Všeobecne o úprave rúd

- **Účel:**
  - odstránenie nežiadúcich prímesí
  - zvýšenie koncentrácie úžitkovej zložky
  - zmena fyzikálnych / chemických vlastností

- **Prírodný výskyt:**
  - nemožnosť priameho spracovania

Všeobecne o úprave rúd

- **Podľa typu upravovaného materiálu**
  - úprava rúd
  - úprava uhlia
  - úprava nekovov
  - úprava odpadov

Všeobecne o úprave rúd

- **Úprava rúd**
  - úprava rúd čiernych kovov (Fe, Mn)
  - úprava rúd ťažkých neželezných kovov (Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, W, Mo,....)
  - úprava rúd ušľachtilých kovov (Au, Ag, Pt)
  - úprava rúd vzácnych kovov (W, Mo, Ti,...)
  - úprava polymetalických rúd so ziskom viac produktov
  - odstraňovanie škodlivých prímesí z úžitkových nerastov

Rozdelenie úpravníckych procesov

- **Prípravné úpravnícke práce:**
  - drvenie
  - mletie
  - triedenie
- **Základné úpravnícke práce**
  - rozdružovanie minerálov
    - koncentrát
    - jalový produkt – odpad
- **Pomocné úpravnícke práce**
  - znižovanie vlhkosti

Rozdelenie úpravníckych procesov

- Ak je po prvej operácii koncentrát málo obohatený – medziprodukt
- Odpady ešte nie sú úplne ochudobnené o úžitkovú zložku - operácia obohacovania sa opakuje
- z hľadiska koncentrátov – očisťovacia operácia
- z hľadiska odpadov – kontrolná operácia

Rozdružovanie

- **Rozdružovanie** je oddeľovanie úžitkovej zložky od jaloviny na základe ich rozdielnych fyzikálnych a chemických vlastností

- Gravitačné rozdružovanie
- Flotačné rozdružovacie metódy
- Magnetické rozdružovacie metódy
- Elektrické rozdružovacie metódy

Rozdružovanie

Gravitačné rozdružovanie

- ***Princíp:*** využíva rozdiel v hustotách medzi úžitkovou a jalovou zložkou.
- **mokrá cesta** – vo vodnom prostredí
  - ***statické rozdružovanie*** (v ťažkých kvapalinách na základe Archimedovho záona)
  - ***dynamické rozdružovanie*** (v sadzačkách, na splavoch)
- **suchá cesta** – fluidná vrstva

Rozdružovanie

Flotačné rozdružovacie metódy

- využívajú rozdielne fyzikálno-chemické vlastnosti povrchu minerálnych zŕn, ktoré možno cieľavedome ovplyvňovať

- ***Princíp:*** rozdielne povrchové vlastnosti úžitkovej a jalovej zložky (hydrofóbnosť - hydrofilnosť)

- Prirodzene flotovateľné minerály: sulfidy, grafit

Rozdružovanie

Magnetické rozdružovacie metódy

- ***Princíp:*** rozdielna magnetická vodivosť medzi úžitkovou a jalovou zložkou

- Relatívne obmedzené možnosti

Rozdružovanie

Elektrické rozdružovacie metódy

Princíp: rozdielna elektrická vodivosť úžitkovej a jalovej zložky pri ich vzájomnom oddeľovaní

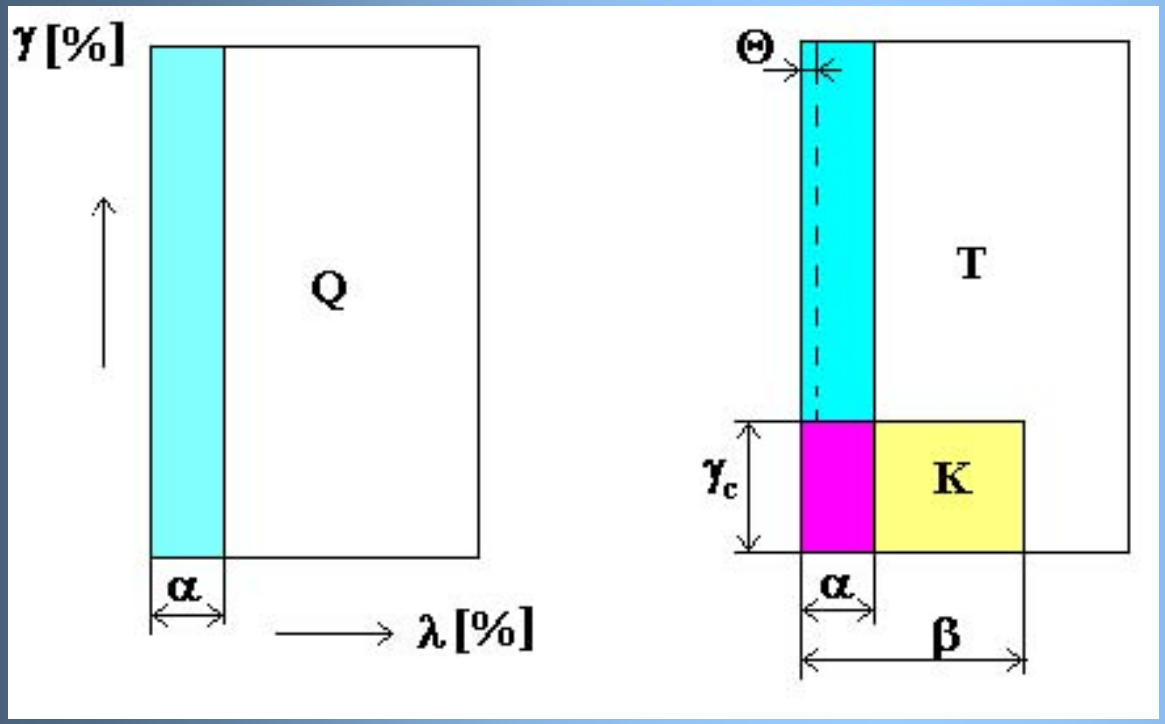
- Elektrostatické rozdružovanie
- Elektrodynamické rozdružovanie - odpady

Rozdružovanie

Podmienky pre voľbu metódy

- **Podstata materiálov:**
  - sulfidy – flotácia
  - magnetit, galenit – magnetické metódy
  - magnezit – ťažké kvapaliny
- **Jemnosť vtrúsenia:**
  - jemno vtrúsené rudy: flotácia
  - hrubo prerastené rudy: mechanické spôsoby
- **Ekonomické hľadisko:**
- **Environmentálne hľadisko:** zákony ukladajú normatívy
  - aké a koľko emisií sa môže dostať do ovzdušia
  - stupeň znečistenia vratných vôd
  - hluk spôsobený prevádzkou

Technologické ukazovatele



Množstvo rudniny a jej kovnatosti

Výťažnosť kovu do koncentrátu

Plocha obdĺžnika vľavo - množstvo rudniny.
Os **x** - kovnatosť **(λ)**
Os **y** - hmotnostné výnosy **(γ)** produktov
Množstvo kovu rozptýleného v celom objeme horniny – **(α)**
Celá plocha (Q) - množstvo rudniny
Modrá plocha - množstvo kovu rozptýlené v objeme rudniny

Po úprave - dva diely:
koncentrát úžitkovej zložky
jalová hornina
Obdĺžnik (K) - množstvo koncentrátu
Časť (T) - množstvo odpadu.

Technologické ukazovatele

- Úpravou sa zvýšil obsah kovu z (α) vo východzej rude na (β) v koncentráte a určité množstvo kovu (θ) odchádza do odpadu.
- Pomer kovnatosti koncentrátu a kovnatosti rudy = **obohatenie** (O)

$$O = \frac{\beta}{\alpha}$$

- Obohatenie (O) nie je postačujúcim ukazovateľom: môže byť bohatý koncentrát, ale je ho málo a veľa kovu sa stráca v odpade.
- Preto sa berie do aj hmotnostný výnos koncentrátu označovaný (γ_c)

Technologické ukazovatele

- **Hmotnostný výnos koncentrátu:** podiel množstva koncentrátu ku množstvu východzej rudy

$$\gamma_c = \frac{K}{Q} 100\%$$

- Vynásobenie hmotnostného výnosu obohatením:

výťažnosť kovu do koncentrátu ε (%)

$$\varepsilon = \gamma_c Q = \frac{K\beta}{Q\alpha} 100\%$$

Technologické ukazovatele

- ***Prax:*** výťažnosti sa počítajú nepriamo z bilančných rovníc: $$\gamma_c + \gamma_t = 100\%$$

  kde $\gamma_t = \gamma_c - 100$

- Súčet množstva kovu v koncentráte a v odpade sa rovná kovu vo východzej rude

$$\gamma_c \beta + \gamma_t \theta = 100.\alpha$$

- Riešením vyššie uvedených rovníc pre hmotnostný výnos: $$\gamma_c = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} 100\%$$

Technologické ukazovatele

- Pre určenie hmotnostného výnosu nie je nutné východziu rudu a produkty vážiť - treba poznať ich **kovnatosť**

$$\varepsilon = \frac{\beta}{\alpha} . \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} 100\%$$

- **Porovnanie prác dvoch úpravní** - výťažnosť kovu do koncentrátu (ε) nie je jednoznačným ukazovateľom - nevyjadruje čistotu koncentrátu. Zavádza sa nový ukazovateľ- **technická účinnosť rozdružovania**

Technologické ukazovatele

- Pri ideálnom 100% -nom rozdružení sa získa koncentrát o kovnatosti čistého úžitkového minerálu β_{max}

- Hodnota β_{max} je pre každý minerál stála veličina a dá sa vypočítať z atómových hmotnostných čísiel

Galenit PbS	86.6 % Pb
Sfalerit ZnS	67.0 % Zn
Pyrit FeS_2	46.6 % Fe
Chalkopyrit $CuFeS_2$	34.5 % Cu
Chalkozín Cu_2S	79.8 % Cu
Antimonit Sb_2S_3	41.4 % Sb

Technologické ukazovatele

- Nech v skúmanej rudnine **Q** je N(kg) čistého úžitkového minerálu kovnatosti β_{max}. Potom platí:

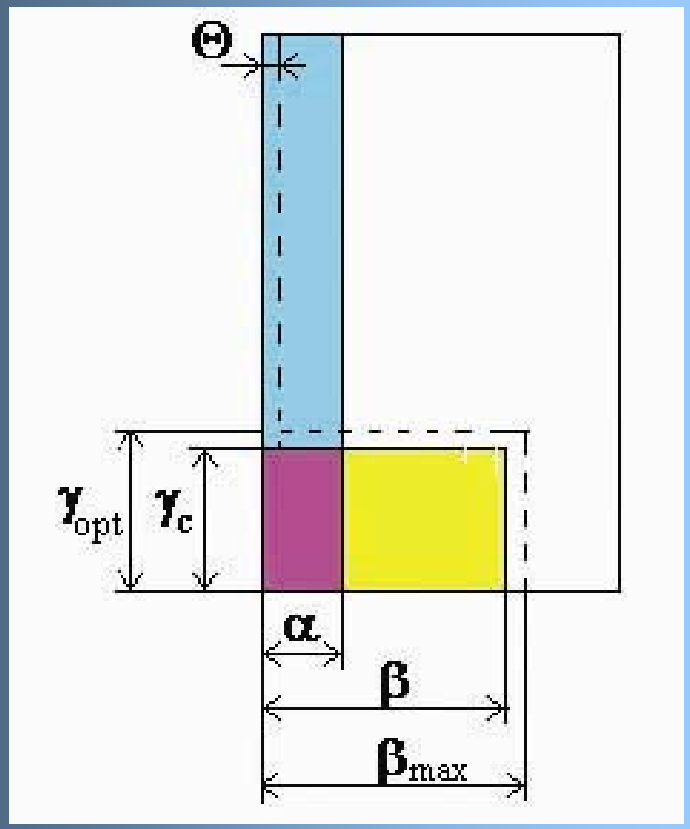
$$Q.\alpha = N.\beta_{\max} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{Q.\alpha}{\beta \max}$$

- Optimálny hmotnostný výnos bude:

$$\gamma_{opt} = \frac{N}{Q}100 = \frac{Q.\alpha}{\beta_{\max} Q}100 = \frac{\alpha}{\beta_{\max}}100\%$$

Technologické ukazovatele

- Optimálny výnos závisí od kovnatosti úžitkového minerálu β_{max}



Technická účinnosť rozdružovania

Technická účinnosť rozdružovania je pomer skutočne dosiahnutého úspechu k optimálne dosiahnuteľnému. Za úspech možno považovať len vyťaženie množstva kovu ktoré znázorňuje plocha za čiarou označujúcou kovnatosť (α), lebo táto kovnatosť bola už pred úpravou.

Technologické ukazovatele

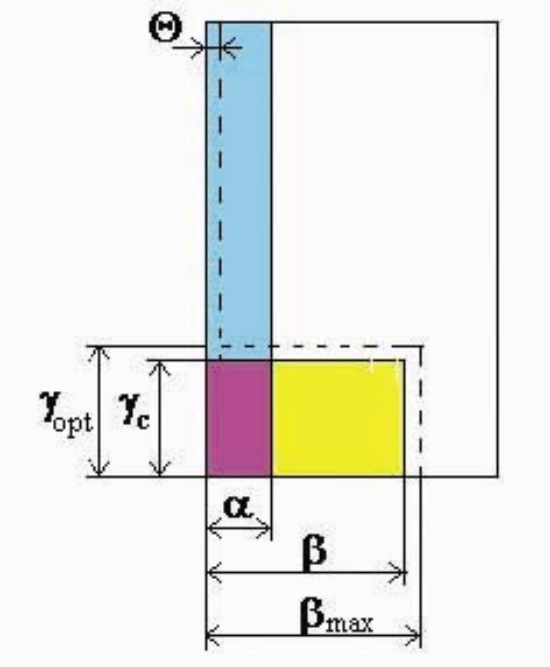
- Prakticky sa úpravou vyťaži kov, ktorého množstvo je znázornené obdĺžnikom o ploche $(\beta-\alpha) * \gamma c$
- Množstvo celého kovu v rude, ktoré by sa vyťažilo za ideálnych podmienok znázorňuje obdĺžnik o ploche $(\beta_{max}-\alpha) * \gamma_{opt}$
- Technická účinnosť rozdružovania η_r bude:

$$\eta_r = \frac{(\beta - \alpha)\gamma_c}{(\beta_{\max} - \alpha)\gamma_{opt}}$$

Technologické ukazovatele

- Vydelením čitateľa aj menovateľa hodnotou α:

$$\eta_r = \frac{(\alpha - \theta)(\beta - \alpha)}{(\beta_{\max} - \alpha)(\beta - \theta)} \cdot \frac{\beta_{\max}}{\alpha} 100\%$$



Zdrobňovanie

- **Vyťažná ruda** - zmes rôzne veľkých kusov
- Ruda sa drví a melie na požadovanú zrnitosť
- Jemnosť drvenia a mletia závisí od charakteru vtrúsenia.
- Melie sa na optimálnu jemnosť
  - uvoľnenie úžitkovej zložky rudy
  - nikdy sa však nevolí jemnejšia zrnitosť
    - nehospodárne
    - znižuje sa tak účinnosť rozdružovania

Drvenie

Drvenie:

- zdrobňovanie tuhého telesa na časti, pričom sa mechanicky premáhajú sily súdržnosti častíc telesa a vytvárajú sa nové povrchové plochy

- **Vyťažená ruda:** veľkosť častíc 0.1 – 1m
- **Veľkosť častíc minerálov:** < 0.1mm
- **Drvenie a mletie:** rad operácií s postupným znižovaním veľkosti častíc rudy.

Drvenie

Stupeň drvenia:

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

i – stupeň drvenia

D - priemer najväčších kusov rudy pred drvením

d – priemer najväčších kusov po drvení

Každé drviace zariadenie má určitý rozsah stupňa drvenia.

Súčin stupňov drvenia jednotlivých zariadení = celkovým stupeň drvenia i_c

$$i_c = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + ... + i_n$$

Napr.: treba rozdrviť kusy rudy o priemere 600mm na konečnú veľkosť 5mm. Ruda sa musí zmenšiť 600:5=120 –krát. Stupeň drvenia i=120

Drvenie

Podľa veľkosti drvených kusov sa drvenie delí:

	D(mm)	d(mm)	cesta
hrubé	1000 – 500	200 – 100	suchá
stredné	200 – 100	100 – 20	suchá
jemné	100 – 20	20 – 3	suchá
mletie	15 – 0.5	do 0.007	mokrá
	0.5	do 0.1μm	mokrá

Drvenie

Investičné a prevádzkové náklady:

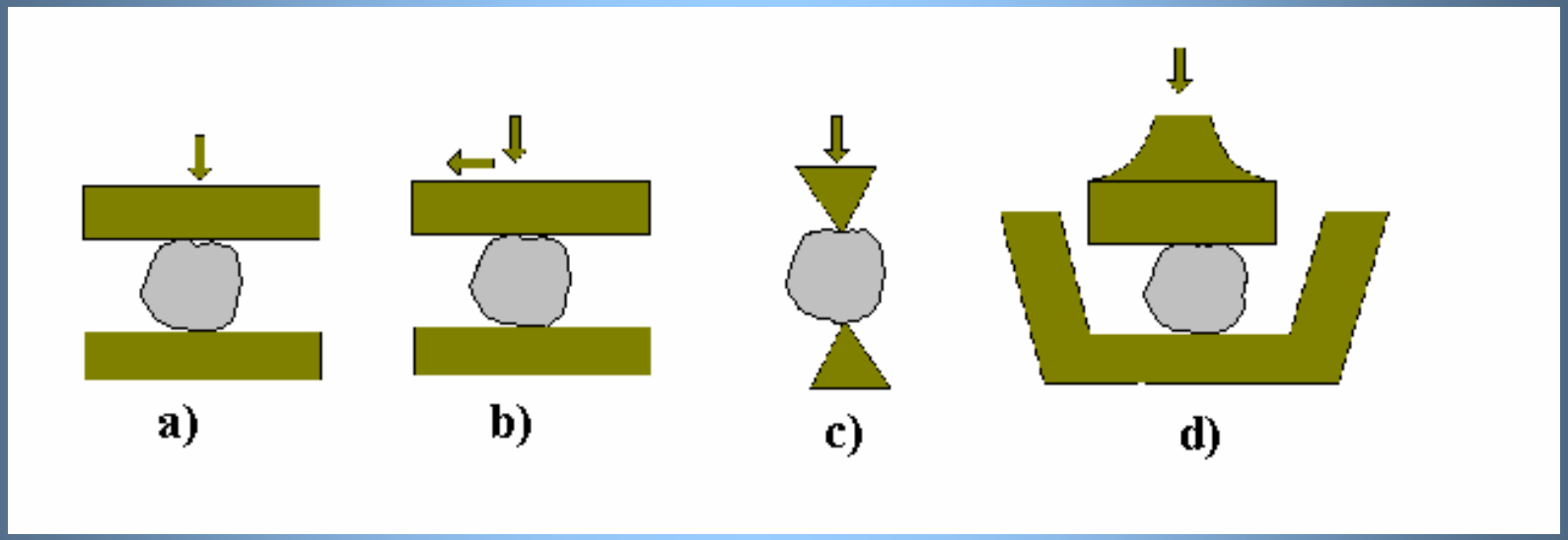
- 45 % celkových nákladov – drvenie a mletie
- 60 – 70 % celkových nákladov – investičné náklady
- 50% celkových nákladov - náklady na elektrickú energiu

Energetické požiadavky:

	kWh/t rudy
hrubé drvenie	0.2 – 0.5
stredné drvenie	0.5 – 2
jemné drvenie	1.0 –10
mletie	100

Princípy drvenia

Podľa spôsobu mechanického pôsobenia síl:



a) rozmliažďovanie b) rozotieranie c) štiepanie d) roztĺkanie

Princípy drvenia

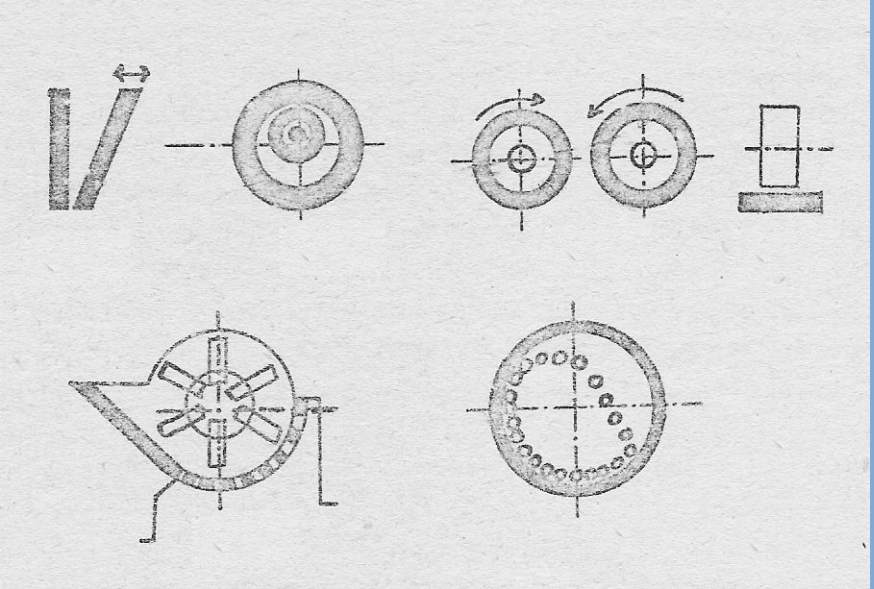
Prax:

- kombinovanie jednotlivých princípov
- veľký počet rôznych typov drvičov
  - **Čelusťové drviče:** - materiál je mliaždený pohybom čeľustí. (hrubé a stredné drvenie)
  - **Kužeľové drviče:** - kusy rudy s excentricky sa pohybujúcim drviacim kužeľom
  - **Valcové drviče:** - proti sebe rotujúce valce drvia rudu mliaždením (stredné drvenie)
  - **Kladivové drviče** - nárazové drviče a dezintegrátory, ktoré pôsobia na kusy rudy údermi rotujúcich častí drvičov (stredné a jemné drvenie)

Princípy drvenia

Prax:

- veľký počet rôznych typov drvičov
  - **Guľové mlyny** - materiál je roztĺkaný pádom gulí a roztieraním
  - **Kolesové mlyny** - materiál je mliaždený a roztieraný behúňmi valiacimi sa po ploche



Čeľusťové drviče

Čelusťové drviče

- hrubé drvenie
- tvoria zvyčajne prvé štádium drvenia
- pomerne jednoduchá konštrukcia
- schopnosť pojať veľké kusy drvenej rudy
- značný výkon
- ľahká vymeniteľnosť náhradných dielov
- jednoduchá obsluha a údržba

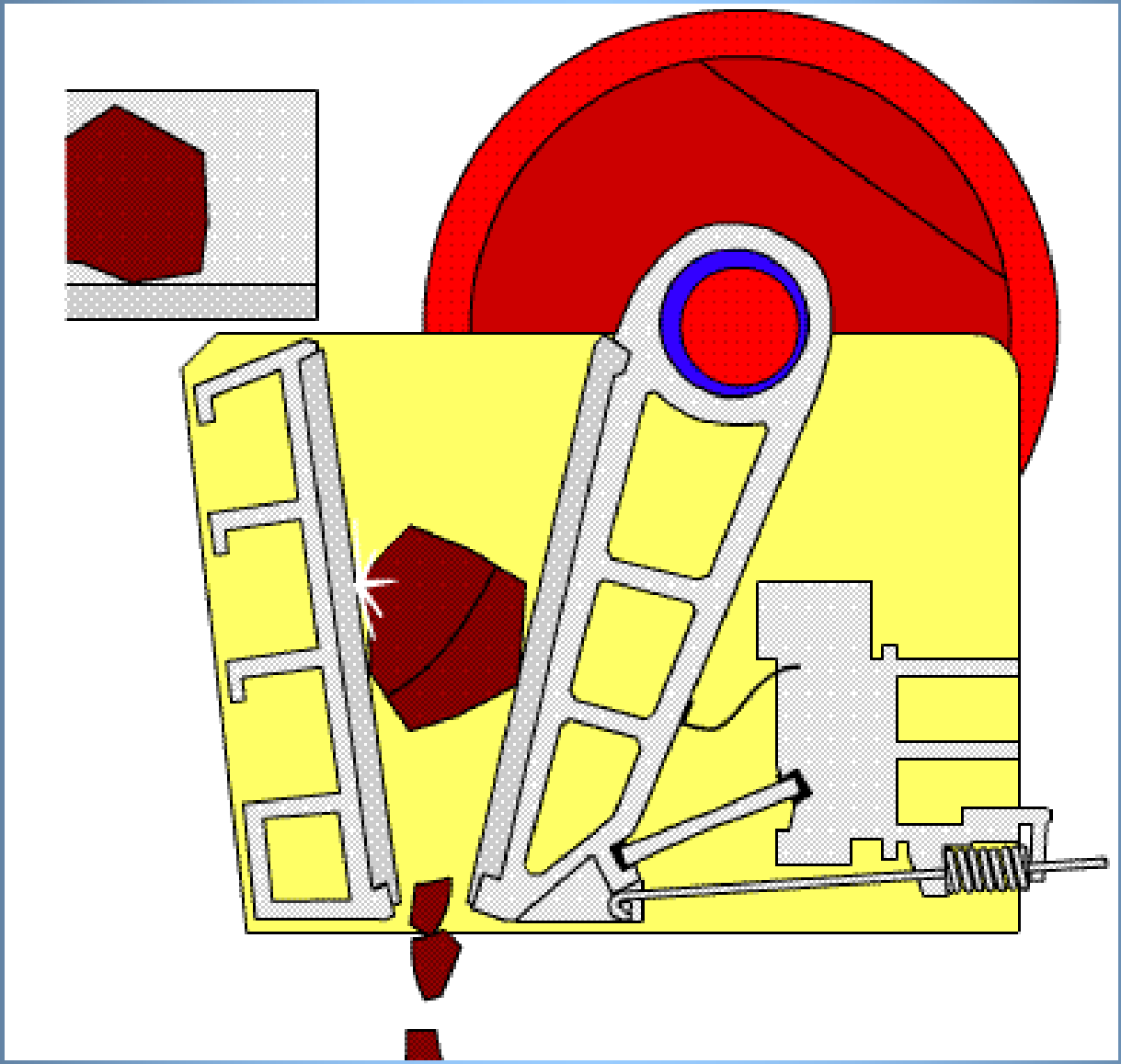
- surovina sa mliaždi v priestore medzi pevnou a pohyblivou čelusťou
- rozovieraním čelustí sa materiál vlastnou hmotnosťou posúva do tlamy drviča a pri zvieraní sa materiál drví

Čeľusťové drviče

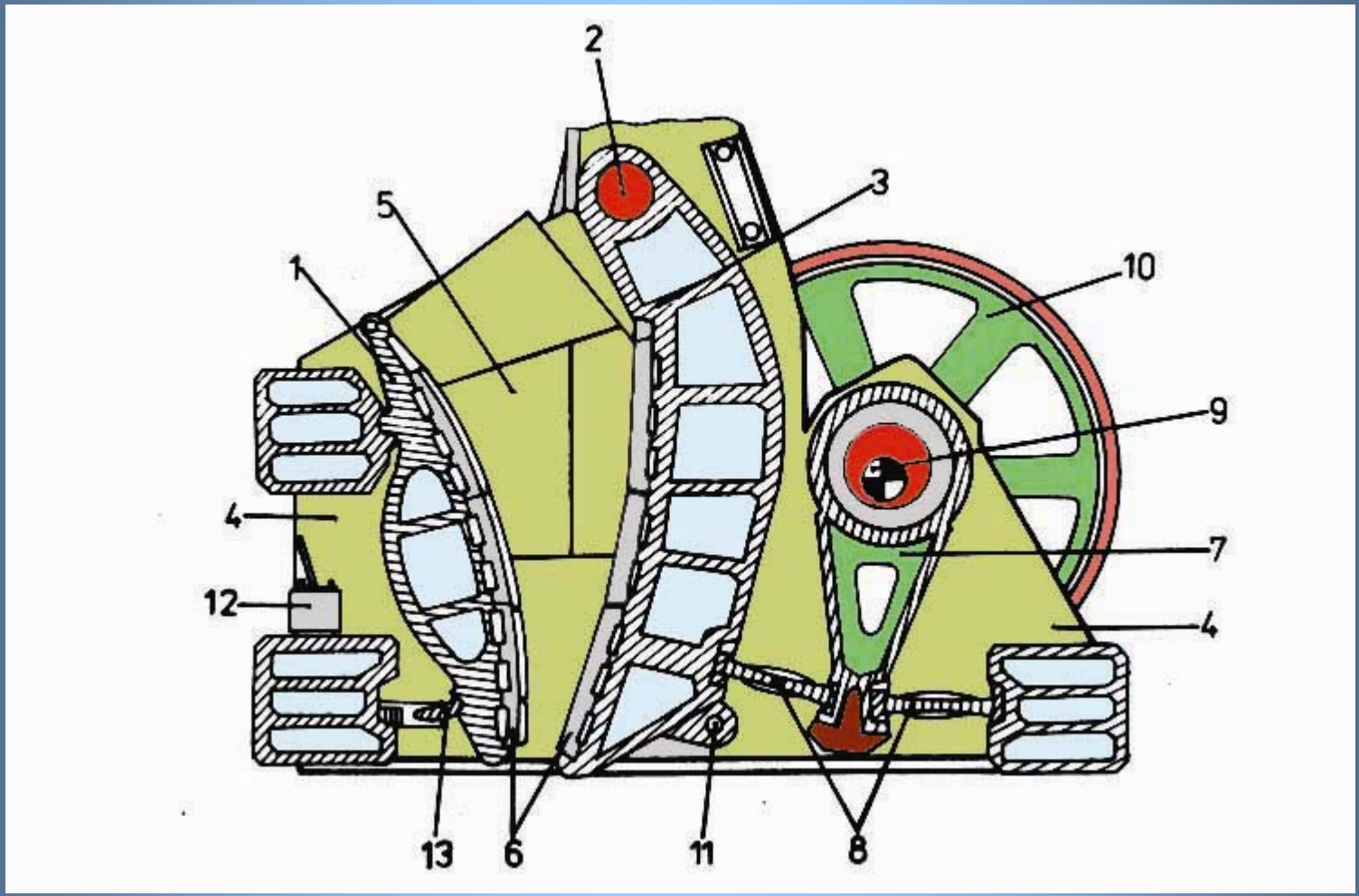
Čelusťové drviče

- **podľa konštrukcie:**
  - dvojvzperné
  - jednovzperné
- **výkonnosť závisí od:**
  - charakteru rudy
  - stupňa drvenia
  - veľkosti tlamy
  - uhlu záchytu
  - a iných faktorov
- **Uhol záchytu** α - uhol medzi čelusťami (15-35°)
  - závisí od koeficientu trenia medzi drveným materiálom a čelusťami.

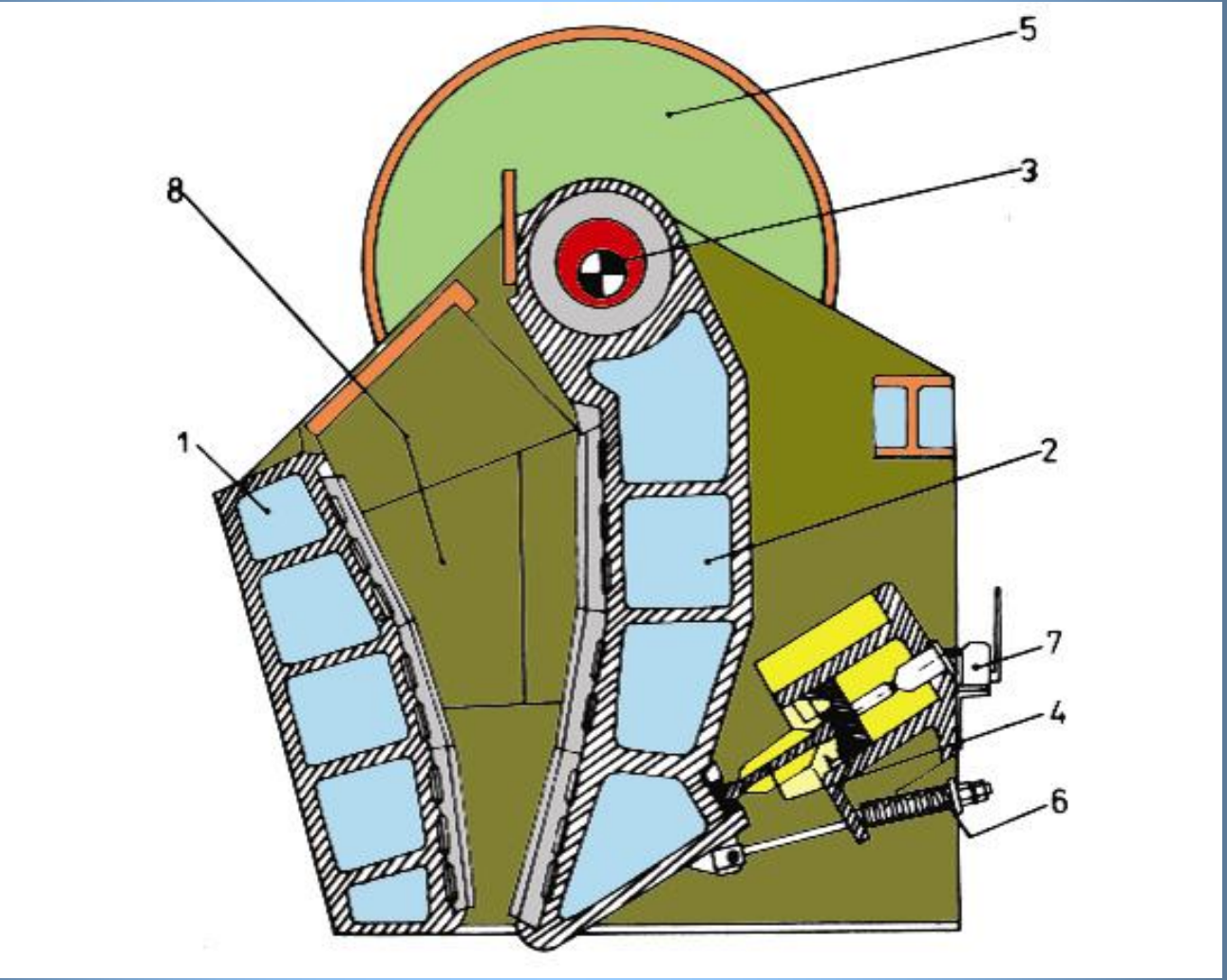
Čeľusťový drvič



Dvojzperný čeľusťový drvič

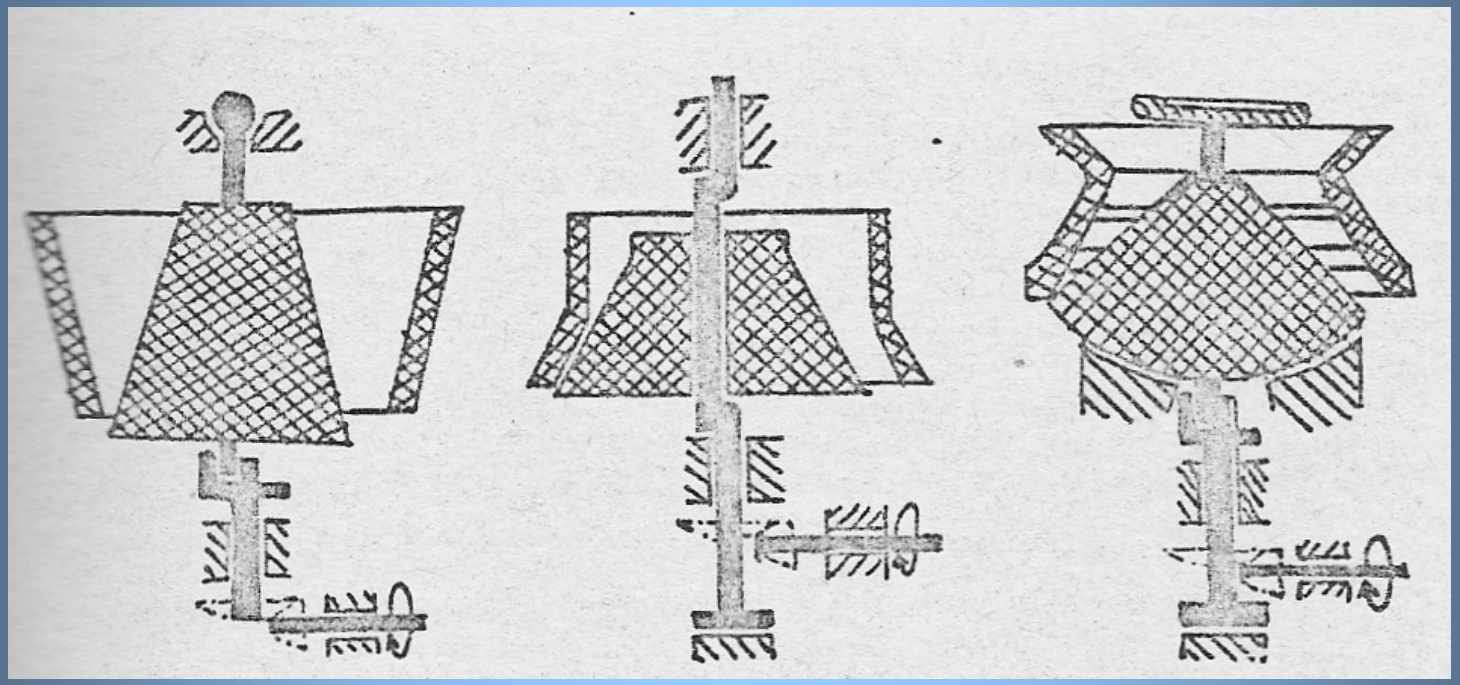


Jednovzperný čeľusťový drvič

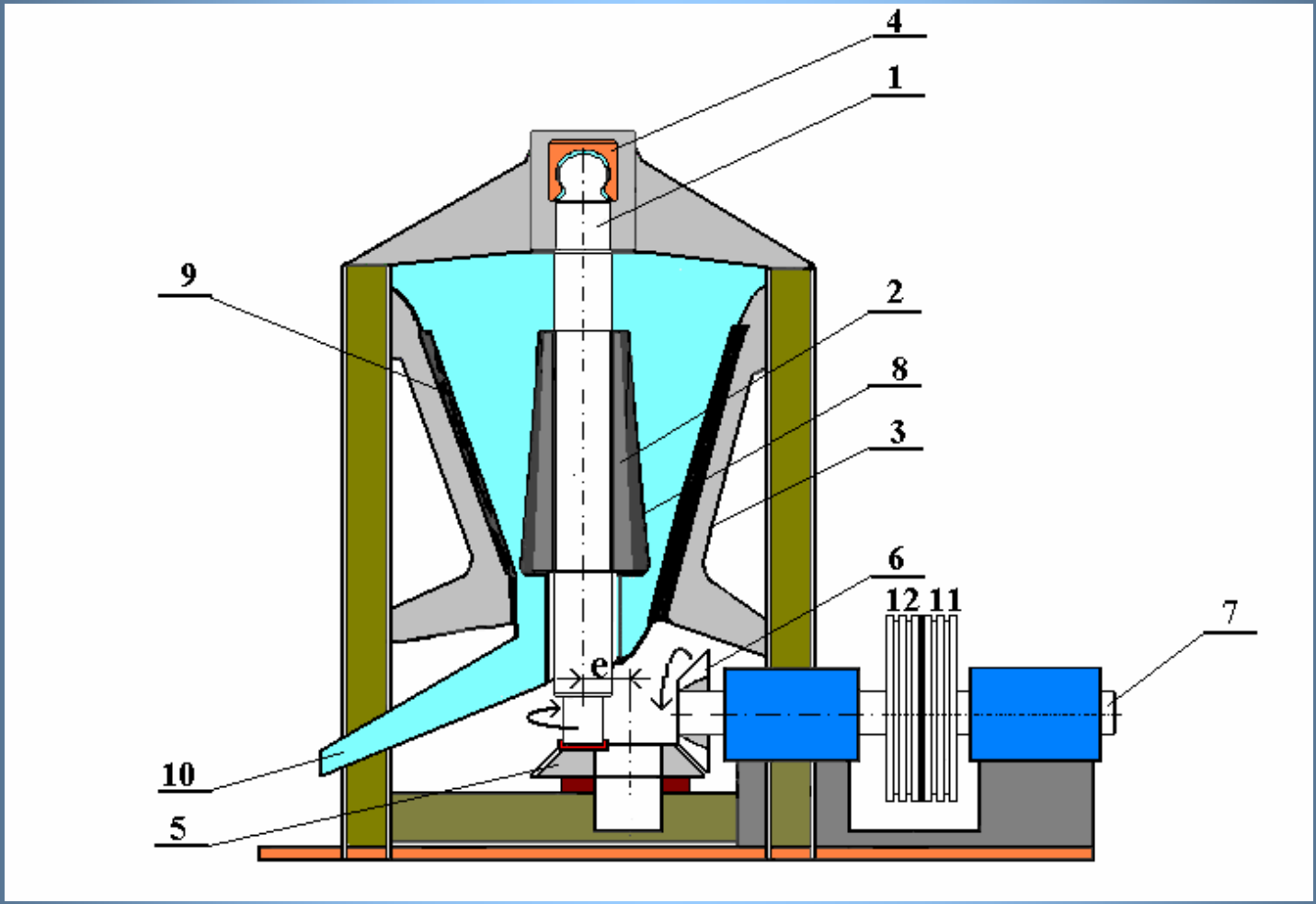


Kužeľové drviče

- Podľa konštrukcie
  - Kužeľový drvič na hrubé drvenie
  - Kužeľový drvič s pevným hriadeľom
  - Kužeľový drvič na stredné a jemné - Symonsov

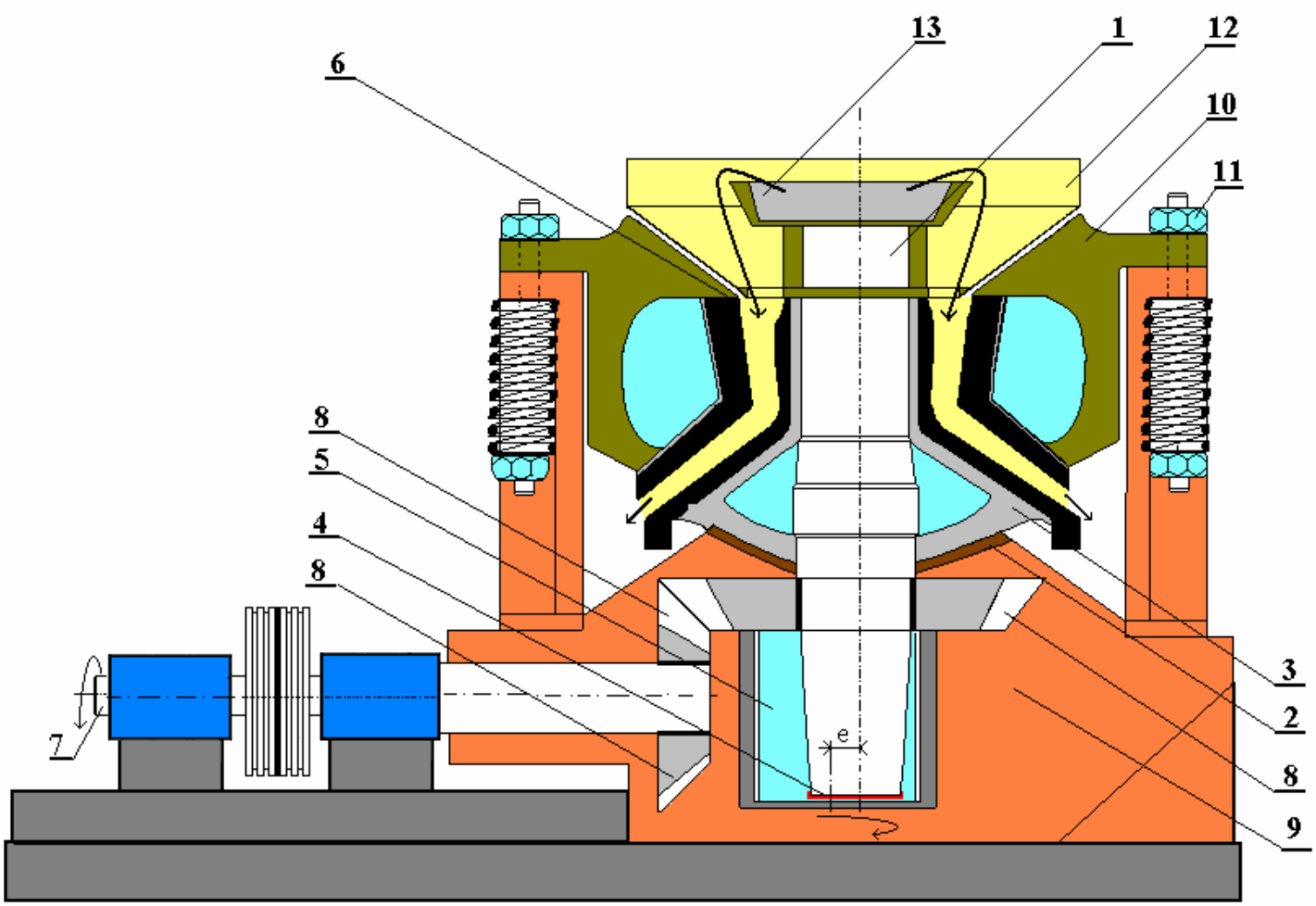


Kuželové drviče



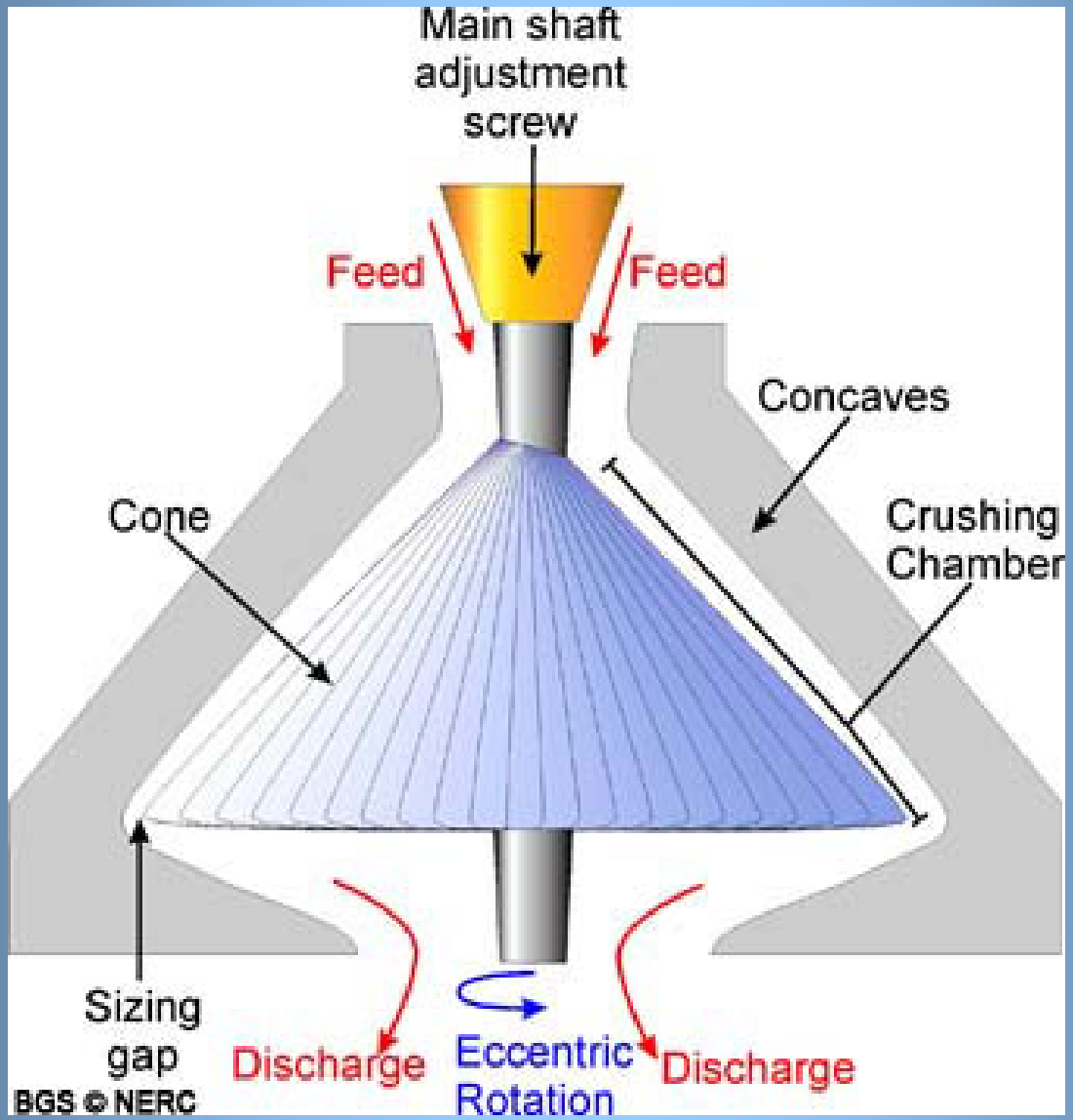
ostrouhlý kuželový drvič

Kužeľové drviče

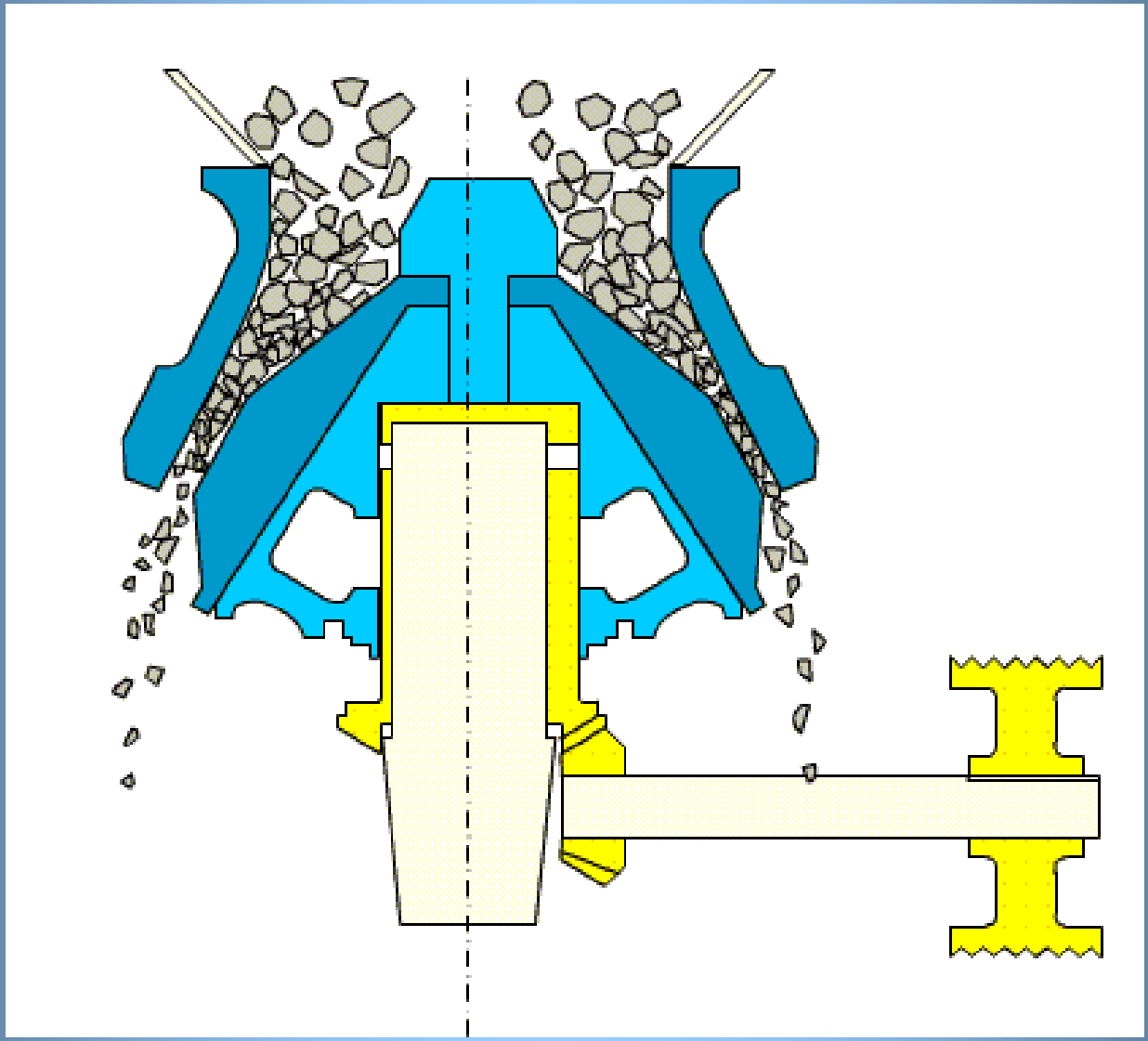


tupouhlý kužeľový drvič

Kužeľové drviče



Kuželové drviče

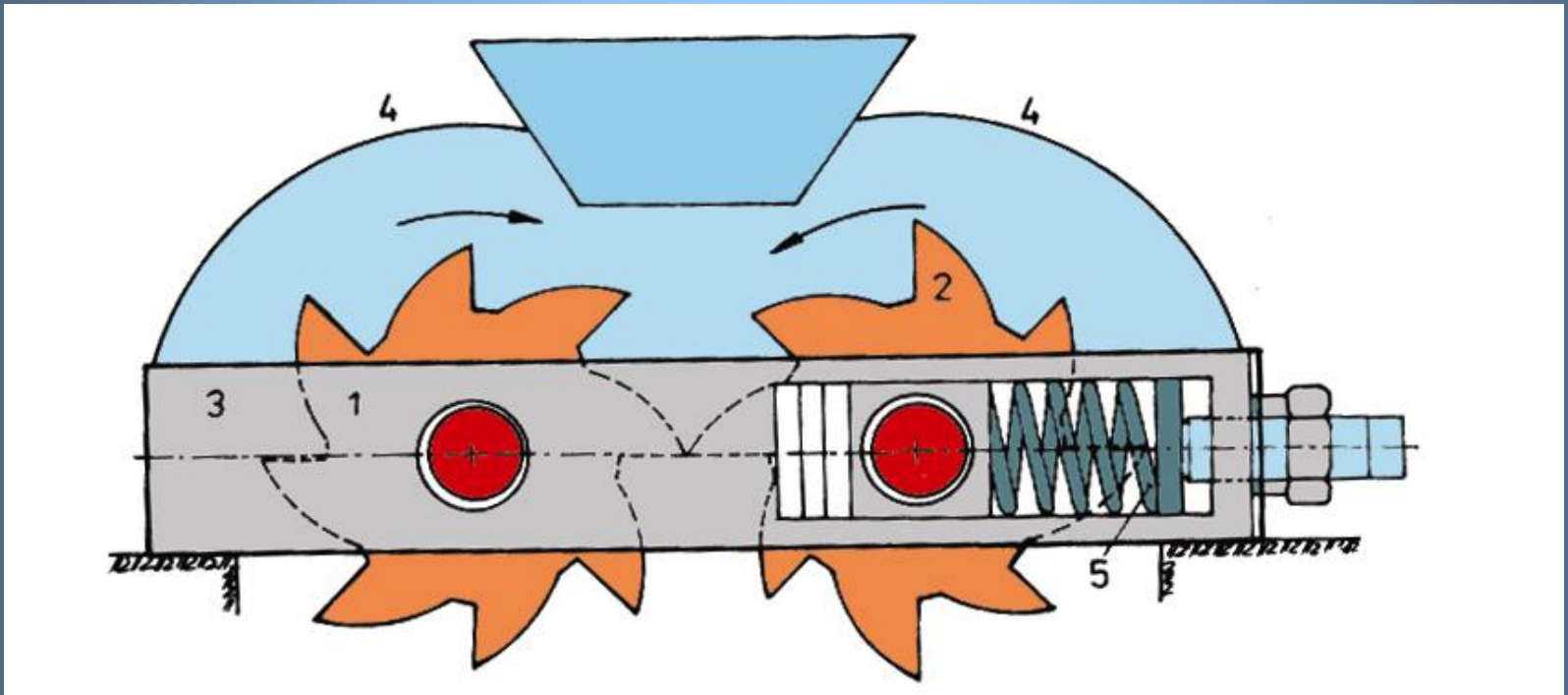


LOKOMO

Valcové drviče

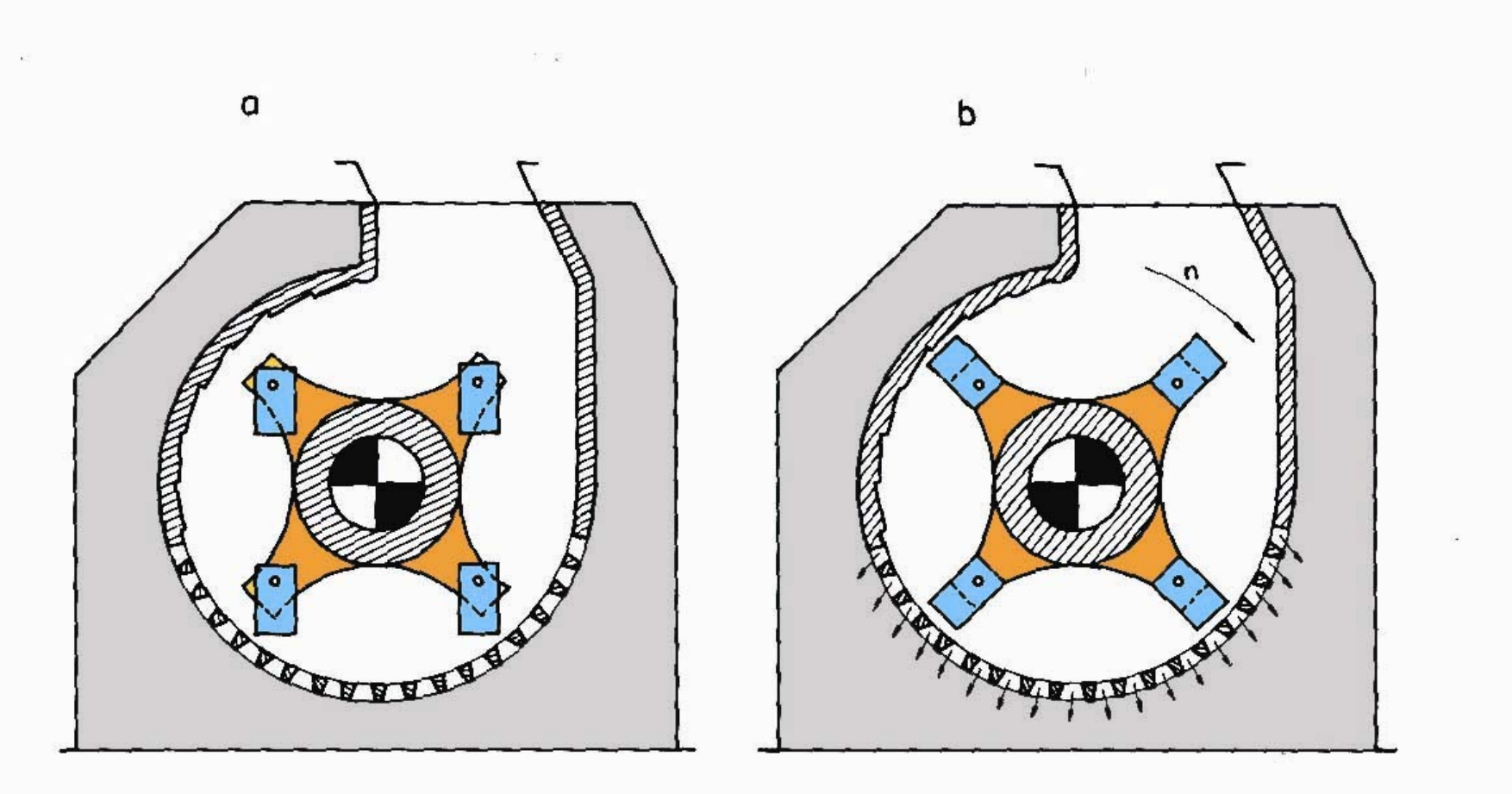
Valcové drviče: stredné a jemné drvenie
Drviace časti: dva hladké, ryhované, alebo ozubené valce, ktoré sa otáčajú proti sebe
Zaraďujú sa do linky **medzi** čelusťové a kužeľové drviče
Pre proces drvenia je **dôležitý pomer priemeru valcov a najväčších drvených kusov**
Priemer valcov má byť 20-násobok najväčších kusov pred drvením. Veľké kusy sa pred valcami preklzujú a valce ich nemôžu zachytiť.
Uhol záchytu nemá byť väčší ako 25°, v priemere býva $16\text{-}18^{o}$

Valcové drviče



Valcové drviče

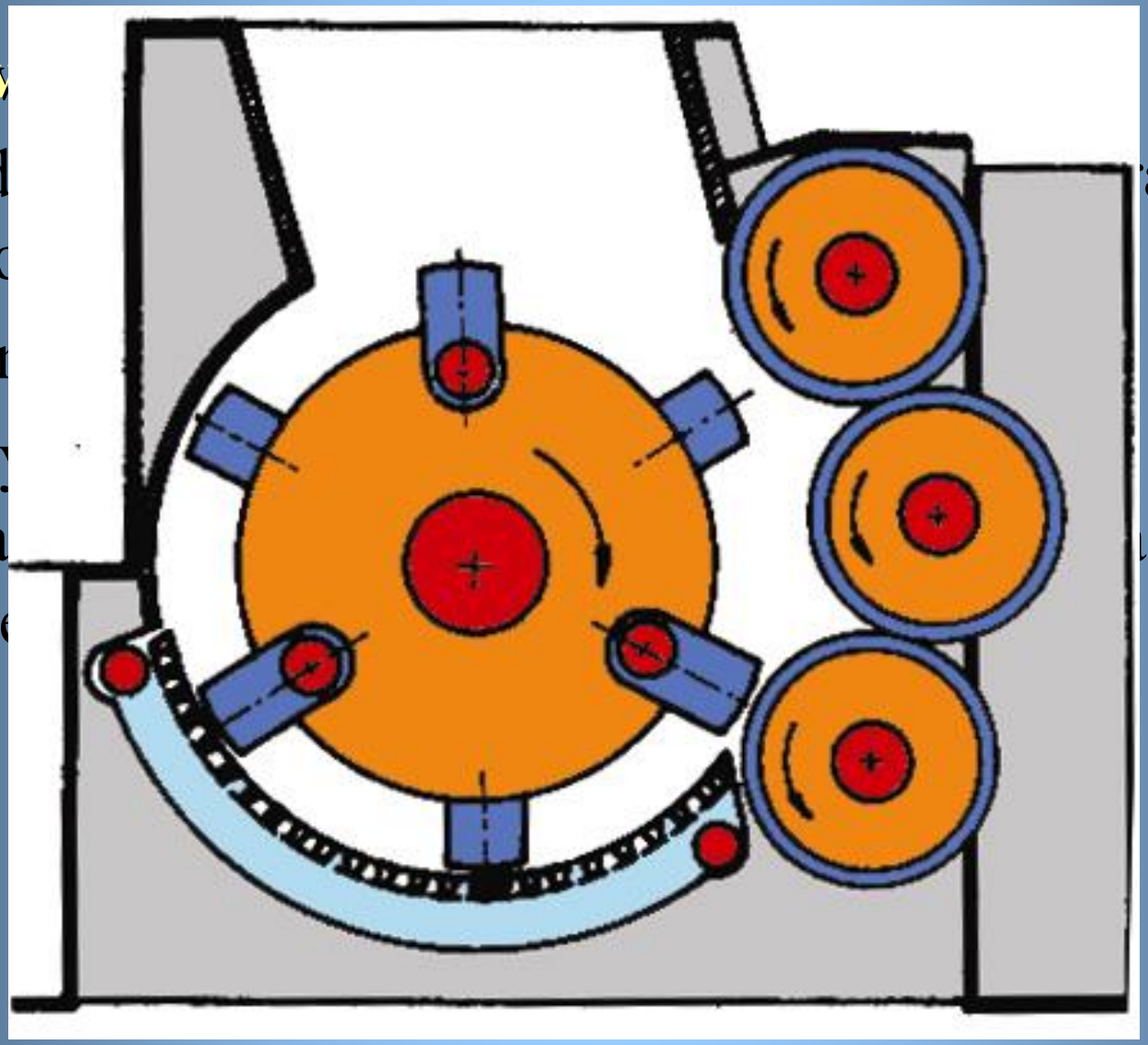
Kladivové drviče



Kladivové drviče

Kladiv

- na d ály a vysc
- pevn
- pohy spra postupu mate



Kladivové drviče

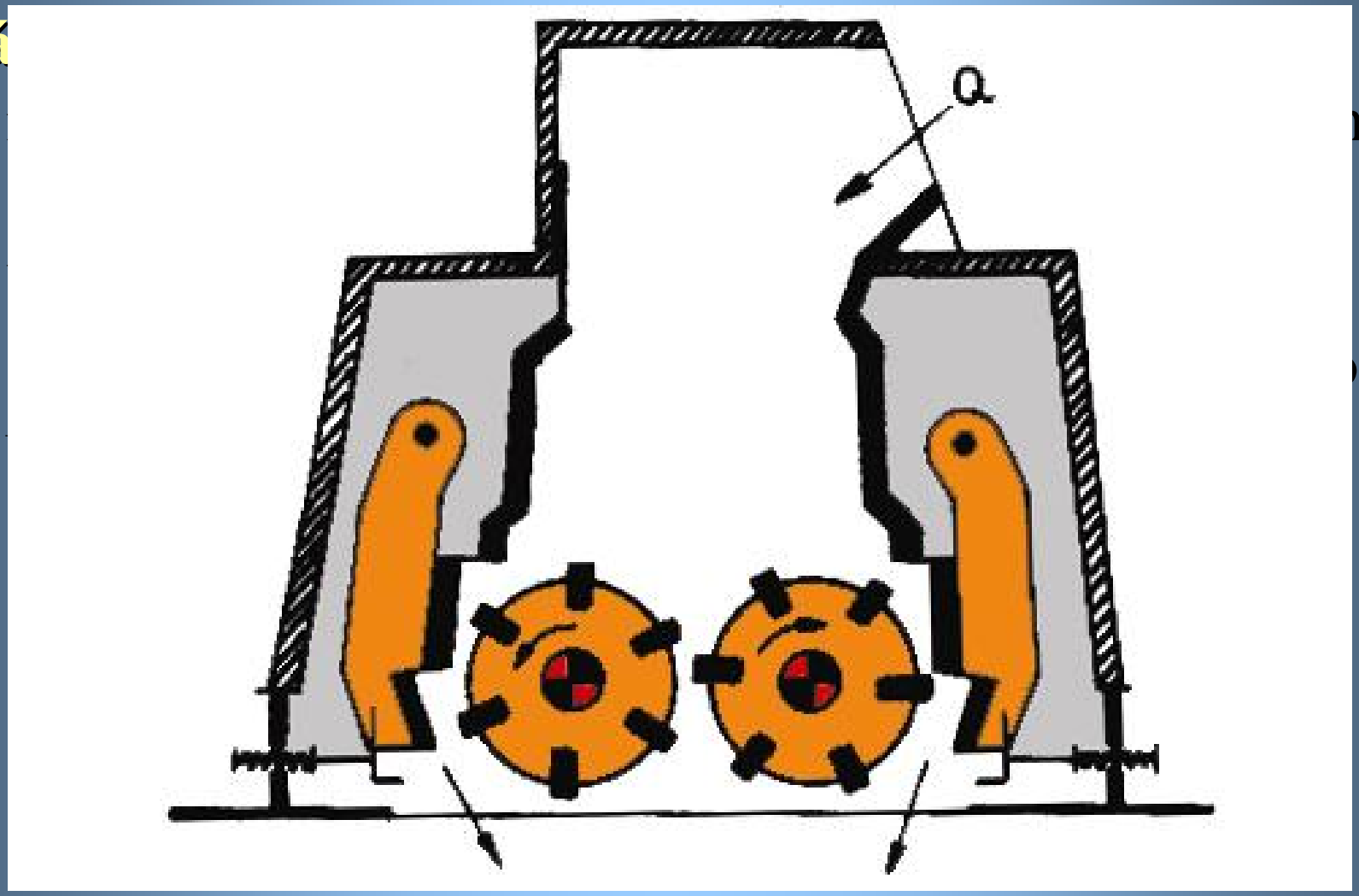
Kladivové drviče

Nárazové drviče

Ná

m

- ové
-



Mletie

Mletie - najjemnejšie rozpojovanie rúd pred ich rozdružovaním (najčastejšie flotáciou)

- Všeobecne sa melie pod 2 - 3mm (< 0.075 mm flotačná jemnosť)

Mlyny:

- guľový
- tyčový
- trecí
- vibračný

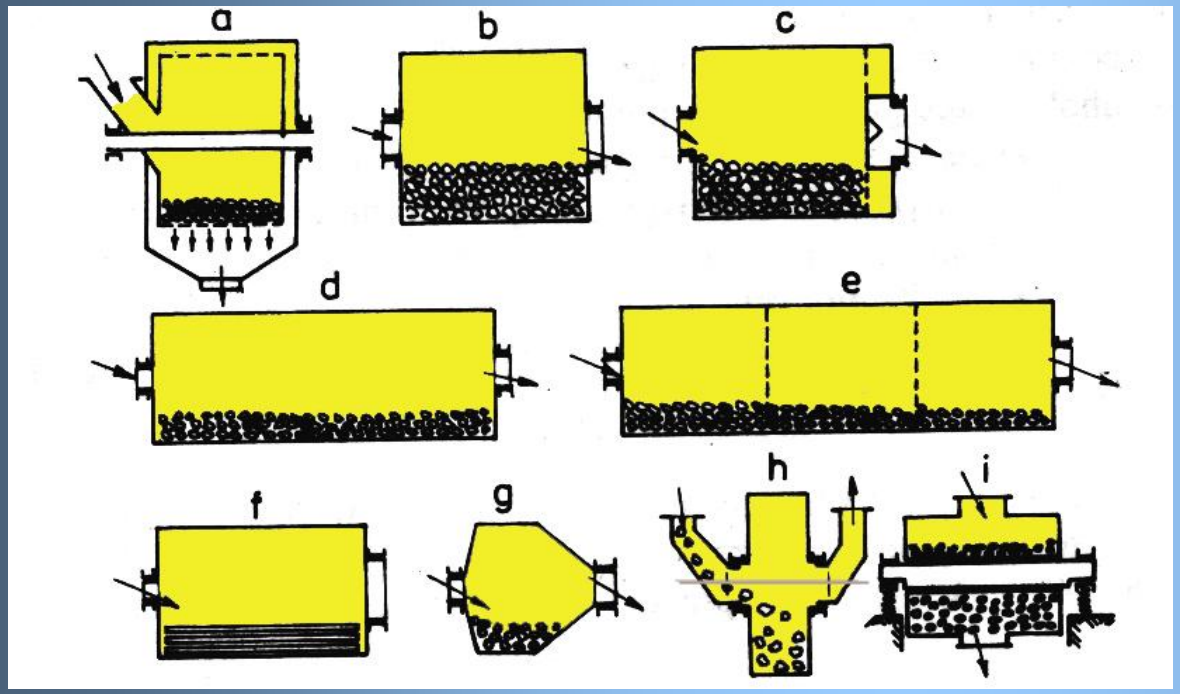
Základné typy mlynov

- ***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.
- ***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.
- ***Guľový mlyn s roštom -*** má na výstupnej strane bubna zabudovanú priehradku s otvormi a lopatkami na odvádzanie materiálu k vynášaciemu čapu
- ***Guľový rúrový mlyn*** – má dĺžku valcovej časti niekoľkokrát väčšiu ako priemer. Zabezpečuje sa tým dlhšie zotrvanie materiálu v mlyne, a tým aj jemnejšie rozomletie.

Základné typy mlynov

- ***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.
- ***Kónický Hardingov mlyn*** – má pomerne krátku valcovú časť a kužeľovité čelné steny
- ***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.
- ***Vibračný mlyn*** – je guľový mlyn, ktorého odpružené bubnové teleso vykonáva kmitavý pohyb. Mlecie telesá (gule alebo tyče) zapĺňajú do 90% objemu mlyna.

Základné typy 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

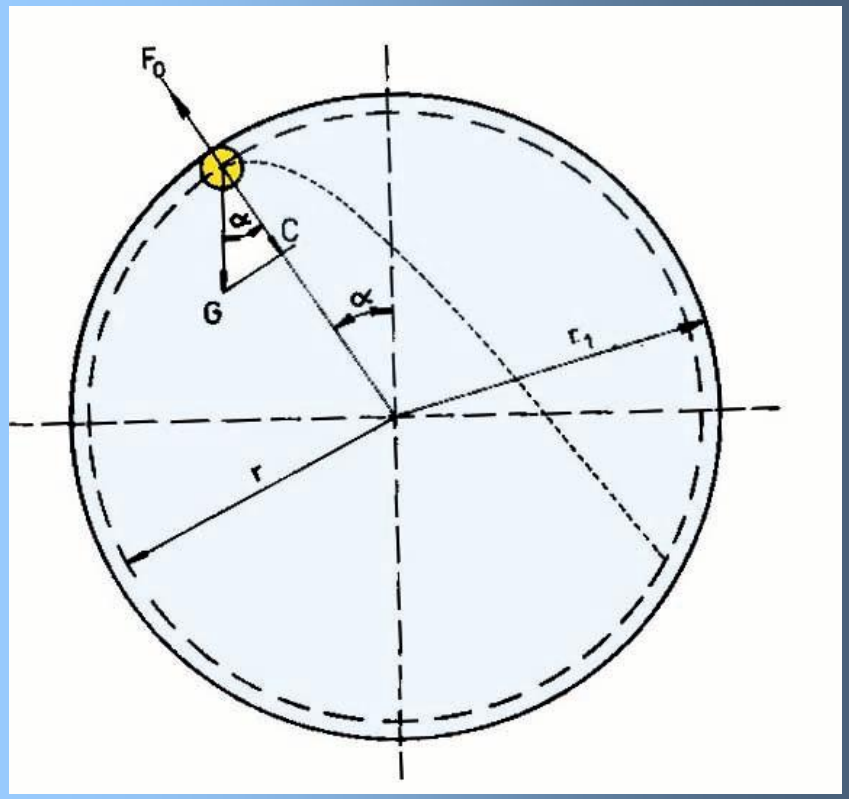
Princípy práce guľového mlyna

- 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 Fo je väčšia ako dostredivá zložka tiaže gule G.cos α
- Pre odstredivú silu Fo platí vzťah

$$F_o = m\frac{v^2}{r}$$

- Dostredivú silu, ktorá je rovnako veľká, ale opačného smeru možno vyjadriť pomocou tiažovej sily

$$G = m.g$$



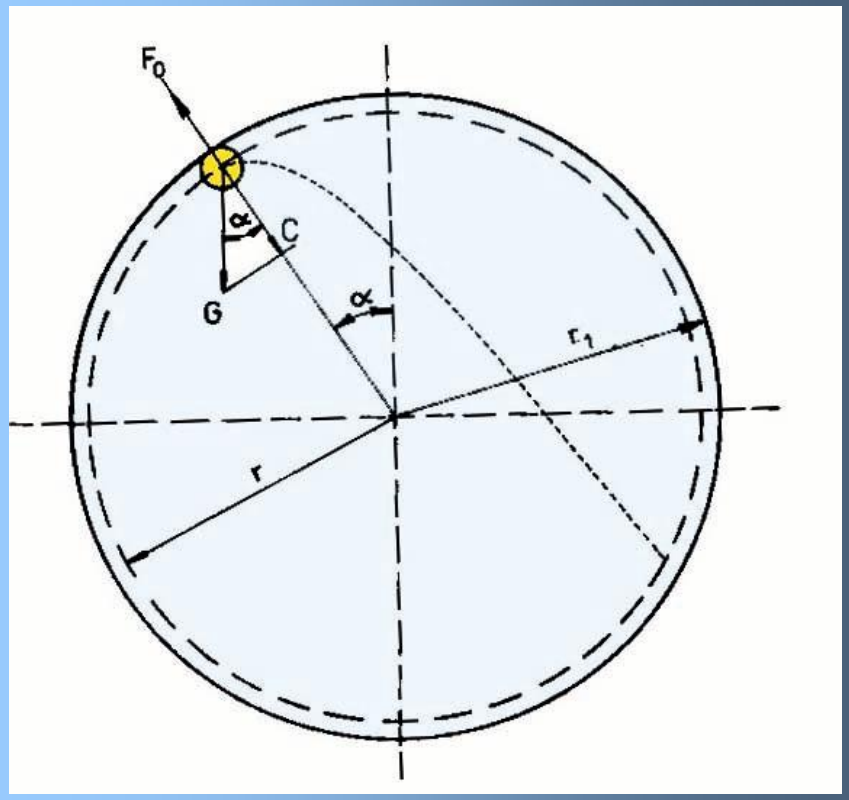
Princípy práce guľového mlyna

a uhlu α podľa vzťahu $G = mg.\cos\alpha$

Z rovnováhy síl vyplýva:

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

Táto rovnica dosiahne maximálnu hodnotu pre α=0° v tvare $v^2 = g.r$



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

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

Dosadením a úpravou: $$n = \frac{42{,}3}{\sqrt{D}}$$

kde *D* je vnútorný priemer bubna mlyna

Princípy práce guľového mlyna

- V rovnici $n = \frac{42,3}{\sqrt{D}}$ otáčky ***n*** vyjadrujú maximálne,

kritické otáčky, teda $\boldsymbol{n = n_{krit}}$.

- Prekročením kritických otáčok sú gule pritláčané k stene bubna takou odstredivou silou, že ten ich unáša – **neodpadávajú**.
- Aby mletie bolo účinné, otáčky mlyna musia byť menšie, t. j.

$$\mathbf{n = (0.75 - 0.80)n_{krit}}$$

Rýchlostné režimy mletia

Kaskádový režim – dochádza k nemu pri relatívne nízkych otáčkach mlyna. 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.

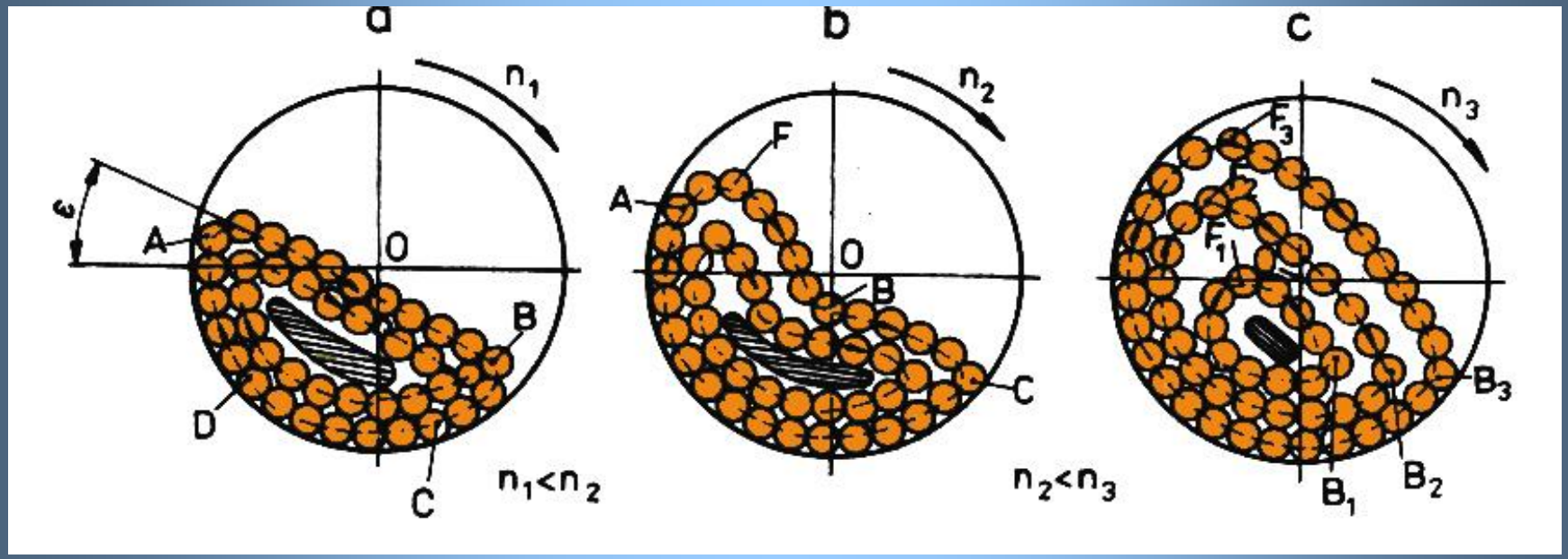
- Takým spôsobom nastáva pohyb mlecích telies na uzavretých trajektóriach, napr. **ABCDA.** V strednej časti guľovej náplne sa vytvára mŕtva zóna alebo „jadro“, v ktorom sa gule nepremiestňujú.
- Kaskádový režim je bežný v tyčových mlynoch, pretože pád tyčí z väčšej výšky môže vytvárať poruchy v dôsledku ich spriečenia. V guľových mlynoch sa tento režim uplatňuje pri suchom mletí v rúrových mlynoch.

Rýchlostné režimy mletia

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

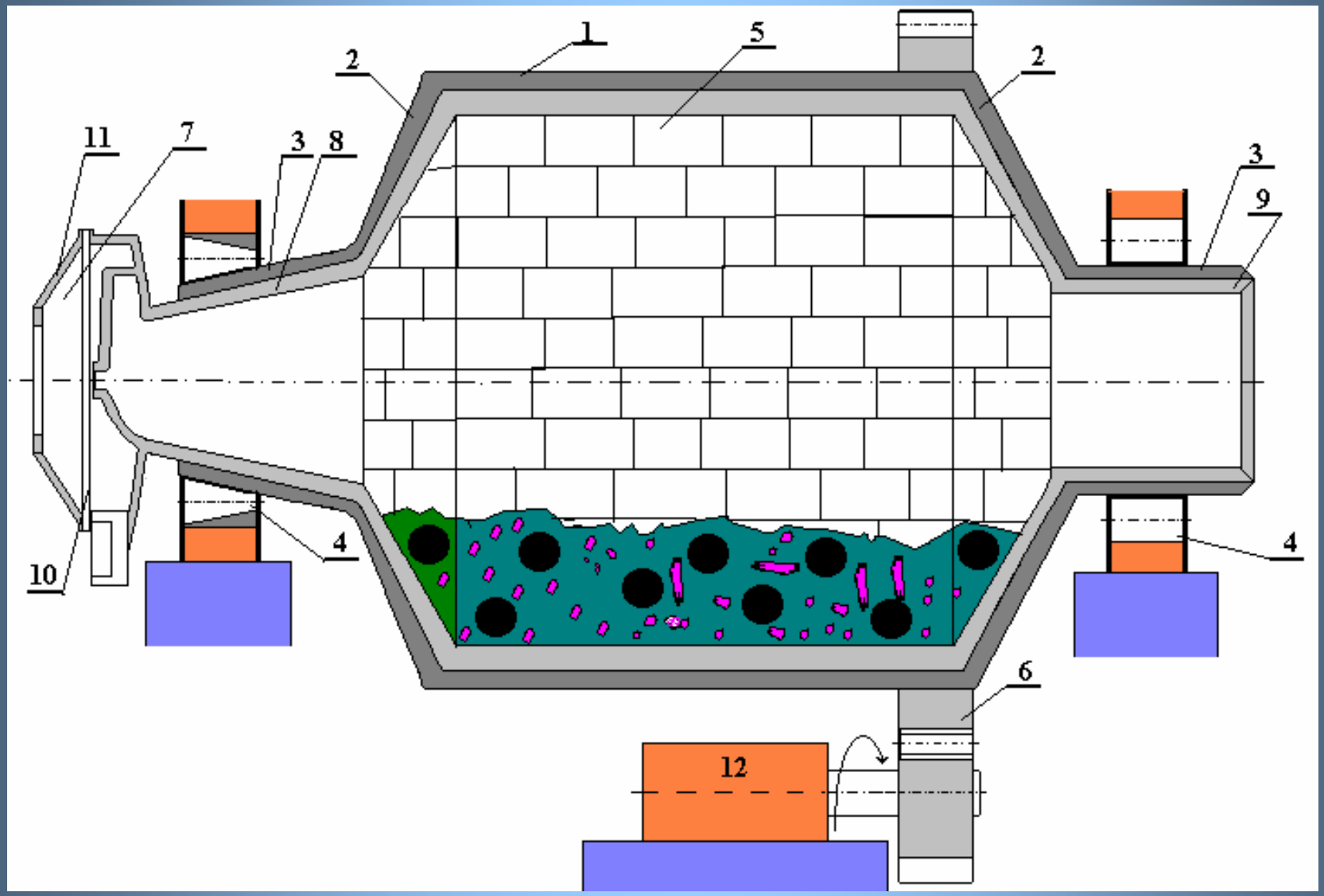
Vodopádový (kataraktový režim) - je taký, keď sú gule pri vyšších rýchlostiach otáčania vyzdvihované do väčšej výšky, a potom voľne padajú po variabilných dráhach. V tomto režime sa jadro vytvára len v malom rozsahu. Tento režim sa využíva pri mletí hrubšieho meliva, kde sa uplatňuje prevažne princíp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

Rýchlostné režimy mletia

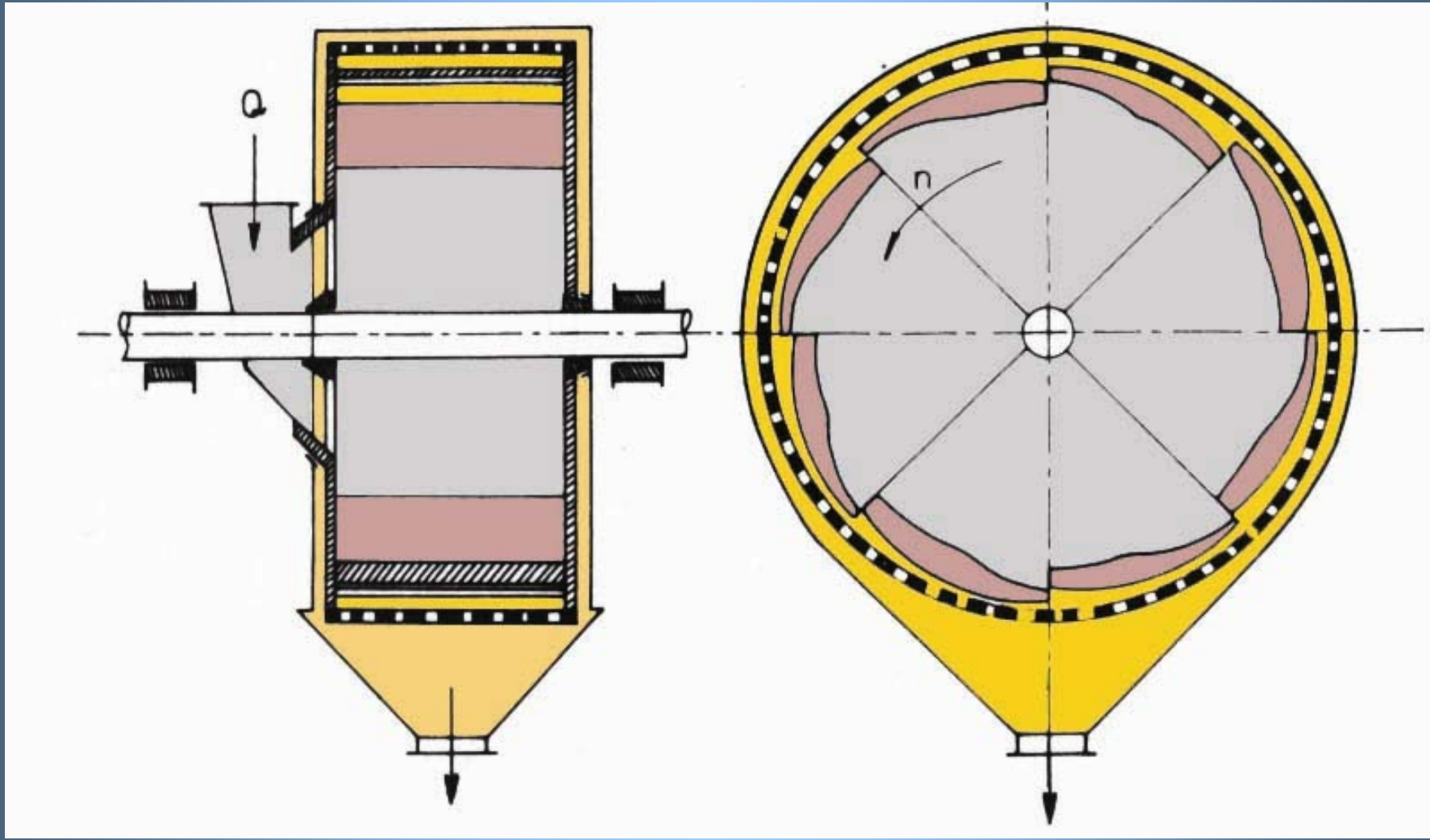


a - kaskádový, b - zmiešaný, c - vodopádový

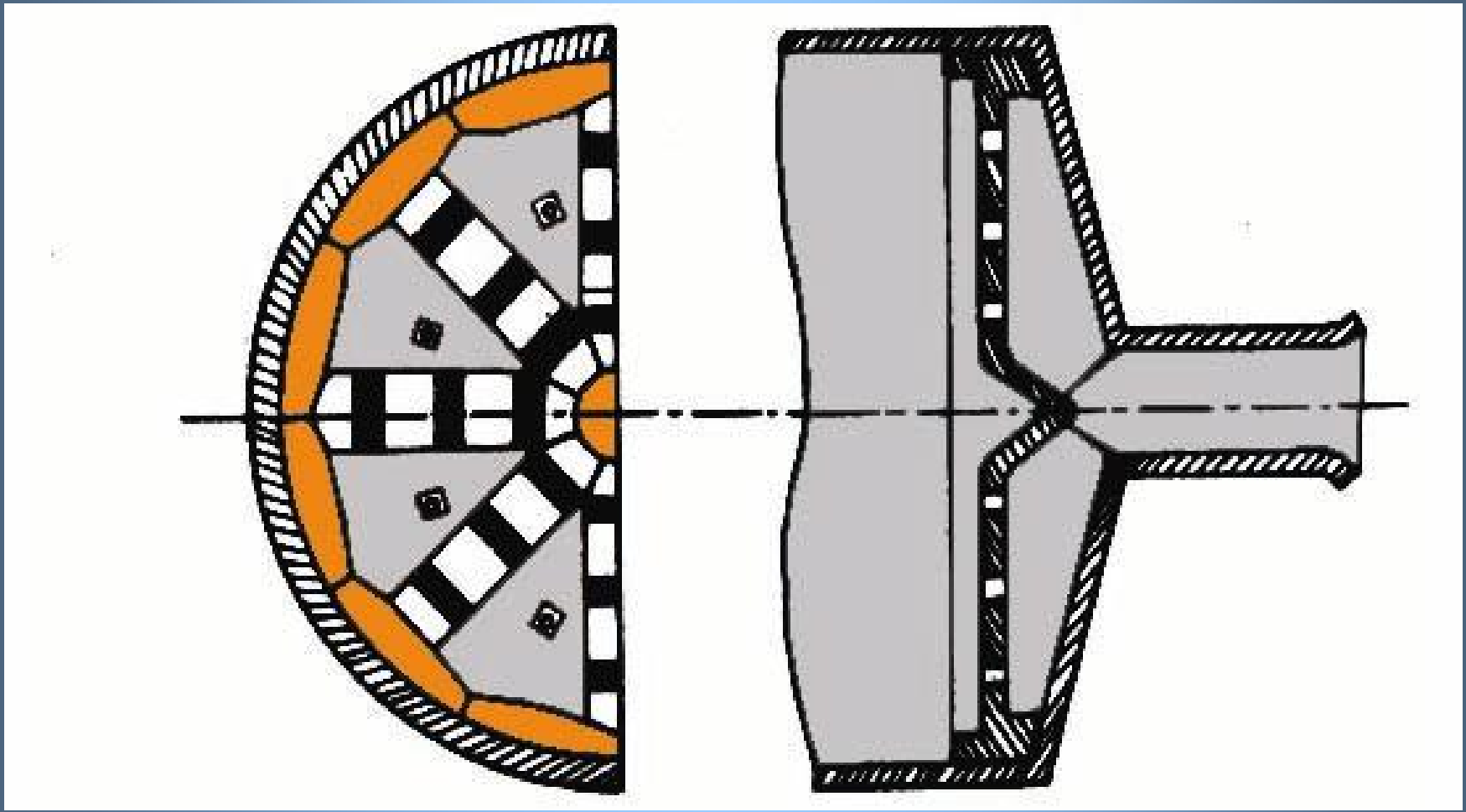
Guľové mlyny



Guľové mlyny

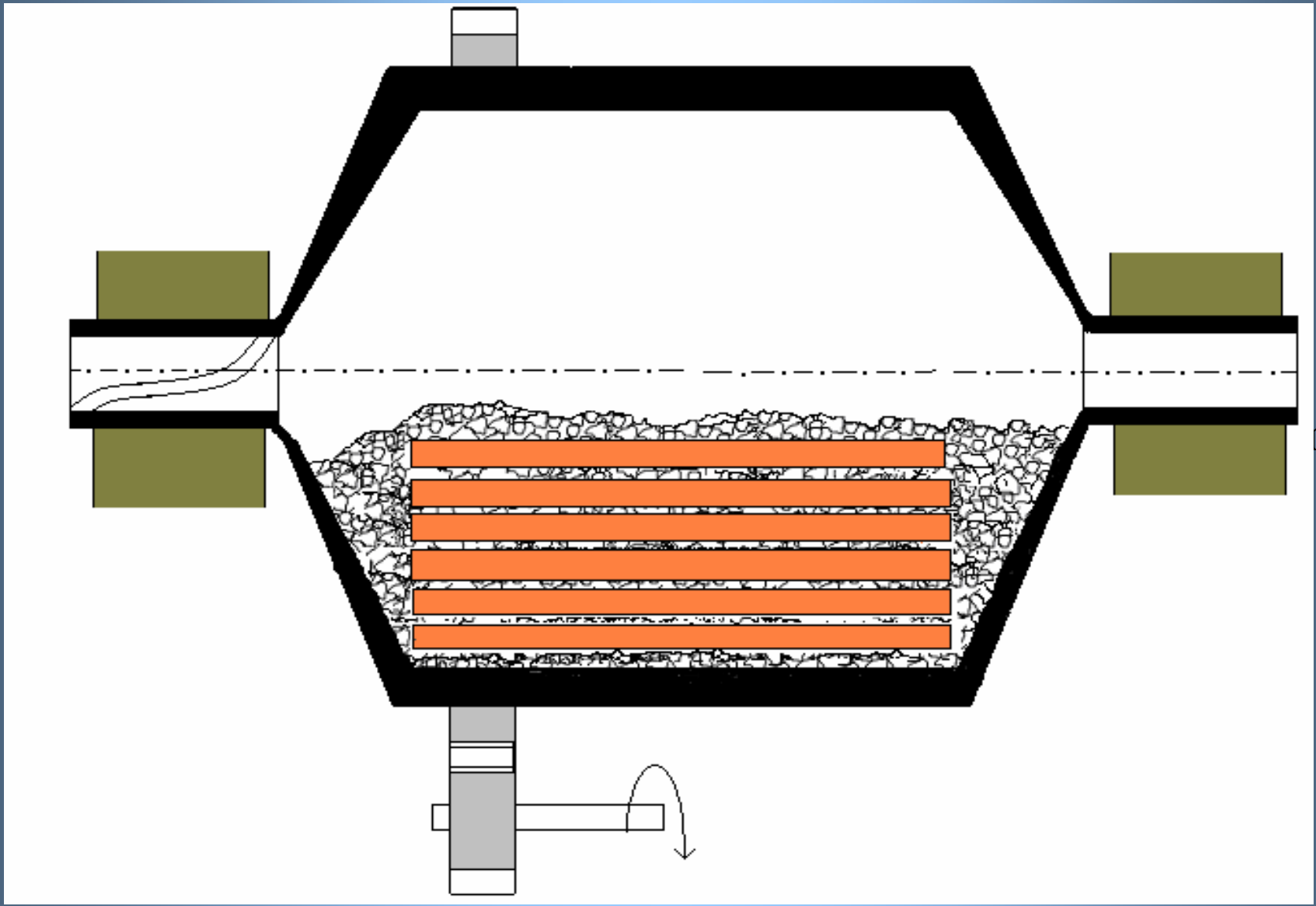


Guľové mlyny

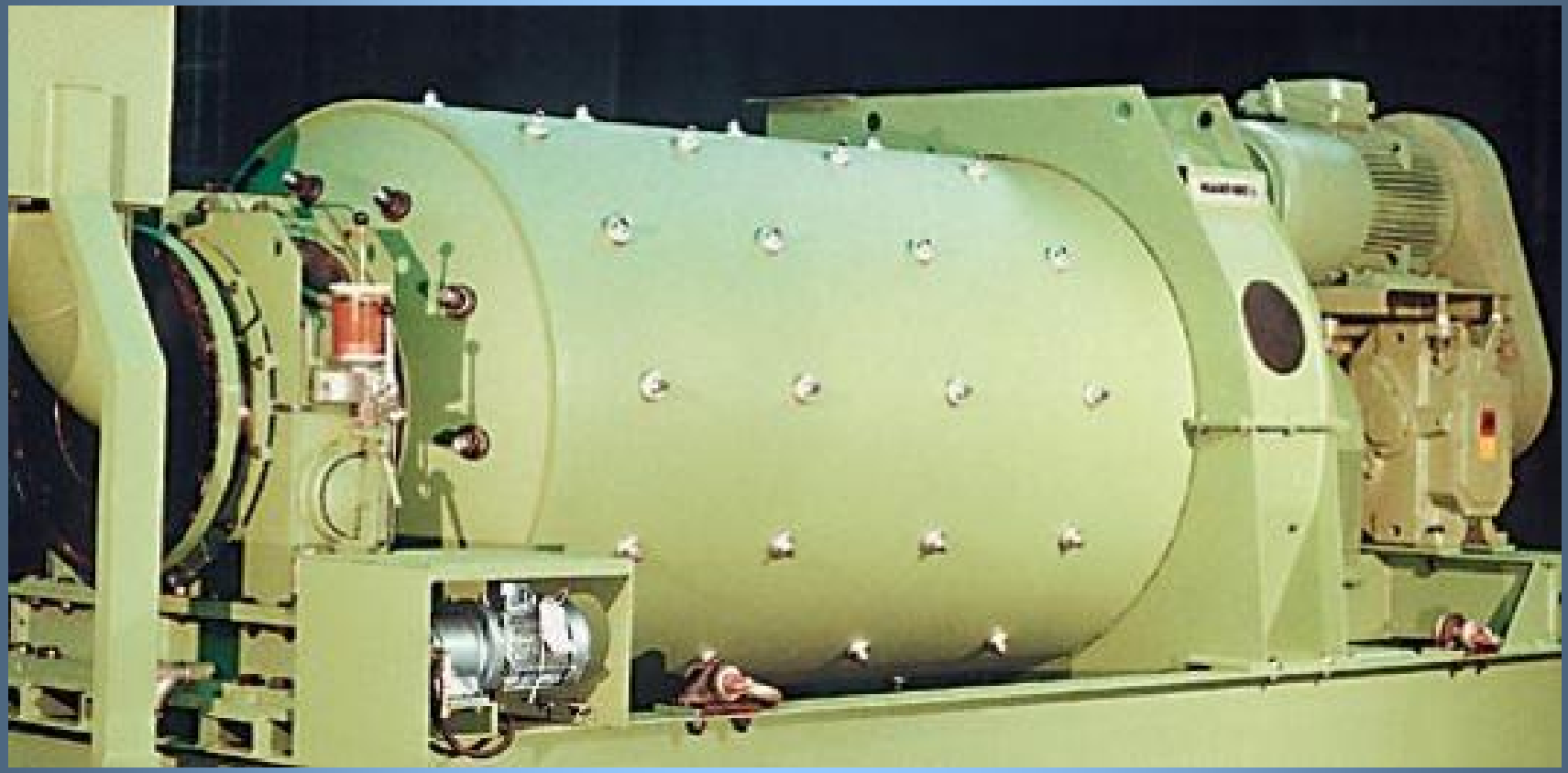


Guľové mlyny

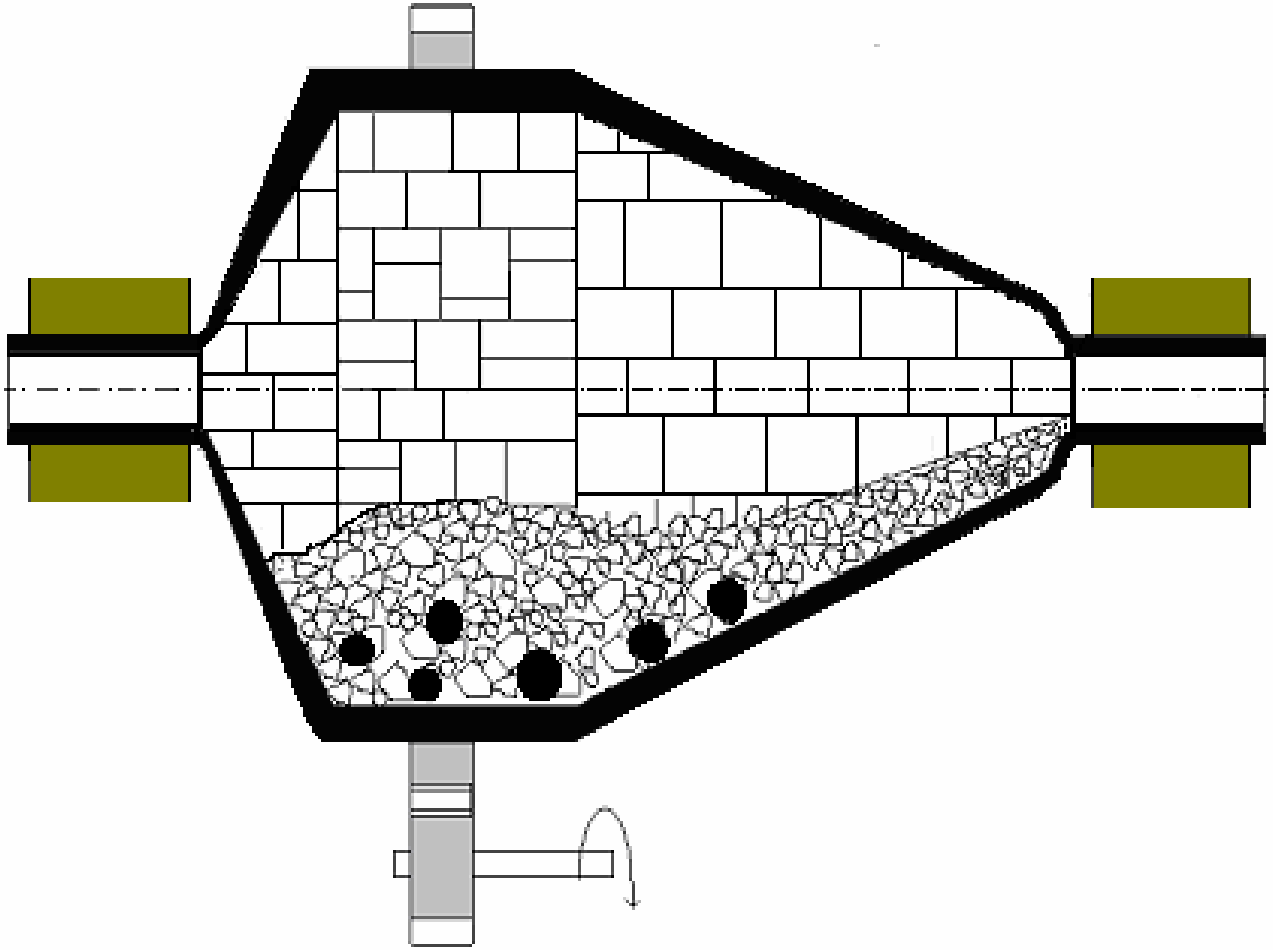
Tyčové mlyny



Tyčové mlyny



Hardingov mlyn

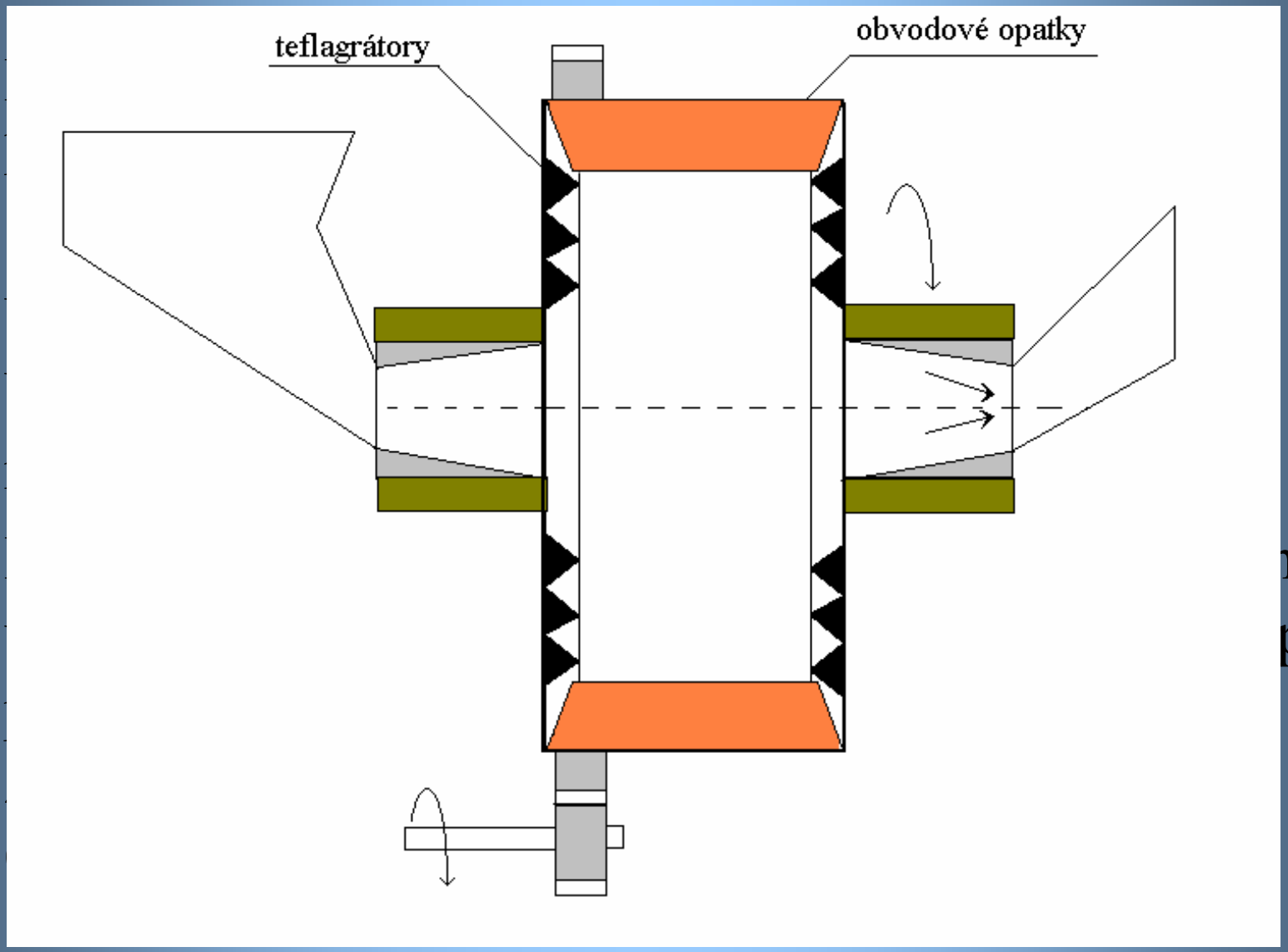


Autogénne mletie

Autogénny mlyn AEROFALL

- Vnútro mlyna je osadené lopatkami. Jedným 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 čelných 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 funkciu dopravovať a súčasne sušiť

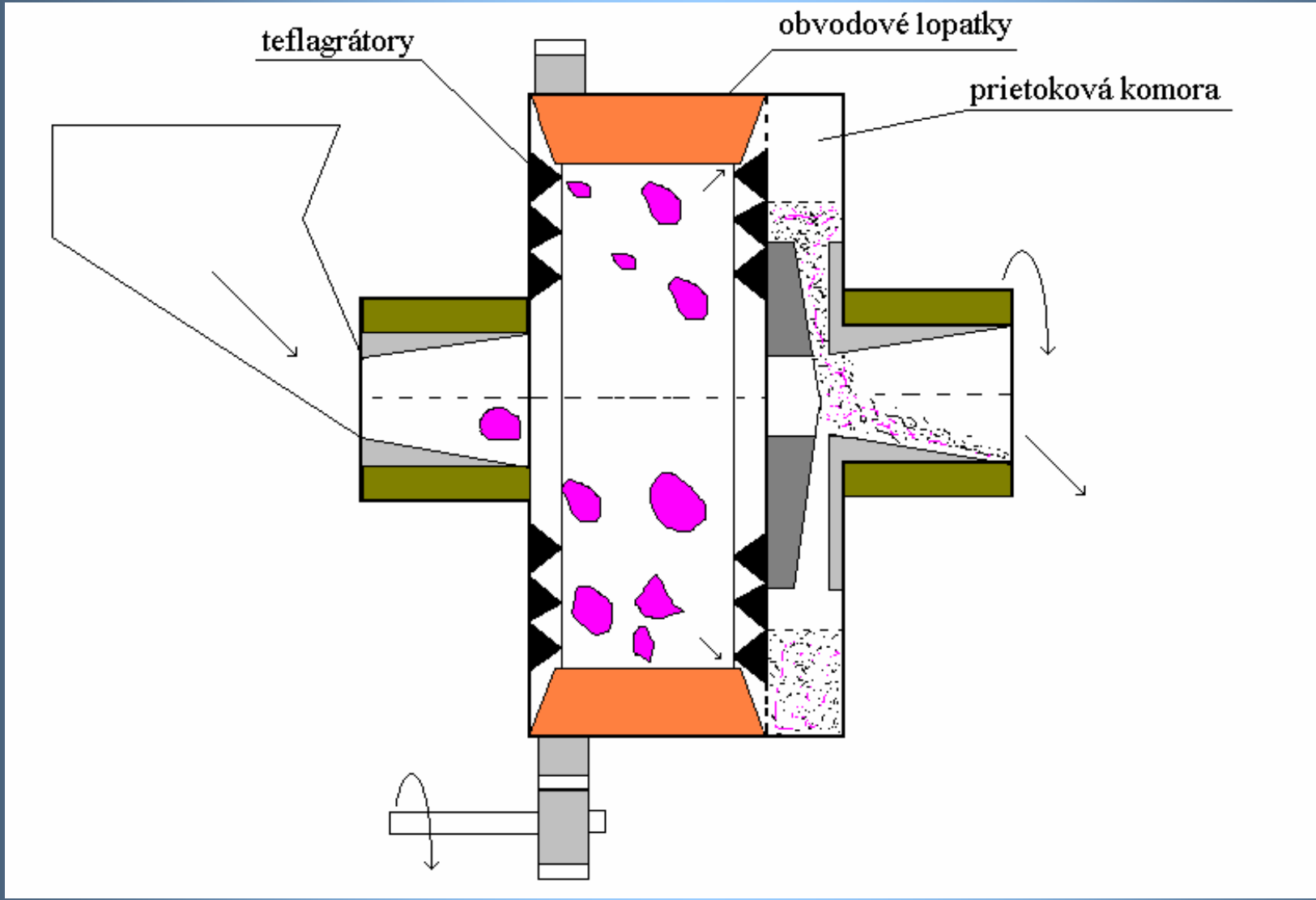
Autogénne mletie



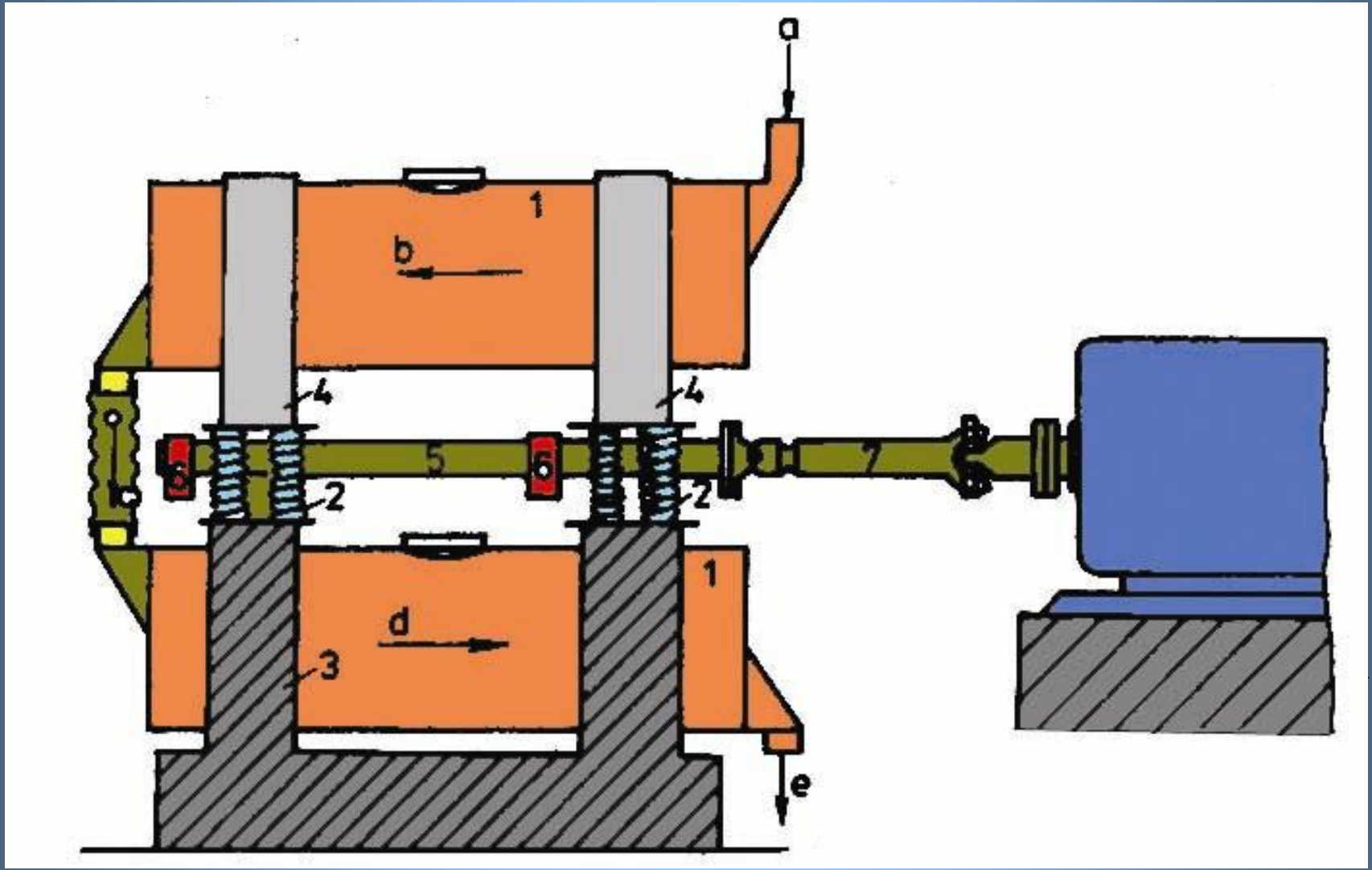
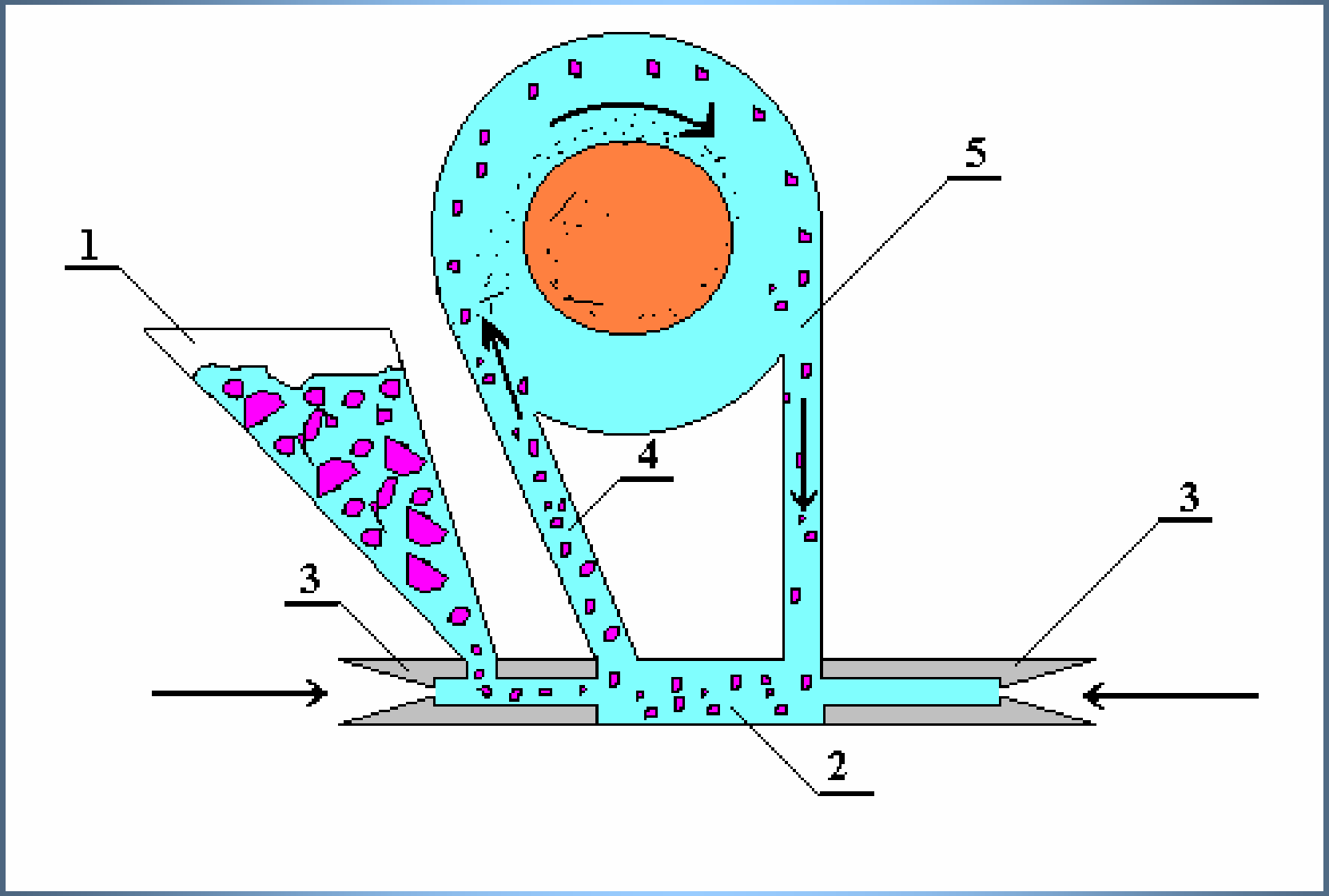
ná

po

Autogénne mletie



Mlyny na veľmi jemné mletie



Mlyny na veľmi jemné mletie