Flotácia

- je spôsob rozdružovania jemnozrnných nerastných surovín založený na rozdielnej **zmáčavosti** rôznych nerastov vodou.
- Flotácia je najmladšou, ale najrozšírenejšou metódou rozdružovania a pre rudy neželezných kovov dominantnou. Prednosťou flotácie voči iným metódam rozdružovania je možnosť úpravy jemne vtrúsených rúd, rozdružovanie ktorých inými metódami nie je účinné

Flotácia

- Významnou prednosťou flotácie je možnosť komplexného využitia polymetalických rúd. Kolektívnou flotáciou možno z polymetalických rúd vyťažiť všetky minerály, hoci sa niektoré vyskytujú len v stopových množstvách.
- Rudy NK sú väčšinou komplexné, jednotlivé zložky sú jemne prerastené, ich úprava je možná len flotáciou.

Princíp flotácie

- spočíva na výberovom spojení vzduchových bubliniek s minerálnymi zrniečkami.
- **povrchy**
  - hydrofilné
  - hydrofobné
- vzduchová bublina sa prichytí na povrch zrnka
- bublina vynesie prichytené zrnká na hladinu rmutu, odkiaľ sa odoberá ako mineralizovaná pena. Zrnká, ktoré sa neprichytia, klesnú v rmute na dno.

Princíp flotácie

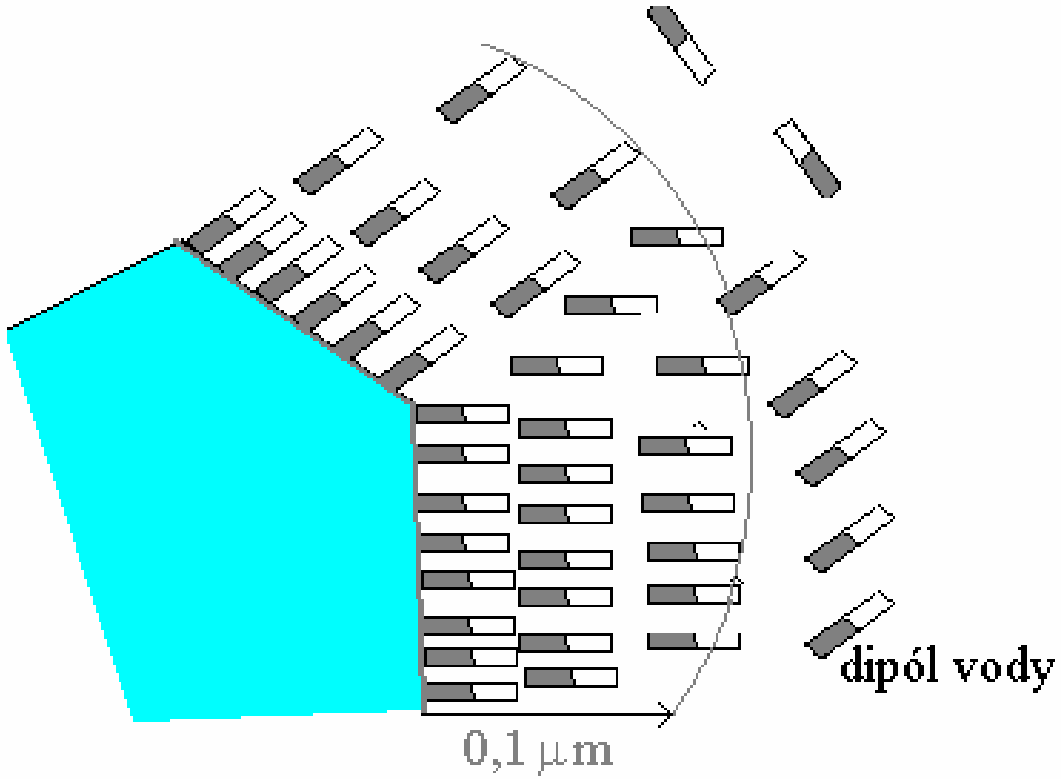
- Rozdielna schopnosť minerálnych zŕn udržať sa na povchu fázového rozhrania vyplýva z rozdielnych hodnôt ich mernej povrchovej energie, ktorej veľkosť závisí od chemického zloženia stavby štruktúrnej mriežky minerálov
- Flotačné rozdružovanie minerálov sa môže uskutočniť na povrchu fázových rozhraní:
  - **kvapalina - plyn**
  - **kvapalina - kvapalina**
  - **kvapalina - tuhá fáza**
  - **plyn - tuhá fáza**

Flotačná sústava minerál-voda-vzduch

- existuje vzájomný vzťah medzi chemickým zložením, charakterom štruktúrnej mriežky a väzbovými silami pôsobiacimi medzi časticami kryštálu.
- Prirodzené a umele vytvorené poruchy a aj fyzikálna a chemická nerovnorodosť spojená s elektrochemickou nerovnorodosťou spôsobujú, že jednotlivé plôšky na povrchu minerálneho zrna ohraničené mikrotrhlinkami majú rôznu adsorpčnú aktivitu a kapacitu. Vysvetľuje sa to rôznou hodnotou voľnej - povrchovej energie na rôznych miestach povrchu

Flotačná sústava minerál-voda-vzduch

- Voda je prostredím pre interakciu fáz a všetkých zložiek rmutu a v dôsledku špecifických vlastností sa aktívne zú
tvo
- na u
ori
- do



Flotačná sústava minerál-voda-vzduch

- **Vzduch** - oxiduje minerálny povrch, spolupôsobí s povrchom a s prísadami. Vytvára bubliny na ktoré sa prichytávajú minerálne zrná a tieto ich vyplavia na hladinu rmutu.
- Bubliny majú veľké povrchové napätie a tiež vnútorný tlak, čo spôsobuje ich praskanie. Pre flotáciu je dôležité znížiť toto povrchové napätie a tiež vnútorný tlak, preto sa do vody pridávajú peniče. V dôsledku pridania peničov je mineralizovná pena stála

Flotačná sústava minerál-voda-vzduch

- Vzájomné pôsobenie tuhej fázy s kvapalinou závisí od stupňa nevyváženosti elektrostatických síl atómov povrchu materiálu. Nevyváženosť závisí od štruktúry a zloženia kryštalovej mriežky. Ak pri tvorbe nového povrchu vznikajú silné elektrostatické sily, bude sa tento povrch silne **hydratovať (zmáčať)** a naopak pri malých elektrostatických silách bude slabá hydratácia.

Flotačná sústava minerál-voda-vzduch

- Ak sa v dôsledku mletia uvoľnia slabé molekulárne väzby, vzniknutý povrch je slabo hydratovný, vzduchová bublina má prístup k zrniečku a minerál je flotovateľný. Naopak pri rozpojovaní silných atómových väzieb, je novovzniknutý povrch silne hydratovaný. Vzniká hydratačná vrstva, ktorá neumožňuje prístup bubliniek k minerálnemu zrniečku a minerál je neflotovateľný. Tieto vlastnosti sa upravujú flotačnými prísadami

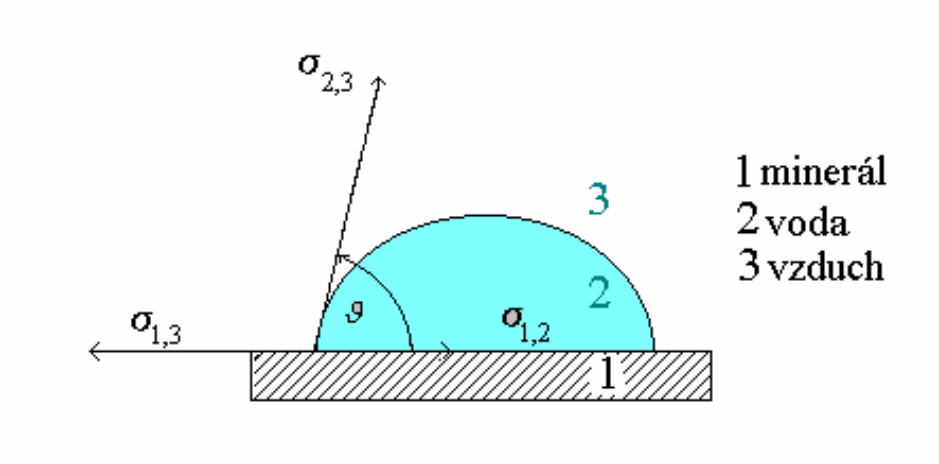
Zmáčateľnosť

- **závisí od:**
  - povrchového napätia kvapaliny
  - charakteru povrchu minerálnej častice, daného voľnou povrchovou energiou atómových a molekulových väzieb
- z fyzikálneho hľadiska závisí od pomeru príťažlivosti molekúl kvapaliny a minerálnej častice a súdržnosti molekúl samotnej kvapaliny.
- Merateľným prejavom zmáčanlivosti je **styčný uhol**
- Styčný uhol zviera dotyčnica kvapky kvapaliny s rovinou styku kvapky s minerálnym povrchom

Zmáčateľnosť

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{1,2} + \sigma_{2,3} \cos\vartheta$$

$$\cos\vartheta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{1,2}}{\sigma_{2,3}}$$



- kde ϑ - je styčný uhol
- $\sigma_{1,3}$ - povrchové napätie na rozhraní minerál – plyn
- $\sigma_{1,2}$ - povrchové napätie na rozhraní minerál-kvapalina
- $\sigma_{2,3}$ - povrchové napätie na rozhraní kvaplina – plyn

Zmáčateľnosť

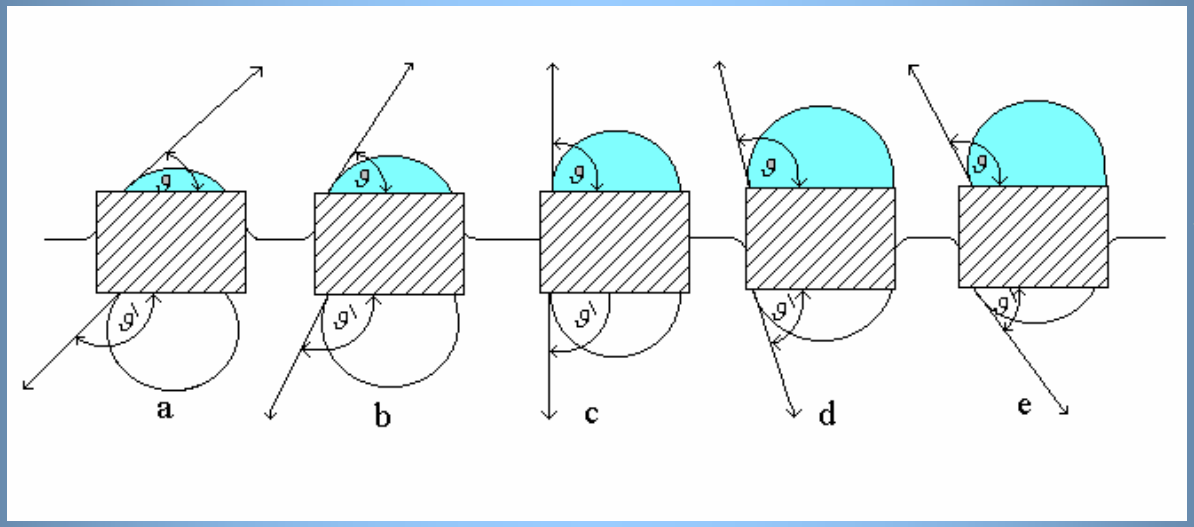
- Pri úplnej zmáčanlivosti styčný uhol je 0° a $\cos\vartheta = 1$
- **styčný uhol:** 0 - 90° $\cos\vartheta = 1$ *až* 0

  látky **hydrofilné** - zmáčajú povrch

90-180° $\cos\vartheta = 0$ *až* -1

látky **hydrofóbne** - nezmáčajú povrch

hydrofilné



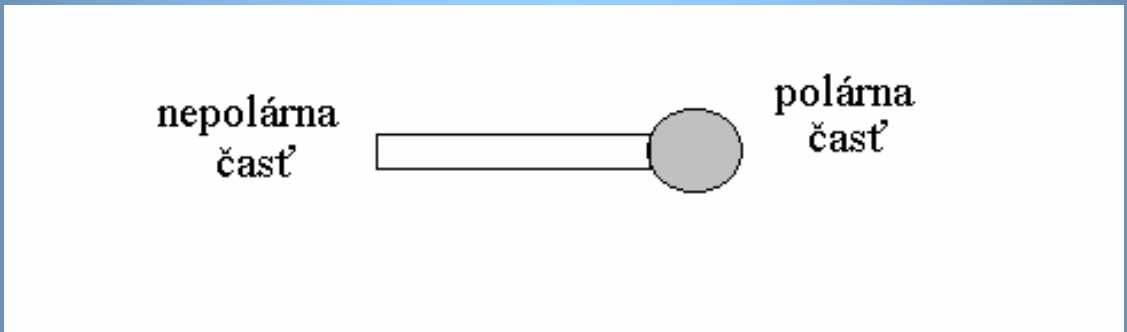
hydrofobné

Flotačné prísady

- zvyšujú účinnosť flotácie a umožňujú riadenie flotačného procesu
- podľa účelu sa rozdeľujú:
  - peniče
  - zberače
  - regulujúce prísady
    - oživujúce
    - potlačujúce
    - modifikujúce

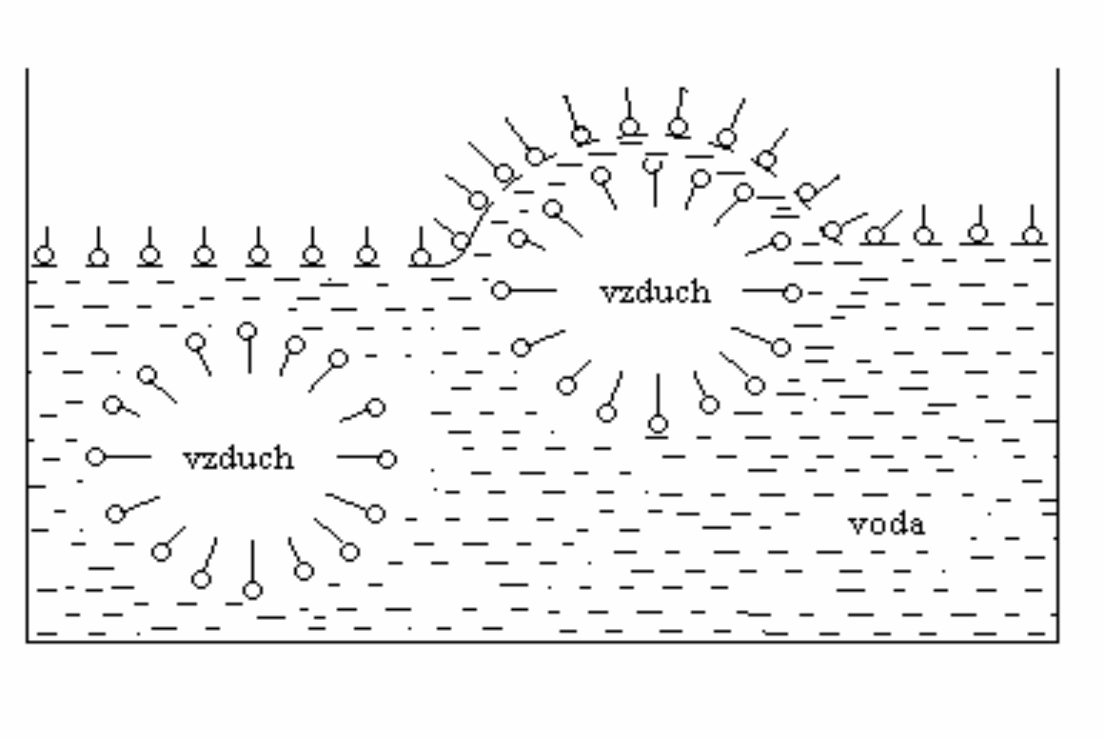
Peniče

- pridávajú sa do rmutu, aby vzduchové bubliny nepraskali a vytvorila sa na hladine pena
- peniče sú organické heteropolárne látky vo vode rozpustné.
- heteropolárne látky sú také, ktorých molekula sa skladá z polárnej chemicky aktívnej skupiny a z nepolárnej, chemicky neaktívnej skupiny



Peniče

- Napr. kyselina heptylová $C_6H_{13}COOH$ sa skladá z polárnej časti COOH a nepolárnej uhľovodíkovej časti C_6H_{13}
- polárna časť pen
dochádza k orien
- Polárna časť sme
vzduchu. Čím dl
heteropolárnej m
povrchové napät

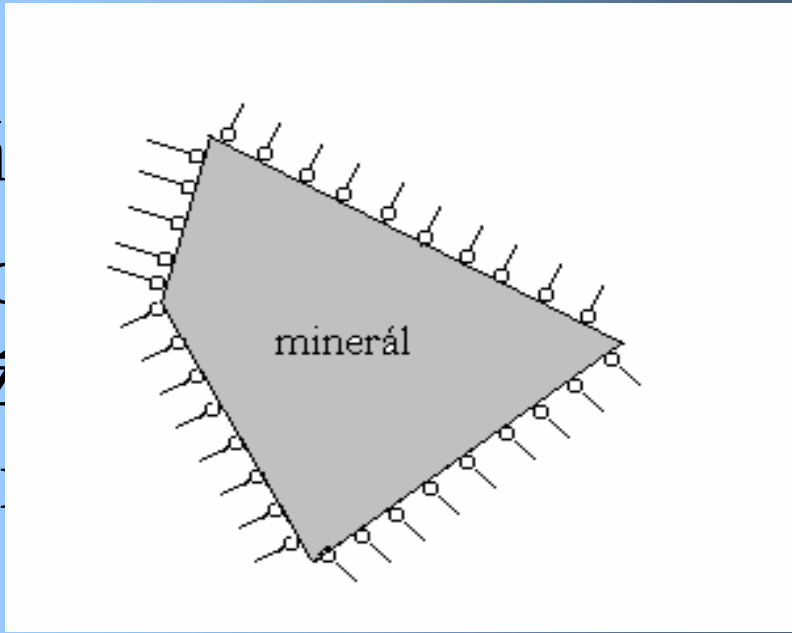


Peniče

- Najrozšírenejšie a najlepšie peniče sú
  - éterické oleje
  - borovicové oleje
  - eukalyptové oleje
- **Spotreba:** býva 20 - 100g /t rudy
- pomerne lacné peniče sú pyridíny - látky zásaditej povahy
- umelé peniče - vedľajšie produkty z výroby syntetických chemických látok známe pod názvom **flotol** a **flotigol**

Zberače

- sú organické látky, ktoré zväčšujú, alebo vyvolávajú **hydrofóbnosť** povrchu minerálnych zrn a tým podmieňujú ich flotovateľnosť
- používajú sa ***heteropolárne*** aj ***nepolárne*** zberače.
- rozšírenejšie sú heteropolá
- polárna aktívna časť heterc má afinitu k minerálu, takž polárnou časťou k minerál a nepolárnou k vode



Zberače

- **Ionogénne zberače**
  - ***Aniónaktívne zberače:***
    - **sulfhydrilové zberače:**
      - sulfidické minerály
      - rýdze neželezné a ušľachtilé kovy
      - karbonáty a sulfáty medi a olova
      - silikáty medi po sulfidácii povrchu
    - **oxhydrilové zberače:**
      - uhličitanové minerály
      - baryt
      - fluorit
      - fosfáty
      - oxidy železa
      - rutil
      - zirkón
      - ilmenit

Zberače

- **Ionogénne zberače**
  - ***Katiónaktívne zberače***:

    Hydrofobizujúci účinok má
    - katión na báze 5-mocného dusíka
    - amíny a ich primárne, sekundárne, terciárne a kvartérne soli (laurylamín hydrochlorid)
    - **flotujú:** kremeň, silikátové minerály, draselné a sodné soli

Zberače

- **Ionogénne zberače**
  - **Neionogénne zberače**:
  - Sú nepolárne kvapalné uhľovodíky:
    - petrolej
    - oxidovaný petrolej
    - transformátorový olej
    - mazacie oleje
    - produkty spracovania ropy, dreva,uhlia a smoly
  - **flotujú:** grafit, čierne uhlie, síru, molybdenit, siderit

Zberače

- **Najväčší praktický význam:** organické látky odvodené od kyseliny uhličitej, fosforečnej, sírovej, tiokyselín a ich solí
- Organické deriváty tiokyselín a tioalkoholov obsahujú v solidofilnej časti sulfhydrilovú skupinu, preto sa takéto zberače nazývajú **sulfhydrilové zberače.**
- Dôležití predstavitelia: deriváty kyseliny ditiouhličitej - ***xantogénáty*** a tioalkoholov **merkaptány** a **tiofenoly**

Zberače

- **Sulfidické rudy:** najviac používané zberače
  - xantogenáty v praxi označované jako ***xantáty***.
- Xantáty sú soli kyseliny xantogenovej
- ako kov k polárnej časti molekuly býva viazaný sodík a draslík.
- Adsorpcia xantátov na minerálnom povrchu je veľmi pevná, pretože xantát je obyčajne aj chemicky viazaný na povrch sulfidov, čiže ide o **chemisorbciu**.

Regulujúce prísady

- selektívna flotácia minerálov sa väčšinou nemôže uskutočniť iba v prítomnosti zberača a peniča
- výberovosť flotačného procesu sa zabezpečuje použitím
  - oživujúcich
  - potlačujúcich
  - modifikačných flotačných reagencií

Regulujúce prísady

- Účinok každého **regulátora** na flotovateľnosť minerálov závisí od:
- ***od stavu povrchu materiálov:*** napr. sulfidy zle flotujú, ak nie sú optimálne podmienky na oxidáciu ich povrchu, ale aj v silných oxidačných podmienkach
- dávkovaním oxidačnej reagencie sa zlepší flotovateľnosť novovytvorených sulfidických zŕn a viac sa potlačí flotácia sulfidov, ktorých povrch je oxidovaný už pred pôsobením oxidačnej reagencie

Regulujúce prísady

- Účinok každého **regulátora** na flotovateľnosť minerálov závisí od:
- ***od typu zberača používaného vo flotačnom procese:*** napr. riadiaca reagencia s účinkami aktivátora alebo depresora môže mať v prítomnosti aniónaktívneho zberača priamo protichodný účinok, alebo v prítomnosti katiónaktívneho zberača môže byť neaktívnou.

Regulujúce prísady

- Účinok každého **regulátora** na flotovateľnosť minerálov závisí od:
- ***od koncentrácie v rmute:*** napr. so zvyšovaním koncentrácie zberača sa znižuje potláčajúci účinok **depresorov** a naopak. Navyše rovnaká riadiaca reagencia (napr. sulfid sodný)v závislosti na koncentrácii a vzájomného pomeru ku koncentrácii zberača a iných iónov vo flotačnom prostredí, môže pôsobiť na flotovateľnosť určitých minerálov ako aktivátor alebo depresor. Účinok flotačných reagencií veľmi závisí od hodnoty pH prostredia

Klasifikácia

Oživujúce flotačné regencie (*aktivátory*):

- zvyšujú flotovateľnosť určitých minerálov

Aktivátor	Účinok
Síran meďnatý $CuSO_4.5H_2O$	•oživuje sfalerit,pyrit, arzenopyrit, antimonit a kryolit
Chlorid barnatý $BaCl_2.2H_2O$	•oživuje baryt, potláča kasiterit a fluorit, oživuje kremeň
Dusičnan olovnatý $Pb(NO_3)_2$	•oživuje sulfidy medi, ktoré boli potlačené kyanidmi, oživuje antimonit
Sulfid sodný $Na_2S.nH_2O$	•oživuje flotovateľnosť sulfidov so zmeneným povrchom a karbonátov medi a olova. Pri vysokých koncentráciach je depresorom
Kyselina sírova H_2SO_4	•oživuje niektoré sulfidy, pyrit, sfalerit a potláča kremeň

Klasifikácia

Potláčajúce flotačné reagencie (depresory): potláčajú alebo rušia flotovateľnosť niektorých minerálov alebo skupín

Depresor	Účinok
Kyanid draselný KCN	•potláča pyrit, sfalerit, chalkopyrit
Kyanid sodný NaCN ***Manganistan draselný $KMnO_4$*** ***Sulfid sodný $Na_2S.nH_2O$*** ***Chroman draselný K_2CrO_4*** ***Dvojchroman draselný $K_2Cr_2O_7.2H_2O$***	•rozpúťa zlato a striebro. Používa sa spoločne so síranom zinočnatým $ZnSO_4.7H_20$ na potlačenie sfaleritu •potláča pyrotín, arzenopyrit, sfalerit a sulfidy medi za prítomnosti galenitu. Silné oxidovadlo. •pri vysokých koncentráciách potláča flotovateľnosť všetkých sulfidických minerálov •potláča galenit pri selektívnej flotácii meďnatoolovených rúd •potláča pyrit aj galenit pri prečisťovacej flotácii sfaleritového koncentrátu. Silné oxidovadlo

Klasifikácia

Potláčajúce flotačné reagencie (depresory):

Depresor	Účinok
Síran zinočnatý $ZnSO_4.7H_2O$	•potláča flotovateľnosť sfaleritu spolu s kyanidom
Oxid vápenatý CaO	•potláča pyrit a pyrotín. Zráža hydroxidy kovov za prítomnosti NaOH
Hydroxid vápenatý $Ca(OH)_2$	• potláča pyrit a pyrotín. Zráža hydroxidy kovov v rmute
Uhličitan sodný Na_2CO_3	•potláča pyrit. Znižuje tvrdosť vody a potláča kalové veľmi jemné zrná. Modifikuje pH prostredia.
Fosforečnany $Na_3PO_4.12H_2O$ *$Na_4P_2O_7$*	•potláča Ca-minerály pri flotácii magnezitu, ako aj fluorit a kalcit. Niektoré viažu iony vápnika aj horčíka
Kremičitan sodný Na_2SiO_3	•Potláča kremeň, silikáty a alumosilikáty. Peptizátor veľmi jemných kalových horninotvorných minerálov
Organické koloidy (škroby, glej, dextrín,želatína,tanín)	•Potláčajú kalové zrná pri flotácii sulfidov. Potláčajú aj prirodzené hydrofóbne minerály, ako sú mastenec, grafit, molybdenit
Oxyetylcelulóza $(C_6H_7O_2(OH)_2\ OCH_2—CH_3OH)n$	•Potláča flotovateľnosť minerálov železa

Klasifikácia

Modifikátory pH prostredia:

- menia kyslosť alebo zásaditosť flotačného rmutu
- môžu mať silný oživujúci alebo potláčajúci účinok

Modifikátor	Použitie
Hydroxid vápenatý $Ca(OH)_2$ ***Hydroxid sodný*** $NaOH$, ***Uličitan sodný*** Na_2CO_3	• Používajú sa na modifikáciu pH flotačného prostredia. Príslušná reagencia má oživujúci účinok na niektoré minerály a zároveň iné minerály potláča.
Kyselina sírová H_2SO_4 ***Kyselina chlórovodíková*** HCl ***Kyselina fluorovodíková*** HF	• Kyseliny oživujú pyrit a sfalerit • HF potláča kremeň a oživuje živice

Klasifikácia

Flokulanty, koagulanty a peptizátory:

- zintenzívňujú flotáciu veľmi jemných zrn

Ionexy:

- používajú sa v iónovej flotácii, aj na reguláciu iónového zloženia flotačného prostredia penovej flotácie

Flotačné zariadenia

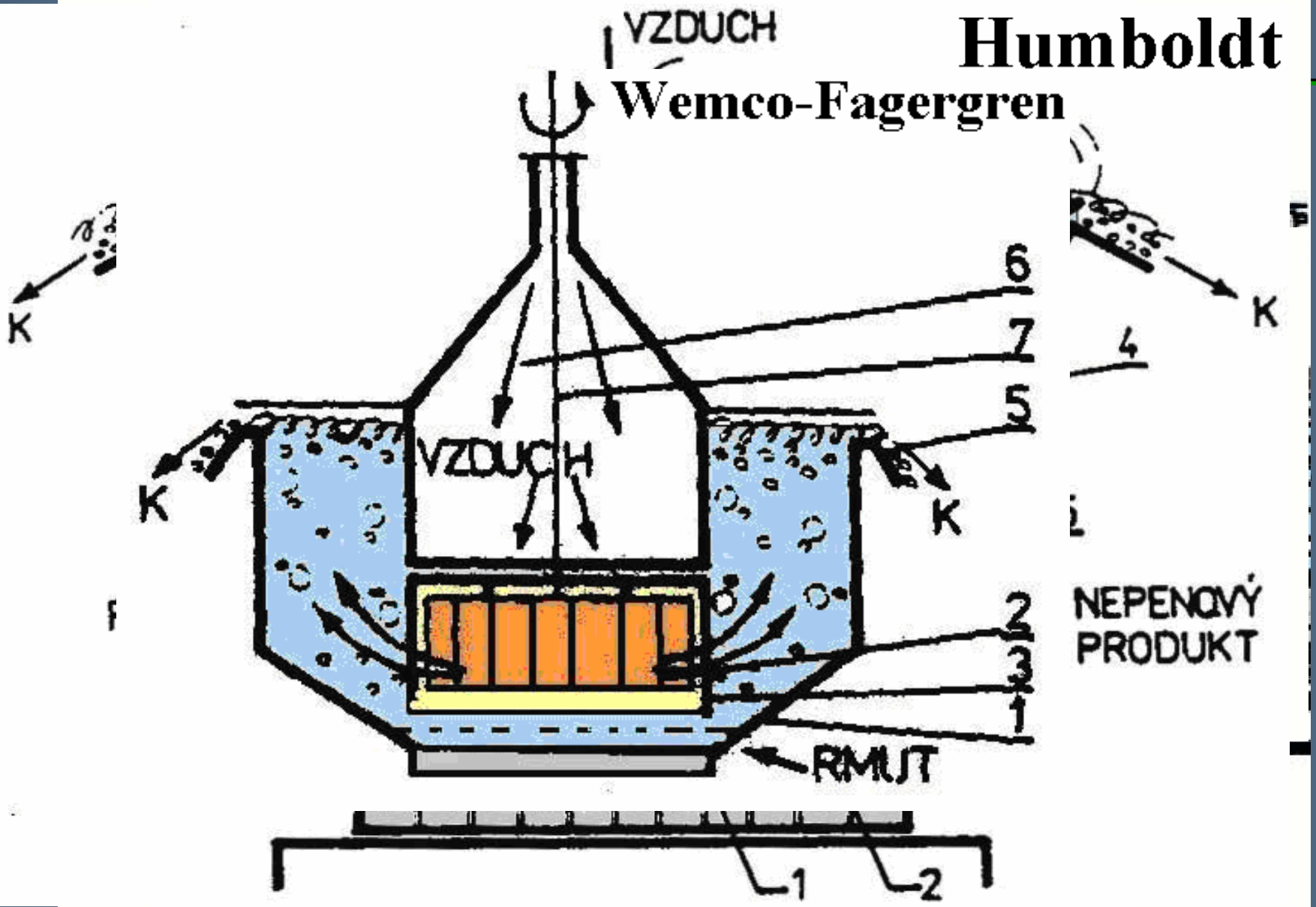
- **Základná jednotka:** flotačná cela.
- **reálne:** viacero ciel zapojených za sebou - tvoria flotačnú batériu.
- **Účinný priebeh flotácie:**
  - Nepretržité miešanie rmutu - dokonalá dispergácia zŕn rozdružovanej suroviny
  - Sústavné sýtenie flotačného prostredia vzduchom
  - Vytvorenie relatívne pokojnej zóny mineralizovanej peny na hladine flotačného rmutu
  - Kontinuálne selektívne oddeľovanie penového a nepenového (komorového) produktu flotácie

Flotačné zariadenia

- ***Mechanické miešadlové flotačné stroje*:** Rmut sa prevzdušňuje miešadlom. Miešadlo pri otáčaní nasáva z okolitého prostredia vzduch a disperguje ho do celej flotačnej cely
- ***Pneumatické flotačné zariadenia*:** Rmut sa prevzdušňuje privádzaným stlačeným vzduchom
- ***Kombinované flotačné zariadenie*:** Je kombináciou predchádzajúcich
- **Iné konštrukcie**
  - mechanické flotačné stroje s fluidnou vrstvou
  - injektorové flotačné stroje
  - cyklónové flotačné stroje
  - vákuové flotačné stroje
  - elektroflotačné stroje

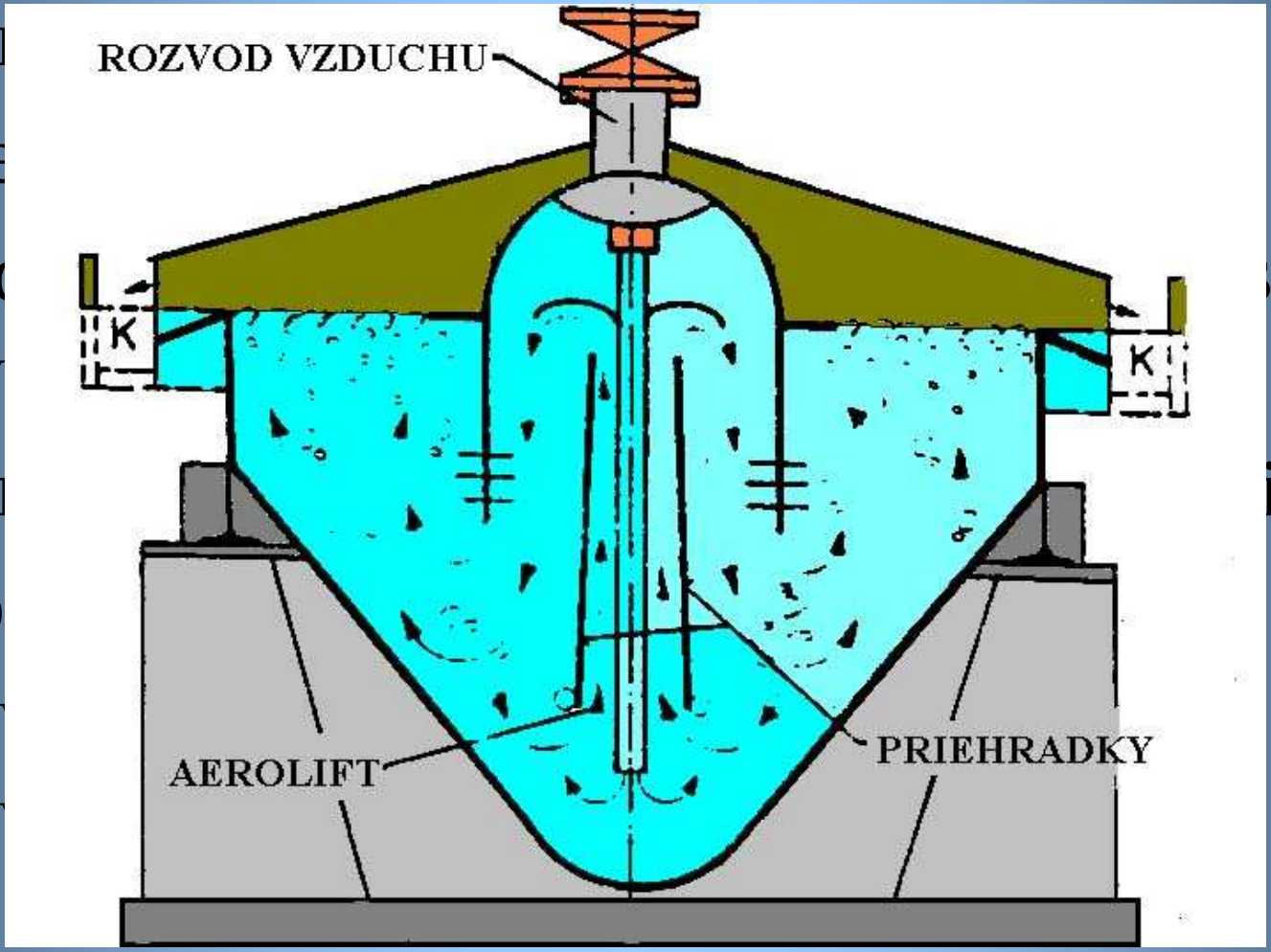
Humboldt

Wemco-Fagergren



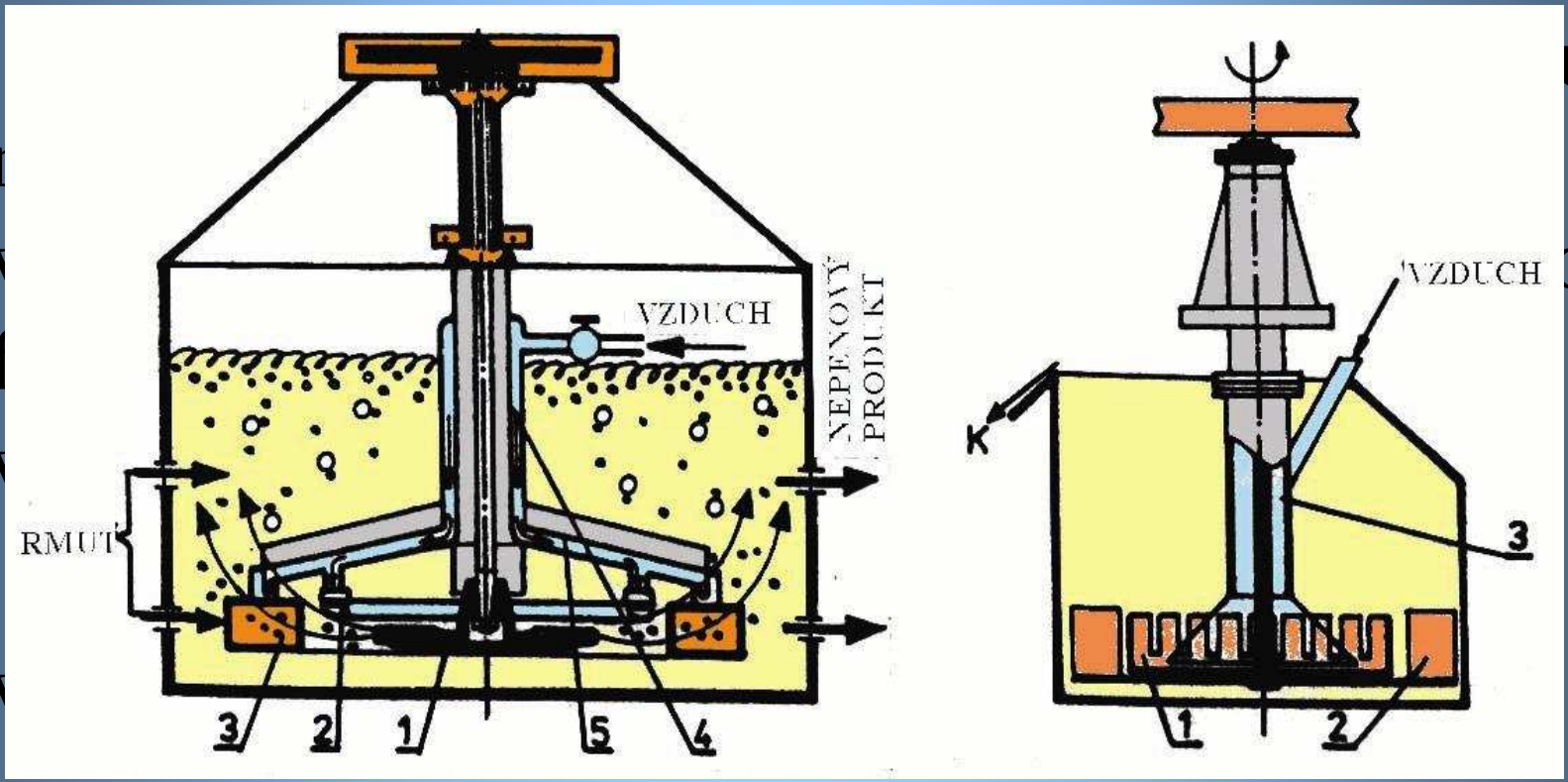
Pneumatické flotačné zariadenia

- ko
- pre
- vzc sa
  priv
- ho ie
- **up**
  -
  -



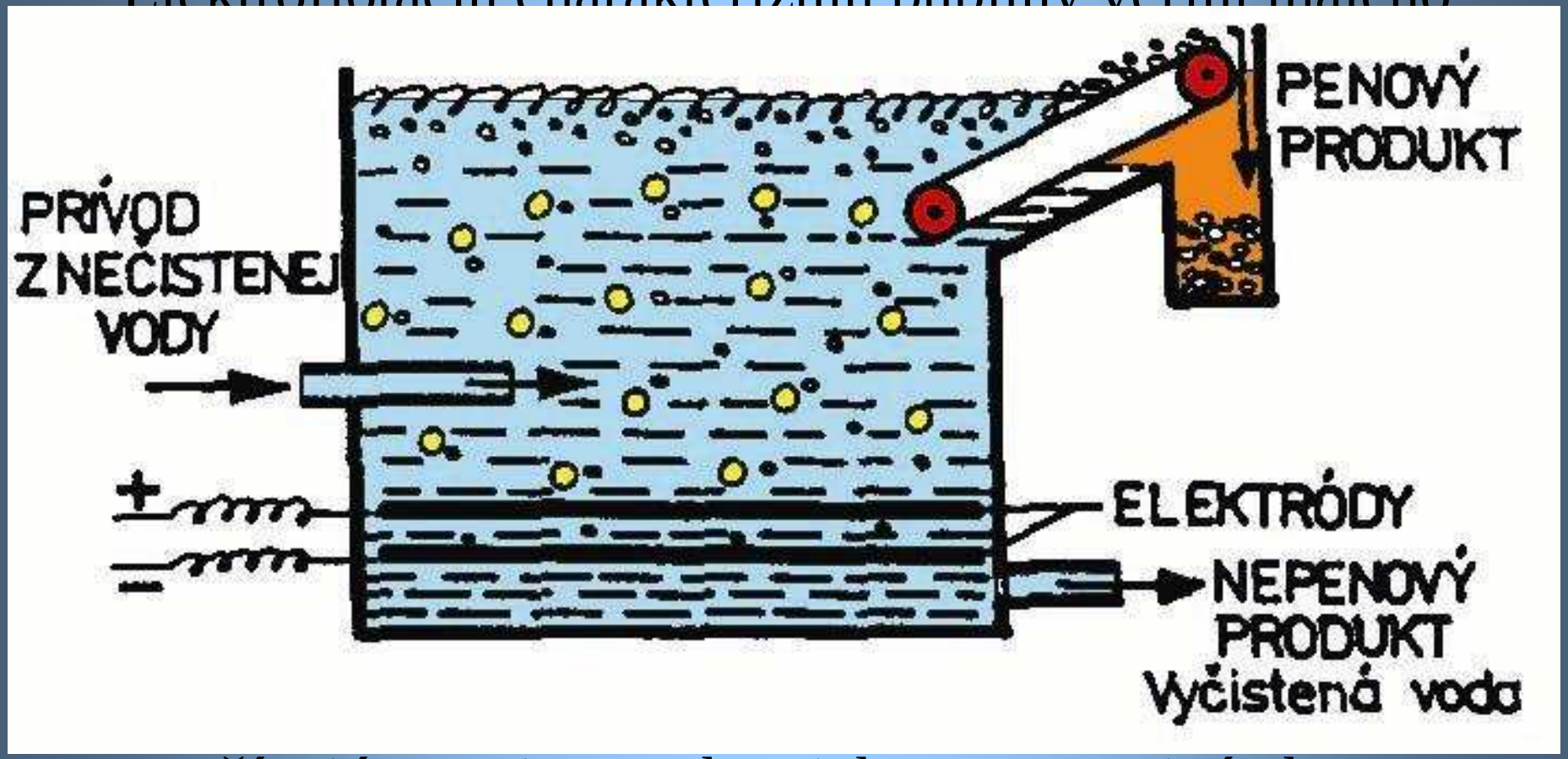
Pneumaticko – mechanické flotačné zariadenia

- Spájajú prednosti predošlých druhov flotátorov
- u
- o
- .



Elektroflotačné zariadenia

- Elektroflotáciu charakterizujú bubliny veľmi malého



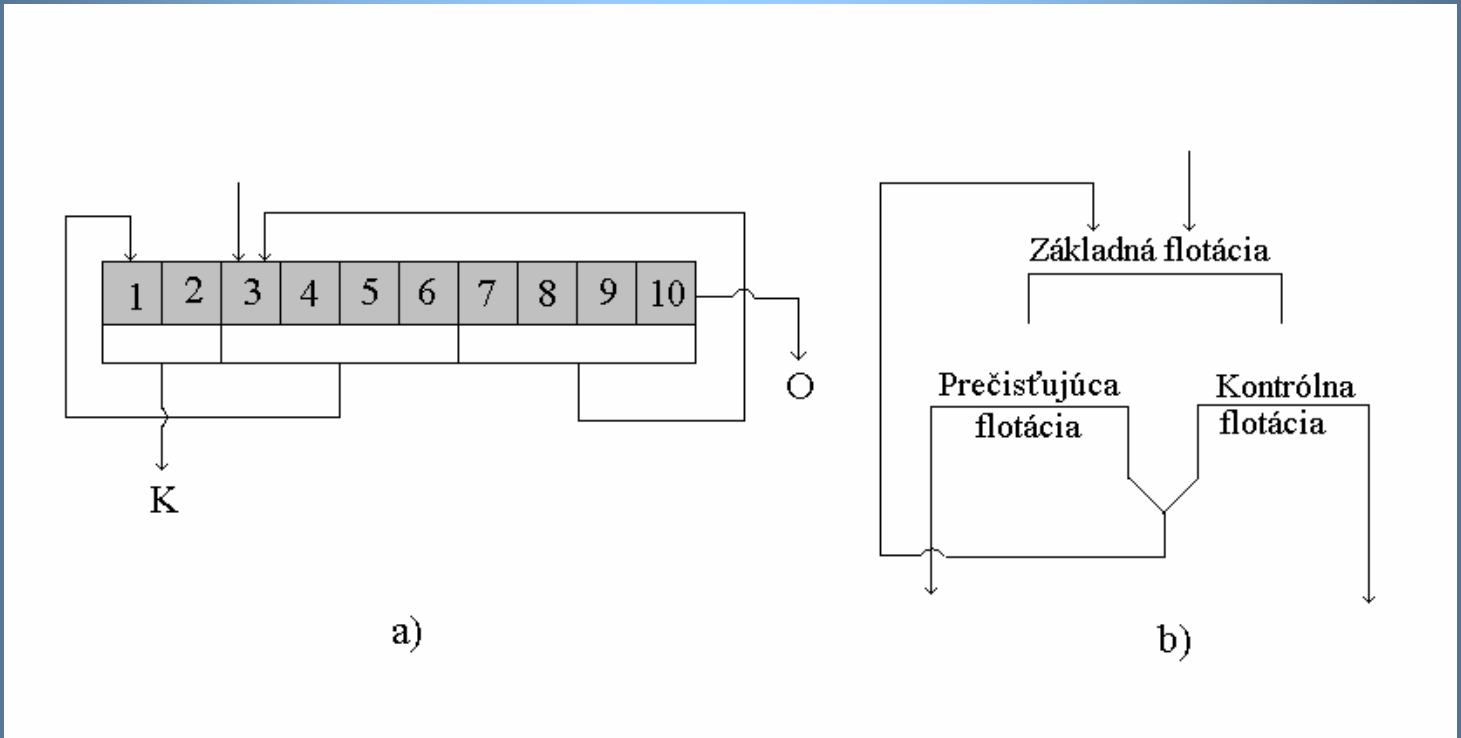
Používajú sa najmä v chemickom, potravinárskom a papierenskom priemysle

Flotačné zariadenia

- Fotky flotátorov a flotácie
- laboratórny flotátor KNKaSO
- film o flotácii – Pyhasalmi ?

Schémy priemyselnej flotácie

- Flotácia prebieha v rade flotačných ciel zvaných flotačná batéria.



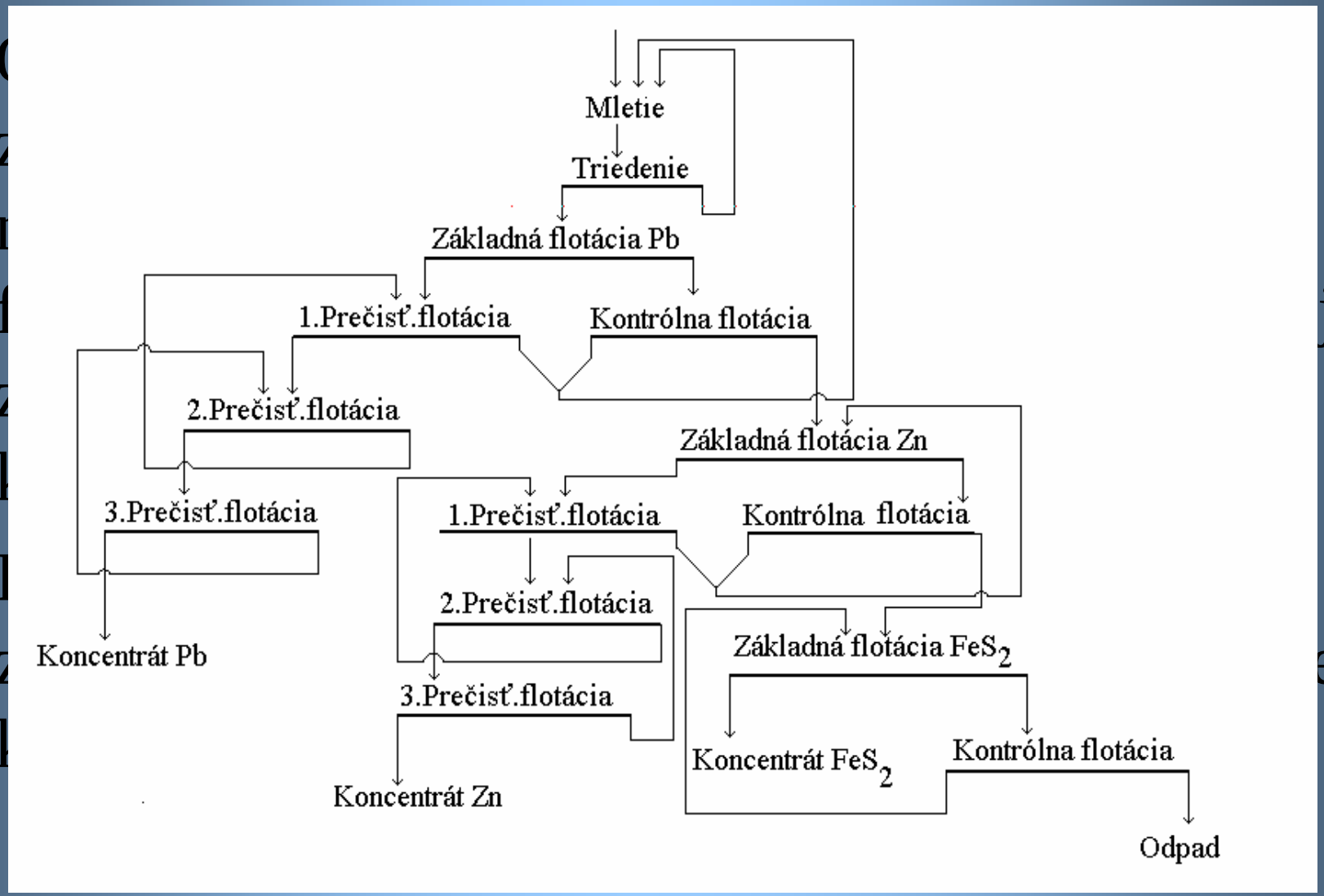
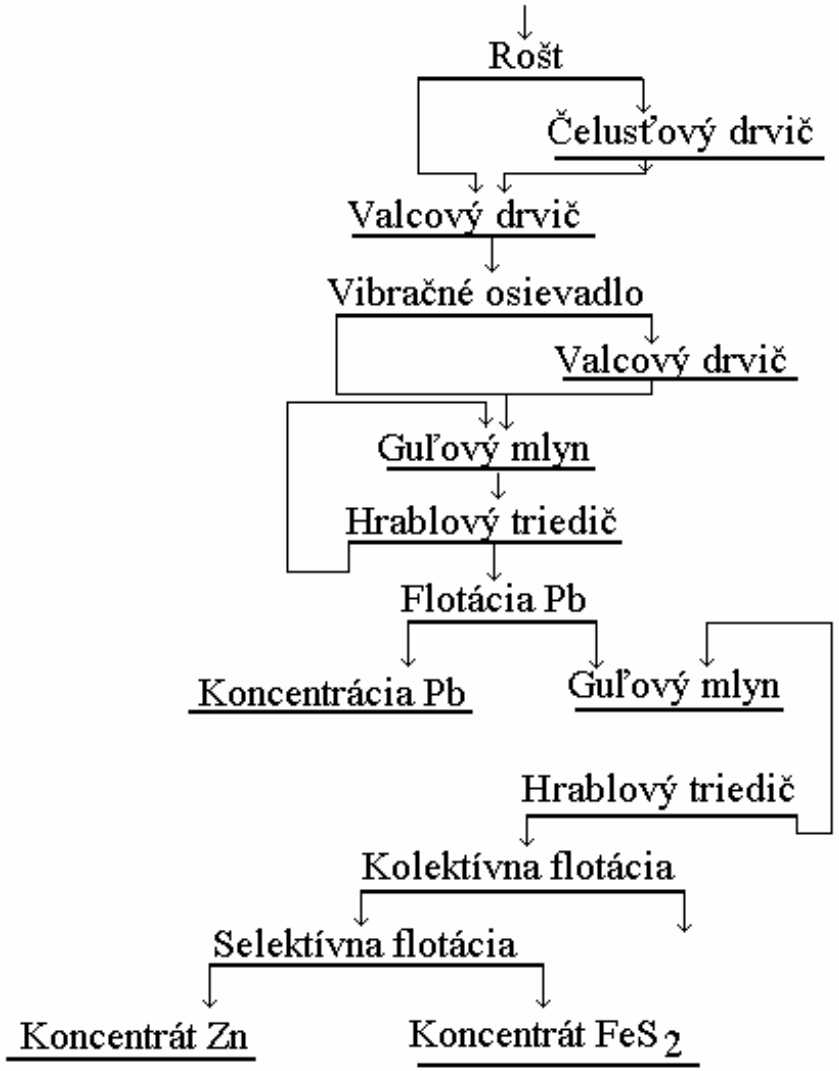
Schémy priemyselnej flotácie

- Rmut sa privádza do cely, kde sa získajú dva produkty - ***mineralizovaná pena***, ktorá obsahuje zrniečka úžitkového minerálu a ***rmut so zrniečkami***, ktoré neflotovali.
- Flotačná pena sa odoberá ako koncentrát a rmut predstavujúci odpad z tejto cely postupuje na flotovanie v ďalšej cele, v ktorej prebieha ten istý proces.

Schémy priemyselnej flotácie

- Pochod prebiehajúci v celách (3),(4),(5) a (6) - **základná** alebo **prvotná** flotácia. Koncentrát zo základnej flotácie však býva ešte znečistený a vedie sa preto do ciel (1) a (2), kde prebieha **prečisťovacia** flotácia.
- Z prečisťovacej flotácie sa získa výsledný koncentrát o dostatočnej kovnatosti, ktorý je predajným produktom.

Schémy priemyselnej flotácie



Schémy priemyselnej flotácie