3. Zdrobňovanie nerastov a druhotných surovín

Ruda, ktorá prichádza z bane do úpravne je zmesou rôzne veľkých kusov, pričom táto kusovosť závisí od spôsobu dobývania, od tvrdosti rudy a od iných faktorov. Ruda sa drví a melie na takú jemnosť, akú požaduje technologický proces. Jemnosť drvenia a mletia závisí od charakteru vtrúsenia. Melie sa na takú jemnosť, aby sa uvolnila úžitková zložka rudy, nikdy sa však nevolí jemnešia zrnitosť, lebo je to nehospodárne a obyčajne sa tým znižuje účinnosť rozdružovania.

Podobne ako nerastné suroviny aj druhotné suroviny sa zdrobňujú, aby sa uvoľnili jednotlivé zložky a zmenšili sa na veľkosť vhodnú na ďalšie spracovanie. Pri zdobňovaní druhotných surovín sa uplatňujú okrem bežných drviacich a mlecích strojov aj špeciálne zdrobňovacie stroje, určené pre priemyselné aj tuhé komunálne odpady, pracujúce na princípe strihu.

3.1 Drvenie

Pod pojmom drvenie rozumieme zdrobňovanie tuhého telesa na časti, pričom sa mechanicky premáhajú sily súdržnosti častíc telesa a vytvárajú sa nové povrchové plochy.

Vyťažená ruda má veľkosť častíc v rozmedzí od 0,1 – 1m, naproti tomu veľkosť častíc jenotlivých minerálov sa pohybuje pod 0,1mm. Preto sa drvenie a mletie musí vykonávať v rade operácí, pri ktorých sa postupne znižuje veľkosť častíc rudy.

Pomer **„i“** priemeru najväčších kusov rudy **pred drvením „D“** k priemeru najväčších kusov rudy **po drvení „d“** sa nazýva stupeň drvenia:

$$i = \frac{D}{d} \tag{3.1}$$

Každé drviace zariadenie má určitý rozsah stupňa drvenia. Napr. Treba rozdrviť kusy rudy o priemere 600mm na konečnú veľkosť 5mm. Ruda sa musí zmenšiť 600:5=120 –krát. Stupeň drvenia i=120.

Pretože drviace zariadenie nemá taký počet zariadení, aby sa drvenie mohlo uskutočniť v postupnosti 120.krokov, urobia sa napr.tri drvenia so stupňami i_1=5, i_2=4 a i_3=6. Potom výsledý stupeň drvenia i_C=5.4.6=120

Podľa veľkosti zrna pred a po drvení, rozdeľujeme drvenie na:

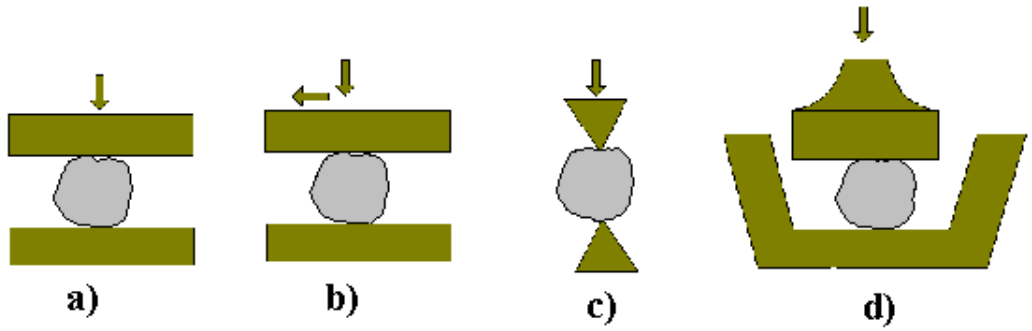
	D(mm)	d(mm)
hrubé	1000 -500	200 - 100
stredné	200 - 100	100 - 20
jemné	100 – 20	20 - 3
mletie	15 – 0,5	do 0,007
	0,5	do 0,1μm

Investičné a prevádzkové náklady na drvenie a mletie sú veľké, v priemere dosahujú 60-70% celkových úpravníckych výrobných nákladov. Náklady na elektrickú energiu predstavujú 50% nákladov na predúpravu drvením.

Energetické požiadavky pre jednotlivé druhy drvenia a mletia sú:

hrubé drvenie	0,2 – 0,5	kWh/t rudy
stredné drvenie	0,5 – 2	kWh/t rudy
jemné drvenie	1,0 –10	kWh/t rudy
mletie	100	kWh/t rudy

Podľa spôsobenia mechanických síl poznáme štyri základné princípy drvenia:
a) rozmliažďovanie b) rozotieranie c) štiepanie d) roztĺkavanie



Obr. 3.1 Základné princípy drvenia

Charakteristickou veličinou pri posudzovaní produktivity drviča je jeho merný výkon, ktorý sa udáva v **t / kWh** alebo **m^3 / kWh**, alebo merná spotreba energie **kWh / t**, alebo **kWh / m^3** rozdrveného materiálu.

Podľa princípu rozpojovania resp.podľa spôsobu práce delíme drviče:

1.**Čelusťové drviče** : Materiál je mliaždený pohybom čelustí. Používa sa na hrubé a stredné drvenie pevných hornín.

2.**Kužeľové drviče:**. Drvia kusy rudy s excentricky sa pohybujúcim drviacim kužeľom v priestore medzi pevným kužeľovým plášťom a pohyblivym drviacim kužeľom.

3.**Valcové drviče**: Proti sebe rotujúce valce drvia rudu mliaždením, ak rotácia valcov má rôzne obvodové rýchlosti v dôsledku rôznych priemerov, drvia okrem mliaždenia aj rozotieraním. Ak valce majú ozubenie drvia rudu štiepaním.Používajú sa na stredné drvenie.

4.**Kladivové drviče**: Sú nárazové drviče a dezintegrátory, ktoré pôsobia na kusy rudy údermi rotujúcich častí drvičov. Používajú sa na stredné a jemné drvenie.

3.1.1. Čelusťové drviče

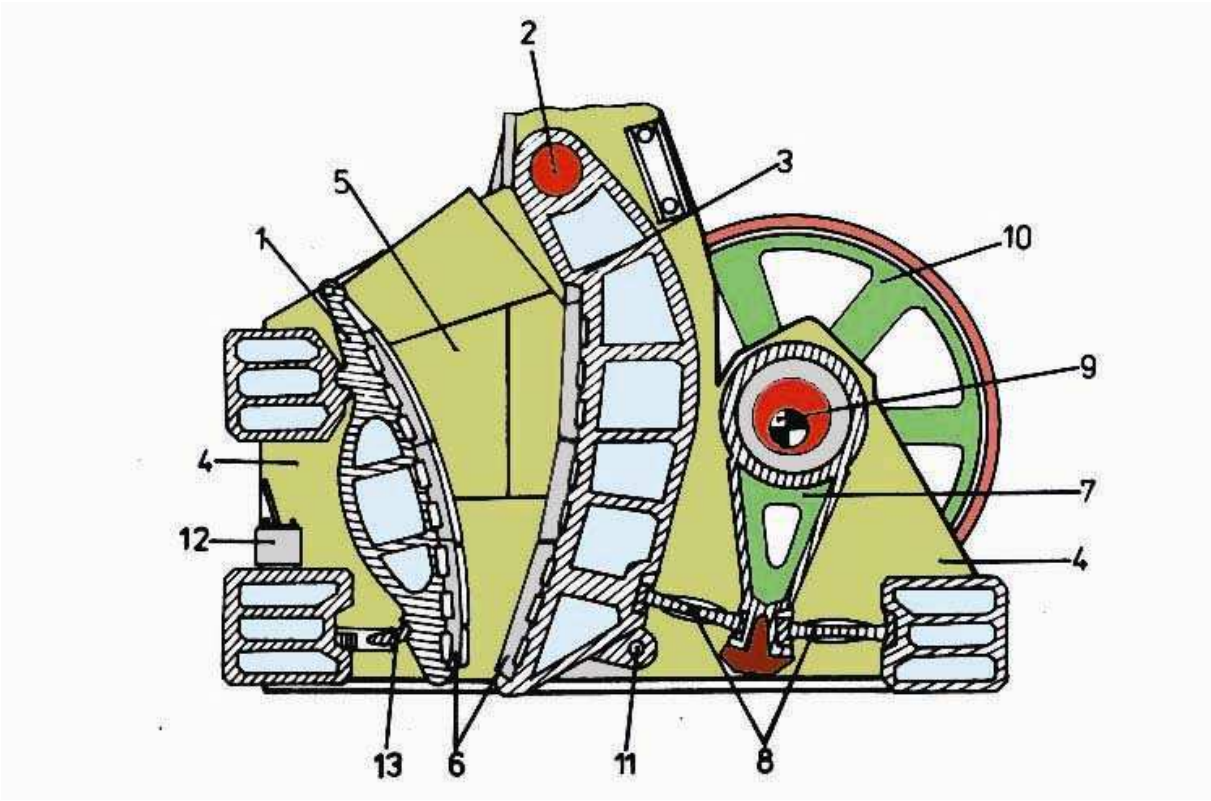
Čelusťové drviče sa používajú v rudnej úprave veľmi často na hrubé drvenie, tvoria zvyčajne prvé štádium drvenia. Majú pomerne jenoduchú konštrukciu, schopnosť pojať veľké kusy drvenej rudy, značnú výkonnosť, ľahkú výmennosť náhradných súčiastok, jednoduchú obsluhu a údržbu.

Nerastná surovina v čeľusťových drvičoch sa mliaždi v priestore medzi pevnou a pohyblivou čelusťou. Pri rozovieraní čelustí sa materiál vlastnou hmotnosťou posúva do tlamy drviča a pri zvieraní sa materiál drví.

Čelusťové drviče rozdeľujeme podľa konštrukcie na dvojvzperné a jednovzperné. Výkonnosť závisí od charakteru rudy, stupňa drvenia, veľkosti tlamy, uhlu záchytu a iných faktorov. Uhol záchytu α je uhol, ktorý zvierajú čeluste. Tento uhol závisí od koeficientu trenia medzi drveným materiálom a čelusťami. Uhol záchytu býva 15-35^0 .

Dvojvzperný čelusťový drvič

Drví v priestore medzi dvoma ryhovanými čelusťami, z ktorých jedna je pevná **1** a druhá je pohyblivá **3**, vykonávajúca kývavý pohyb okolo horizontálnej osi **2**. Čeluste sú upevnené v mohutnej oceľovej konštrukcii **4**.(Obr.3.1)



Obr.3.2 Dvojvzperný čelusťový drvič

Drviaci priestor má zakrivený tvar ohraničený pevnou čelusťou, prehnutou pohyblivou čelusťou a bočnými panciermi **5.** Vnútorná strana čeluste siahajúca do drviaceho priestoru je vyložená vymeniteľnými rýhovanými čelusťovými doskami **6** z kvalitnej mangánovej alebo chrómovej ocele.

Pohyblivá čelusť zavesená na horizontálnej osi nadobúda kývavý pohyb vo svojej dolnej časti pomocou ojnice **7** a dvoch vzperných dosiek **8** .

Ojnica je voľne zavesená na výstredníkovom hriadeli **9** s dvoma zotrvačníkmi, z ktorých jeden má drážky. Drážkovaný zotrvačník **10** je spojený klinovými remeňmi s elektromotorom.

Vzperné dosky sa kĺbovite opierajú o ojnicu, pričom vnútorná sa druhým koncom opiera o kývavú čelusť a prevádza zvislý pohyb ojnice na horizontálny výkyv spodnej časti kývavej čeluste. Vzperné dosky sa šikmo vzpierajú proti sebe, ak je ojnica v spodnej polohe, a napriamujú sa, ak je ojnica v hornej polohe. Týmto spôsobom sa striedavo rozširuje alebo zužuje priestor medzi čelusťami a drví sa hornina nachádzajúca sa v ňom. Spätný pohyb pohyblivej čeluste umožňuje pružinová tyč **11** s vratnou pružinou.

Horný otvor drviča sa nazýva ***tlama*** a spodný otvor ***štrbina***. Základnými rozmermi tlamy a štrbiny sú ***šírka*** a ***rázvor***. Rázvor výstupnej štrbiny sa reguluje prestavovaním pevnej čeluste pomocou regulačného zariadenia umiestneného vpriestore spodného predného čela **12**. Pri väčších drvičoch nastavovanie štrbiny uľahčuje použitie hydraulických valcov a ručného čerpadla.

Poistná doska **13** tvorí jednoduchú a veľmi účinnú ochranu proti poruche (napr.pri vniknutí nedrviteľného predmetu do drviaceho priestoru). V priebehu drvenia často dochádza k nárazom v dôsledku vniknutia ťažkodrviteľného predmetu do drviaceho priestoru, preto je chod nepokojný s nárazmi. V súvislosti s touto skutočnosťou sa nedoporučuje prevádzkovať čelusťové drviče v úpravni na poschodiach, ale musia mať samostatný masívny základ.

Jednojvzperný čelusťový drvič

Pre sekundárne drvenie, alebo pre primárne drvenie s pevnosťou horniny do 300MPa v tlaku sa používajú jednovzperné čelusťové drviče.(Obr.3.2). Tento typ drviča drví materiál medzi dvoma čelusťami v zakrivenom drviacom priestore. Proti čelnej pevnej čelusti **1** sa pohybuje zložitým pohybom výkyvná čelusť **2,** ktorej horná časť je otočná priamo na výstredníkovom hriadeli **3.**

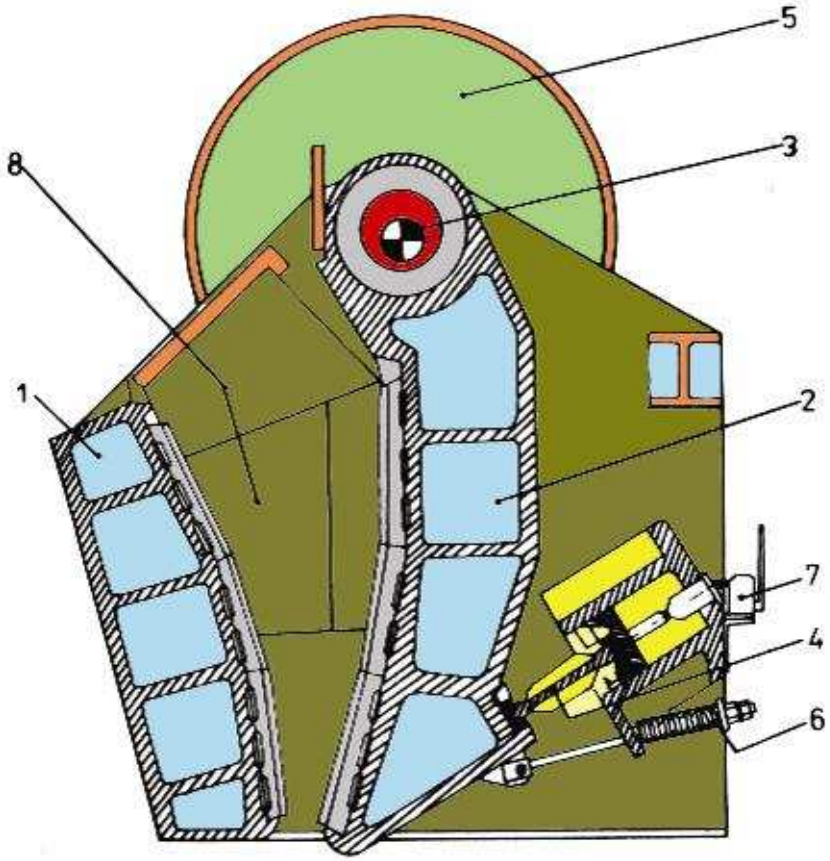
Čelusť opisuje dráhu šikmo naklonenej elipsy. Naspodku sa čelusť opiera o výkyvnú vzpernú dosku **4.** Výstredník a vzperná doska tvoria pohybový mechanizmus čeluste. Na obidvoch koncoch hriadeľa sú bohato dimenzované zotrvačníky **5**, z ktorých jeden je súčasne klinovou remenicou. Zotrvačníky sú pripojené k hriadeľu osobitným poistným zariadením.

Materiá sa drví tlakom, ktorý vzniká striedavým zvieraním drviacich čelustí. Ich ryhovaný vnútorný povrch a zakrivenie podporuje drviaci účinok. Pri spätnom chode pohyblivej, čeluste vyvolanom pružinou a ťahadlom **6,** sa drviaci otvor opäť rozširuje, drvený materiál klesá vlastnou hmotnosťou nižšie, až prepadáva výstupnou štrbinou, ktorej sa rázvor reguluje hydraulickým nastavovacím zariadením **7.**

Bočné steny drviaceho priestoru sú vyložené pancierovými doskami **8**, vnútorné vyloženie čelustí je vymeniteľné a zhotovené z kvalitnej oteruvzdornej mangánovej oceľoliatiny.

Jednovzperné drviče-granulátory sú jednoduchej konštrukcie a používajú sa na stredné drvenie. Rozmer tlamy cca 600mm otvor výpustnej štrbiny 8-150mm,výkon 5-200t/hod.

Čelusťové drviče sa majú spúšťať len pri prázdnej tlame. Preto sa má drvič zastavovať len po vyprázdnení tlamy. Materiál sa má do drviča podávať rovnomerne, aby sa zamedzilo zahlteniu drviaceho priestoru. Bezprostredné okolie drviacej tlamy musí byť dokonale ohradené a kryté, aby obsluhujúci personál nemohol manipulovať v tlame v priebehu drvenia a aby úlomky drvenej horniny v priebehu drvenia nemohli nikoho zraniť.



Obr.3.3 Jednovzperný čelusťový drvič

3.1.2 Kúžeľové drviče

Základnou časťou kužeľových drvičov sú : drviaci kužeľ a drviaci plášť. Drviaci kužeľ sa otáča v excentrickom ložisku, takže sa striedavo približuje a oddiaľuje od drviaceho plášťa po celom obvode a drví materiál medzi nimi.

Podľa určenia a tvaru drviacich častí sa tieto drviče delia na dve skupiny:

a) Kužeľové drviče s ostrouhlým drviacim kužeľom, ktoré sa používajú na hrubé a stredné drvenie nelepivých stredne tvrdých a tvrdých surovín (vápenec až žula) s vrcholovým uhlom kužeľa 21° - 25°

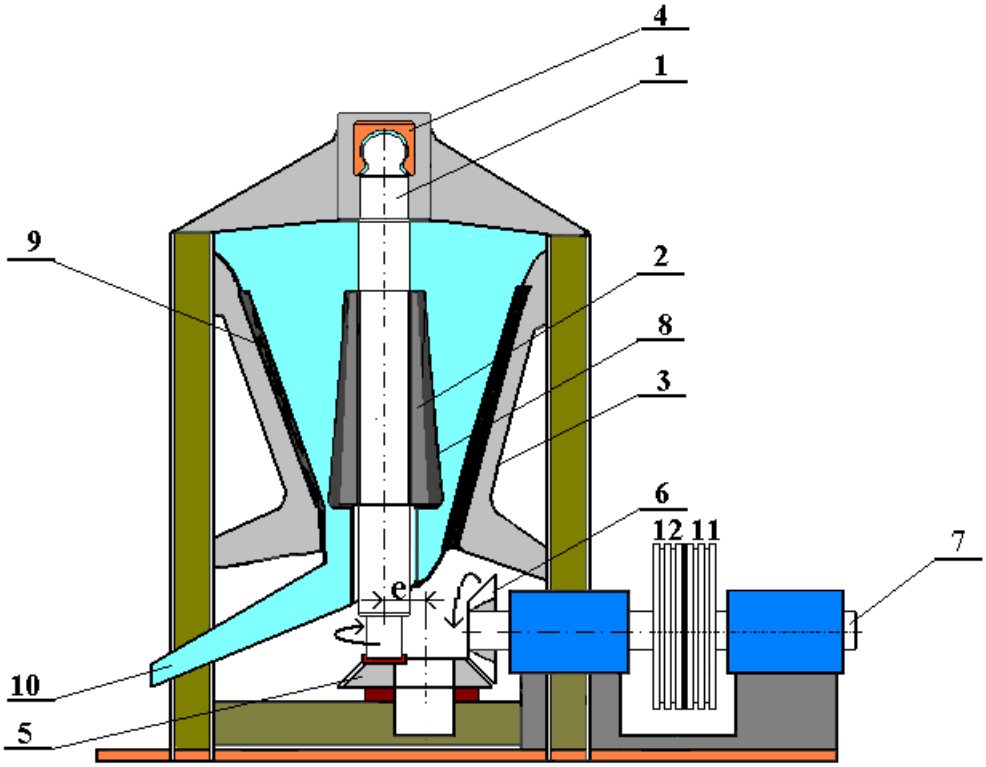
b) Kužeľové drviče s tupouhlým drviacim kužeľom. Sú určené na stredné a jemné drvenie.

Funkčnú schému ostrouhlého kužeľového drviča znázorňuje Obr.3.3. Na pevnom otáčavom hriadeli **1** je naklinovaný drviaci kúžeľ **2**. Kužeľ na hriadeli vykonáva krúživý kývavý pohyb, čím sa vnútorný drviaci kužeľ striedavo približuje a vzdiaľuje od vonkajšieho plášťa **3** a drví kusy rudy v priestore medzi drviacim kužeľom a kužeľovým plášťom.

Hriadeľ je hore otočne uložený v guľovom ložisku **4** a jeho spodný koniec je uložený do excentrového púzdra. Púzdro je pevne spojené s ozubeným kolesom **5** s kužeľovým ozubením, do ktorého zaberá druhé kužeľové ozubené koleso **6** na horizontálnom poháňacom hriadeli **7**.

Ryhovaný plášť drviaceho kužeľa **8**, ako aj vonkajšieho pevného kužeľa **9** je z mangánovej ocele. Aby sa dala meniť štrbina medzi drviacim kužeľom a vonkajším kužeľovým plášťom, možno hriadeľ nastavovacou skrutkou posunúť hore. Veľké moderné drviče majú toto nastavenie štrbiny zabezpečené hydraulicky.

Rozdrvená ruda padá štrbinou medzi kužeľom a vonkajším kužeľovým plášťom na



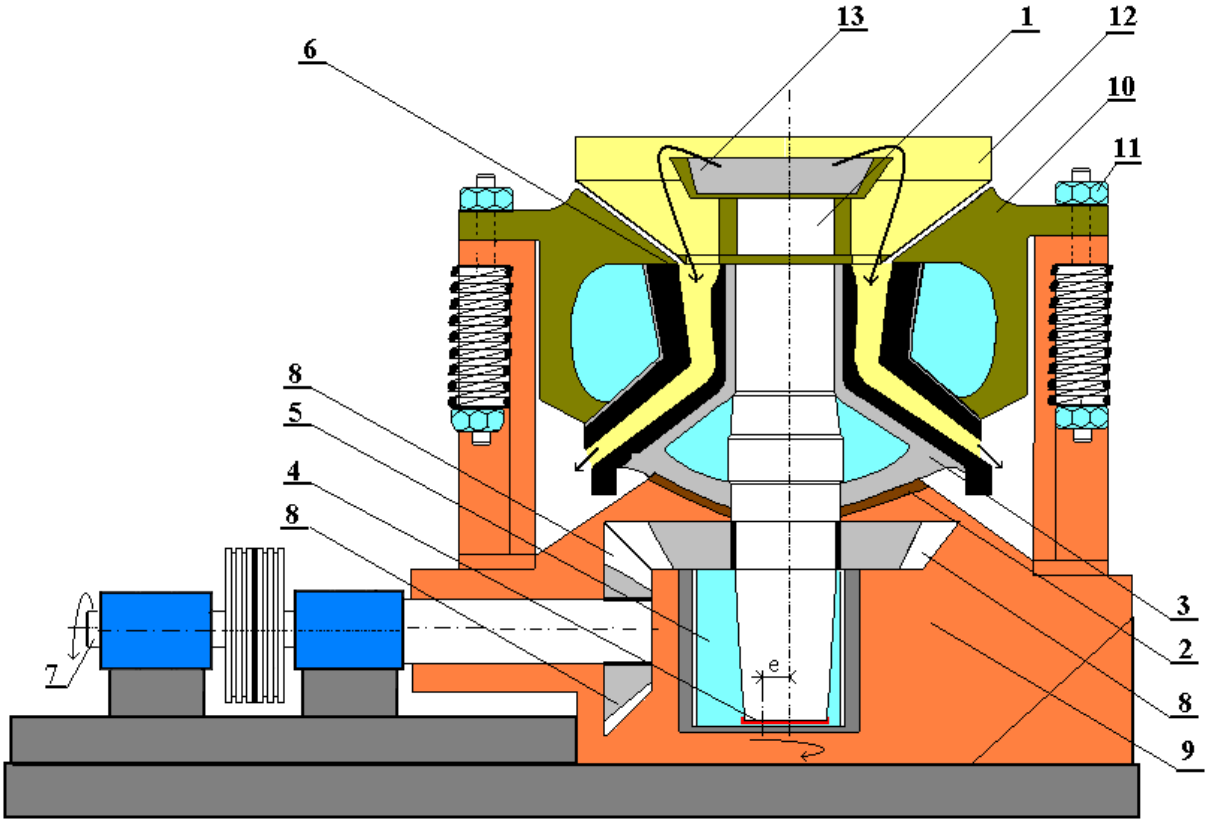
Obr.3.4 Funkčná schéma ostrouhlého kužeľového drviča

sklznú plochu **10** a po nej von. Pohon je cez voľnú remenicu **11**, ktorá je spojená s poistnými skrutkami s pevne naklinovanou remenicou **12** na hriadeli. Ak vnikne do tlamy drviča nežiaduci veľmi tvrdý predmet, vyvolá náhly odpor, poistné skrutky sa zlomia a voľná remenica sa bude otáčať nezávisle od drviča. Tak sa drvič chráni pred polámaním a deformáciou cenných súčastí.

Výkon drviča závisí od veľkosti drviča, otáčok a stupňa drvenia, ktoré býva 5 až 10.

Tupouhlé kúžeľové drviče sú určené pre stredné a jemné drvenie Obr.3.5. Drvenie prebieha podobne ako v ostrouhlých drvičoch. Hriadeľ drviča **1** nie je v hornej časti kĺbovite spojený, ale drviace teleso sa opiera o guľovú sférickú plochu **2** pod drviacim kužeľom **3**.

Spodok hriadeľa **4** je excentricky uložený v otáčavom púzdre **5,** preto drviaci kužeľ vykonáva výkyvy, striedavo sa približuje k pevne uloženému plášťu **6** a drví kusy horniny. Púzdro s excentrickým vývrtom je poháňnané od horizontálneho hriadeľa **7** cez kužeľový ozubený prevod **8.**



Obr.3.5 Funkčná schéma tupouhlého kužeľového drviča

Vlastné teleso drviča sa skladá z dvoch častí. Dolná časť **9** je pevná, horná časť **10** je k nej pripojená odperovanými svorníkmi **11**. Ruda sa nedodáva priamo do tlamy drviča **12**, ale padá do nej z tanierového (diskového) rozdeľovača **13**, ktorý je upevnený na hornom voľnom konci osi.

Štrbina sa reguluje pritiahnutím alebo povolením kužeľového plášťa, ktorý je závitom spojený s vrchnou časťou telesa drviča. Pre jemné drvenie sú určené tupouhlé kužeľové drviče, ktoré sa konštrukčne odlišujú tvarom drviacich orgánov s menším vstupným otvorom- označujú sa aj ako kužeľové granulátory.

Kužeľové drviče sú oproti čelusťovým drvičom výhodnejšie. Sú energeticky hospodárnejšie, lebo okrem mliaždenia aj rozotierajú rudu, preto je ich účinnosť vyššia. Majú plynulejší chod, plniaci otvor je 2,5-krát väčší ako u čelusťových drvičov. Dávajú rovnomernejšie zrno, zdrvená ruda má menej väčších plochých kusov a menej jemných tried.

Nevýhodou kužeľových drvičov je ich veľká konštrukčná výška. Pri výmene

náhradných súčiastok treba vytiahnúť von hriadeľ drviča s kužeľom, čo vyžaduje veľký voľný priestor nad drvičom.

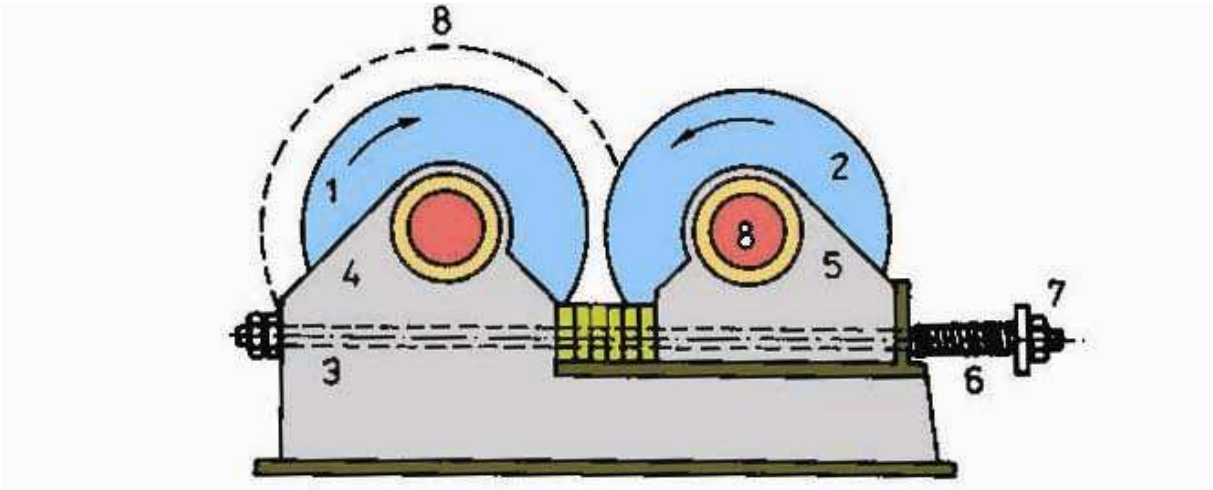
Výkon týchto drvičov je rôzny v závislosti na vlastnostiach drveného materiálu, môže byť až 2500t/hod.

3.1.3 Valcové drviče

Valcové drviče sa používajú v rudnom úpravníctve na stredné a jemné drvenie. Drviacimi časťami sú dva hladké, ryhované, alebo ozubené valce, ktoré sa otáčajú proti sebe. Zaraďujú sa do linky medzi čelusťové a kužeľové drviče. Pri rovnakej rýchlosti rotácie oboch valcov drví sa materiál rozmliaždením, ak sú rýchlosti otáčania valcov rôzne, okrem mliaždenia sa ruda aj rozotiera. Ozubené valce delia materiál štiepaním a mliaždením.

Pre proces drvenia je dôležitý pomer priemeru valcov a najväčších drvených kusov. Priemer valcov má byť 20-násobok najväčších kusov pred drvením. Veľké kusy sa pred valcami preklzujú a valce ich nemôžu zachytiť. Uhol záchytu nemá byť väčší ako 25^0, v priemere býva $16\text{-}18^0$.

Uhlom záchytu rozumieme uhol, ktoré zvierajú dotyčnice vedené bodom v bodoch v ktorých sa ruda dotýka valcov. Uhol záchytu závisí od priemeru valcov, priemeru drvených kusov a šírky výpustnej štrbiny valcov.



Obr.3.6 Schéma valcového drviča

1-pevný valec, 2-odperovaný valec, 3-pevný rám, 4-ložisko pevného valca, 5-ložisko posuvného valca, 6-perovanie posuvného valca , 7- regulačná skrutka perovania, 8-zotrvačník

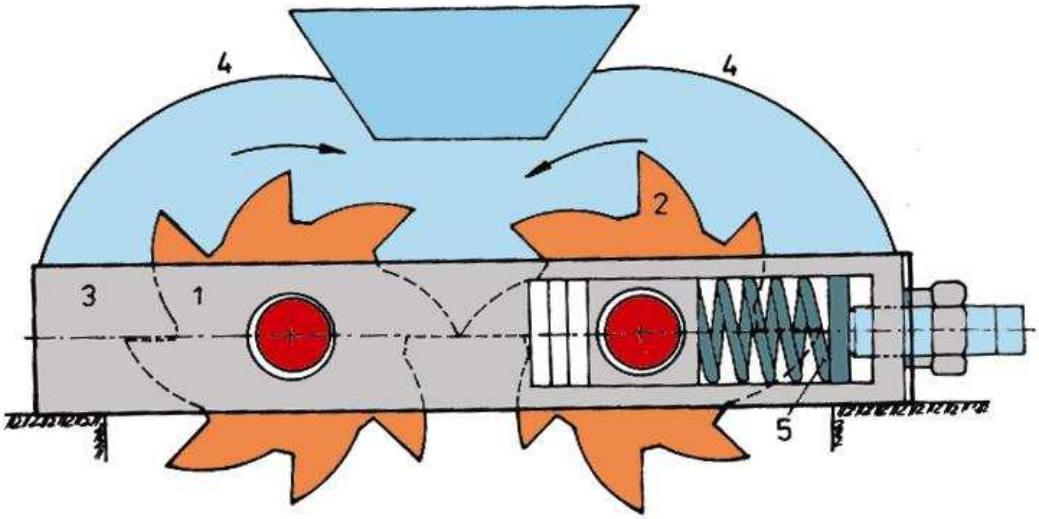
Valcové drviče sa konštruujú buď s obidvomi pevnými valcami, alebo jeden valec je pevný a druhý odpružený, alebo oba valce sú odpružené. Výhodou drviča s pevne uloženými valcami je rovnomernejšia zrnitosť produktu, nevýhody sú časté poruchy zlomenia poistného čapu v dôsledku vniknutia veľmi tvrdých predmetov medzi valce. Odperované valce majú minimálnu poruchovosť,ale dosť nerovnomernú zrnitosť.

Valce sú opatrené vymeniteľným plášťom z kvalitnej ocele. Nerovnomerným opotrebovaním povrchu valcov sa predchádza rovnomerným rozložením rudy po celej šírke valca. Veľkosť štrbiny medzi valcami možno meniť, čím sa mení stupeň drvenia. Stupeň drvenia býva pre tvrdé horniny 3-4 pre mäkké 10. Pri väčších stupňoch drvenia značne klesá výkon a hospodárnosť. Obvodová rýchlosť valcov býva 4-12m/s.Výhodou valcových drvičov je ich jednoduchá konštrukcia a ľahká údržba. Používajú sa najmä na drvenie olovených, wofrámových a iných krehších rúd.

Na drvenie krehkých materiálov sa používajú valcové drviče s ozubenými valcami. Materiál sa drví medzi dvoma proti sebe sa otáčajúcimi rotormi. Rotory sa skladajú striedavo z veľkých a menších drviacich kotúčov, ktoré sú pevne nasadené na štvorhrannom hriadeli.

Proti veľkým kotúčom jedného rotora sa otáčajú menšie kotúče druhého rotra. Obidva rotory majú na protiľahlých koncoch naklinovaný zotrvačník, ktorý slúži na premáhanie nerovnomerných odporov a je súčasne hnacou pohonnou remenicou s klinovými drážkami.

Jeden z rotorov je uložený v ložiskách pevne, druhý má spodné časti ložísk upravené tak, aby sa dali nastavovacími skrutkami posúvať po ráme. Takto sa reguluje výsledná zrnitosť produktu a možno využiť ozubenie aj čiastočne opotrebovaných kotúčov.

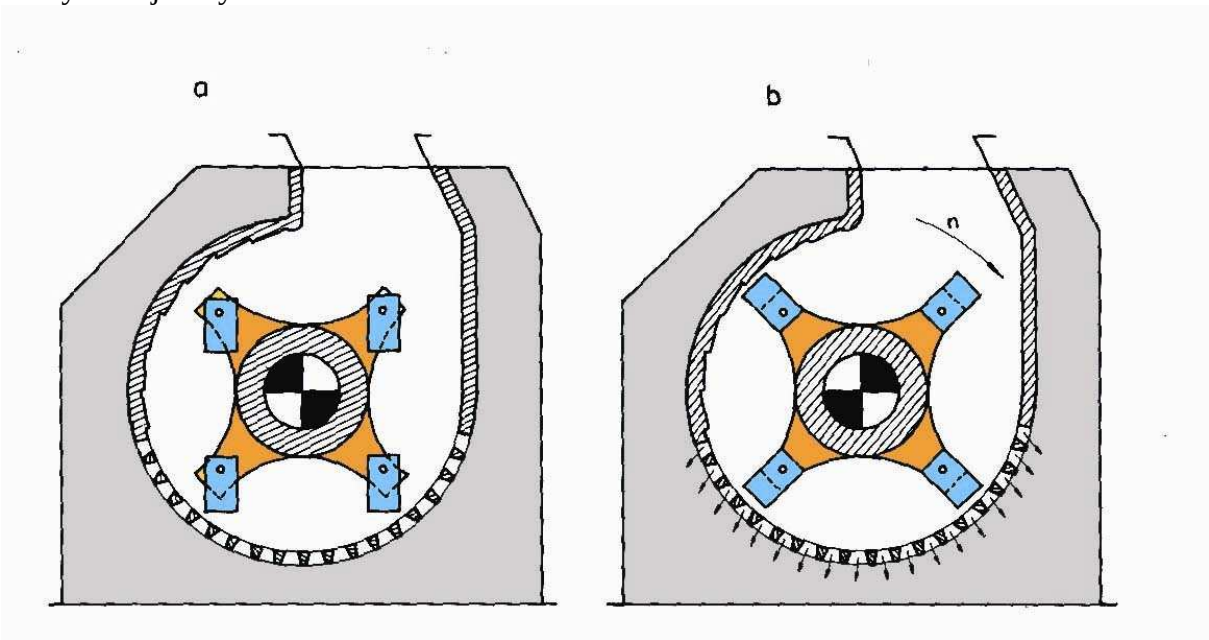


Obr.3.7 Valcový drvič s ozubenými kotúčmi

1-pevný valec, 2-odperovaný valec, 3-rám drviča, 4-kryt valcov, 5-odperovanie posuvného valca

3.1.4 Kladivové drviče

Kladivové drviče drvia materiál úderom drviacich telies-kladív, ktoré sú voľne pripojené na otáčajúci sa rotor, ďalej vrhaním kusov hornín odstredivou silou na pancierove dosky a vzájomným narážaním kusov na seba. Obr.3.8



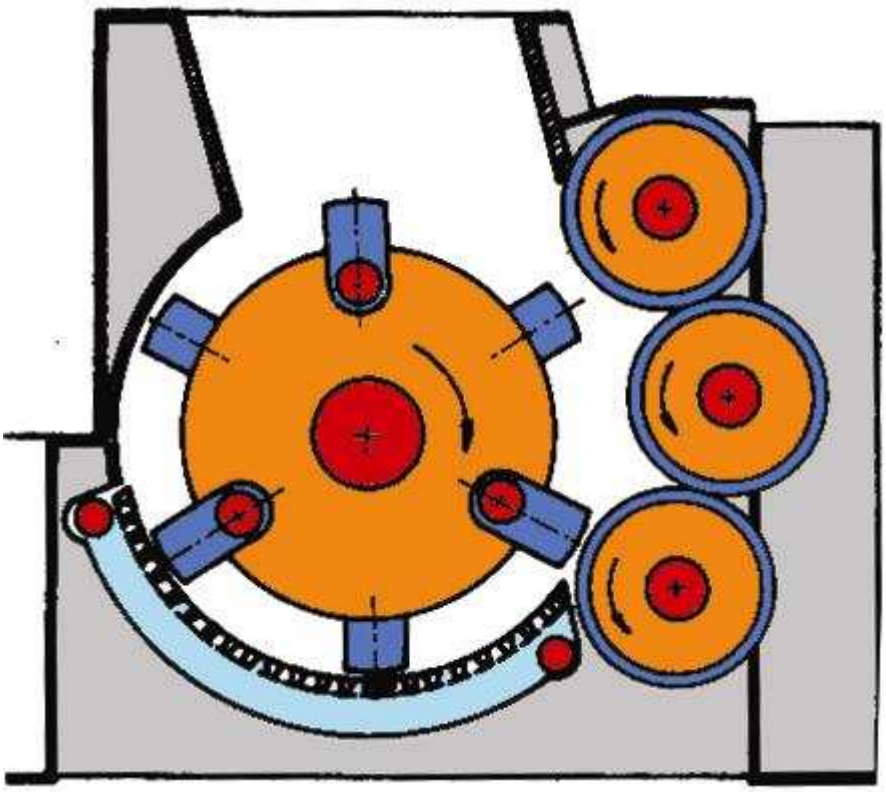
Obr.3.8 Schéma kladivového drviča
a-rotor v pokoji, b-rotor v pohybe

Kladivový drvič sa skladá z telesa drviča s roštom a z rotora. Na hriadeli sú naklinované kotúče na ktorých voľne visia kladivá. Pri rotácii rotora, následkom odstredivej sily zaujímajú kladivá radiálnu polohu. Materiál padá otvorom drviča do drviacého priestoru, kde je vystavený nárazom kladív.

Kladivá sa vyrábajú z mangánovej ocele, majú rôzny tvar a veľkosť. Kladivá sú obyčajne symetricky tvarované, aby sa v prípade opotrebovania mohli otočiť o 180^0 čím sa predĺži ich životnosť. Kĺbové upevnenie kladív zabraňuje prenášaniu otrasov na konštrukciu stroja pri náraze na veľmi tvrdý materiál.

Výhodou kladivových drvičov je ich jednoduchá konštrukcia a spoľahlivosť v prevádzke, nenáročná obsluha a vysoký stupeň drvenia 10-40 pri relatívne malej spotrebe energie. Kladivové drviče sa hodia na drvenie krehších rúd. Kladivové drviče na hrubé drvenie s otáčkami 250-550 min^{-1} sa nazývajú pomalybežné. Drviče na jemné drvenie majú 700-1200 otáčok za minutu, preto sa nazývajú rýchlobežné. Výkon týchto drvičov je podľa veľkosti stroja 200-350m^3/h.

Na drvenie lepivých materiálov, ktoré obsahujú vysoký podiel ílovitých minerálov a vysoký obsah vody sú vhodné kladivové drviče s valcami Obr.3.9. V kladivových drvičoch s valcami je pevná stena nahradená valcami. Pohyb týchto valcov od samostatného elektromotora zabraňuje nalepovaniu spracovávaného materiálu a súčasne pomáha postupu materiálu k výstupnej štrbine.



Obr.3.9 Schéma kladivového drviča s valcami

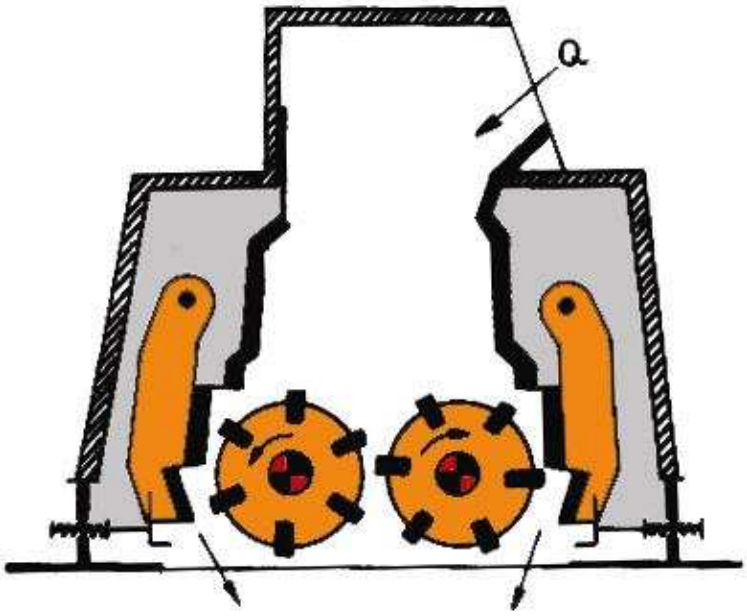
3.1.3 Nárazové drviče

Nárazové drviče drvia materiál úderom rotujúcich nárazových líšt pevne spojených s rotorom a odrazom od pevných odrazových dosák upevnených na vnútornej strane krytu drviča.

Drviče sú konštruované ako jednorotorové, alebo dvojrotorové Obr.3.10. Na rozdiel od kladivových drvičov, spodná časť drviaceho priestoru nie je uzavretá roštom, ale je otvorená. Veľkosť rozdrveného zrna je daná štrbinou medzi nárazovými lištami a dolnými odrazovými doskami. Môžu však pracovať aj s roštom uzatvárajúcim spodnú časť drviaceho priestoru, čím sa zamedzí prepad nadmerne veľkých zŕn, ale súčasne sa zníži výkon drviča.

Nárazové lišty sú na rotor pripevnené skrutkami, alebo môžu byť z boku zasunuté do pozdĺžnych drážok na rotore a stabilizované štvorhrannými tyčami. Sú vyhotovené zo špeciálnej tvrdej ocele. Odrazové dosky sú taktiež vyhotovené z odolnej ocele a sú pripojené na stator.

Stator je odpružený a jeho polohou sa reguluje šírka výstupnej štrbiny. Tieto drviče sú určené na drvenie stredne tvrdých a tvrdých hornín. Rotory môžu mať priemer až 2000mm a pri drvení stupňa i=50 dosahujú výkon 800 až 1400 t/h.



Obr.3.10 Schéma dvojrotorového nárazového drviča

3.1.4 Strihové drviče

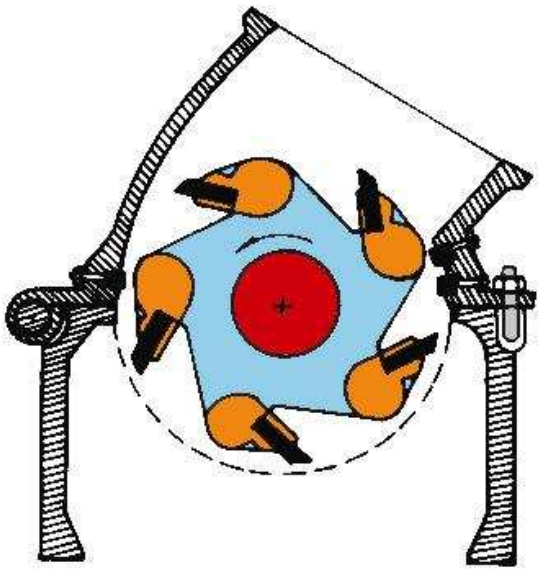
Strihové drviče sa používajú na zdrobňovanie druhotných surovín, kde okrem princípu drvenia sa uprednosťuje predovšetkým strih. Strihové časti sa otáčajú, alebo konajú priamočiary pohyb proti stabilným nožom.

Schému rotačného strihového drviča znázorňuje Obr.3.11. Stroj je konštrukčne podobný nárazovým drvičom. Odpady z fólií, plasty, drôty, plechy,z medi, mosadze, bronzu, odpadové káble, hobliny od sústruhov apod. sa privádzajú do drviaceho priestoru, kde ich zachytia pevné ramená prudko rotujúceho rotora na ktorých sú regulovateľne upevnené strihové nože zo špeciálnych volfrámových zliatin.

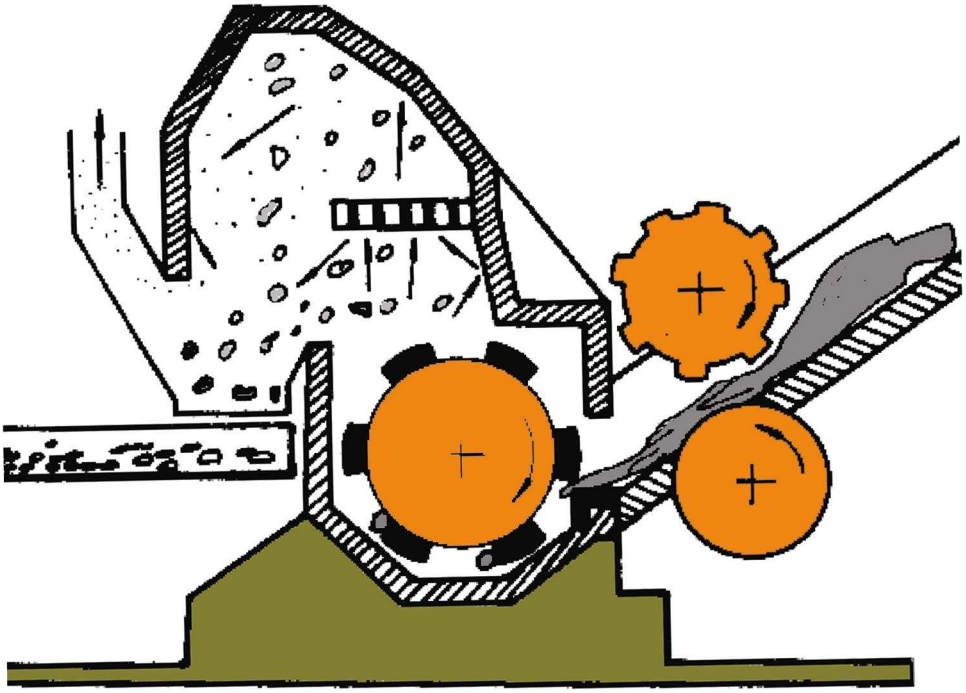
V štrbine medzi nožmi rotora s pevnými štvorhrannými protinožmi upevnenými na telese drviča sa materiál zdrobňuje strihom. Z drviaceho priestoru prepadávajú zdrobnené kúsky cez nastaviteľné medzery vynášacieho roštu umiestneného na spodku drviča.

Drviče sa vyrábajú v rôznych veľkostiach s priemerom rotora od 315 do 800mm s príkonom od 7,5 až 110kW .

Na podobnom princípe sú konštruované aj mohutné rotačné drviče na drvenie vrakov automobilov od 368 do 2940 kW. Obr.3.12



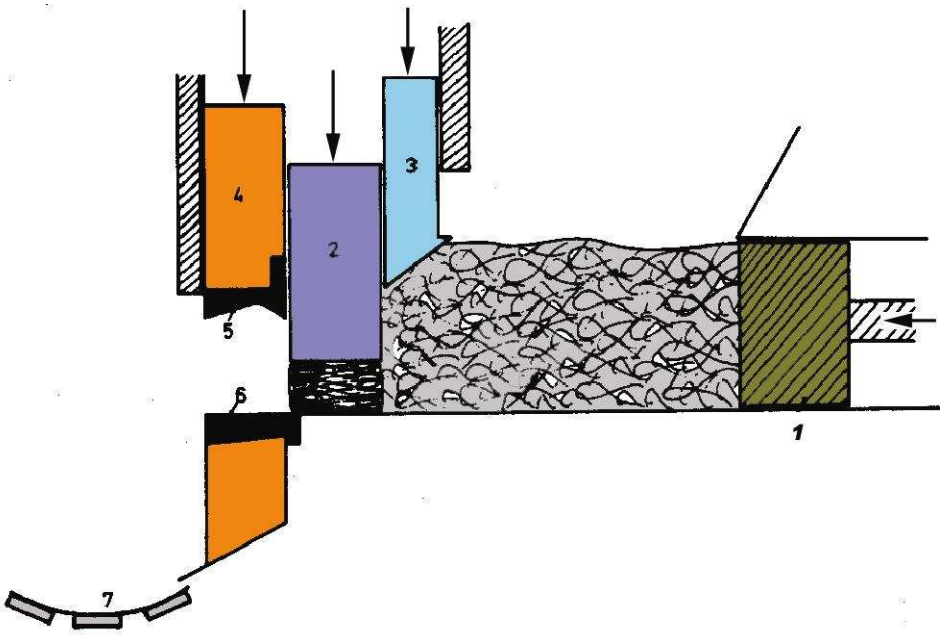
Obr.3.11 Rotačný strihový drvič



Obr.3.12 Rotorový drvič kovového šrotu

Princíp činnosti strihového drviča s priamočiarou dráhou strihového nástroja znázorňuje Obr.3.13. Kovový alebo nekovový odpad sa posúva piestom **1** a zhutní sa hydraulickým lisom **2**.

Rezným nástrojom **4**, ktorý sa pohybuje vertikálnym smerom sa materiál pravidelne odstriháva. Strihové sily podľa veľkosti stroja dosahujú 8 až 10 MN.



Obr.3.13 Strihový drvič šrotu

1-piest, 2-lis, 3-predlisovač, 4-rezný nástroj, 5-hlavný nôž, 6-rezné hrany, 7-pás pre odvoz drviny

3.2 Mletie

Mletie je najjemnejšie rozpojovanie rúd pred ich rozdružovaním (najčastejšie flotáciou). Presnú hranicu medzi mletím a drvením nestanovujeme. Všeobecne sa melie pod 2-3mm a najčastejšiou mierou jemnosti mletia je percentuálny podiel triedy 0,075.

Tvarom sú mlyny rotačné bubny, ktorých náplň tvoria okrem materiálu na mletie, oceľové gule, alebo tyče. Rotáciou bubna sú unášané okrem rudy aj gule (tyče), ktoré v určitom bode pôsobením gravitácie odpadávajú a rozomieľajú rudu. Okrem roztĺkania je materiál aj rozotieraný medzi guľami a taktiež medzi guľami a plášťom.

Podľa formy a spôsobu činnosti rozoznávame niekoľo základných typov guľových mlynov:

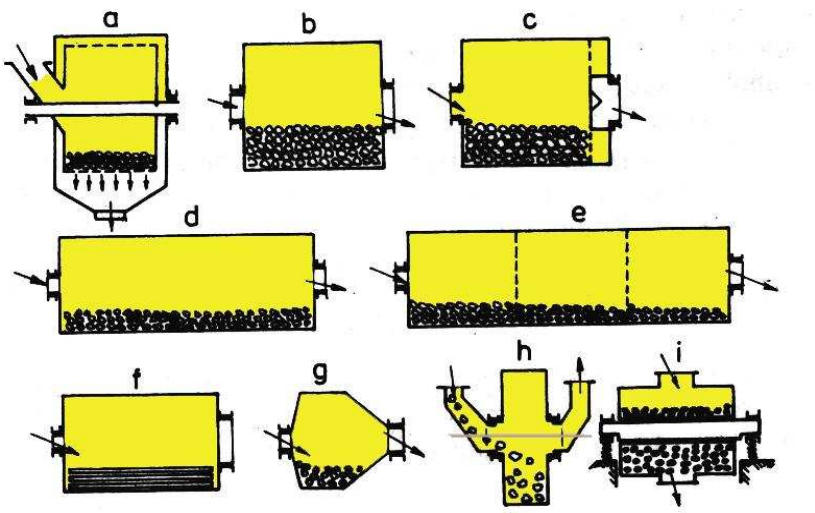
a) Guľový mlyn so sitovým plášťom -skladá sa z rotujúceho perforovaného valca a zo stabilného bubnového plášťa, ktorý má naspodku vynášací otvor. Používa sa na mletie nasucho.

b) Guľový mlyn s vynášaním cez dutý čap –je charakteristický tým, že vnútorný priemer bubna sa približne rovná dĺžke valcovitej časti mlyna. Rozomletý materiál prepadáva cez dutý vynášací čap.

c) Guľový mlyn s roštom **-** má na výstupnej strane bubna zabudovanú priehradku s otvormi a lopatkami na odvádzanie materiálu k vynášaciemu čapu

d) Guľový rúrový mlyn – má dĺžku valcovej časti niekoľkokrát väčšiu ako priemer. Zabezpečuje sa tým dlhšie zotrvanie materiálu v mlyne, a tým aj jemnejšie rozomletie**.**

e) Viackomorový rúrový mlyn – je určený na viacstupňové mletie v mlecích komorách vzájomne oddelených dierkovanými priehradkami. V jednotlivých komorách sa používajú gule s postupne zmenšujúcimi sa rozmermi.



Obr.3.14 Základné typy guľových mlynov

a-guľový mlyn so sitom a plášťom, b-guľový mlyn s vynášaním cez dutý čap, c-guľový mlyn s roštom, d-rúrový guľový mlyn, e-viackomorový rúrový mlyn, f-tyčový mlyn, g-Hardingov kónický guľový mlyn, h- mlyn „Aerofall“, i-vibračný mlyn.

f) Kónický Hardingov mlyn – má pomerne krátku valcovú časť a kužeľovité čelné steny

g) Mlyny pre autogénne mletie (Aerofall) **–** má veľký priemer D k pomere k dĺžke valcovitej časti. Mlecími telesami sú veľké kusy rudy 300 až 600mm. Rozomletý produkt sa vynáša vzdušným prúdom.

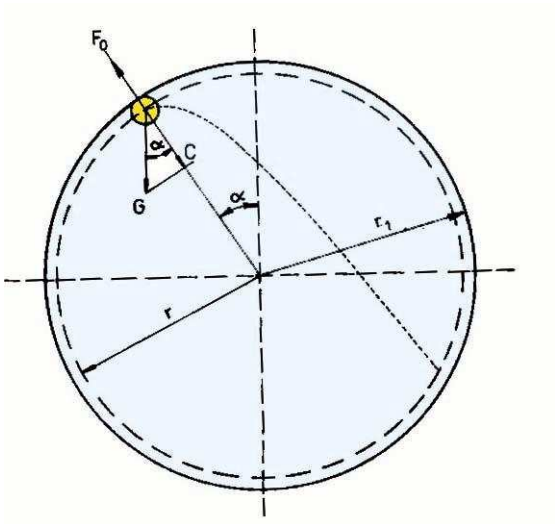
h) Vibračný mlyn – je guľový mlyn, ktorého odpružené bubnové teleso vykonáva kmitavý pohyb. Mlecie telesá (gule alebo tyče) zapĺňajú do 90% objemu mlyna.

Pre správny chod mlyna je žiadúce, aby gule následkom odstredivej sily neostávali pritlačené k plášťu a nerotovali spolu s bubnom, ale aby odpadávali v určitom bode nad horizontálnou rovinou bubna.

Dráha gulí závisí od rýchlosti rotácie, preto je dôležité určiť správny počet otáčok mlyna. Gule sa držia na vnútornom obvode mlyna a sú ním unášané dovtedy, kým odstredivá sila F_o je väčšia ako dostredivá zložka tiaže gule G.cos α (Obr.3.14)

Pre odstredivú silu F_o latí vzťah $F_o = m\frac{v^2}{r}$; dostredivú silu, ktorá je rovnako veľká, ale opačného smeru môžeme vyjadriť pomocou tiažovej sily $G = m.g$ a uhlu α, podľa vzťahu $G = mg.\cos\alpha$. Z rovnováhy síl $F_o = G$ vyplýva:

$$m\frac{v^2}{r} = mg\cos\alpha \tag{3.1}$$



Obr.3.15 Schéma pôsobenia síl v guľovom mlyne

Rovnica (3.1) dosiahne maximálnu hodnotu pre α=0° a nadobudne tvar:

$$v^2 = g.r \tag{3.2}$$

Vzťah medzi obvodovou rýchlosťou *v* a frekvenciou otáčania *n* vyjadruje rovnica

$$v = \frac{\pi.r.n}{30} \tag{3.3}$$

dosadením rovnice (3.3) do (3.2) a následnou úpravou dostaneme:

$$n = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \tag{3.4}$$

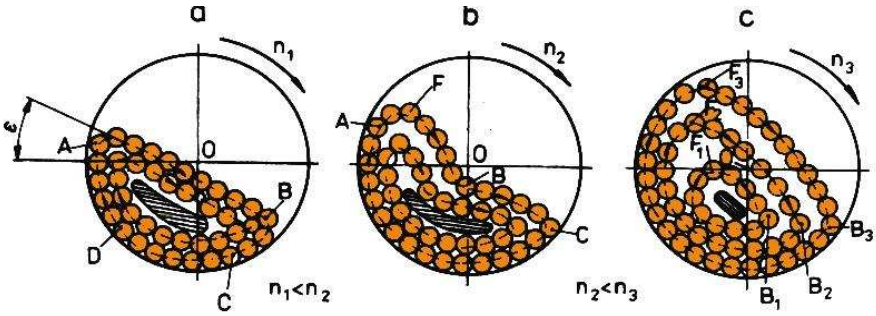
kde *D=r/2* je vnútorný priemer bubna mlyna.

V rovnici (3.4) otáčky ***n*** vyjadrujú maximálne, tzv. kritické otáčky, teda $\boldsymbol{n=n_{krit}}$. Prekročením kritických otáčok sú gule takou veľkou odstredivou silou pritláčané k stene bubna, že ten ich unáša – neodpadávajú. Aby mletie bolo účinné, otáčky mlyna musia byť menšie, tj. $\boldsymbol{n=(0,75\text{-}0,80)n_{krit.}}$

Pri normálnom režime sa zapĺňa 40% objemu mlyna guľami. Najvyššiu účinnosť majú gule pri stene bubna. Gule vnútorných vrstiev sa pohybujú pomalšie, prevaľujú sa cez seba a melú materiál rozotieraním.

V závislosti od rýchlosti otáčania guľových, alebo tyčových mlynov a stupňa ich zaplnenia mlecími telesami rozoznávame tieto rýchlostné režimy mletia:

1. Kaskádový režim – dochádza k nemu pri relatívne nízkych otáčkach mlyna (Obr.3.16a). Mlecie gule, alebo tyče sú vynášané do určitej výšky **A** nad stredom mlyna **O** a odvaľujú sa po ploche **AB** naklonenej pod uhlom ε k horizontálnej rovine.



Obr.3.16 Režimy mletia
a-kaskádový, b-zmiešaný, c-vodopádový

Takým spôsobom nastáva pohyb spôsobom nastáva pohyb mlecích telies na uzavretých trajektóriach, napr.**ABCDA.** V strednej časti guľovej náplne sa vytvára mrtvá zóna alebo „jadro“, v ktorom sa gule nepremiestňujú.

Kaskádový režim je bežný v tyčových mynoch, pretože pád tyčí z väčšej výšky môže vytvárať poruchy v dôsledku ich spriečenia.V guľových mlynoch sa tento režim uplatňuje pri suchom mletí v rúrových mlynoch.

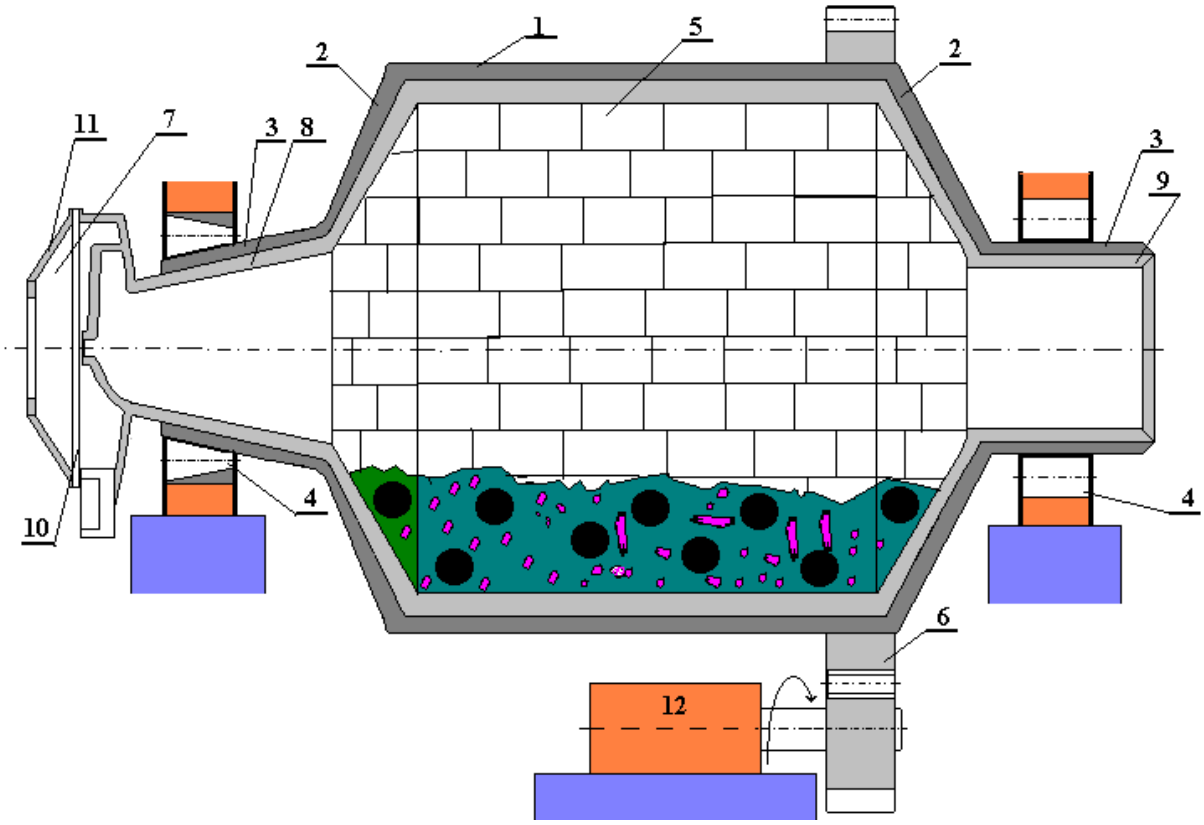
2.Zmiešaný režim - je taký, keď gule na časti svojej dráhy **AFB** voľne padajú a na ďalšom úseku **BC** sa pohybujú prevaľovaním. Aj pri tomto režime sa vytvára nepohyblivé jadro, okolo ktorého cirkulujú ostatné gule (Obr.3.16b)

3.Vodopádový (kataraktový režim -je taký, keď sú gule pri vyšších rýchlostiach otáčania vyzdvihované do väčšej výšky, a potom voľne padajú po variabilných dráhach. V tomto režime sa jadro vytváre len v malom rozsahu. Tento režim sa využíva pri mletí hrubšieho meliva, kde sa uplatňuje prevažne princíp zdrobňovania úderom padajúcich mlecích telies a čiastočne rozotieranie (Obr.3.16c)

3.2.1 Guľové mlyny

Bubnové guľové mlyny s vynášaním cez dutý čap

Guľový mlyn s vynášaním materiálu cez dutý čap sa skladá z bubna **1** a z čelných viek **2,** ktoré majú duté čapy **3** . Pomocou týchto čapov je mlyn uložený v hlavných ložiskách **4.** (Obr.3.17).



Obr.3.17 Guľový mlyn s vynášaním cez dutý čap

Pri niektorých konštrukciách má bubon mlyna na jednom konci alebo na obidvoch koncoch obruč a leží na valčekoch. Plášť mlyna má vnútorné oceľové alebo gumové vyloženie **5,** ktoré ho chráni pred nadmerným opotrebovaním.

Vyloženie bubna musí byť upravené tak, aby sa mohli jednotlivé dosky, ktoré sú obyčajne z uhlíkatej, mangánovej, chrómmolybdénovej alebo niklovej ocele vymeniť. Dosky vyloženia majú rozličný profil. Typické profily tvoria hladký alebo rebrovitý vnútorný povrch s rebrami rovnobežnými s osou otáčania mlyna. Hrúbka vyloženia je podľa veľkosti mlyna od 50 do 150mm. Výhodné sú vyloženia mlynov zo špeciálnych gumových zmesí. Ich hmotnosť je asi šestina z hmotnosti oceľového vyloženia. Gumené vyloženie sa ľahšie inštaluje, znižuje hlučnosť mlyna, má vyššiu životnosť ako oceľové vyloženie a podstatne nižšie náklady na hmotnostnú jednotku rozomletého materiálu.

Na jemné mletie sa v mlynoch používajú liate gule z legovanej tvrdej liatiny alebo z ocele a gule z kovaných liatinových ocelí. Vlastnosti gúľ používaných na mletie v mlynoch, ako tvrdosť, hustota, odolnosť proti opotrebovaniu a nárazovému namáhaniu, závisia od zloženia a mikroštruktúry kovu, od spôsobu výroby a od tepelného spracovania. Z hľadiska opotrebovania sa ako najlepšia ukázala martenzitická oceľ s veľkou povrchovou tvrdosťou. V praxi sa používajú gule od 30 do 150mm. Opotrebovanie resp. spotreba gúľ závisí od mletého materiálu a je v rozsahu 0,1 –0,2kg/tonu rudy. Preplnenie mlyna guľami spôsobuje opotrebovanie gúľ, nedostatočná naplnenosť zase opotrebovanie stien bubna.

Prakticky guľová náplň siaha len niekoľko cm pod os rotácie mlyna. Optimálna hmotnosť guľovej náplne je 1700-1950kg/m^3 objemu mlyna.

Pohon mlyna je zabezpečený cez pastorok naklinovaný na hnacom hriadeli, ktorý zaberá do ozubeného venca na konci bubna **6**. Pohon sa uskutočňuje priamo, alebo spojením hnacieho hriadeľa s pomalobežným elektromotorom pomocou spojky, alebo cez prevodovú skriňu, ak sa použije motor s normálnymi otáčkami **12**.

Pre potrebný príkon mlyna sa môže použiť vzťah :

$$N = 6{,}8.G.\sqrt{D} \qquad [kW] \qquad (3.5)$$

kde *G*- je hmotnosť náplne gúľ v (*t*); *D*- je vnútorný priemer mlyna v *(m)*

Spotreba energie pri jemnom mletí býva 10-15 kWh/t rozomletej rudy pri vsádzke zrna 6-15mm.

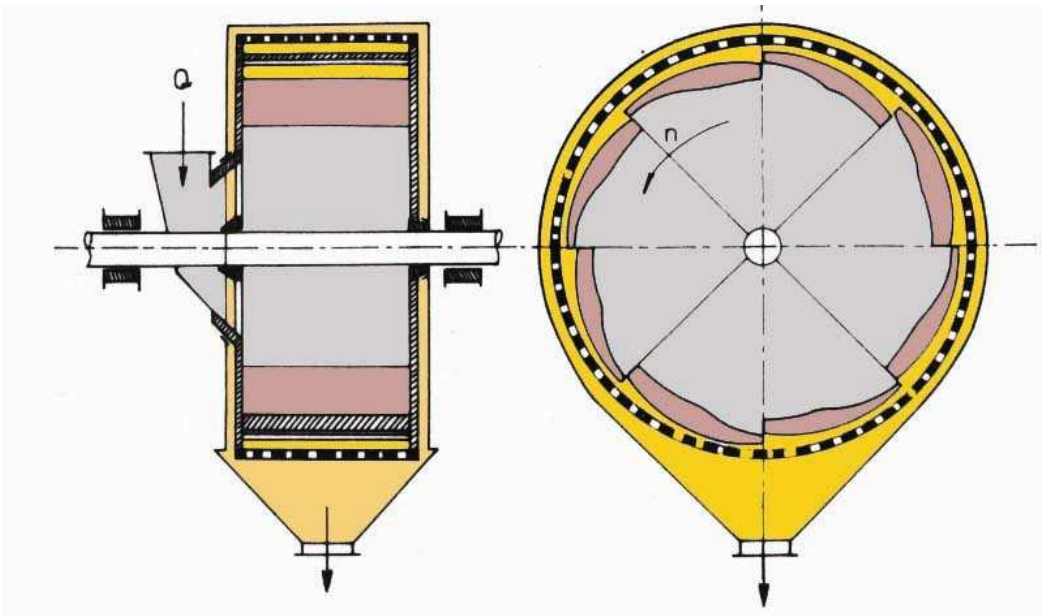
Mlyn sa plní cez plnič **7** a dutý čap veka **3** s výmenným hrdlom **8.** Plniče môžu byť bubnovej konštrukcie, špirálovej konštrukcie, alebo kombinované. Bubnový plnič je čiastočne valcovitá a čiastočne kužeľovitá komora, na obidvoch koncoch otvorená Obr.3.17, vo vnútri má špirálovú priehradku na podávanie materiálu do mlyna cez vstupný čap. Na prednej strane plniča, kde sa privádza ruda, je k telesu plniča pripevnené veko **11** tvaru zrezaného kužeľa s kruhovým otvorom, ktorým sa ruda privádza na špirálu plniča. Plnič je skrutkami pripevnený v vstupnému čapu mlyna. Medzi telesom a vekom plniča je plechová priehradka **10** s výrezom, ktorým sa ruda privádza na špirálu plniča.

Špirálový plnič má naberač špirálového tvaru s kruhovým otvorom v bočnej stene, ktorým vychádza nabraný materiál z plniča cez čap do mlyna. Kombinovaný plnič je kombináciou bubnového a špirálového plniča. Používa sa vtedy, keď sa do mlyna súčasne privádza hrubá ruda zo zásobníka a piesok z triediča, ktorý pracuje s mlynom v uzavretom okruhu.

Materiál po rozomletí odchádza hrdlom **9**, ktoré je pripevnené v dutom čape veka **2.**

Guľové mlyny so sitovým plášťom

Majú krátky cylindrický mlecí priestor, vytvorený čiastočne dierkovanými mlecími doskami. Mlecia náplň je z oceľových gúľ. Súčasne s mlecíi doskami sa otáča vonkajší sitový plášť, na ktorý prepadáva dostatočne rozomletý materiál, kým hrubší materiál sa vracia do vnútra mlyna spätne pôsobiacimi lopatkami.(Obr.3.18)



Obr.3.18 Guľový mlyn so sitovým plášťom

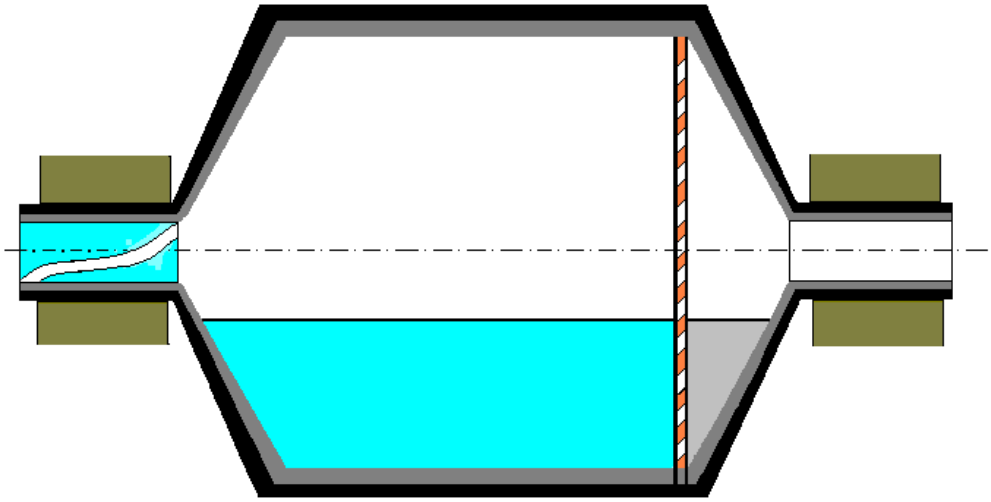
Materiál sa privádza cez čap v čele mlyna, rozomletý materiál sa odvádza naspodku cez plášť mlyna. Mlyn pracuje nasucho a je určený na rozomieľanie rozličných materiálov na zrnitosť okolo 2mm.

Guľové mlyny s roštom

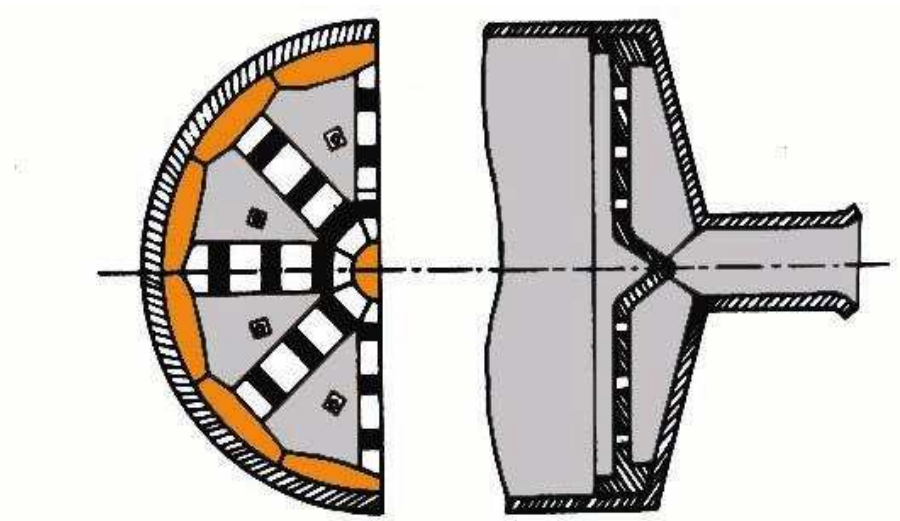
Guľové mlyny s roštom sa odlišujú od guľových mlynov s odvádzaním stredom tým, že majú na výstupnej strane bubna zabudovanú priehradku s otvormi na odvádzanie materiálu. (Obr.3.19a,b)

Priehradka má na strane obrátenej k výstupnému veku rebrá, ktoré rozdeľujú priestor medzi ňou a čelným vekom na komôrky otvorené smerom k čapu. Pri otáčaní mlyna pôsobia radiálne rebrá ako lopatkové koleso a zdvíhajú rmut, ktorý prešiel otvormi priehradky, do úrovne výstupného čapu. Takým usporiadaním sa dá udržiavať nízka hladina rmutu a skrátiť čas zdržania sa materiálu v mlyne.

Mlyny s roštom sa používajú na podobné účely ako mlyny s odvádzaním rmutu stredom, ale najčastejšie na mletie na zrnitosť vyše 0,15mm. Dávajú produkty rovnomernej zrnitosti a zrno nerozomieľajú priveľmi.



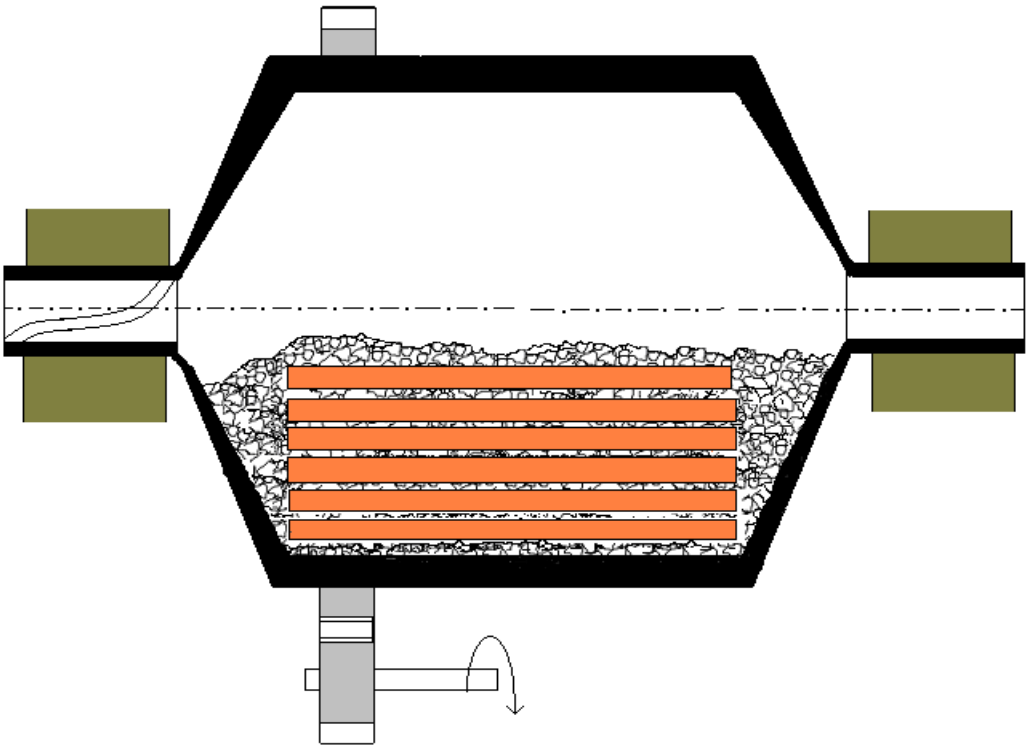
Obr.3.19a Schéma guľového mlyna s roštom



Obr.3.19b Vynášacia roštová priehradka

Tyčové mlyny

Principiálne sú podobné ako guľové mlyny, len miesto gulí tvoria náplň mlyna dlhé tyče. Tyče sú z kvalitnej ocele o priemere D=45-100mm, siahajú asi 100-200mm pod os mlyna a zaberajú 35-45% vnútorného objemu mlyna.
Tyče sa po sebe len prevaľujú preto materiál melú tlakom a rozotieraním. Výhodou týchto mlynov je rovnomerne rozomletý produkt, pretože kým nie sú väčšie kusy rozomleté nemôže tyč pôsobiť na jemnejšie zrná. Tyčové mlyny sa často používajú na veľkosť 0,2mm, ekonomicky je výhodné do 0,5mm s ďaľším domletím produktu v guľovom mlyne. Rýchlosť otáčania je 60-80% z kritických otáčok.



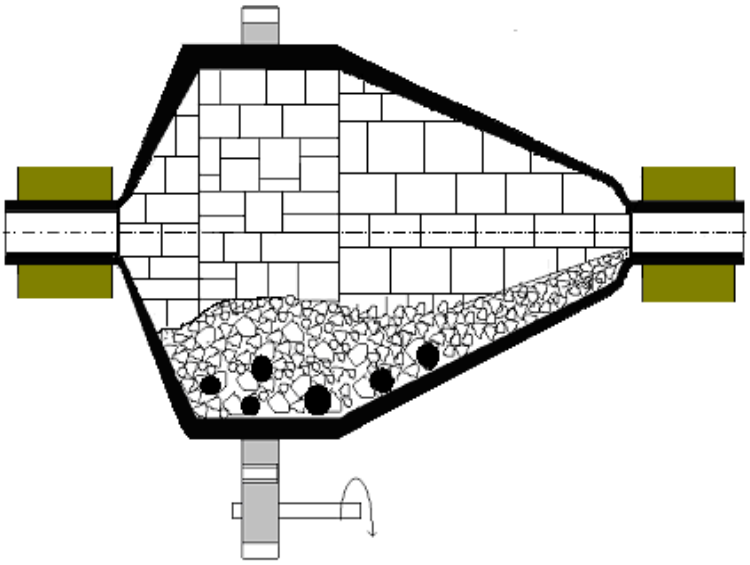
Obr.3.20 Schéma tyčového mlyna

Kužeľový guľový mlyn-Harding

Krátka valcová časť prechádza na vstupnej i výstupnej strane do kužeľovitej časti. Takýto tvar je výhodný preto, lebo gule sa sami roztriedia tak, že smerom k výstupnému čapu nachádzajú sa gule o menšom priemere a tieto sa v časti o menšom priemere len prevaľujú.

V strednej časti mlyna hrubozrnný materiál roztĺkajú veľké gule a už čiastočne rozomletý materiál menšie gule blízko výstupu ešte rozotierajú.

Tento tvar guľového mlyna vytvára priaznivé podmienky pre odvádzanie rozomletého materiálu. Kužeľový guľový mlyn charakteriujú predovšetkým priemer a dĺžka valcovitej časti. Vyloženie stien platňami je pri týchto mlynoch zložitejšie, lebo mlyn má v každom priereze bubna iný priemer.



Obr.3.21 Kužeľový guľový mlyn

3.2.2 Autogénne mlyny

Autogénne mlyny sa uplatňujú pri suchom alebo mokrom mletí rozličných rúd a nerastov. Mleciu náplň autogénnych mlynov tvoria väčšie kusy rozomieľaného materiálu

Autogénny mlyn AEROFALL

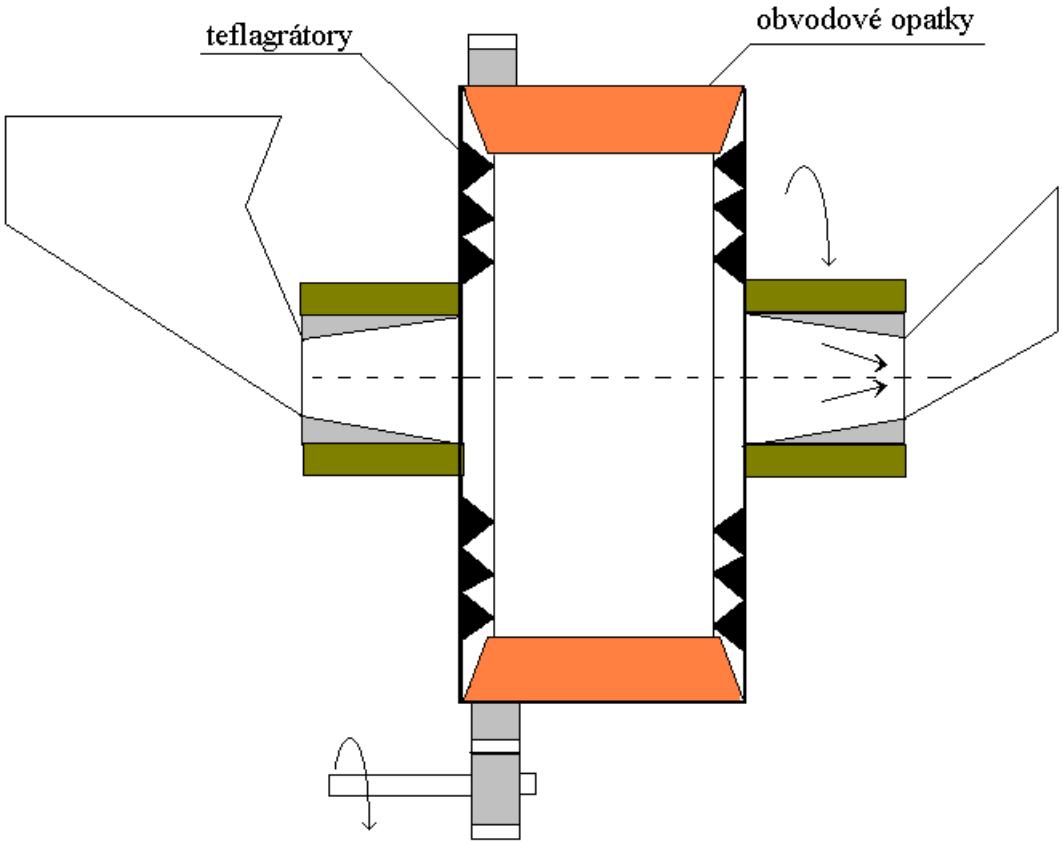
Mlyn je valcovitého tvaru. Krátky valec veľkého priemeru je uložený na horizontálnych dutých čapoch. Vnútrajšok mlyna je opatrený unášacími lopatkami. Jednym dutým čapom sa privádza surovina na mletie do valcovej časti, tam je lopatkami počas otáčania vynesená do výšky,odkiaľ padá a pri nárazoch jednotlivých kusov navzájom a na nárazníky na čelnych stenách mlyna (deflagrátory) sa rozomieľa.

Mletie sa reguluje malým prídavkom oceľových gulí. Prúd vzduchu a plynu vynáša rozomletý materiál výstupným čapom von z mlyna. Prúd vzduchu je doplnený horúcim plynom- má teda funkciu dopravovať a súčasne vysušovať.

Rozomletý materiál je triedený vo vzduchových klasifikátoroch. Pomer vnútorného priemeru k vnútornej dĺžke je 2,5 – 4,2.

Stupeň zdrobňovania je v rozsahu 100 až 1000. V mlyne prebieha drvenie aj mletie súčasne. Veľkosť vynášaného zrna sa dá regulovať zmenou rýchlosti prúdu vzduchu a plynu.

Horúci plyn umožní vysušiť surovinu, ktorej vstupná vlhkosť môže byť až 20%. V mlyne sa spracováva ruda po primárnom drvení, produkt mletia Aerofallom má zrnitosť menšiu ako 2,4mm, v čom je 30% pod 0,043mm.

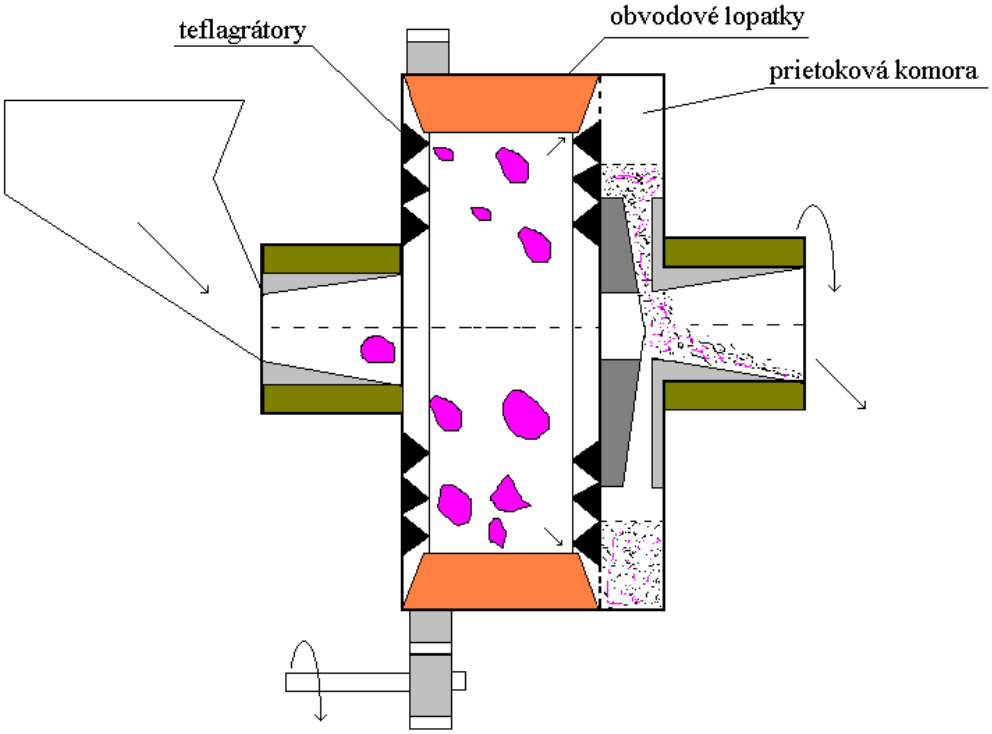


Obr.3.22 Autogénny mlyn AEROFALL

Autogénny mlyn HYDROFALL

Autogénny mlyn HYDROFALL (Obr.3.23) sa používa na vlhký materiál a pre mokré mletie. Surovina sa privádza s vodou z ľavej strany, rozomletý materiál vo forme rmutu vyteká cez roštové priehradky pri obvode čelnej steny na vynášacej strane mlyna do prietokovej komory odkiaľ ho unášacie lopatky vyzdvihujú a vyteká von z mlyna.

Konštrukcia je ídeovo zhodná s mlynom AEROFALL.



Obr. 3.23 Autogénny mlyn HYDROFALL

3.2.3 Mlyny na veľmi jemné mletie

Vibračné guľové mlyny

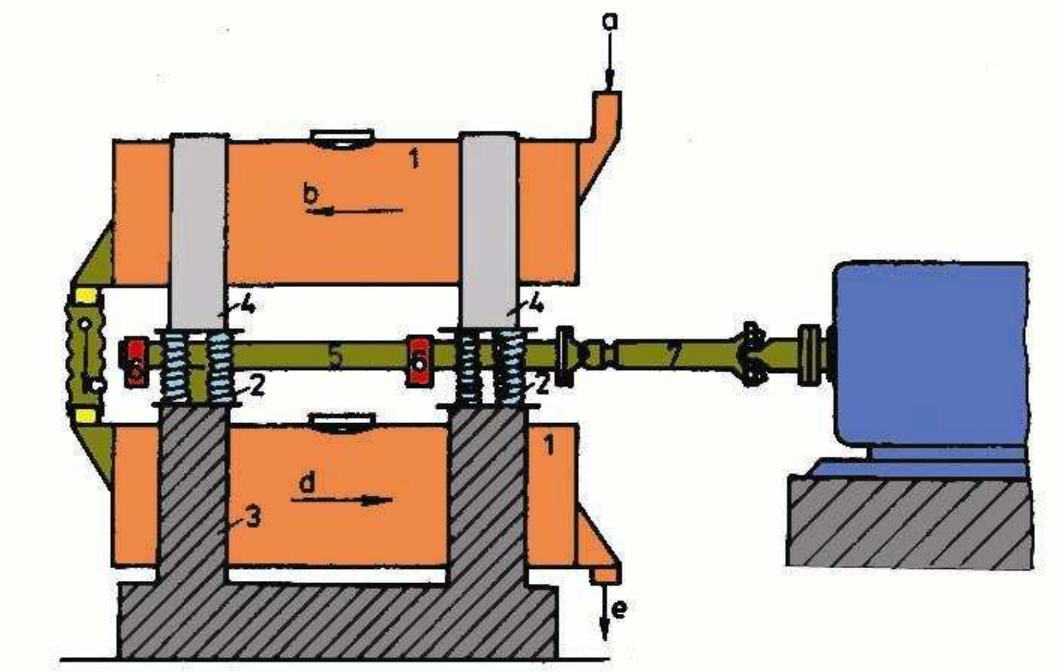
Uplatňujú sa tam, kde treba rozomlieť materiál veľmi jemne. Obr.3.24 znázorňuje schému dvojbubnového vibračného mlyna. Materiál sa melie v dvoch bubnoch naplnených mlecími guľami z ocele alebo keramického materiálu podľa podmienok mletia.

Mlecie telesá zapĺňajú 70 až 80% objemu bubnov **1**, ktoré sú spolu pevne spojené a pružne uložené na kruhových perách **2** na pevnom základe **3.** Spojovacími prírubami **4**, ktoré spájajú obidva bubny, prechádza horizontálny hriadeľ **5**, na ktorom sú nevyvážené zotrvačníky **6**, ktoré spôsobujú pri rotácii kruhové vibrácie s malou niekoľko-milimetrovou amplitúdou.

Hriadeľ je poháňaný od elektromotora, s ktorým je spojený kardanom **7.** Pri mletí sa mlecia náplň prevaľuje v opačnom smere rotácie vibračného hriadeľa a melivo

prechádza mlecím priestorom po relatívne dlhej skrutkovicovej dráhe (a, b, c, d, e). Vibračné mlyny na veľmi jemné mletie majú variabilné využitie. Môžu pracovať v sériovom zapojení, pričom sa dosahuje najjemnejšie mletie pri mlecej dráhe, ktorá sa rovná súčtu dĺžok obidvoch bubnov.

Mlyn môže pracovať aj vo variante s paralelným zapojením so samostatným prívodom i odvádzaním meliva pri každom bubne. Pri druhom variante je vyšší výkon, ale menej jemný je konečný produkt.



Obr.3.24 Schéma dvojbubnového vibračného guľového mlyna

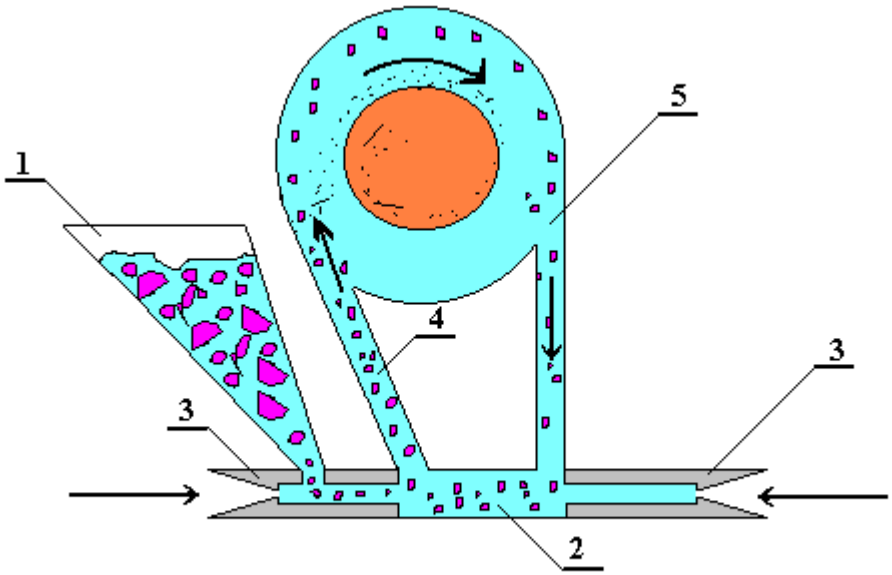
Špeciálne dýzové mlyny

Na mletie na ultrajemnú zrnitosť v rozsahu 0,5 až 20 μm sa používajú špeciálne dýzové mlyny. Princíp mletia v dýzovom mlyne znázorňuje Obr.3.25.

Drobnozrnný materiál na mletie sa privádza zo zásobníka **1** do mlecej trubice **2,** do ktorej sa z dvoch strán cez dýzy **3** privádza prúd stlačeného vzduchu. Zrniečka unášané protismernými prúdmi sa zrážajúpri pri veľkých rýchlostiach a v dôsledku prudkých úderov sa rozbíjajú na ultrajemné čiastočky.

Melivo je rúrou **4** unášané do triediacej cyklónovej komory. Nedosatočne rozomleté zrná sú odstredivou silou unášané po obvode a vracajú sa spojovacou rúrou **5** späť do mlecieho priestoru, kým jemne rozomletý podiel je vynášaný zo stredu triediacej komory (na spôsob cyklónu).

Nosným médiom v protiprúdových dýzových mlynoch môže byť aj para, dusík, alebo iný plyn. Opísaný mlyn sa používa na mimoriadne jemné mletie.



Obr.3.25 Schéma dýzového mlyna