvori i manje ggk ulaza;
- utrošak električne energije, pri velikim brzinama i visokim stepenom drobljenja povećava se i potrošnja / > koeficijent  $W_i$ /. Drobljenje sa velikim brzinama je skupo, preporučuju se brzine: maks. 35, min. 20 [m/sec];
- ispitivanjima je potrebno odrediti optimalne vrijednosti obrtanja rotora i raspona greda-ploča, za svaki materijal za dobijanje željene granulacije i protoka masa.



#### Oznake pozicija:

1. rotacioni nosač udarnih tijela
2. udarna greda/čekić
3. prednja drobeća ploča
4. stražnja drobeća ploča
5. zaštitni hidraulični sistem
6. kontrolna drobeća ploča
7. bočni otvor
8. regulator raspona prolaza
9. zona drobljenja

SLIKA 2. ŠEMATSKI PRIKAZ UDARNE DROBILICE SA GREDAMA PROIZVOĐAČA HAZEMAG, TIP AP – S(M)H

Inače, sa povećanjem vlage i udjela glinovitih primjesa u sirovini i sa smanjenjem krupnoće na ulazu opada vrijednost kapaciteta drobilice. Granulometrijski sastav proizvoda ovisan je od brzine obrtanja rotora sa gredama i tvrdoće kamenih komada i zrna. Sa povećanjem brzine dolazi do povišenja udjela sitnih klasa u konačnom proizvodu i obrnuto. Ona se kreće od 18 do 86 [m/sec], optimalno od 25 do 70 [m/s]. Otvor ili raspon između greda i ploča zavisi od tvrdoće drobljenog materijala /za tvrde materijale veći otvor/. Iz ovih drobilica dobije se pravilniji kubičan oblik komada i zrna sa manjim prisustvom pločastih i štapićastih formi.

#### 4.2.3 Metode završnog drobljenja materijala od uticaja na osobine konačnih proizvoda

Danas je vrlo teško izvršiti podjelu mašina za drobljenje shodno primjenjenom metodu drobljenja i konstruktivnoj izvedbi u oblasti primarnog, sekundarnog ili tercijalnog drobljenja. Razlozi leže u činjenicama da su proizvođači drobilica usavršili postojeće modele za tzv. krupno, sitno i fino drobljenje čime im se spektar upotrebe proširo i odredile šire pozicije u etapama drobljenja. Umješnost ovih kombinacija ogleda se u poznavanju konstruktivnih i tehničkih karakteristika mašina, osobina materijala koji se drobi i postavljenih tehnologija drobljenja i prosijavanja za proizvodnju tehničkog kamena za tržište.

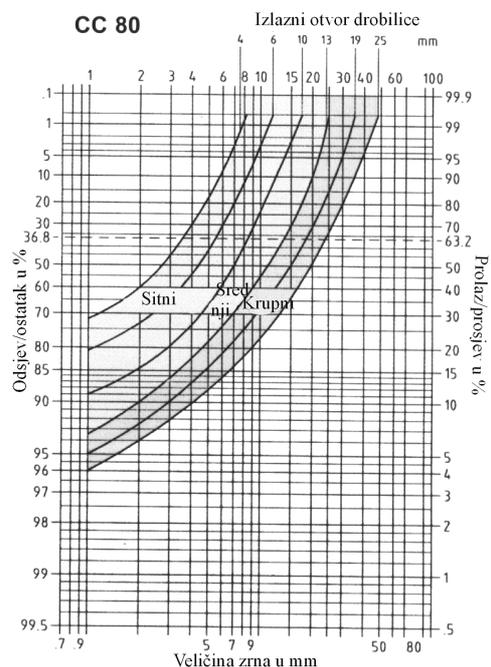
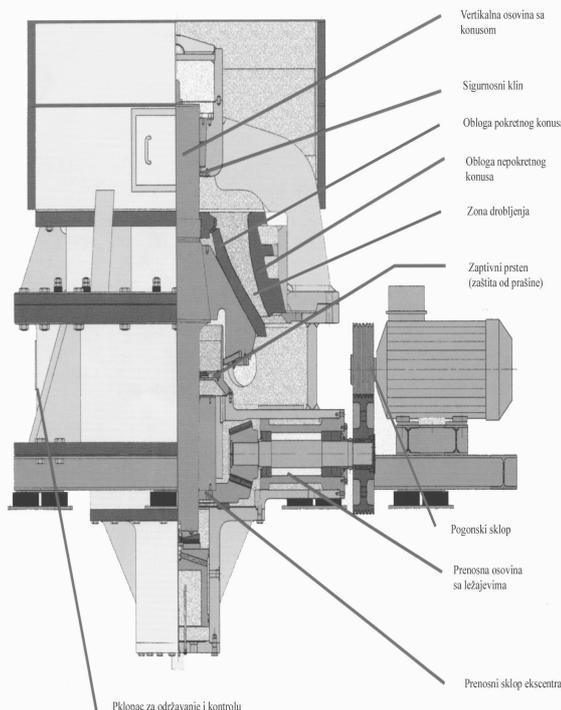
##### a) *Konusna drobilica za srednje i sitno drobljenje*

Ove vrste drobilica imaju ista konstruktivna rješenja kao kružne konusne drobilice. Razlikuju se po konfiguraciji radnog prostora. Princip rada je isti. Primjenjuje se za drobljenje srednje tvrdih i tvrdih i abrazivnih sirovina. Interesantan je nastanak paralelne zone u donjem dijelu drobeće zone formirane od površina obloga pokretnog i nepokretnog konusa pri čemu su prilikom drobljenja komadi materijala izloženi drobećim silama u više faza. To omogućava dobijanje ravnomjerne raspodjele zrna po krupnoći, visok stepen usitnjavanja i povećanu visina drobeće zone, a time i zapremine drobećeg prostora što utiče na povećanje protoka materijala. Na slici 4. prikazana je

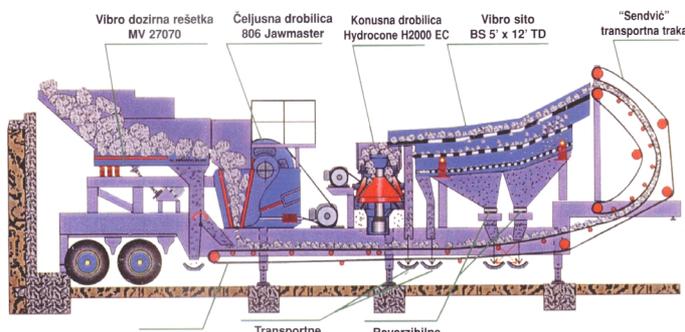
kratkokonusna drobilica koja može u drugom stepenu primarnog drobljenja iza čeljusne drobilice, vršiti dodatna smanjenja veličina zrna.

Tehnološke karakteristike:

- *Ugao zahvata* materijala koji se drobi  $\alpha$  kojeg zaklapaju površine pokretnog i nepokretnog konusa u gornjem dijelu drobeće zone kada su najbliži jedan drugom;
- *Optimalni broj obrtaja ekscentrične čahure n*. Drobljenje materijala će se ostvariti ako je vrijeme jednog obrtaja ekscentrične čahure jednako ili manje od vremena klizanja komada po kosoj površini pokretnog konusa. Za ujednačeni granulometrijski sastav i za veći stepen drobljenja važno je koliko će puta materijal biti /min 2x/ zahvaćen rotirajućim konusom u drobećoj zoni.
- *Kapacitet Q<sub>dr</sub>* na kojeg utiče broj obrtaja ekscentrične čahure i prečnik osnove pokretnog konusa D, dužina i širina paralelne zone. Od fizičkih osobina sirovine na kapacitet utiče specifična masa sirovine uključujući i koeficijent rastresitosti izdrobljenog materijala koji se kreće od 0,25 do 0,75.
- *Stepen usitnjavanja n<sub>r</sub>*, se kreće od 10 do 20.



SLIKA 3.HEMA KRATKOKONUSNE *ASTRO CONE* DROBILICE PROIZVOĐAČA MFL, MODEL CC80, CC102 I CC135 SA GRANULOMETRIJSKIM KRIVAMA DROBLJENJA KAMENIH MATERIJALA RAZLIČITE KRUPNOĆE I OTVORA DROBILICE



SLIKA 5. PRIMARNO DROBLJENJE U DVA STEPENA NA KOMPAKTNOM MOBILNOM POSTROJENJU SCORPION 2000 SVEDALA

Prednosti konstruktivnih izvedbi ovih drobilica se ogledaju u pogodnostima:

- usitnjavanje je ujednačenije s nižim udjelom većih zrna uz veći kapacitet i uz niže troškove održavanja;
- imaju hidraulično osiguranje od preopterećenja i hidraulično reguliranje otvora za pražnjenje;
- imaju kompaktno, dobro odmjereno i robusno dizajn;
- veličine pogonske snage odgovaraju stanju nivoa razvoja tehnike iz ove oblasti;
- maksimalna produktivnost, relativno mala težina, jednostavno održavanje,

- nisko opterećenje kliznih ležajeva, dobra izbalansiranoost konstrukcije prilikom rada itd.;
- primjena u svim stadijumima drobljenja i za kapacitete za koje su konstruirane i proizvedene odgovarajući modeli i serije ovih drobilica.

### b) Horizontalne udarne drobilice sa čekićima

Po konstrukciji spadaju u istu grupu sa drobilicama sa gredama. Princip usitnjavanja komada materijala vrši se udarima čekića pričvršćenim u slogu na horizontalnoj osovinu na način, da pri radnom broju obrtaja sloga rotora čekići udaraju po komadima sirovine i udarom komada i zrna po zaštitnim oblogama drobećih ploča. Kapacitet prerade ovisi od veličine drobilice, broja obrtaja rotora, broja i mase čekića, drobitosti sirovine, sadržaja gline, vlage i stepena drobljenja.

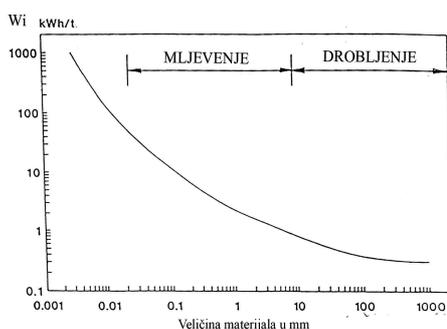
Obimna brzina rotora ovisi od broja čekića po obimu rotora i kreće se od 20 do 60 [m/s]. Sa povećanjem brzine povećava se naboj udarnih glava čekića, dolazi do smanjenja broja čekića, bržeg habanja udarnih čekića /isto se odnosi na povećan sadržaj SiO<sub>2</sub> u sirovini/ i povećanja sadržaja sitneži u konačnom proizvodu. Koriste se za srednje i sitno drobljenje mekih i srednje tvrdih i krutih sirovina (dolomit, krečnjak, gips itd.). U proizvodu dominiraju zrna kockastog oblika. Stepenn drobljenja može biti čak do 40 ali su praktična iskustva pokazala da je optimalni n<sub>r</sub> do 10. Može se regulisati promjenom brzine rotora, veličinom otvora rešetke na izlazu i zazorom između rotora i rešetke ili rotora i drobećih ploča.

Proračun vrijednosti:

$$\text{Kapacitet } \varphi \quad Q = 0,8 \frac{N}{W} \text{ [t/h]} \quad \dots\dots (5)$$

$$\text{Pogonska snaga } \varphi \quad N = 0,15 D^2 L n \text{ [kW]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Specifična potrošnja energije } \varphi \quad W = k W_i \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \text{ [KWh/t]} \quad \dots \dots (7)$$



gdje je: D – prečnik rotora [m]  
 L – dužina rotora [m]  
 n – broj obrtaja rotora [min<sup>-1</sup>]  
 k - koeficijent rastresitosti, k = 1 za srednje drobljenje i k = 1,4 za sitno drobljenje  
 W<sub>i</sub> – Bondov radni indeks [kWh/t]  
 P i F – veličina kvadratnih otvora sita kroz koje prolazi 80% materijala prije i poslije drobljenja [μ m]

SLIKA 6. DIJAGRAM UTROŠKA ENERGIJE KOD USITNJAVANJA RAZLIČITIH VELIČINA KAMENA

### c) Drobilica sa valjcima

Dva međusobno paralelna valjka koji se obrću u suprotnim smjerovima koji gniječenjem drobe zrna materijala. Ona je jednostavne konstrukcije, zauzima mali prostor za montažu i rad. Sigurne su u eksploataciji. Proizvode zrna pločastog oblika sa malo sitneži u konačnom proizvodu. Koriste se za drobljenje mekih i srednje tvrdih stijena i ruda. Stepenn usitnjavanja je pretežno n<sub>r</sub> = 2. Granična veličina brzine okretanja je ona do koje se komadi sirovine mogu zahvatiti između valjaka i izdrobiti. Ona se kreće do 11 m/sec, praktično v = 4 do 6,5 m/sec za glatke valjke i v = 1,5 do 3,2 m/sec za nazubljene valjke.

### d) Vertikalne udarne drobilice VSI

Pred mnoge prerađivače mineralnih sirovina koji na industrijskim postrojenjima prerađuju bazalt, krečnjak, diabaz, dolomit, gips i druge nemetalne minerale postavljen je zadatak postizanja najveće kvalitete proizvoda i kurentnosti proizvoda na tržištu. Zbog toga se od konstruktora i proizvođača mašina traže optimalna i funkcionalna rješenja na iznalaženju:

- I mogućnosti pojednostavljenja radnog postupka drobljenja uvođenjem novih tehnologija drobljenja;
- II kako iznaći novu konstrukciju mašina s kojom bi se smanjio broj postojećih mašina za drobljenje čime bi se izvela djelimična modernizacija;
- III smanjenja troškova proizvodnje i održavanja mašina;
- IV produženja radnog vijeka habajućih drobećih pokretnih i nepokretnih tijela sa pogodnostima održavanja;
- V odabir odgovarajuće serije i modela drobilice s kojom bi se postigla veća produktivnost, obezbjedilo kubično zrno, odgovarajući granulometrijski sastav sa unutrašnjom raspodjelom veličina i na kraju
- VI zadovoljenje uslova ekološke zaštite radne sredine

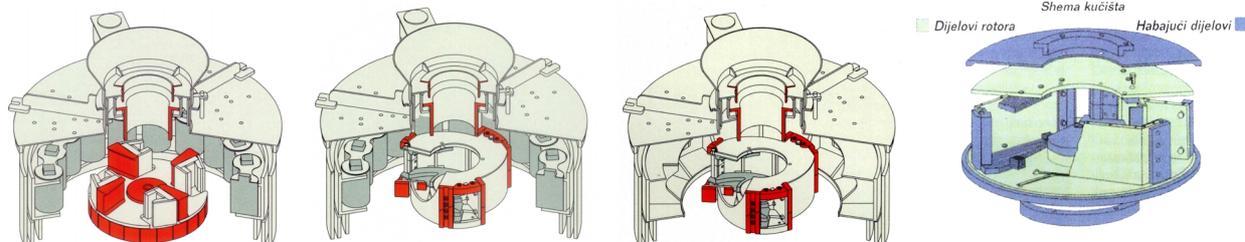
Ove vrste udarnih drobilica u praktičnoj primjeni pokazale su punu efikasnost i kao takve uglavnom se koriste za tzv. završno drobljenje sa završnim višestepenim prosijavanjem u zatvorenom krugu.

Postoji nekoliko modela ovih drobilica:

- vertikalna udarna drobilica sa rotornom drobećom pločom i palcima - SANDMAKER
- vertikalna udarna centrifugalna drobilica - KUBIKATOR
- vertikalna udarna drobilica -DUOPACTOR

Modifikacije vertikalnih udarnih drobilica /VSI/ u konstruktivnom pogledu se razlikuju po četiri osnova:

- po tipu rotora, zatvoren i otvoren, zvjezdast i broju otvora za izbacivanje materijala;
- po vrsti drobećih elemenata, rotorna ploča sa palcima i djelimično zvjezdast rotor;
- po obliku vanjske obloge kućišta drobilne zone: ploče, valjci, umetci, materijalna komora /stone box/;
- po vrsti ugrađenog materijala habajućih radnih sklopova /pokretnih/ i nepokretnih/ i elemenata.



Otvoren rotor/anvils, za sekundarno i tercijalno drobljenje VI serija NORDBERG

Zatvoren rotor/anvils, za tercijalno i kvaternarno drobljenje VI serija NORDBERG

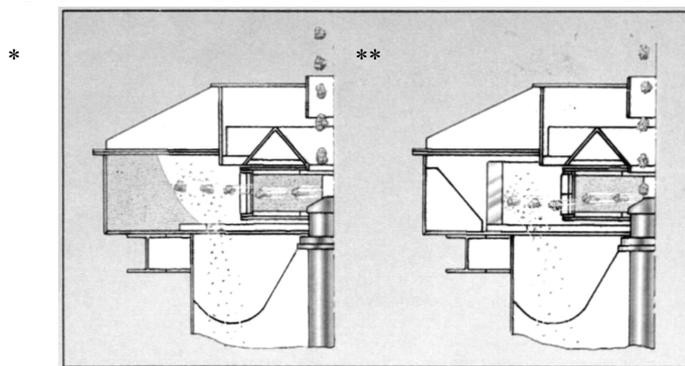
Zatvoren rotor/materijalna komora (Shaper) za završno drobljenje VI serija NORDBERG

Otvoren rotor/materijalna komora sa prikazom dijelova rotora, PILOT CRUSHTEC VSI Tornado

SLIKA 7. PRIKAZ RAZLIČITIH KONFIGURACIJA ROTORA KOD VSI DROBILICA

Unazad nekoliko godina kod VSI «kamen na kamen» pojavio se rotor zvjezdastog oblika. Sa pospješanim tagencijalnim izbacivanjem zrna materijala i sa većom obodnom brzinom rotora dolazi do efikasnijeg i učinkovitijeg razbijanja zrna. Pogodne su za drobljenje tvrdih i abrazivnih stijena. Habanje dijelova rotora izloženih stalnim dodirima materijala koji se kreće velikom brzinom se smanjilo na 30% u odnosu na mašine koje koriste rotornu ploču sa člancima /RPM/. Ovaj tip rotora omogućuje drobilici ili mlinu da proizvede zrna kubičastog oblika.

Osnovne tehnološke karakteristike vertikalnih udarnih drobilica su: obodna brzina i broj obrtaja rotora ili rotornog stola sa člancima, stepen usitnjenja, produktivnost i utrošak pogonske energije tj. specifična potrošnja energije.



\* Normalna izvedba udarne drobilice «kamen o kamen» za proizvodnju približno kockastih oblika zrna sa zaobljenim rubovima ivica i ograničenim udjelom sitnih čestica u proizvodu.

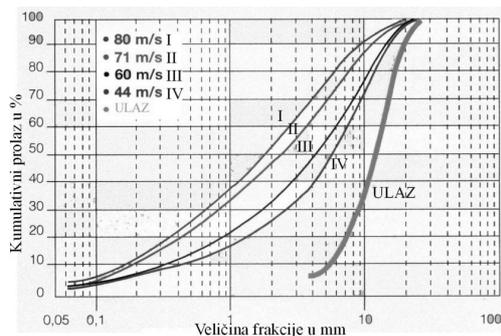
\*\* konstruktivna izvedba udarne drobilice «kamen o ploču» za proizvodnju zrna sa oštrim ivicama i sa relativno visokim udjelom sitnih čestica u proizvodu.

SLIKA 8. PRIKAZ UDARNE DROBILICE «KAMEN NA KAMEN» I «KAMEN NA PLOČU», ZENTURBO ZS PROIZVOĐAČA MFL

**Nordberg Group**, danas **Metso minerals** je u posljednjih nekoliko godina razvio i usavršio vlastite modele vertikalnih udarnih drobilica za završno drobljenje. U proizvodnom programu ove firme, *Vertical Stroke Impact /VSI/* drobilice se nude sa kapacitetom prerade od 55 do 365 [t/h].

TABELA 2. TEHNIČKI PODACI VI DROBILICA NORDBERG

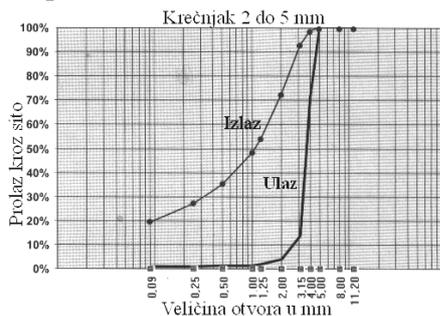
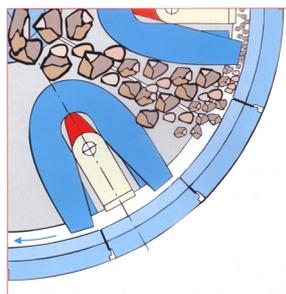
VI MODEL	Maksimalna veličina ulaznog otvora rotora-zatvoren u [mm]	Maksimalna veličina ulaznog otvora rotora-zatvoren u [mm]	Maksimalna instalirana snaga u [kW]	Maksimalni broj obrtaja rotora u [o/min]	Maksimalna brzina rotora u [m/sec]
VI 200	100	60	132	1900	85
VI 300	125	60	250	1600	80
VI 400	125	60	400	1400	75
VI 500	150	60	600	1200	70



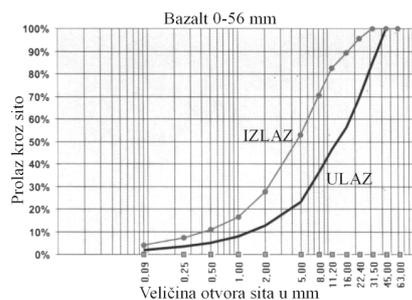
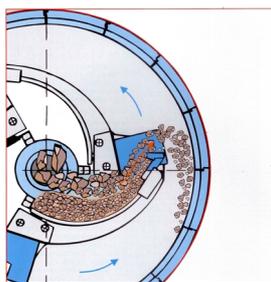
Na slici 9. je prikazan preko granulometrijske krive uticaj različitih brzina rotora na kvalitet proizvoda u pogledu veličina i raspodjele izdrobljenih zrna i čestica. Ako, prilikom ispitivanja usitnjavanja komada i zrna stijene povećavamo brzinu kretanja rotora dobiti ćemo sitniji proizvod sa ujednačenom unutrašnjom raspodjelom zrna.

SLIKA 9. UTICAJ BRZINE ROTORA NA GRANULOMETRIJSKI SASTAV PROIZVODA/ NORDBERG-OVA SERIJA VI DROBILICA

Principi i metode drobljenja zrna su prikazane na slici 10., 11. i 12. u ovisnosti od izvedbene konstrukcije rotora i drobećih elemenata što se prevashodno odražava na forme zrna u proizvodu drobljenja.



SLIKA 10. PRINCIP DROBLJENJA SA GRANULOMETRIJOM ZRNA U PROIZVODU KREČNJAKA /BHS-OVA DROBILICA TIPA RPM/

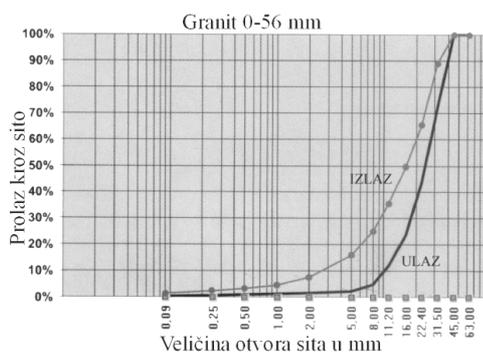
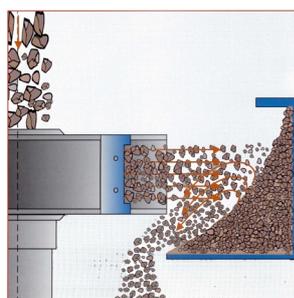


SLIKA 11. PRINCIP DROBLJENJA BAZALTA SA KRIVOM GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA PROIZVODA /BHS-OVA DROBILICA TIPA RSMR/

TABELA 3. PRIKAZ SADRŽAJA KUBIČNIH ZRNA KOD USITNJAVANJA BAZALTA

Veličina frakcije /otvora sita/ u mm	Udio kubičnih zrna u međufrakcijama u %	
	Ulazna	Izdrobljena
5 do 8	30,9	89,8
8 do 11,2	61,1	93,0
11,2 do 16	44,9	93,2
16 do 22,4	53,2	85,2

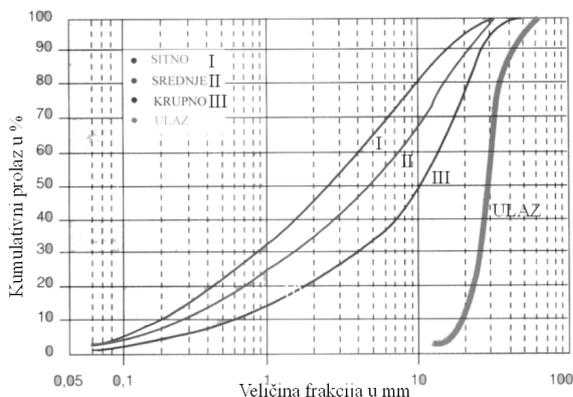
Kada sadržaj elemenata silicijuma, aluminijuma i željeza prelazi vrijednost 20% u stijenskom mineralu tada se preporučuje drobljenje u vertikalnoj udarnoj drobilici-mlinu «kamen na kamen».



SLIKA 12. PRIKAZ DROBLJENJA GRANITA SA GRANULOMETRIJSKOM KRIVOM PROIZVODA /BHS-OVA DROBILICA TIPA RSMS/

TABELA 4. PRIKAZ SADRŽAJA KUBIČNIH ZRNA KOD USITNJAVANJA GRANITA

Veličina zrna u proizvodu u mm	Udio kubičnih zrna u međufrakcijama u %	
	Ulazna	Izdrobljena
5 do 8	55,4	97,1
8 do 11,2	66,8	96,7
11,2 do 16	68,3	96,3



SLIKA 13. UTICAJ TVRDOĆE ZRNA NA GRANULOMETRIJSKI SASTAV /NORDBERG-OVA SERIJA VI DROBILICA

Na produktivnost, veću ili manju kod ovih vrsta drobilica utiču karakteristike drobećeg materijala i mašine i to: tvrdoća, tip rotora, broj otvora na rotoru, modularna konstrukcija drobećih tijela i instalisana pogonska snaga EM-a, na osnovu čega se već unaprijed za date uslove može uticati na očekivane vrijednosti produktivnosti.

Stepen drobljenja se određuje odgovarajućim izborom obodne brzine rotirajućeg stola ili rotora, brojem otvora za izbacivanje materijala te oblikom i brojem naprava /elemenata/ za drobljenje.

Proizvodi drobilica variraju po granulometrijskom sastavu zrna u odnosu na parametre od granulometrije ulaza, tvrdoće stijene tj. zrna, do

brzine rotora. Na više ispitivanja drobljivosti različitih vrsta stijenskog materijala izvodimo istraživanja na dobijanju naj-optimalnijih karakteristika proizvoda po granulometrijskom sastavu shodno odgovarajućim standardnim vrijednostima. Zrna povoljnog oblika u proizvodu ovih drobilica su kubičasta i uglavnom zadovoljavaju kriterije ugradnje.

#### d) *Primjeri unaprijeđenja konstrukcija drobilica, tipa VSI, kod industrijske prerade kamenih materijala*

Njegov udio i zastupljenost u masi proizvoda po zapreminskom koeficijentu  $c$  i odnosu dimenzija zrna  $3:1$  jeste direktan odraz karakteristika drobilica i osobina drobećeg materijala.

Za izučavanje osnovnih karakteristika *VSI drobilica* u pogledu uticaja radnih parametara na kvalitet proizvoda najprikladniji načini jeste prikaz konkretnih primjera ispitivanja drobljenja u industrijskim uslovima sa različitim materijalima datih od proizvođača mašina, što je prethodno učinjeno sa primjerima drobljenja firme *Nordberg*. Sa analizom rezultata drobljenja preko dijagramskih granulometrijskih kriva i tekstualnih pojašnjenja možemo upotpuniti stručne spoznaje o mogućnostima ovih vrsta drobilica.

Firma *Pilot Crushtec* iz Južne Afrike razvila je seriju *TORNADO* udarnih drobilica za tercijalno drobljenje različitih nemetalnih materijala po principu «kamen na kamen», ggk-a do 31,5 [mm] ili čak do 60 [mm].

Konstruktivne prednosti ovih drobilica su:

1. ugrađeni vidia ulošci na izlaznim otvorima rotora;
2. nema habanja statične obloge jer je ona formirana od sabijenih zrna stijenskog materijala;
3. veliki efekat drobljenja sa kubičnim zrnima u proizvodu;
4. mali troškovi odražavanja, omogućeno lako odražavanje i mijenjanje habajućih dijelova;
5. u radu ne praši jer se strujanje zraka vrši u zatvorenom krugu, bez vibracija i sa malo buke.

Istraživanja firme *Magotteaux* iz Belgije su bila usmjerena na probleme kako na već postojećim postrojenjima izvršiti modifikaciju i tehnološka unaprijeđenja i kako poboljšati sadržaj kubičnih zrna u finalnom proizvodu. Rezultat tog istraživanja je *MAG<sup>i</sup> impact model 2100* udarna vertikalna drobilica koja u postupku drobljenja može zamijeniti dvije do tri drobilice u sekundarnom i tercijalnom drobljenju. Sa ovim modelom moguće je ostvariti pojednostavljanje radnog postupka završne prerade sa smanjenim troškovima proizvodnje. Postizanje efekta smanjenja troškova na zamjeni habajućih dijelova je ostvareno izradom udarnih elemenata od posebno lijevane krom-čelične legure. U proizvodnom smislu ove drobilice omogućuju: ulaz zrna ggk do 180 [mm], kapacitet ulaza do 500 [t/h] preradu vrlo abrazivnih vrsta kamena i dobijanje kubičnih formi zrna u krajnjim proizvodima.

Američka firma **REMco** je proizvela udarnu vertikalnu drobilicu *Sand Max 9000 dual Drive* sa dvojnim pogonom 2 x 220 [kW]. Kod kapaciteta od 350 do 400 [t/h], ulazne granulacije 40 do 100 [mm], brzine obrtaja od 2400 [o/min] sa prečnikom 1050 [mm] i 6 izlaznih otvora iz rotora, drobi npr. bazalt na frakciju 0/4 [mm] sa sadržajem od 40 do 60 [%] iste u masi proizvoda. Inače, ova firma ima više modela *ST/AR VSI* drobilica za sve vrste postavki procesa drobljenja. Unutrašnje obloge kućišta drobećih komora izrađene su od materijala tipa *anvil ring* čime se omogućuju veće povoljnosti na dobijanju kvalitetnijeg proizvoda i preradu jako abrazivnih materijala.

Po programu ponude firma **Canica-Jaques** nudi na tržištu centrifugalnu drobilicu-mlin sa nazubljenim kućištem /statorom/ i otvorenim dnom kapaciteta prerade od 45 do 1000 t/h i ulaznog otvora od 38 do 305 mm. Konstruktivnim rješenjem omogućeno je pravilno strujanje zraka i materijala kroz drobilicu čime je obezbijeđen njen miran rad.

## 5. ZAHTJEVI U POGLEDU UVOĐENJA KONTROLIRANE PROIZVODNJE

Jedan od osnovnih ciljeva prerade nemetalnih mineralnih sirovina jeste proizvodnja kvalitetnih proizvoda za tržište. Da bi se to ostvarilo potrebno je uvesti kvalitetan nadzor na procesom proizvodnje, omogućiti racionalno korištenje prirodnog resursa, ostvariti zadovoljstvo uposlenih radnika, uspostavljati partnerske odnose od interesa za poslove djelatnosti firme, uvesti odgovornost, sprovesti ekološke mjere zaštite radne i životne sredine, omogućiti edukacije uposlenih, planirati i još određeni niz aktivnosti, a za postizanje uspješnog privređivanja.

Primjena informacijskih sistema u proizvodno preduzeće omogućuje praćenje svih relevantnih podataka i informacija o odvijanju planskih, pripremnih i proizvodnih i uslužnih radnji .

Sagledavajući, tehnologiju prerade sirovina možemo kritički posmatrati kroz fazu vađenja i miniranja sirovine, fazu drobljenja i prosijavanja i fazu dodatne industrijske prerade. Na osnovu toga može se zaključiti potreba stalnog djelovanja na unapređenju i uvođenju ukupnog sistema unaprijeđenja kvaliteta kontrolirane proizvodnje kako bi se na organiziran i sistematičan način ostvarile namjere ostanka na tržištu prerađivača sirovina. Izrečenu činjenicu potkrepljuje podatak o egzistiranju velikog broja državnih koja su predmet privatizacije, i privatnih preduzeća u BiH-a sa realnim potrebama uvođenja sistematizirane i kontrolirane proizvodnje.

## 6. ZAKLJUČAK

Bitan uticaj na kvalitet mineralnih sirovina ima operacija drobljenja. Danas se na tržištu nudi čitav niz drobilica sa različitim konstruktivnim, tehnološkim, tehničkim i radnim karakteristikama. Za dobar izbor, eksploataciju i održavanje drobilica neophodno je što potpunije definisati i poznavati ove karakteristike kako bi upravljali kvalitetom proizvoda.

## 7. LITERATURA:

- [1] N. Čalić, Teorijski osnovi pripreme mineralnih sirovina, RGF, 1990. godine, Beograd;
- [2] E. Slunjski, Strojevi u građevinarstvu, Sveučilište u Zagrebu, 1995. godine, Zagreb;
- [3] M.M. Plavšić, Građevinske mašine, Naučna knjiga Beograd, 1990. godine, Beograd;
- [4] S. Brdarević, Projektovanje fabrika-Projektovanje proizvodnih sistema, 1996. godine Travnik;
- [5] V. Silobrčić, Kako sastaviti, objaviti i ocijeniti znanstveno djelo, Medicinska naklada, 1994. godine, Zagreb ;
- [6] J. Sredojević, Mašine za površinsku eksploataciju, 1998. godine Mašinski fakultet Zenica;
- [7] I. Šišić, Analiza uticajnih faktora na izbor i rad mašina za drobljenje, Nauka i razvoj u praksi, Privredna komora U-S Kantona br. 3/2000
- [8] H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe- Band I, WEB Deutscher Verlag fuer Grand stoffindustrie 1997. Leipzig
- [9] Prospektni materijali, web stranice i tehnička literatura proizvođača mašina i postrojenja : NORDBERG, SVEDALA, BHS, SCT, PILOT CRUSHTEC, REMco, MFL, PEGSON i dr.;
- [10] BAS norme i standardi iz oblasti kvaliteta sirovina i agregata sa atestima finalnih proizvoda;
- [11] Tehnički izvještaji iz privrednih društava IGM-a sa U-S kantona, 2000/2001 godine;