

KONSTRUKCIJSKE ZNAČAJKE I UČINKOVITOST VERTIKALNIH UDARNIH DROBILICA

BRANKO SALOPEK, IVAN SOBOTA, GORDAN BEDEKOVIĆ

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000, Hrvatska
E-mail: bsalopek@rgn.hr***Ključne riječi:** Sitnjenje, Vertikalne udarne drobilice, Plemenita kamena sitnež**Key words:** Comminution, Vertical impact crushers, High-grade chippings**Sažetak**

Na tržištu tehničkog kamena najtraženije su klase veličine zrna 4/8, 2/4, -4, -2 mm, čiji maseni udio prevladava u agregatima za izradu betona i asfalta. Međutim, proizvodnja tih klasa nije uvijek jednostavna. Pored zahtjeva za količinom, redovito se traži određeni grano-sastav i oblik zrna kamenog agregata, te minimalan udio čestica veličine -0,09 mm. Do prije desetak godina, najčešće su za proizvodnju navedenih klasa korištene udarne drobilice i čekićare, dok se danas u tu svrhu sve češće koriste vertikalne udarne drobilice. Vertikalne udarne drobilice predstavljaju izvjestan tehnološki napredak koji se prvenstveno očituje u većem udjelu zrna kubičnog oblika u izlaznom materijalu i manjem habanju udarnih elemenata i obloge u odnosu na prije spomenute drobilice. U članku su opisane osnovne konstrukcijske značajke i princip rada vertikalnih udarnih drobilica, te je analizirana njihova učinkovitost (grano-sastav proizvoda, udio zrna povoljnog oblika, udio čestica - 0,09 mm) u ovisnosti o utjecaju pojedinih tehnoloških parametara.

Abstract

In the technical stone market, the most demanded grain size classes are 4/8, 2/4, -4, -2 mm, which weight portion being predominant in aggregates for the production of concrete and asphalt. However, the production of these classes is not always simple. In addition to quantity requirements, the specific grain size distribution and grain shape of stone aggregate, as well as a minimal portion of the particles -0,09 mm are regularly demanded. Until about ten years ago, impact and hammer crushers were most often used for the production of the above-mentioned classes, while nowadays vertical impact crushers are being used with increasing frequency for this purpose. Compared to the first-mentioned crushers, vertical impact crushers represent a certain technological progress manifested primarily in a greater content of cubic shaped grains in output material and reduced wear of crusher lining and impact elements. The paper describes the basic construction features and the operating principle of vertical impact crushers, and analyzes their efficiency (grain size distribution of the crushed product, content of favourably shaped grains, filler content) as a function of the particular technological parameters.

1. Uvod

Proizvodnja tehničkog kamena za potrebe građevinske industrije predstavlja značajan vid rudarske proizvodnje, kako po obimu tako i po vrijednosti.

Na današnjem tržištu građevnog materijala najtraženije su klase zrna 4/8, 2/4, -4 i -2 mm, čiji maseni udio prevladava u agregatima za izradu betona i asfalta. Proizvodnja tih klasa nije uvijek jednostavna s obzirom na visoke zahtjeve normi koje su postavljene u pogledu kvalitete kamenog agregata.

Od sredine 1960-tih nadalje, ti su zahtjevi postupno rasli i postajali precizniji, tako da je danas uspješnu proizvodnju kamenog agregata za beton, asfalt i cestovne podloge nemoguće ostvariti bez odgovarajućeg postrojenja za drobljenje i klasiranje.

U skladu s današnjim normama za kvalitetu agregata namijenjenog za izradu betona i asfalta, proizvedeni kameni materijal mora imati određena prirodna svojstva, ali i svojstva koja se formiraju tijekom eksploatacije i prerade mineralne sirovine. Prirodna svojstva, kao što su čvrstoća, postojanost na vremenske utjecaje, otpornost na abraziju i otpornost na udar, rezultat su raznih geoloških čimbenika i na njih ne možemo utjecati. Bitna svojstva koja mora imati proizvedeni materijal, a na koja možemo utjecati načinom eksploatacije (miniranja) i prerade

(drobljenja, klasiranja, otprašivanja, pranja) mineralne sirovine, jesu slijedeća:

- Određeni granulometrijski sastav, definiran propisanim graničnim područjima za pojedinačne frakcije materijala;
- Približno kubični oblik zrna (oblik zrna je definiran kao omjer njegove najveće i najmanje dimenzije - zrna za koje je taj omjer veći od 3:1 smatraju se zrnima nepovoljnog oblika);
- Maksimalna čistoća, tj. minimalni udio muljevito prašinstih čestica (čestice manje od 0,09 mm - filer).

Sva tri gorenavedena parametra regulirana su Hrvatskim normama (HRN B.B3.100, HRN U.E4.014, HRN B.B2.010, HRN B.B8.049, HRN B.B8.048), (B u š i ć et al, 1999).

Iako su za postizanje navedenih svojstava proizvedenog agregata od presudnog značenja fizičko-mehanička svojstva preradivane mineralne sirovine, na njih se u izvjesnoj mjeri može utjecati odabirom odgovarajućeg postupka drobljenja.

Do prije desetak godina, najčešće su za proizvodnju plemenite kamene sitneži kao agregata za potrebe građevinske industrije korištene udarne drobilice i čekićare. Budući da se primjenom tih drobilica ne postiže uvijek proizvod zadovoljavajućeg oblika zrna na isplativ način (velika habanja), danas se u tu svrhu sve češće

koriste vertikalne udarne drobilice (rotorni mlinovi). Zbog svojeg mehanizma drobljenja i konstrukcije, vertikalne udarne drobilice omogućuju dobivanje plemenite kamene sitneži s masenim udjelom zrna nepovoljnog oblika znatno ispod maksimalne dopuštene vrijednost propisane za agregate (20%), a posebno su pogodne za preradu tvrdih visokoabrazivnih materijala. Dodatne su im prednosti mogućnost selektivnog sitnjenja (npr. trošnih zrna), mogućnost proizvodnje kvalitetnog sitnog pijeska, visoki kapaciteti, laka konstrukcija i jednostavno održavanje. Izvjestan nedostatak ponekad predstavlja veći udio najfinijih čestica za čije se uklanjanje moraju upotrijebiti posebni klasifikatori i/ili filtri.

Najčešće se primjenjuju za tercijarno drobljenje u svrhu dobivanja kamene sitneži kubičnog oblika zrna, a rijeđe kao alternativa mlinu s palicama u preradi drugih mineralnih sirovina.

2. Osnovne konstruktivske značajke vertikalnih udarnih drobilica

Iako na današnjem tržištu postoji više tipova vertikalnih udarnih drobilica, razlikuju se 3 osnovne konstrukcije, dok je temeljni princip rada jednak za sve tipove (Salopek et al, 2001).

Glavna zajednička karakteristika za sve konstrukcije je vertikalna osovinna na čijem je gornjem kraju horizontalno montiran rotor za centrifugalno izbacivanje materijala u prostor drobljenja. Osovina je pogonjena putem klinastog remena, korištenjem 1 ili 2 vertikalno montirana elektromotora. U cilju povećanja pouzdanosti rada, vertikalne udarne drobilice mogu biti opremljene sustavom podmazivanja s kontinuiranom cirkulacijom ulja, sustavom hidrauličke regulacije ulaza i elektronskom kontrolom svih važnih funkcija stroja.

Na slici 1a) prikazana je vertikalna udarna drobilica tipa A. Rotor je izrađen od lijevanog čelika u obliku diska na kojem su montirani udarni elementi oblika potkove. Ti udarni elementi pri vrtnji rotora udaraju o materijal, lome ga i izbacuju prema profiliranoj prstenastoj oblozi na unutrašnjem obodu kućišta, sastavljenoj od čeličnih odbojnih (udarnih) ploča. Razmak između udarnih elemenata i prstenaste obloge može se podešavati u rasponu od 12 do 24 mm. Stupanj drobljenja se regulira podešavanjem obodne brzine rotora, te odabirom oblika i broja udarnih elemenata.

Droblilice takve i sličnih konstrukcija postižu visok stupanj sitnjenja, ali su isključivo namijenjene za sitnjenje mekih do srednje tvrdih materijala s malim udjelom abrazivnih komponenti (maks. sadržaj kvarca 15%). Osim za drobljenje vapnenca, dolomita, gipsa i sl., uz modifikacije određenih detalja, mogu se primjeniti i za drobljenje raznih vrsta otpadnog materijala (npr. elektroničkog otpada). Kapaciteti drobilica ovog tipa iznose do 75 t^h uz maksimalnu veličinu ulaznog zrna 50 do 60 mm.

Na slici 1b) prikazana je vertikalna udarna drobilica

tipa B, namijenjena za sitnjenje materijala veće tvrdoće s udjelom slobodnog kvarca oko 20%. Bitna razlika u odnosu na prethodno spomenuti tip drobilice je u konstrukciji rotora. Karakteristika rotora prikazane drobilice, tzv. zvjezdastog rotora, je ta da su svi habajući dijelovi vijcima pričvršćeni na rotor. Otvaranjem velikog zglobno pričvršćenog poklopca drobilice, svaki habajući dio lako je dostupan i zamjenjiv bez potrebe za korištenjem mehanizma za dizanje. Budući da u ovom tipu drobilica nema podešavanja razmaka između prstenaste obloge i rotora, jedini utjecajni promjenljivi tehnički parametar je obodna brzina rotora.

U slučaju prerade tvrdog visokoabrazivnog materijala (npr. troska iz visokih peći), drobilice gore opisanih ili sličnih konstrukcija mogu ekonomično raditi samo ako su udarni elementi i prstenasta obloga izrađeni od posebnih kompozitnih materijala otpornih na habanje. Takav je na primjer, tzv. Xwin - kompozitni MMC materijal (Matrix Metal Composite), kod kojeg je ujedinjena visoka tvrdoća keramike i njena otpornost na abraziju s mehaničkim svojstvima lijevanog krom-čelika (Bonni, 2000).

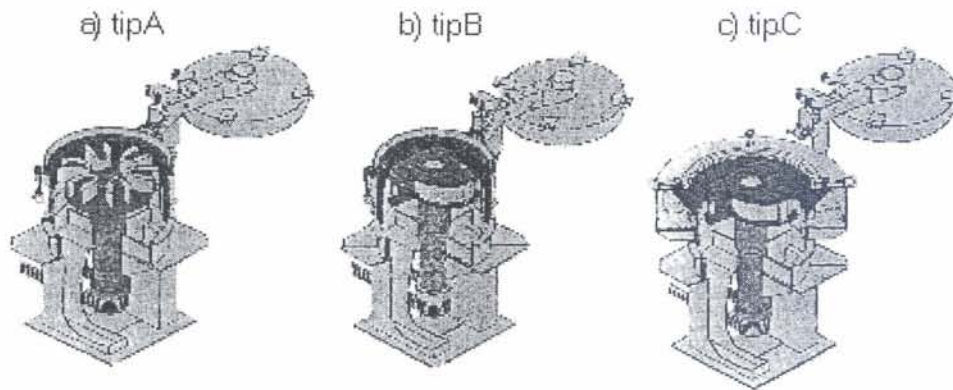
Za sitnjenje tvrdih i visokoabrazivnih materijala primjenjuju se vertikalne udarne drobilice bez profilirane obloge na unutrašnjem obodu kućišta (drobilica tipa C – slika 1c). Kod tih drobilica, zrna materijala izbačena iz rotora, umjesto o čeličnu oblogu udaraju o posteljicu od usitnjenog materijala formiranu duž unutrašnjeg oboda kućišta. Rotor im je, kao i kod drobilice tipa B, zatvorene šuplje konstrukcije s izlaznim otvorima na obodu. Unutrašnjost rotora je konstruirana tako da se dio ulaznog materijala sakuplja u "džepovima", formirajući na taj način prirodnu zaštitu od habanja. U središtu baze rotora nalazi se posebno oblikovani konus od lijevanog željeza, pomoću kojeg se ulazni materijal unutar rotora usmjerava u horizontalnu putanju. Droblilice ovakve konstrukcije mogu drobiti najtvrđe i najabrazivnije materijale (s udjelom kvarca do 100%). Međutim, pod tim uvjetima znatno se smanjuje stupanj drobljenja, a povećava habanje. Obodne brzine rotora su do 85 ms⁻¹, kapaciteti do 650 t^h, a maksimalne veličine ulaznog zrna preko 50 mm (Wills, 1992).

Izbor konkretnog modela vertikalne udarne drobilice ovisi prvenstveno o vrsti i granulometrijskom sastavu ulaznog materijala, kao i o ciljevima i zahtjevima koje je potrebno ispuniti predviđenim procesom sitnjenja.

3. Princip rada vertikalnih udarnih drobilica

Osnovni princip rada, shematski prikazan na slici 2 (Smith & Collis, 1993), jednak je za sve konstrukcije i tipove vertikalnih udarnih drobilica:

Materijal se puni na vrhu drobilice, gdje se preko vertikalnog ulaznog lijevka centralno usmjerava prema rotoru koji se okreće obodnim brzinama od približno 40 do 85 ms⁻¹ (ovisno o tipu drobilice i željenom stupnju sitnjenja). Ulazni materijal vertikalno pada u centar rotora, gdje se putem posebno oblikovanog konusa od



Sl. 1. Tipovi vertikalnih udarnih drobilica
Fig. 1. Types of vertical impact crushers

lijevanog željeza usmjerava u horizontalnu putanju. Rotacijom rotora, materijal se ubrzava u toj putanji, te kroz radialno smještene izlazne otvore, centrifugalnom silom kontinuirano izbacuje u prostor drobljenja prema unutrašnjem obodu kućišta koji je (ovisno o konstrukciji drobilice) obložen profiliranom prstenastom oblogom od habajućih odbojnih ploča ili dobro zbijenom posteljicom od sitnjenog kamenog materijala. Na taj način se postiže sitnjenje materijala uslijed udara udarnih elemenata rotora, udara zrna o profiliranu oblogu ili posteljicu od usitnjenog materijala, te međusobnih sudara zrna. Usitnjeni materijal uslijed gravitacije vertikalno izlazi na donjem kraju drobilice, a dalje se tračnim transporterom odvozi na skladište gotovih proizvoda.

4. Analiza učinkovitosti vertikalnih udarnih drobilica

Kao što je spomenuto u uvodu, granulometrijski sastav, oblik zrna i čistoća glavna su svojstva koja određuju kvalitetu proizvedenog tehničkog kamena namijenjenog za potrebe građevinske industrije, a koja proizlaze iz načina njegove proizvodnje.

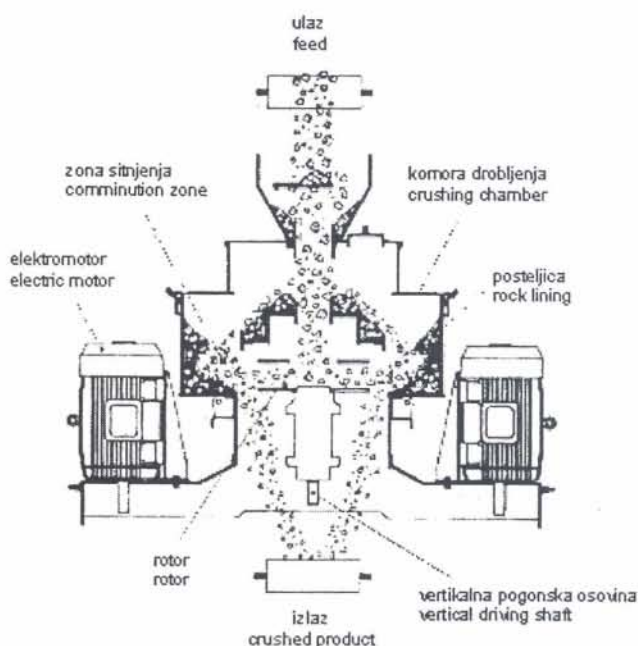
Osnovni parametri o kojima ovisi učinkovitost vertikalnih udarnih drobilica, odnosno postizanje određenih gorenavedenih svojstava izlaznog materijala, jesu slijedeći:

- 1) fizičko-mehanička svojstva, odnosno vrsta drobljenog materijala
- 2) obodna brzina rotora
- 3) granulometrijski sastav ulaznog materijala
- 4) protok ulaznog materijala
- 5) mehanizam drobljenja (odabrani tip drobilice)

4.1. Utjecaj fizikalno-mehaničkih svojstava materijala

Učinkovitost sitnjenja u velikoj mjeri ovisi o fizičko-mehaničkim svojstvima drobljenog materijala, i to prvenstveno o njegovoj čvrstoći, trošnosti, abrazivnosti i vlažnosti.

Što je ulazni materijal veće trošnosti i manje čvrstoće, pri istoj brzini rotora postiže se njegovo intenzivnije sitnjenje, a time i veći udio sitnih čestica u izlaznom materijalu. To svojstvo omogućuje selektivno sitnjenje trošnih zrna kamenog materijala i općenito odjeljivanje željene mineralne sirovine od otpadnog materijala, na primjer: odvajanje metala od troske pri drobljenju metalne troske ili odvajanje pješčenjaka, glinenih škrljevaca, lignita ili drugih mekih, rahlih materijala pri preradi šljunka. Uklanjanje trošnih komponenti prerađivanog materijala posebno je važno pri proizvodnji kamenog agregata za beton, budući da takve komponente povećavaju potrebnu količinu vode za pripremu betona, odnosno nepovoljno utječu na vodocementni omjer, te smanjuju čvrstoću betona i njegovu otpornost na smrzavanje.



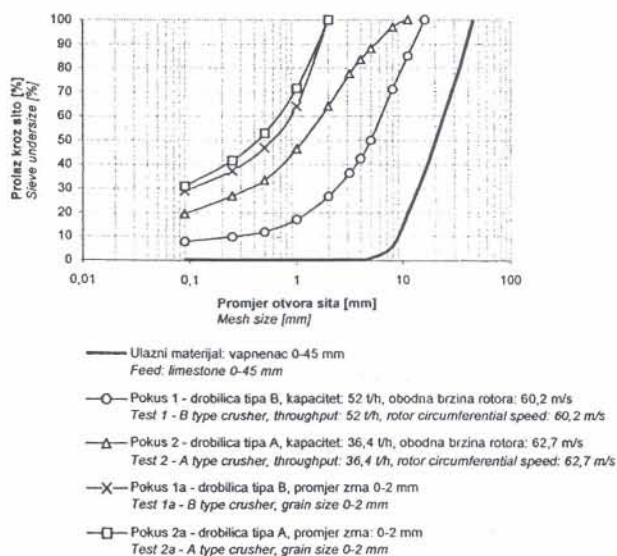
Sl. 2. Princip rada vertikalne udarne drobilice
Fig. 2. Operating principle of vertical impact crusher

Abrazivnost materijala utječe na trajnost habajućih dijelova drobilice, a time i na isplativost procesa drobljenja. To se pogotovo odnosi na vertikalne udarne drobilice s profiliranom prstenastom oblogom (tip A i B).

Čvrstoća i abrazivnost materijala predviđenog za drobljenje bitno utječu na izbor tipa vertikalne udarne drobilice, čije se područje primjene kreće od sitnjenja mekog materijala (vapnenca, dolomita, gipsa i sl.) uz vrlo visok stupanj sitnjenja do dobivanja visokokvalitetne kamene sitneži kubičnog oblika zrna sitnjenjem vrlo čvrstog i abrazivnog materijala (granit, bazalt, porfir, troska i sl.), te materijala sklonog lomljenju u komade pločastog oblika (npr. gnajs i tinjčev škriljevac).

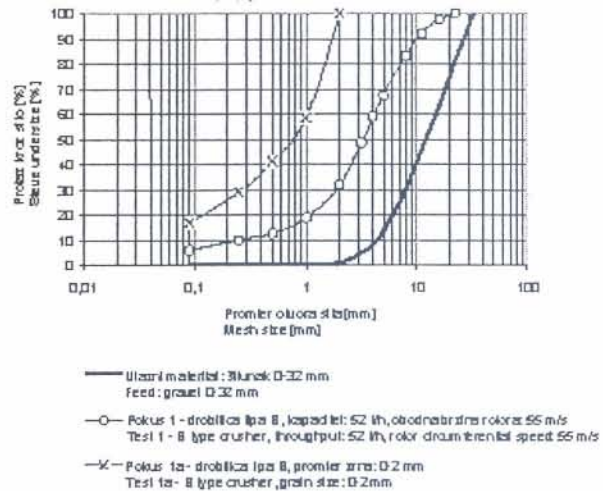
Na slici 3 prikazane su granulometrijske krivulje izlaznog materijala dobivenog drobljenjem vapnenca veličine ulaznog zrna 0-45 mm u drobilicama tipa A i B, na slici 4 granulometrijske krivulje izlaznog materijala dobivenog drobljenjem šljunka veličine ulaznog zrna 0-32 mm u drobilici tipa B, a na slici 5 rezultat drobljenja granita veličine ulaznog zrna 11,2-22,4 mm u drobilici tipa C. Kod drobljenja šljunka, mekše komponente (npr. pješčenjak) ili ostaci raspucalih stijena sitne se u većoj mjeri i prelaze u pijesak (S c h i c h t, 1998).

Daljnji važan utjecajni parametar je vlažnost ulaznog materijala. Vertikalne udarne drobilice obično mogu bez problema sitniti materijal vlažnosti do oko 8% (Svedala New Zealand Ltd, 1995). Sitniti se mogu i materijali veće vlažnosti (maks.18%), odnosno ljepljivosti, ali uz određene manje modifikacije koje onemogućuju prekomjerno nagomilavanje materijala unutar drobilice. Prekomjerno nagomilavanje materijala nije poželjno, jer može prouzročiti povećano habanje rotora i smanjenje propusnosti (kapaciteta) drobilice. Da bi se to spriječilo i osigurao normalan rad drobilice,



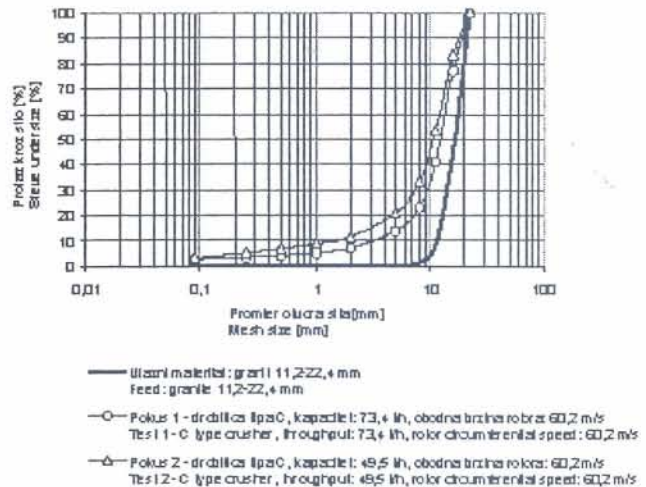
Sl. 3. Granulometrijske krivulje izlaznog materijala dobivenog drobljenjem vapnenca u drobilicama tipa A i B

Fig. 3. Grading curves of output material produced by crushing limestone in crushers of type A and B



Sl. 4. Granulometrijske krivulje izlaznog materijala dobivenog drobljenjem šljunka u drobilici tipa B

Fig. 4. Grading curves of output material produced by crushing gravel in B type crusher

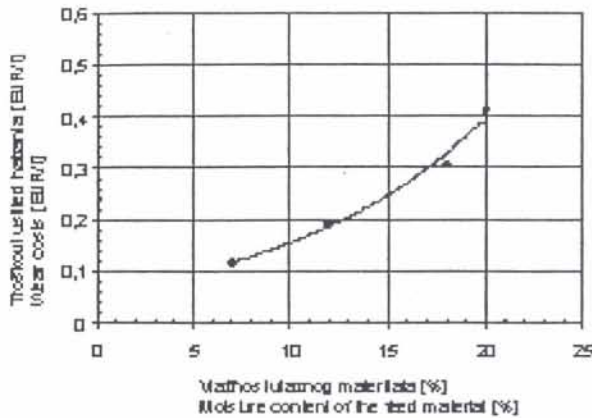


Sl. 5. Granulometrijske krivulje izlaznog materijala dobivenog drobljenjem granita u drobilici tipa C

Fig. 5. Grading curves of output material produced by crushing granite in C type crusher

kod drobljenja materijala veće ljepljivosti, drobilica se može opremiti oblogama malog koeficijenta trenja i sustavom za raspršivanje vode na dnu rotora. U protivnom, preporučljivo je ostaviti materijal da odstoji prije drobljenja, tako da mu se vlažnost smanji ispod 10%. Ako ni to nije moguće s raspoloživom tehnologijom prerade, tada je potrebno odabrati manju obodnu brzinu rotora.

Slika 6 prikazuje ovisnost troškova uslijed habanja rotora o sadržaju vlage ulaznog materijala (Löwe, 1998). Troškovi su izraženi u eurima po toni prerađenog materijala u drobilici tipa C.



Sl. 6. Troškovi uslijed habanja rotora kao funkcija vlažnosti ulaznog materijala

Ulazni materijal: pijesak s masenim udjelom kvarca od oko 92 %;
 Drobilica: tip C, protok ulaznog materijala: 60 t/h, obodna brzina rotora: 73 m/s

Fig. 6. Wear costs as a function of the moisture content of the feed material

Feed material: sand with a quartz content of around 92 wt.%;
 Crusher: type C, throughput: 60 t/h, rotor circumferential speed: 73 m/s

Oblik ulaznog zrna također utječe na učinkovitost drobljenja. Što je izraženiji pločasti i štapičast oblik zrna, to će stupanj drobljenja biti veći.

4.2. Utjecaj obodne brzine rotora

Obodna brzina rotora je najvažniji tehnički parametar procesa drobljenja. Za isti tip vertikalne udarne drobilice i vrstu ulaznog materijala, stupanj drobljenja se u najvećoj mjeri može regulirati promjenom brzine rotora. Što je veća brzina rotora, a time i kinetička energija zrna izbačenih iz rotora, to je moguće postići veću učinkovitost sitnjenja

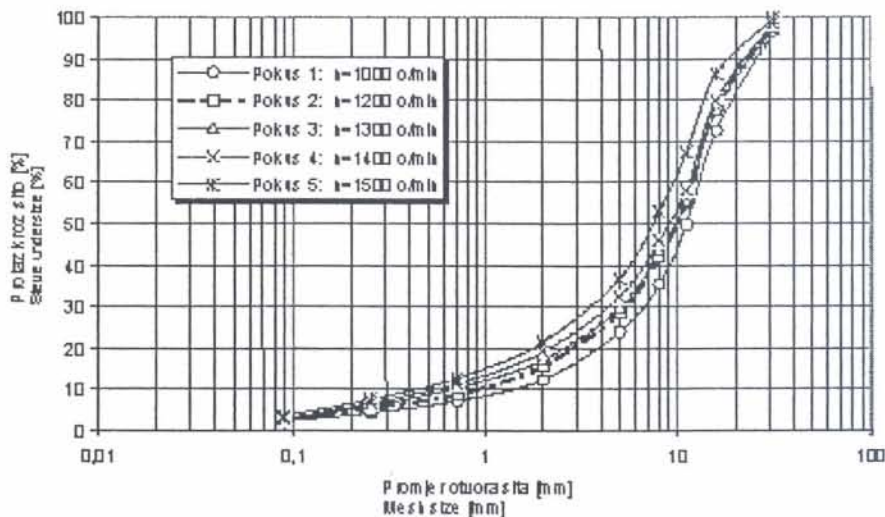
i kapacitet drobilice, ali se istovremeno mora očekivati povećano habanje i veća količina sitnih čestica - pijeska i filera u izlaznom materijalu. Općenito, povećanjem obodne brzine rotora povećava se:

- stupanj drobljenja
- kapacitet do određene granice
- habanje
- potrošnja energije (veća snaga motora)

Ako je brzina premala, tada se dobiva nepovoljni oblik izlaznog zrna. Kod drobilica tipa C, za postizanje kubičnog oblika zrna potrebne su relativno male obodne brzine rotora ($\leq 60 \text{ ms}^{-1}$), dok su znatno veće brzine, odnosno snage motora, potrebne za postizanje željenog stupnja sitnjenja pri proizvodnji pijeska (Löwe, 1998). Drugim riječima, formiranje kubičnog oblika zrna započinje pri obodnoj brzini rotora kod koje je učinak sitnjenja još uvijek vrlo mali.

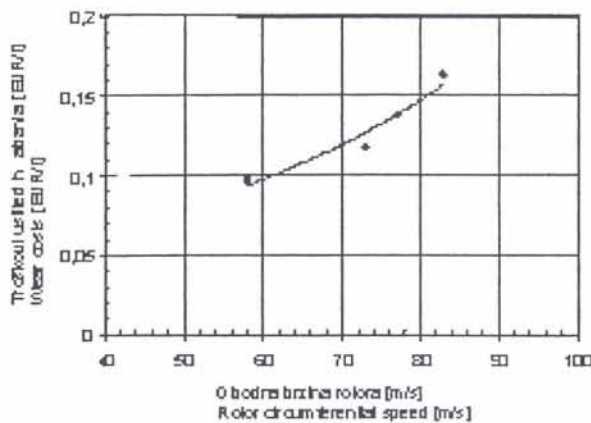
Vertikalne udarne drobilice uglavnom rade s obodnim brzinama rotora od 40 do 85 ms^{-1} . Konstrukcije nekih drobilica (tipa C) omogućavaju brzine do 90 ms^{-1} , međutim brzine veće od oko 85 ms^{-1} nisu tehnički opravdane, budući da povećanja iznad te vrijednosti općenito imaju mali efekt na rezultat sitnjenja. Optimalna obodna brzina rotora se utvrđuje na temelju pogonskih ispitivanja, u ovisnosti o utjecaju brzine na granulometrijski sastav i oblik zrna izlaznog materijala, habanje i kapacitet drobilice. Pri tome je potrebno pronaći kompromis između rezultata drobljenja i habanja.

Na slici 7 prikazan je utjecaj brzine rotora na granulometrijski sastav izlaznog materijala dobivenog drobljenjem šljunka u drobilici tipa C (Schlecht, 2000), a na slici 8 troškovi uslijed habanja, izraženi u eurima po toni prerađenog materijala, kao funkcija brzine rotora (Löwe, 1998). Može se jasno uočiti povećanje učinkovitosti drobljenja i troškova uslijed habanja s povećanjem brzine rotora.



Sl. 7. Utjecaj brzine rotora na granulometrijski sastav izlaznog materijala; Ulazni materijal: šljunak 5-35 mm; Drobilica: tip C, protok ulaznog materijala: 70 t/h, brzina rotora (n): 1000 - 15000 o/min, promjer rotora: 800 mm

Fig. 7. Influence of the rotor speed on grain size distribution of the feed material; Feed material: gravel: 5-35 mm
 Crusher: type C, throughput: 70 t/h, rotor speed (n): 1000 - 1500 rpm, rotor diameter: 800 mm



Sl. 8. Ovisnost troškova uslijed habanja o obodnoj brzini rotora
Ulazni materijal: pijesak s masenim udjelom kvarca od oko 92 %;
Drobitelica: tip C, protok ulaznog materijala: 60 t/h
Fig. 8. Wear costs as a function of the rotor circumferential speed
Feed material: sand with a quartz content of around 92 wt.%;
Crusher: type C, throughput: 60 t/h

S obzirom da troškovi uslijed habanja rastu po ekspanencijalnoj funkciji s povećanjem brzine rotora (kao što je vidljivo na slici 8), prilikom odabira brzine rotora potrebno je paziti da ona ne bude veća od potrebne za postizanje traženog rezultata drobljenja.

4.3. Utjecaj granulometrijskog sastava ulaznog materijala

Promjena granulometrijskog sastava ulaznog materijala utječe na:

- granulometrijski sastav proizvoda;
- mehanizam sitnjenja kod primjene drobitelica tipa C;

Veličina pojedinačnih zrna izbačenih iz rotora varira ovisno o granulometrijskom sastavu ulaznog materijala, pa će stoga i kinetička energija pojedinačnih zrna varirati od maksimalne za najkrupnija, kompaktna zrna, do gotovo nule za vrlo sitna zrna. Krupna, kompaktna zrna velike kinetičke energije, pri sudarima sa sitnijim ili manje čvrstim zrnima, zadavati će snažne udare uzrokujući drobljenje i brzo usitnjavanje. Zrna srednje veličine s nižom kinetičkom energijom, zadaju slabije udare, dovodeći do odlamanja i trošenja zrna s kojima dolaze u kontakt. Najsitnije čestice (sitni pijesak i prah), iako imaju malu kinetičku energiju, kreću se velikim brzinama, te atricijskim, odnosno abrazivnim djelovanjem troše sav materijal s kojim dolaze u kontakt. Općenito, snažni udari dovode do lomljenja zrna, uglavnom duž njihovih prirodnih oslabljenih ploha, a atricija i abrazija uzrokuju stvaranje najsitnijih čestica.

- zajedno s oblikom zrna, vlažnošću i volumnom težinom ulaznog materijala, utječe na njegovu pokretljivost, što je bitno s obzirom na manju specifičnu potrošnju energije pri većoj pokretljivosti uz konstantni protok materijala

Granulometrijski sastav ulaznog materijala ne utječe bitno na oblik zrna proizvoda. Usporedbom vrijednosti iz tablica 1a i 1b, dobivenih drobljenjem granita veličine ulaznih zrna 8-56 mm i 11,2-22,4 mm u drobitelici tipa C, može se vidjeti da se u oba slučaja u izlaznom materijalu dobiva približno jednak udio zrna povoljnog oblika (Schicht, 1998).

Tablica 1. Maseni udjeli zrna povoljnog oblika u pojedinim klasama proizvoda dobivenih drobljenjem granita različitog granulometrijskog sastava

Table 1. Favourably shaped grain contents in output materials produced by crushing granite of different grain size distribution

a) Drobitelica: tip C,
Ulazni materijal: granit 8-56 mm
Crusher: type C
Feed material: granite 8-56 mm

b) Drobitelica: tip C
Ulazni materijal: granit 11,2-22,4 mm
Crusher: type C
Feed material: granite 11,2-22,4 mm

Klasa veličine zrna Grain size classes [mm]	Maseni udio u ulaznom materijalu Content in the feed material [wt.%]	Maseni udio u izlaznom materijalu Content in the output material [wt.%]	Klasa veličine zrna Grain size classes [mm]	Maseni udio u ulaznom materijalu Content in the feed material [wt.%]	Maseni udio u izlaznom materijalu Content in the output material [wt.%]
5/8	68,3	92,8	5/8	18,2	91,1
8/11,2	65,9	91,2	8/11,2	12,8	90,9
11,2/16	70,8	92,4	11,2/16	37,4	90,0
16/22,4	63,6	85,2	16/22,4	60,5	86,8
22,4/31,5	73,1	95,3			

4.4. Utjecaj protoka ulaznog materijala

Za svaki tip drobilice postoji u pogledu količine ulaznog materijala optimalno radno područje u kojem se postiže najbolji učinak drobljenja. Unutar tog područja, utjecaj protoka materijala gotovo je neznan, te se za isti tip drobilice rezultat sitnjenja bitno ne mijenja. Da bi se omogućilo učinkovito sitnjenje, potrebno je, ovisno o tipu (veličini) drobilice, osigurati da se protok ulaznog materijala ne smanji ispod određene minimalne vrijednosti. Ako se iznos protoka smanji ispod te minimalne vrijednosti, tada se u prostoru drobljenja nalazi manje čestica koje su izložene međusobnim sudarima i trenju, a posteljica u rotoru i duž unutrašnjeg oboda kućišta može biti probijena. To za posljedice ima smanjeni učinak sitnjenja i povećano habanje drobilice. Ako se protok materijala poveća iznad gornje granice optimalnog područja, zbog nedovoljno energije potrebne za sitnjenje, rezultati drobljenja će također biti slabiji.

Kod nekih modela vertikalnih udarnih drobilica tipa C, postoji mogućnost reguliranja protoka ulaznog materijala putem kaskada (vidi slike 2 i 3b). Dio ulaznog materijala vertikalno pada kroz centralni otvor u rotor, a dio kaskadno pada kroz bočne otvore direktno u prostor za drobljenje, gdje se u stvorenom vrtlogu sitnjenog materijala ponovo miješa sa zrnima centrifugalno izbačenim iz rotora,

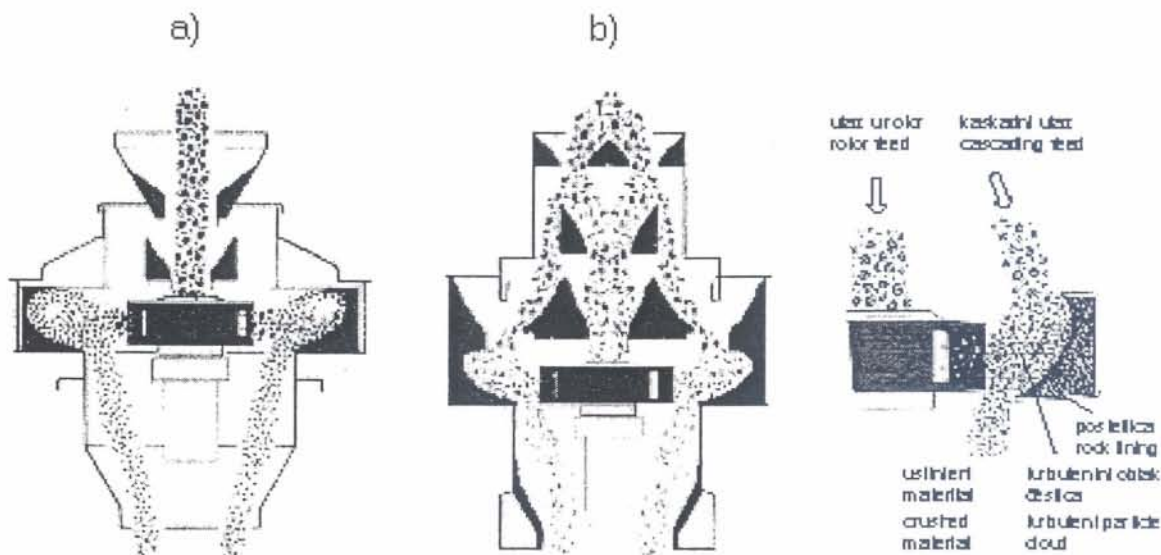
i osigurati djelotvornu regulaciju drobljenja, bilo radi povećanja ili smanjenja udjela najfinijih čestica.

Količina propuštenog materijala u rotor regulira se pomoću zasuna. Višak materijala koji ne može doći do rotora, automatski kaskadno pada u prostor za drobljenje, ne ometajući rad drobilice. Smanjenjem centralnog otvora, povećat će se kaskadni protok materijala kroz bočne otvore. Na taj način se neravnomjeran ulaz materijala regulira bez preopterećenja drobilice.

Povećanjem kaskadnog protoka materijala, odnosno smanjenjem protoka materijala kroz rotor, pri zadanoj instaliranoj snazi (istom utrošku energije) može biti znatno povećan kapacitet drobilice. Istovremeno će doći i do određenog smanjenja stupnja drobljenja kao neželjene posljedice. Radi toga se, u većini slučajeva u praksi, protok ulaznog materijala regulira tako da količina materijala koji kaskadno ulazi nije veća od 60% količine materijala koja ulazi u rotor (Svedala New Zealand Ltd, 1995).

4.5. Utjecaj mehanizma drobljenja (tipa drobilice)

Kod drobilica s rotorom izvedenim u obliku distribucijskog diska na kojem su montirani udarni elementi (drobilice tipa A), materijal se u kontaktu s diskom ubrzava i uslijed centrifugalne sile potiskuje



Sl. 9. Ulaz materijala u drobilicu (Svedala New Zealand Ltd, 1995)

a) drobilica s centralnim ulazom materijala

b) drobilica s regulacijom ulaza putem kaskadnog sustava

Fig. 9. Entering of the feed material (Svedala New Zealand Ltd, 1995)

a) crusher with central feed

b) crusher with cascade feed system

povećavajući time količinu materijala u tom prostoru i poboljšavajući prijenos energije između zrna. Na taj način, u kombinaciji s drugim promjenljivim veličinama (promjer i brzina rotora, profil prostora za drobljenje), moguće je povećavati korisni učinak, smanjiti habanje

prema rubu diska, te ravnomjerno raspoređuje između udarnih elemenata koji ga zahvaćaju, lome i zatim velikom brzinom izbacuju prema prstenastoj profiliranoj oblozi. Do drobljenja dolazi prvenstveno uslijed udarnog djelovanja udarnih elemenata rotora i udara zrna o

profiliranu oblogu, nakon čega usitnjeni materijal slobodno pada bez zadržavanja u prostoru drobljenja.

U slučaju drobilica zatvorene konstrukcije rotora (drobilice tipa B i C), sitnjenje materijala započinje u samom rotoru uslijed abrazije i atricije, budući da se pri ubrzavanju zrna potiskuju na posteljicu od usitnjenog materijala unutar rotora. Međutim, u drobilicama tipa B do sitnjenja prvenstveno dolazi prilikom udara zrna izbačenih iz rotora o profiliranu oblogu na unutrašnjem obodu kućišta. Kao i kod drobilica tipa A, snažni udari o čvrstu oblogu uzrokuju razbijanje i brzo usitnjavanje zrna, tj. osiguravaju visok stupanj drobljenja.

Za razliku od drobilica s profiliranom oblogom, u kojima do sitnjenja dolazi uglavnom uslijed udarnog djelovanja, u drobilicama s posteljicom (drobilice tipa C) osnovni mehanizmi sitnjenja su udar, atricija i abrazija. Koji će od navedenih mehanizama prevladati, ovisi o veličini, putanji i brzini sudara zrna. Centrifugalnim izbacivanjem iz rotora, zrna s određenom kinetičkom energijom ulaze u prostor drobljenja, gdje dolazi do drobljenja uslijed njihovih sudara sa lebdećim zrnima koja se već nalaze u turbulentnom "oblaku" stvorenom u tom prostoru, te udara u posteljicu od usitnjenog materijala na unutrašnjem obodu kućišta. Pri tome je intenzitet sudara, a time i stupanj drobljenja veći, što je veća kinetička energija izbačenog zrna, odnosno što je veća njegova brzina koja ovisi o brzini vrtnje rotora i njegova veličina (masa) koja varira ovisno o granulometrijskom sastavu ulaznog materijala (vidi poglavlja 4.2. i 4.3.). Kako zrna gube kinetičku energiju, proces sitnjenja se nastavlja putem atricije i abrazije pri međusobnim kontaktima između zrna tijekom njihovog vrtložnog kretanja unutar prostora drobljenja. Takvo vrtložno kretanje zrna, u obliku turbulentnog "oblaka" koji konstantno kruži unutar komore drobljenja obnavljan materijalom izbačenim iz rotora, ima vrlo povoljan efekt na formiranje oblika zrna, međutim uzrokuje i povećani udio najsitnijih čestica (filera) u izlaznom materijalu.

Čestice se, ovisno o svojoj masi, brzini i putanji, u "oblaku" zadržavaju 5 do 20 sekundi prije nego što izgube energiju i uslijed gravitacije ispadnu iz prostora za drobljenje (S v e d a l a New Zealand Ltd, 1995).

S obzirom na opisane mehanizme sitnjenja, drobilice tipa C posebno su pogodne za proizvodnju sitnog pijeska i postizanje kubičnog oblika zrna drobljenog materijala (pogotovo, kao što je već prije spomenuto, čvrstog i visokoabrazivnog materijala, npr. granita, bazalta, troske), a u slučaju da je primarni cilj povećanje stupnja drobljenja krupnijih klasa ulaznog materijala, efikasnije će biti drobilice tipa A i B.

Općenito, glavna prednost drobilica tipa C u odnosu na drobilice s profiliranom oblogom jesu manji troškovi uslijed habanja, a nedostatak - veća potrebna brzina rotora, odnosno utrošak energije za postizanje istog stupnja drobljenja (S m i t h & Collis., 1993).

4.6. Kvaliteta izlaznog materijala u pogledu oblika i odlomljene površine zrna

Oblik i hrapavost površine zrna agregata za izradu betona utječu na čvrstoću i obradivost betona, kao i na utrošak cementa. Za pripremanje betona najpovoljniji je agregat kubičnog oblika zrna, jer se njime postiže najmanje šupljina, odnosno gusti beton, za razliku od agregata s dugoljastim i plosnatim zrnima koja su u tom pogledu nepovoljna.

Pored zahtjeva normi za minimalnim masenim udjelom zrna kubičnog oblika od 80% u agregatu za izradu betona i asfalta (HRN B.B3.100), u slučaju prerade šljunka treba ispuniti i zahtjev za postotkom lomljene površine zrna agregata. Prema sadašnjim normama (HRN U.E4.014, DIN 52116), postotak lomljene površine zrna mora biti veći od 50% za najmanje 90% zrna izlaznog materijala, dok nije dopušteno prisustvo više od 2% zrna s potpuno zaobljenom površinom.

Primjenom vertikalnih udarnih drobilica moguće je ispuniti oba gorenavedena zahtjeva (vidi tablice 1,2 i 3). Tablica 2 prikazuje udio zrna nepovoljnog oblika, a tablica 3 postotak lomljene površine u pojedinačnim klasama izlaznog materijala dobivenog drobljenjem šljunka u vertikalnoj udarnoj drobilici s profiliranom oblogom (B o t t i n g a et al., 2001).

Tablica 2. Udio zrna nepovoljnog oblika u izlaznom materijalu
Table 2. Content of unfavourably shaped grains in output material

Klasa veličine zrna Grain size classes [mm]	Udio zrna nepovoljnog oblika Unfavourably shaped grains [%]
4/8	15
8/11	9
11/16	12
16/22	10

Tablica 3. Postotak odlomljenih površina u izlaznom materijalu
Table 3. Percentage of fractured surfaces in output material

Klasa veličine zrna Grain size classes [mm]	Postotak lomljene površine Fractured surfaces [%]
4/8	99
8/11	99
11/16	97
16/22	96

5. Zaključak

U današnjoj industriji građevnog materijala postavljeni su visoki zahtjevi u pogledu kvalitete agregata za izradu betona, asfalta i cestovnih podloga. Da bi se postigla zahtijevana kvaliteta proizvoda, kamena sitnež dobivena drobljenjem mora imati određeni granulometrijski sastav, čistoću, postotak odlomljenih površina i približno kubični oblik zrna. Ovi zahtjevi mogu se uspješno ispuniti primjenom vertikalnih udarnih drobilica.

Zbog svojeg mehanizma drobljenja i konstrukcije, vertikalne udarne drobilice mogu se primjeniti za drobljenje gotovo svih vrsta kamenog materijala, a posebno za preradu tvrdog visokoabrazivnog materijala.

Primljeno: 01.10.2002.

Prihvaćeno: 03.11.2002.

LITERATURA

- Bonni, P. (2000): High-Grade Crushed Stone Sands and Cubic Chippings for the Lötschberg Base Tunnel. *Aufbereitungs Technik*, 8/2000, 390-394, Wiesbaden.
- Bottinga L.A., Maes, J. M. E., Bonni, P., Pietrusky, L. (2001): New Processing Plant for Maas Gravel and Hard Rock. *Aufbereitungs Technik*, 1/2001, 14-19, Wiesbaden.
- Bušić, M., Peček, N., Pollak-Bičak, G. (1999): Uvjeti kvalitete granulometrijskog sastava, čistoće i oblika zrna kamenih materijala za asfalt i beton. *Mineral*, 1/1999, 18-19, Zagreb.
- Löwe, J. (1998): Vertical Impact Crushers – Further Developments and New Applications. *Aufbereitungs Technik*, 4/1998, 170-179, Wiesbaden.
- Rodriguez, D.E. (1990): The Tidco Barmac Autogenous Crushing Mill. *Minerals Engineering*, Vol. 3, No. 1-2, 53, Oxford.
- Salopek, B., Sobota, I., Bedeković, G. (2001): Vertical Impact Crushers in High-grade Chippings Production. 10th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 3-10, New Delhi.
- Salopek, B., Bedeković, G. (2000): Sitnjenje - prvi stupanj u oplemenjivanju mineralnih sirovina. *Rud.-geol.-naft. zbornik*, Vol. 12, 83-88, Zagreb.
- Schicht, E. (1998): Technical Features and Applications of Rotor Mills. *Aufbereitungs Technik*, 10/1998, 501-506, Wiesbaden.
- Schlecht, H. (2000): Cost-Efficient Production of High-Grade Crushed Stone. *Aufbereitungs Technik*, 2/2000, 86-92, Wiesbaden.
- Smith, M. R., Collis, L. (1993): *Aggregates*, 2nd Ed., Geological Society Engineering Geology Special Publication No 9, pp. 108-116, London.
- Svedala New Zealand Ltd (1995): Barmac Rock-on-Rock VSI Crusher - Introduction. Information material of Svedala. P/224-1-2/95, 1-19, New Zealand.
- Wills, B. A. (1992): *Mineral Processing Technology*, 5th Ed., Pergamon Press Ltd, 855 pp., Oxford.
- Construction Features and Efficiency of Vertical Impact Crusher
B. Salopek, I. Sobota, G. Bedeković

The production of technical stone for the building industry requirements is an important aspect of the mining production regarding volume and the financial value as well.

In today's building materials market, the most demanded grain size classes are 4/8, 2/4, -4, -2 mm, which weight portion being predominant in aggregates for the production of concrete and asphalt. However, the production of these classes is not

always simple because of the high quality standard requirements for stone aggregates.

Since the mid-1960s, these requirements have been considerably rising and nowadays they are so precise it is impossible to realize a successful production of mineral aggregates for concrete, asphalt and road base layers, without appropriate crushing and screening equipment.

According to the present high standards for the quality of concrete and asphalt aggregates, besides certain natural properties such as strength, weather stability, wear and impact resistance, which are the result of various geological factors beyond human control, the produced stone materials intended for the production of concrete and asphalt must have certain properties which may be influenced by the mode of exploitation (blasting) and processing (crushing, classification, dust collection, washing) of mineral raw material. The essential required properties are as follows:

- Grain size distribution defined by specified limiting values for particular material fractions.
- Approximately cubic grain shape (the grain shape is defined as the ratio of its maximum to minimum size - grains where the ratio exceeds 3:1 being considered as unfavourable shaped grains).
- Maximum purity, i.e. minimum content of filler (particles under 0.09 mm)

All three above mentioned parameters have been regulated by Croatian standard (HRN B.B3.100, HRN U.E4.014, B.B2.010, HRN B.B8.049, HRN B.B8.048), (Bušić et al, 1999).

Although the physico-mechanical properties of the processed mineral raw material are of crucial importance for obtaining the stated properties of the produced aggregate, they can be influenced to some extent by the choice of the appropriate crushing process.

Until about ten years ago, impact and hammer crushers were most often used for the production of high-grade chippings applied as aggregates for the requirements of the building industry. Since these crushers cannot produce favourably (cubic) shaped grains in a cost effective way (high wear), nowadays vertical impact crushers (rotor mills) are generally used for this purpose, which means a certain technological progress. Because of their crushing mechanism and construction, besides enabling the production of high-grade chippings of cubic grain shape with a considerably lower percentage of unfavourably shaped grains than the maximum permitted one specified for aggregates (20 wt.%), the vertical impact crushers are especially appropriate for the processing of hard, highly abrasive materials. Their additional advantages are the possibility of selective comminution (e.g. of friable particles) and the ability to produce high quality fine sand, as well as high capacities, simple construction and relative low maintenance and wear costs. A certain disadvantage may be a greater portion of the finest particles, which have to be removed with special classifiers and/or filters. Vertical impact crushers are most often used for tertiary crushing in order to obtain precious chippings of cubic grain shape, while rarely for primary grinding (as an alternative to rod mills).

Although more types of vertical impact crushers are available in the present-day market, just three basic constructions are differentiated, while the essential operating principle is identical for all types.

The main common characteristic for all constructions is the vertical shaft with a horizontally mounted rotor on its top, for centrifuging the material into crushing space. The shaft is driven by a V-belt drive using either one or two vertically mounted electric motors. In order to increase the operating reliability, the vertical impact crushers can be equipped with a lubricating system with continuous oil circulation, a hydraulic feed control system and electronic monitoring of all important machine functions.

Fig. 1a) shows a vertical impact crusher type A. The rotor is made of disk-shaped cast steel on which are assembled horseshoe-shaped impact elements. During the rotation of the rotor, the impact elements strike at the material, crush it and fling it against a baffle wall, i.e. annular armour-plating assembled of baffle plates distributed round the inner circumference of the crusher. Crushers of such and similar construction can achieve a high size reduction ratio but they can only be used for comminution of soft to medium hard materials containing a small portion of abrasive components (max. quartz content: 15 wt.%). The capacity of this type of crushers is up to 75 th^{-1} with the maximum feed grain size up to 60 mm.

Fig. 1b) shows a vertical impact crusher type B, intended for the comminution of harder materials with free quartz content about 20%. The essential difference with respect to the crusher described as type A is in the rotor construction. The feature of B type crusher rotor, the so-called star rotor, is that all wearing parts are screwed onto the rotor. Since in this crusher type there is no gap adjustment between the annular armour-plating and the rotor, the only influential technical variable is the rotor circumferential speed.

For the comminution of hard and highly abrasive materials vertical impact crushers with natural material bed are used (crusher type C – Fig. 1c). In these crushers the grains of material are flung out of the rotor against the bed of comminuted material formed round the inner circumference of the crusher housing. The rotor is constructed, alike the one at crusher of type B, as a hollow element with discharge openings at the circumference. The inner space of the rotor is constructed so that a part of the feed material is accumulated in “pockets” forming a natural wear protection. In the centre of the inner rotor base there is a specially shaped cast iron cone serving to direct the feed material inside the rotor into a horizontal flight path. These crushers may process the hardest and most abrasive materials (with 100% quartz content). However, under such operating conditions the size reduction ratio is considerably lower, while the abrasion is higher. The rotor circumferential speed is up to 85 ms^{-1} , and the maximum feed grain sizes exceed 50 mm.

The basic operating principle shown in Fig. 2, is equal for all the constructions and types of vertical impact crushers. The material is fed on top of the crusher and through a vertical feeding hopper centrally directed to the rotor rotating at the circumferential speed up to 85 ms^{-1} (depending on the crusher type and the required reduction ratio). The material

drops vertically into the rotor centre, where it is directed into a horizontal flight path, by a specially shaped cast iron cone. In the path the material is accelerated by rotation of the rotor and through the discharge openings continuously flung out by means of centrifugal force into the crushing chamber towards the inner chamber circumference, which is (depending on the crusher construction) either lined with annular armour-plating assembled of wearing baffle plates or with a dense bed of comminuted material. In this way comminution is effected as a result of the striking of rotor impact elements, or by impact of grains against the armour-plating and the material bed respectively, as well as a result of interparticle collisions (so-called rock-on-rock crushing). The crushed product discharges from the crusher at the bottom and is transferred by a belt conveyer to the stockpile.

As mentioned in the introduction, the grain size distribution, grain shape and purity are the properties defining the quality of the technical stone produced for the requirements of the building industry. These properties result from the mode of their production. The basic parameters influencing the quality of the material processed in vertical impact crushers are as follows:

- 1) Physico-mechanical properties (quality) of the crushed material (primarily strength, wear, abrasion and humidity),
- 2) Granulometric composition of the feed material,
- 3) Circumferential rotor speed,
- 4) Capacity,
- 5) Crushing mechanism (crusher type).

The efficiency of comminution greatly depends on the physico-mechanical properties of the crushed material. The greater is the friability of the feeding material and the smaller its strength, the more intensive is its comminution at the same rotor speed, and thus the production of fine particles. The abrasive property of the material affects the working life of the abrasive parts of crushers, and therewith the cost effectiveness of the crushing process. This refers above all to vertical impact crushers with profilated annular lining (type A and B).

Strength and the abrasion property of the material intended for crushing are of essential influence on the choice of vertical impact crusher type, whose application field ranges from comminution of soft material (limestone, dolomite, gypsum, etc.) at a very high reduction ratio, to the production of high-quality chippings of cubic grain shape by comminution of very hard and abrasive material (granite, basalt, porphyry, slag etc) and material with a tendency to break into plate-shaped pieces (gneiss and mica slate). In the former case crushers with profilated annular lining (type A) are used, while in the latter one crushers with a bed of chippings (type C).

Fig. 3 shows grading curves of the output material obtained by crushing limestone of feed grain size 0 to 45 mm in crushers type A and B, fig.4 grading curves of the output material obtained by crushing gravel of feed grain size 0 to 32 mm in crusher type B, and fig.5 the result of crushing granite of feed grain size 11.2 to 22.4 mm in crusher type C (Schicht, 1998).

A further important influencing parameter is moisture content of the feeding material. Vertical impact crushers can usually treat material with moisture content up to 8% (Svedała New

Zealand Ltd, 1995). Material with greater moisture (max. 18%) can be accepted, but may require some minor modification to limit excessive accumulation of the material within the crusher. Excessive accumulation is not desirable as this can result in increased rotor wear and reduced throughput. In order to prevent this and to secure normal function, in case of crushing materials of increased stickiness, the crusher may be equipped with linings of a low friction coefficient and with a water spray onto the rotor bottom. Otherwise, it is recommendable to age the material (residual moisture lower than 10 wt.%) before crushing. If this is not possible with the processing technology available, a lower rotor circumferential speed should be chosen.

The shape of the feeding grain also influences crushing efficiency. The more plate-shaped the feed grains are, the larger will be the size reduction ratio.

The rotor circumferential speed is the most important technical parameter of the crushing process. The constructions of some crushers (type C) permit speeds up to 90 ms^{-1} , but speeds exceeding about 85 ms^{-1} are not technically justifiable. By increasing the rotor circumferential speed, the size reduction ratio, throughput (up to a specific limit), wear (in a non-linear function) and power consumption are increased. If the rotor speed is too high, it is possible to achieve high throughputs and comminution efficiency, but at the same time increased wear and a greater quantity of produced fine particles – sand and fillers – must be expected. If the speed is too low, the output grain shape is less favourable. While for achieving favourable (cubic) output grain shape relatively low rotor circumferential speeds are necessary (60 ms^{-1}), considerably higher speeds (up to 83 ms^{-1}), more power respectively, are needed to achieve the desired size reduction for manufactured sands (Löwe, 1998). In other words, the forming of cubic-shaped grains starts at a rotor circumferential speed at which the comminution effect is still very low. Fig. 7 shows the results of crushing gravel of feed grain size 5 to 35 mm in a crusher type C at rotor speeds from 1000 up to 1500 revolutions per minute (Schlecht, 2000).

For each crusher type, there is an optimal operating range in which the best comminution effect can be obtained. Within that range, the influence of the throughput is nearly insignificant, so that the comminution result is not essentially changed for equal crusher types. In order to ensure effective comminution, the minimal throughput is required, depending on the type (size) of the crusher. If this minimal throughput is not maintained, there are less particles subjected to interaction impacts and friction in the crushing chamber. In addition, the material bed in the rotor and round the inner circumference of the housing can be blown out. The consequence is reduced comminution effect and

increased crusher wear. If the throughput is increased above the upper limit of the optimal range, the crushing result will also be impaired, because of insufficient energy required for comminution.

With regard to crushing mechanism of A type crushers, crushing occurs primarily because of the impact action of rotor elements and grains impact against the armour-plating. In case of crushers of closed rotor construction (type C), the material is comminuted within the rotor as a consequence of abrasion and attrition, since at acceleration the grains are pushed towards the material bed inside the rotor. However, the comminution occurs primarily by collision of grains flung out of the rotor with the grains which are already in the crushing chamber (i.e. with particles in a highly turbulent “cloud” created within the chamber) and by impacts against the annular material bed. The principal advantage of these crushers compared to those with armour-plating is reduced wear, while the disadvantage is the required higher rotor speed, that is greater energy consumption for obtaining the same reduction ratio (Smith & Collis, 1993).

In addition to the standard requirements for the minimal percentage of cubic-shaped grains (80 wt.%) in the aggregate for the production of concrete and asphalt (HRN B.B3.100), in case of gravel processing the requirements for the fractured surface percentage of the aggregate grain should also be met. According to current standard specifications (HRN U.E4.014, DIN 52116), the percentage of fractured grain surface should be over 50% for more than 90% of the output material grains, while more than 2 wt.% content of grains with full rounded surfaces is not admitted. Through the use of vertical impact crushers both requirements can be met. Table 2 shows the content of unfavourably shaped grains, and table 3 the percentage of the broken surface in individual output material classes obtained by crushing gravel in a vertical impact crusher with armour-plating (Bottlinga et al., 2001).

In the present-day building material industry high standard requirements are set with respect to the quality of aggregates for the production of concrete, asphalt and road foundations. In order to obtain the required quality of the product, chippings produced by crushing must be of a specific grain size distribution, purity, percentage of fractured surfaces and approximately cubic grain shape. These requirements can be successfully met by the application of vertical impact crushers.

Due to their crushing mechanism and construction, vertical impact crushers may be used for crushing almost all kinds of stone, and especially for processing hard highly abrasive material.