

SEPARAČNÉ PROCESY

DEFINÍCIA:

Separáčny proces je široký okruh operácií zahrňujúci vzájomné oddeľovanie jednotlivých fáz alebo zložiek, pričom sa využíva niektorá z rozdielnych fyzikálnych – chemických vlastností fáz alebo zložiek, tvoriacich sústavu.

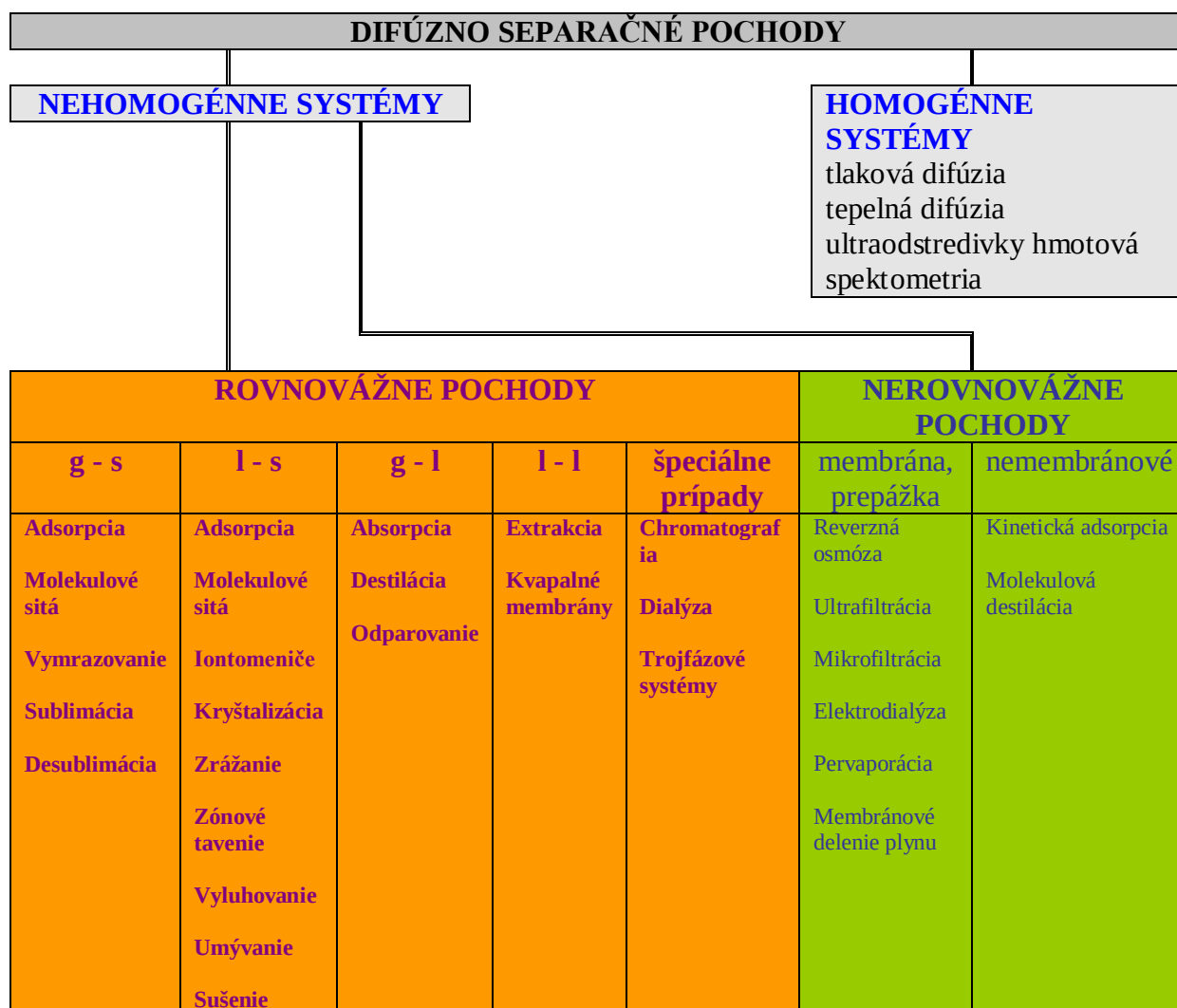
Sústava môže pozostávať z kvapalnej, plynnej alebo tuhej fázy, ich vzájomnej kombinácie, môže byť navzájom rozpustná, miešateľná alebo nemiešateľná. Podľa charakteru sústavy treba vybrať vhodný typ separačného procesu.

Separáčny proces sa používa pri separácii (oddeľovaní) žiadaných látok v homogénnych a heterogénnych látkových sústavách. Látkové sústavy sú väčšinou produktom látkovej premeny dosiahnutej chemickou alebo biochemickou reakciou v niektorom aparáte, alebo sa vyskytujú ako prírodný zdroj (vzduch, morská voda, nerastné ložiská). Ďalej sa využívajú pri čistení homogénnych alebo heterogénnych sústav, napr. odsiľovanie plynov zo spaľovania alebo čistenie vody.

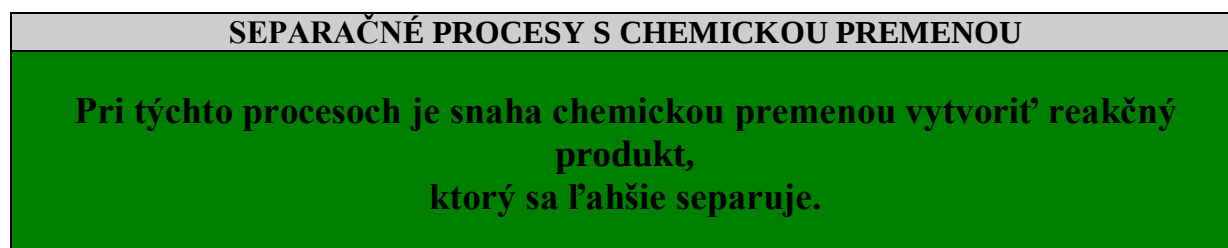
ROZDELENIE:

HYDRODYNAMICKÉ SEPARAČNÉ PROCESY		
FILTRÁCIA		PRANIE
LISOVANIE		ELEKTRICKÉ ODLUČOVAČE
SEDIMENTÁCIA		MAGNETICKÉ ODLUČOVAČE
ODSTREĐOVANIE		DEMISTRE
CYKLÓNY		EMULZNÁ SEPARÁCIA
FLOTÁCIA		VYTLAČOVANIE, LISOVANIE
		ROZDRUŽOVANIE PLAVENÍM

Obr. 1 Rozdelenie hydrodynamických separačných procesov.



Obr. 2 Rozdelenie difúzných separačných procesov.



Obr. 3 Separačné procesy s chemickou premenou.

FILTRÁCIA

DEFINÍCIA:

Filtrácia je jednotková operácia patriaca do triedy hydromechanických separačných operácií odlučovania tuhých častíc dispergovaných v tekutinách (najmä kvapalinách).

PRINCÍP PROCESU:

Podstata filtračnej separácie spočíva v oddelení tuhej dispergovanej fázy od spojitého prostredia tekutiny prostredníctvom filtračného materiálu (pórovitý papier, tkanina, sito,

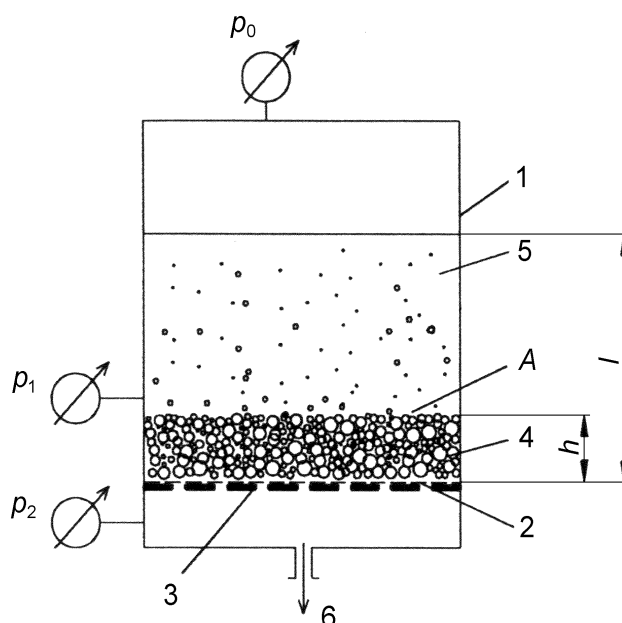
piesok, kremelina a pod.) umožňujúceho prietok tekutiny a zachytávanie dispergovaných častíc, ktorých rozmer je väčší ako rozmer pórov filtračného materiálu.

filtračný koláč

V priebehu filtrácie sa na filtračnej prepážke (filtračnom materiály) hromadí tuhá fáza vytvárajúca vrstvu častíc, nazývanú filtračný koláč. Počas tvorby filtračného koláča plní tento funkciu filtračného materiálu tým, že rozmer medzičasticových medzier v koláči je menší ako rozmer tuhých častíc suspenzie. Prietok tekutiny filtračným koláčom a filtračnou prepážkou sa riadi zákonitosťami hydrodynamiky toku tekutiny vrstvou zrnitého materiálu. Obsahuje aj malé množstvo tekutiny zadržanej v jeho medzerách mechanicky (kapilárnymi silami) a prípadne na povrchu častíc aj adsorpčnými silami.

filtrát

Je produktom procesu (separácie) a je to tekutina opúšťajúca filtračné zariadenie, zbavená tuhých častíc.



Obr.4 Princíp koláčovej filtrácie. 1.filter, 2.filtračná prepážka, 3.podporné dno, 4.filtračný koláč, 5.suspenzia zložená z kvapaliny a častíc, 6.filtrát, A - filtračná plocha, p_0 - tlak nad hladinou suspenzie, p_1 - tlak pred koláčom, p_2 - tlak za filtračnou prepážkou.

Na obr.4 je znázornené jednoduché filtračné zariadenie pozostávajúce z nádoby (1) (nádrže) s perforovaným dnom (3) (nosným roštom, hustým sitom), na ktorom sa nachádza filtračný materiál (2) (filtračná prepážka). V priemyselných filtračných zariadeniach sa ako filtračný materiál aplikuje sito, rôzne tkaniny, ale môže byť formovaný aj z pomocného filtračného prostriedku ako je piesok, kremelina, rôzne vlákna, aktívne uhlie, atď. V špeciálnych prípadoch sa ako filtračný materiál používa polopriepustná membrána naformovaná z makromolekulových alebo keramických materiálov. Na filtračnom materiály (2) je uložená vrstva zachytených častíc, filtračný koláč (4), ktorý sa postupne formuje z privádzanej suspenzie (5). Kvapalina, filtrát (6), pritom prechádza cez póry koláča a filtračný materiál vplyvom hnacej sily.

V laboratórnej technike najjednoduchšie filtračné zariadenie pozostáva z lievika, v ktorom filtračným materiálom je pórovitý materiál, filtračný papier alebo nejaký druh vlákien (vata).

HNACIA SILA:

Intenzita filtrácie je kvantifikovateľná priemernou rýchlosťou toku tekutiny vrstvou zrnitého materiálu. Hnacu silou toku tekutiny je diferencia hydrostatického tlaku tekutiny na hraniciach tejto vrstvy, ktorá prietoku tekutiny kladie odpor. Je to rozdiel tlakov pred filtračným koláčom p_1 a za filtračnou prepážkou p_2 (obr.4), ktorým sa prekonáva odpor filtračného koláča a filtračného materiálu.

Odpor filtračného materiálu proti prietoku kvapaliny je prakticky konštantný, kým odpor filtračného koláča sa zväčšuje s rastúcou jeho hrúbkou. Táto závislosť je lineárna, keď filtračný koláč (vrstva zachytených častíc) je nedeformovateľný, t.j. jeho štruktúra (medzerovitosť) nezávisí od aplikovaného filtračného tlaku.

Takto sa správajú filtračné koláče tlakom nedeformovateľné, formované z častíc, ktorých veľkosť a tvar sa s tlakom nemení. Vlákňité a elastické častice vytvárajú vrstvy, ktorých štruktúra (medzerovitosť) závisí od kontaktného tlaku; vytvárajú vrstvy, ktorých odpor proti prietoku kvapaliny nie je lineárnou funkciou hrúbky vrstvy. Tomuto, z hľadiska intenzifikácie filtrácie nepriaznivému efektu, je možné čiastočne predísť pridaním pevného zrnitého materiálu tvoreného z nedeformovateľných častíc (kremeliny) do filtrovanej suspenzie. Častice tohto materiálu vytvárajú v koláči skelet brániaci jeho deformácii od mechanického tlaku.

Hnaci silu filtrácie (diferenciu tlaku) je možné zabezpečiť rôznym spôsobom.

1. Hydrostatický tlak nad filtračnou prepážkou.

Ak nádrž znázornená na obr.4 je otvorená, pôsobí na hladinu suspenzie atmosferický tlak p_{atm} . Ak súčasne pod podporným dnom sa udržiava tiež atmosferický tlak, hnacia sila filtrácie je daná hydrostatickým tlakom (stĺpcom suspenzie, resp. kvapaliny l) nad filtračnou prepážkou:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (p_0 + \rho g l) - p_0 = \rho g l ; \quad p_0 = p_{atm} \quad (1)$$

2. Podtlak pod filtračnou prepážkou.

Zvýšenie hnacej sily sa dá dosiahnuť odsávaním filtrátu, t.j. vytvorením podtlaku (vákuu) na strane filtrátu ($p_2 < p_{atm}$). Nakoľko pri vákuovej filtrácii tlak p_2 sa môže iba priblížiť k nulovej hodnote ($p_2 > 0$), hnacia sila sa môže iba v limite priblížiť k hodnote:

$$\Delta p = p_0 + \rho g l \quad (2)$$

3. Pretlak nad filtračnou prepážkou.

Väčšiu hodnotu hnacej sily filtrácie a tým zvýšenie intenzity procesu separácie je možné dosiahnuť iba pri tlakovej filtrácii, t.j., keď na hladinu suspenzie pôsobí väčší tlak ako je tlak atmosferický ($p_0 > p_{atm}$). Príspevok hydraulického stĺpca kvapaliny sa na hodnote hnacej sily neuplatňuje, ak prívod suspenzie a aj odvod filtrátu sa vo filtračnom zariadení realizuje v horizontálnej rovine.

PRINCÍP VÝPOČTU:

Separáciu tuhých dispergovaných častíc zo suspenzie je možné filtráciou uskutočniť ako proces pretržitý v poloprietokovom systéme znázornenom na obr.4. Pretržitosť tohto procesu súvisí primárne s jednorázovosťou dávky suspenzie do systému. Avšak aj pri nepretržitom prívode suspenzie do systému je proces pretržitý, lebo ho treba prerušiť po dosiahnutí limitnej

akumulácie tuhej fázy v systéme. Limitné množstvo filtračného koláča je dané jednak geometrickým rozmerom zariadenia, jednak veľkosťou odporu proti prietoku tekutiny. Nepretržitosť procesu separácie fáz sa môže dosiahnuť iba v konštrukčne zložitejšom systéme, umožňujúcim nepretržité odstraňovanie filtračného koláča pri nepretržitom privode suspenzie a nepretržitom odvode filtrátu.

Tak v prípade prietokového, ako aj poloprietokového systému je možné intenzitu procesu filtrácie kvantifikovať fenomenologickým vzťahom, ktorý hovorí, že intenzita filtrácie je úmerná hnacej sile a nepriamo úmerná odporu.

Fyzikálny vzťah vystihujúci závislosť týchto veličín v tvare

$$u = K \frac{\Delta p}{\mu h} \quad (3)$$

sa v technickej literatúre uvádza ako Darcyho rovnica (zákon). D'Arcy ako prvý v roku 1830 v Dijone experimentálne meraním prietoku fontánovej vody vrstvou piesku rôznej hrúbky h zistil lineárnu závislosť priemernej rýchlosti toku filtrátu u od tlakovej diferencie Δp , ktorú je možné interpretovať ako hnaciu silu filtrácie, resp. ako stratu tlaku tekutiny prúdiacej vrstvou zrnitého materiálu. Z nepriamej úmernosti rýchlosti toku filtrátu od viskozity tekutiny vyplýva, že na odpore proti prietoku filtrátu sa podieľajú výlučne viskózne sily trenia, čo znamená, že tok tekutiny vrstvou je vtedy laminárny.

filtračná rýchlosť

Je to okamžitá priemerná rýchlosť toku filtrátu a je definovaná vzťahom

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

kde A je filtračná plocha - plošný obsah prierezu filtračným koláčom, orientovaného kolmo na smer toku tekutiny, dV je diferenciálny objem filtrátu získaný v diferenciálnom časovom intervale trvania filtrácie dt .

Ak objemový tok filtrátu je konštantný, t.j. v čase sa nemeniaci, je

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = konst \quad (5)$$

Táto podmienka je splnená v prietokových systémoch v ustálenom stave procesu, keď do systému sa nepretržite privádza suspenzia a z neho sa nepretržite odvádza filtrát a filtračný koláč (akumulácia tuhej fázy v systéme je nulová).

V poloprietokových systémoch, charakteristických akumuláciou filtračného koláča v systéme, je táto podmienka splnená iba pri neustálom zvyšovaní tlakovej diferencie Δp s narastajúcou hrúbkou filtračného koláča tak, že pomer $(\Delta p / h)$ je v priebehu filtrácie konštantný.

Z rovnice (3) vyplýva, že v poloprietokovom systéme pri konštantnej, v čase sa nemeniacej hnacej sile, rýchlosť filtrácie u klesá s narastajúcou hrúbkou filtračného koláča h .

Z tohoto hľadiska režim filtrácie v poloprietokových systémoch sa kvalifikuje ako:

1. filtrácia pri konštantnej rýchlosti u
2. filtrácia pri konštantnej hnacej sile Δp .

priepustnosť

Je to konštanta úmernosti K v rovnici (2.1) a je mierou priepustnosti filtračného koláča pre tok tekutiny, ktorú Kozeny vyjadril ako funkciu parametrov charakterizujúcich priepustnostné vlastnosti v tvare:

$$K = \frac{1}{k} \frac{\varepsilon^3}{S_v^2 (1 - \varepsilon)^2} \quad (6)$$

kde K je priepustnosť filtračného koláča, k - Kozenyho konštanta, S_v - špecifický povrch tuhých častíc koláča, ε - porozita, medzerovitosť filtračného koláča.

porozita (medzerovitosť)

Porozita filtračného koláča ε je definovaná ako pomer objemu pórov (medzičasticového priestoru) v koláči V_p k objemu filtračného koláča V_k

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_k} = \frac{V_k - V_t}{V_k} = 1 - \frac{V_t}{V_k} \quad (7)$$

kde V_t je objem tuhej fázy vo filtračnom koláči.

špecifický povrch tuhej častice

Špecifický povrch tuhej častice S_v je definovaný ako pomer povrchu tuhej častice a jej objemu. Pre guľovú tuhú časticu priemeru d_g potom platí:

$$S_v = \frac{\pi d_g^2}{\pi d_g^3 / 6} = \frac{6}{d_g} \quad (8)$$

Kozeny pri štúdiu toku tekutiny vrstvou zrnitého materiálu vytvorenou guľovými časticami rovnakého priemeru d_g v najvoľnejšom usporiadaní, keď porozita koláča je $\varepsilon = 1 - \pi / 6 = 0,4762$, stanovil, že $k = 5$.

Pri modelovej predstave medzičasticového priestoru vo filtračnom koláči, ako súboru kapilár, Kozenyho konštantu môžeme vyjadriť súčinom $k = k_0 \cdot T$, kde k_0 je t. zv. tvarový faktor prierezu kapiláry a T je kľukatosť dráhy kvapaliny tečúcej kapilármi. Pre kapiláry kruhového prierezu je $k_0 = 1/0,5 = 2$, pre kapiláry štvorcového prierezu je $k_0 = 1/0,567$, pre kapiláry trojuholníkového prierezu je $k_0 = 1/0,597$, pre úzku štrbinu je $k_0 = 1/0,667$. Kľukatosť kapilár (tortuozita) je daná vzťahom $T = (L/h)^2$, kde L je priemerná dĺžka dráhy kvapaliny pri prietoku koláčom hrúbky h . Ak v tejto modelovej predstave sa predpokladá, že kapiláry sú navzájom rovnobežné a orientované kolmo na povrch filtračného koláča, je $L = h$ a $T = 1$. Ak kapiláry sú kľukaté, potom je $L > h$ a $T > 1$. Pre vrstvy zrnitých materiálov sa uvádza empirický vzťah $T = (0,9/\varepsilon^{1,3})^2$.

špecifický odpor filtračného koláča

Štruktúra filtračného koláča je zložitá, závisí od tvaru a veľkosti dispergovaných častíc (od granulometrického zloženia častíc v suspenzii) a od spôsobu ich ukladania sa vo vrstve. Vo všeobecnosti, určovanie hodnoty priepustnosti K výpočtom, na základe uvedených vzťahov,

je problematická. Z tohoto dôvodu sa definuje špecifický odpor filtračného koláča α ako prevrátená hodnota priepustnosti (permeability) filtračného koláča:

$$\alpha = \frac{1}{K} \quad (9)$$

Číselná hodnota veličiny α sa stanovuje experimentálne na laboratórnom alebo poloprevádzkovom filtri. Rozmer špecifického odporu filtračného koláča α je m^{-2} a vyplýva z rovnice (3) a i z rovnice (6):

$$\alpha = \frac{k S_v^2 (1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad (10)$$

merný objem filtračného koláča

Ak sa definuje veličina v pomocou objemu filtračného koláča V_k a odpovedajúceho objemu filtrátu V :

$$v = \frac{V_k}{V} = \frac{hA}{V} \quad (11)$$

získa sa merný objem filtračného koláča a z neho potom je jeho výška:

$$h = v \frac{V}{A} \quad (12)$$

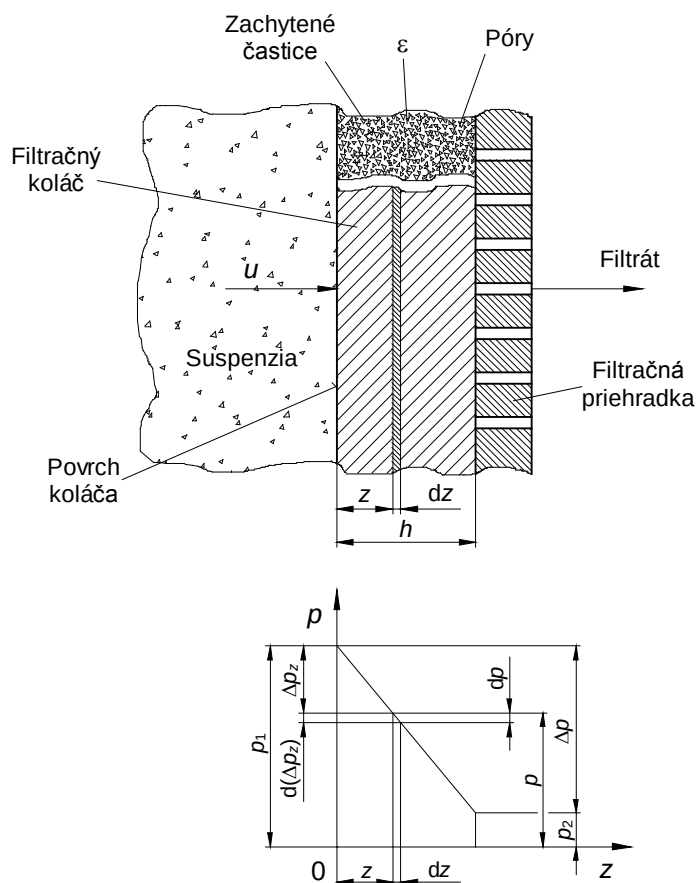
rovnica filtračnej rýchlosti

Kombináciou rovnice (3) so vzťahom (6) sa získa rovnica filtračnej rýchlosti v tvare

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\varepsilon^3}{k S_v^2 (1 - \varepsilon)^2} \frac{\Delta p}{\mu h} \quad (13)$$

v literatúre označovaná ako Carmanova- Kozenyho rovnica. Ak sa do tejto rovnice dosadí $k=5$ a vzťah (8), Carmanova - Kozenyho rovnica bude mať tvar:

$$u = \frac{\varepsilon^3}{180 (1 - \varepsilon)^2} \cdot \frac{d_g^2 \Delta p}{\mu h} \quad (14)$$



Obr. 5 Lineárny priebeh tlaku v nedeformovateľnom filtračnom koláči počas filtrácie.

Využitím rovnice (9) v Darcyho rovnici (3) pre diferenciálnu hrúbku filtračného koláča dz v mieste z nadobúda tvar

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\alpha \mu} \cdot \left(- \frac{dp}{dz} \right) \quad (15)$$

Záporné znamienko v tomto vzťahu súvisí s tým, že v smere toku tekutiny s rastúcou hodnotou súradnice z hydrostatický tlak kvapaliny klesá.

Ak filtračný koláč je nedeformovateľný (α nie je funkciou kontaktného tlaku), špecifický odpor filtračného koláča sa nemení, $\alpha = \text{konst}$ a ak v priebehu filtrácie sa dynamická viskozita kvapaliny nemení (teplota je konštantná), separáciou premenných a integráciou rovnice (15) sa získa tvar

$$- \int_{p_1}^{p_2} dp = \frac{\alpha \mu}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \int_{z_1}^{z_2} dz \quad (16)$$

Zmenou hraníc integrálu na ľavej strane (16), po integrácii a úprave

$$\frac{p_1 - p_2}{z_1 - z_2} = \frac{\Delta p}{h} = \text{konst} ; \text{ pričom platí } (p_1 > p_2 ; z_2 > z_1) \quad (17)$$

Znamená to, že strata tlaku tekutiny pri jej prietoku vrstvou lineárne rastie s narastajúcou hrúbkou filtračného koláča, obr.5.

Pre nestlačiteľné koláče má rovnica pre rýchlosť filtrácie potom tvar

$$u = \frac{dV}{A dt} = \frac{\Delta p}{\alpha \mu h} \quad (18)$$

Súčinnom (αh) je definovaný okamžitý odpor filtračného koláča R_k :

$$R_k = \alpha \cdot h \quad (19)$$

ktorý má rozmer $[m^{-1}]$. Okamžitá rýchlosť filtrácie je potom daná aj rovnicou

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu R_k} \quad (20)$$

kde Δp je strata tlaku pri danej hrúbke filtračného koláča h .

Z rovnice (18) vidieť, že rýchlosť filtrácie sa môže zvýšiť nielen zvýšením hnacej sily, ale aj znížením viskozity kvapaliny, napr. zvýšením teploty, resp. jej zmiešaním s tekutinou nižšej viskozity.

rovnica filtračnej rýchlosti pre súčasný tok kvapaliny cez filtračný koláč a filtračnú prepážku

V doterajších úvahách bol analyzovaný iba odpor filtračného koláča R_k . Proti prietoku kvapaliny filtračným zariadením pôsobí:

- odpor filtračného koláča R_k
- odpor filtračnej prepážky R_m .

Tieto dva odpory sa nachádzajú v sérii (za sebou) v smere toku tekutiny, takže

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu R} \quad (21)$$

kde Δp je celková strata tlaku daná súčtom straty tlaku na koláči Δp_k a na filtračnom materiáli

- filtračnej prepážke Δp_m :

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_m \quad (22)$$

a R je celkový odpor proti toku tekutiny a je daný súčtom odporu koláča R_k a odporu filtračnej prepážky R_m :

$$R = R_k + R_m \quad (23)$$

pričom pre koláč je:

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_k}{\mu R_k} ; \text{ a z toho } \Delta p_k = u \mu R_k \quad (24)$$

a pre filtračnú prepážku je:

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_m}{\mu R_m} ; \text{ a z toho } \Delta p_m = u \mu R_m \quad (25)$$

Nakoľko rýchlosť u cez filtračný koláč a filtračnú prepážku sú zhodné, potom dosadením (24) a (25) do (22) a úpravou dostaneme

$$\Delta p = u \mu (R_k + R_m) = u \mu R \quad (26)$$

Z tejto rovnice úpravou získame:

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu R} = \frac{\Delta p}{\mu (R_k + R_m)} \quad (27)$$

V priebehu filtrácie odpor filtračného koláča R_k rastie s hrúbkou filtračného koláča h . Odpor filtračnej prepážky R_m je v priebehu filtrácie obvyčajne konštantný.

Experimenty ukazujú, že tok kvapaliny cez filtračnú prepážku v laminárnej oblasti je priamoúmerný tlakovej diferencii. Odpor filtračnej prepážky pri filtrácii je vyšší než samotnej čistej filtračnej prepážky pred filtráciou. Takto odpor sa skladá nielen z odporu samotnej filtračnej prepážky, ale aj z odporu počiatočnej vrstvy uložených častíc, ktoré majú tendenciu blokovat póry filtračnej prepážky a zvyšovať jej celkový odpor.

Ak sa odpor filtračného koláča vyjadrí v súhlase s rovnicou (19) vzťahom

$$R_k = \alpha h \quad (28)$$

Ak odpor filtračnej prepážky zostane pôvodne vyjadrený ako R_m získa sa rovnica

$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu(\alpha h + R_m)} \quad (29)$$

základná rovnica filtrácie.

Rýchlostná rovnica filtrácie, ktorá je odvodená na základe predchádzajúcich vzťahov, nadobudne tvar:

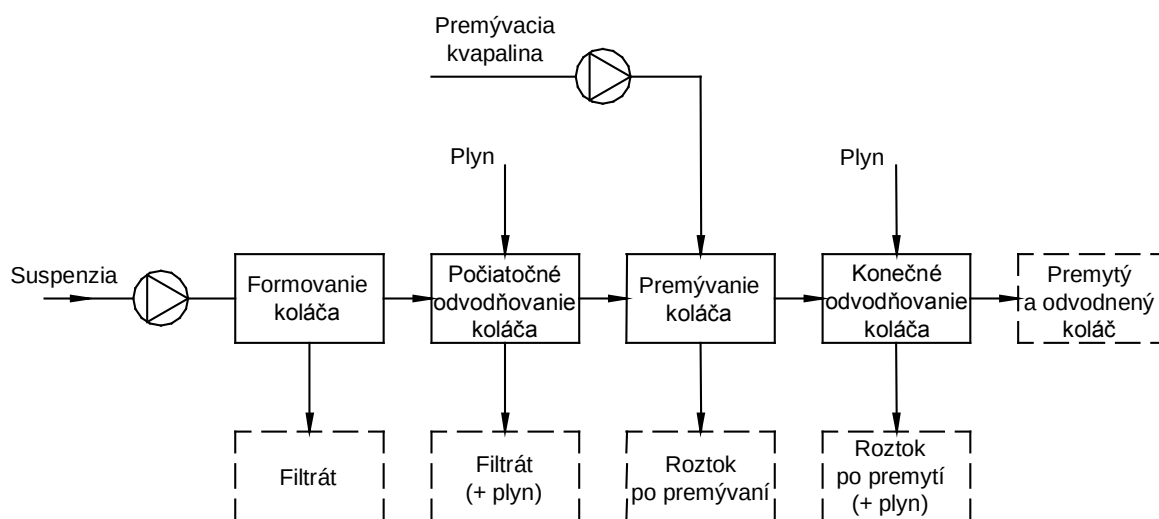
$$u = \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu \left[\alpha (V/A) + R_m \right]} \quad (30)$$

je základnou rovnicou filtrácie.

FILTRAČNÝ CYKLUS

Pod filtračným cyklom sa rozumie časový sled jednotlivých operácií, ktoré sa vykonávajú počas formovania koláča vo filtračnom zariadení. Cyklus sa začína vlastnou filtráciou a končí sa snímaním (vyprázdňovaním) a dopravovaním koláča mimo dosah filtračného zariadenia.

Obr.6 predstavuje blokovú schému možného poradia operácií realizovaných na filtri.



Obr. 6 Bloková schéma možného poradia rôznych operácií vo filtri.

hlavné štádia koláčovej filtrácie

Počiatočné premost'ovanie jednotlivých povrchových pórov filtračnej priehradky časticami zo suspenzie a formovanie prvých vrstiev filtračného koláča. Toto počiatočné štádium je veľmi dôležité, lebo od neho závisí odpor filtračnej priehradky a môže ovplyvniť výkonnosť filtračnej operácie. Pri prudkom náraste filtračného tlaku môžu jemné častice prenikať do pórov vnútornej štruktúry filtračnej priehradky a podstatne zvyšovať odpor proti toku kvapaliny. Z toho dôvodu je vhodné, aby tlak v začiatkovom štádiu vzrastal mierne.

A) **formovanie koláča** a filtrácia charakterizovaná kontinuálnym narastaním hrúbky a tokom kvapaliny cez koláč a filtračnú priehradku

B) **počiatočné odvodňovanie** sa v mnohých prípadoch sa môže realizovať vo filtri odvodňovanie lisovaním, mechanickou kompresiou naformovaného deformovateľného koláča, vytesňovanie kvapaliny z koláča vzduchom alebo iným inertným plynom až po okamih, kým sa najväčšie póry v koláči neotvorí

C) **premývaním** nafiltrovaného koláča pred jeho odstránením z filtra, získať späť z neho cenné rozpustené zložky z matečného roztoku nachádzajúceho sa v póroch alebo odstrániť z pórov koláča roztok ako nečistotu, rozpustené zložky z pórov koláča môžu byť spätne získané prostredníctvom premývacej kvapaliny a recyklované do technologického procesu

D) **odvodňovanie**, odstraňovanie kvapaliny (vlhkosti) prefukovaním koláča po prekonaní kapilárneho tlaku

Ako je uvedené v predchádzajúcom, podľa filtračnej situácie, separácia na filtri môže pozostávať z viacerých operácií a filter musí byť vybavený pracovnými prvkami na realizovanie požadovaných operácií.

Takýto sled operácií môžeme sledovať na diskontinuálnom (napr. na kalolise) alebo na kontinuálnom (napr. na bubnovom filtri) filtračnom zariadení. Jednotlivé pracovné operácie, ktoré sa vykonávajú v príslušných zónach filtra, resp. filtračného zariadenia, sú predstavené schematicky na vákuovom rotačnom bubnovom filtri, obr. 17.

APARÁTY:

filtračné prepážky

Filtračná prepážka (priehradka) je pórovitý materiál, na ktorom, resp. v ktorom sa zachytávajú častice počas filtračného procesu.

Z definície filtrácie vyplýva, že filtračná prepážka (priehradka) má oddeliť častice (tuhú fázu) suspenzie od kvapaliny a je nosníkom tvoriaceho sa filtračného koláča. Častice väčšie než priemery kanálikov priehradky sú zachytávané na nej sitovým (cediacim) mechanizmom. Menšie častice môžu, ale nemusia sa zachytiť. Závisí to od toho, či okrem sitového efektu sa uplatňujú aj iné zachytávacie mechanizmy ako napríklad elektrické efekty, povrchové mechanizmy a pod.

vlastnosti filtračných prepážok

Filtračné médium – prepážka (priehradka) je charakterizovaná jej filtračnými vlastnosťami, predovšetkým priepustnosťou tekutiny a nepriepustnosťou tuhej fázy (častíc).

Prepážka môže byť zhotovená z prírodných alebo syntetických materiálov, z kovu, keramiky, textilné tkaniny alebo papiera. Pre určitý druh filtračného zariadenia a filtrovanej zmesi sú vhodné len určité druhy filtračných prepážok. Musia mať pre daný systém unikátne (požadované) vlastnosti a to z rôznych hľadísk, ktoré môžu byť rozdelené do troch kategórií

A) Mechanické vlastnosti rozhodujúce pre strojovú výrobu prepážky a jej aplikovateľnosť v určitom konštrukčnom type filtra.

Tuhosť

je primárnym kritériom možnej kompatibility filtračného média so špecifickým typom filtra. Je charakterizovaná modulom pružnosti. Papier a textilné materiály sa charakterizujú napr. tržnou dĺžkou naprieč a pozdĺž a pod.

Pevnosť

materiálu vo všeobecnosti je charakteristikou závislosti napätia od deformácie. Hlavnými parametrami sú medza pevnosti, medza pružnosti a pod. Niektoré tieto parametre sa využívajú na charakterizovanie fritových materiálov z kovových práškov alebo z vlákien, tkaných sít z drôtov a pod.

B) Aplikačné vlastnosti rozhodujúce o jej použiteľnosti pri spracovávaní substrátov špecifických chemických, biochemických a fyzikálnych vlastností. Sem patria aj vlastnosti vyžadované ekologickými a zdravotníckymi normami a v neposlednej miere aj cena.

Chemická, tepelná a biologická stabilita

sú vlastnosti, ktoré musia byť splnené s ohľadom na chemické zloženie filtrovanej suspenzie. Niektoré materiály je možné použiť len pri nízkych, iné druhy aj pri vyšších teplotách. Prírodné materiály ako je bavlna sú menej odolné voči biodegradovaniu v porovnaní s väčšinou syntetických materiálov.

Dynamickú stabilitu

filtračného materiálu sa hodnotí, či jeho časť nemigruje z prepážky do filtrátu (napr. pri filtračných vrstvách vyrobených papierenskou technológiou) v závislosti od času a či a ako sa menia filtračné vlastnosti prepážky v závislosti od času, atď.

Absorpčné a adsorpčné charakteristiky

sú dôležité vtedy, keď sa žiada alebo je nežiaduci niektorý z týchto procesov. Napr. na, resp. v celulóзовých vláknach sa môže absorbovať voda, čím sa môže významne znížiť priepustnosť a porozita v dôsledku napučania vlákien. Naproti tomu adsorpčná schopnosť priehradky je žiaduca, keď sa z roztoku má oddeliť niektorá jeho zložka.

Zmáčateľnosť

povrchu filtračnej prepážky závisí od medzifázového napätia. Z tohto hľadiska sú priehradky hydrofóbne alebo hydrofilné. Hydrofóbny materiál sa vodou nezmáča, avšak je zmáčateľný alkoholom, napríklad teflón - PTFE. Pri PTFE je obvyčajne potrebný vysoký tlak na počiatkový prienik kvapaliny. Či sa zmáča alebo nie môže dať odpoveď hodnota povrchového napätia medzi kvapalinou, PTFE a vzduchom. Povrchové napätie sa môže meniť, keď na povrchu alebo v kvapaline sú zložky, ktoré jeho hodnotu menia.

Zdravotné a bezpečnostné aspekty

sa berú do úvahy vtedy, keď by mohlo dôjsť k výbuchu vplyvom generovaných elektrostatických napätí alebo kritickej koncentrácie prachu v pracovnom priestore vzduchového filtra. Menšie problémy sú pri elektricky vodivých kvapalinách. Avšak pri rozpúšťadlách alebo filtrácii uhl'ovodíkov, ktoré majú nízku elektrickú vodivosť, musí sa zväžiť voľba materiálu filtračnej prepážky.

Tabuľka 1. Najmenšie častice x_{min} zachytené filtračnou prepážkou určitého druhu.

Hlavná kategória	Druhy filtračných prepážok	x_{min} [μm]
Pevné prepážky	a) ploché roštové sitá b) drôtené navíjané na rúrku c) krúžky ukladané na seba	100 10 5
Kovové dierované rošty a sitá	a) perforované rošty b) sitá tkané z drôtov	20 5
Tuhé porózne prepážky	a) keramické a z kameniny b) uhlíkové c) z plastov d) spekané (sintrované) z kovu - frity	1 1 10 5
Vložky (cartridges)	a) vinuté z vlákien a z vlákňových povrazcov b) zo spojovaných vlákien a vrstiev (termicky, živickou) c) z viacerých druhov vrstiev	5 5 3
Ploché z plastov	a) sitá tkané z monofilu a multifilov b) porózne materiály c) membrány	10 10 < 0,1
Membrány	a) keramické b) kovové c) z polymérov	0,2 0,2 < 0,1
Tkaniny	a) plachietky tkané zo spriadanej striže b) mono alebo multifilové plachietky	5 10
Netkané média	a) filtračné hárky - vrstvy b) netkané plste a plste vyrobené vpichovanou technikou (ihlou) c) papiere na báze: celulóзовých vlákien a sklených vlákien d) polymérne netkané plste (typu „melt blown“ - fúkaním taveniny, „spun bonded“ - pradený a spojovaný priamo z taveniny)	0,5 10 5 2 a menej 10
Voľné média	a) vlákna b) prášky	1 < 0,1

C) **Procesové charakteristiky** rozhodujúce o priebehu filtračnej separácie fáz suspenzie ako je priepustnosť, odpor proti toku, medzerovitost' – porozita, veľkosť pórov, kalová kapacita, blokovanie pórov, snímanie filtračného koláča a pod.

Filtračné mechanizmy.

Pri filtrácii na, resp. vo filtračných prepážkach môžu sa vyskytovať štyri filtračné mechanizmy.

A) povrchová filtrácia

Sitový efekt, cedenie na povrchu (straining). Častice tým, že majú väčší rozmer než otvory (póry) vo filtračnom médiu, sú zachytávané na povrchu filtračného média - obr.7 a).

b) cedenie v hĺbke

Sitový efekt vo vnútri filtračnej prepážky - obr.7 b).

c) hĺbková filtrácia

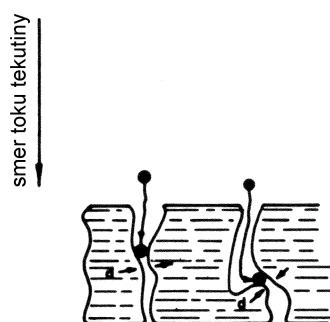
Častice sú zachytávané v hĺbke filtračnej prepážky v póroch väčších ako sú rozmery častíc a to priamym kontaktom, inerčným mechanizmom, difúziou, elektrickým a adsorpčným mechanizmom, obr.7 c).

d) koláčová filtrácia

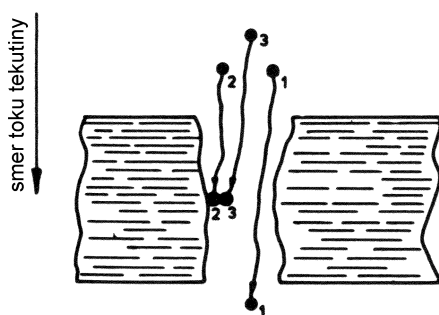
Tenka vrstva častíc sa akumuluje na povrchu filtračnej prepážky. Ak častice sú väčšie ako je rozmer pórov, vytvára sa koláč mechanizmom povrchového cedenia (sitovým efektom). Pri koláčovej filtrácii vo filtrovanej suspenzii sa často vyskytujú aj častice menšie než rozmery pórov (napr. len 1/8 rozmeru póru), zvlášť, ak suspenzia je relatívne koncentrovaná (> 2 % hm.), v počiatočnej perióde sa tvoria z takýchto častíc nad povrchovými pórmí mostíky a tak sa postupne formuje koláč, obr. 7b).



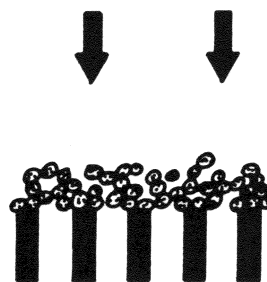
a) sitový efekt, povrchová filtrácia, cedenie na povrchu



b) cedenie v hĺbke



c) mechanizmy hĺbkovej filtrácie



d) koláčová filtrácia, tvorba mostíkov

Obr. 7 Filtračné mechanizmy pri filtrácii na, resp. vo filtračných prepážkach.

Tuhé porózne prepážky

Keramické, z kameniny, zo skla.

Je to starý a veľmi rozšírený druh filtračných prepážok. Sú odolné voči mnohým chemickým vplyvom a sú vhodné pre vyššie teploty. Prepážky z kameniny sa vyrábajú z určitých druhov kaolínov obsahujúcich kremeň (SiO_2). Keramické materiály sa vyrábajú z práškov obsahujúcich hliník (napr. Al_2O_3 a pod.). Oba druhy sa vyrábajú z práškov a vypaľujú sa

v peci pri teplote okolo 1 400 °C. Môžu mať funkciu podpornú - vtedy majú otvory až okolo 6 mm a vlastná filtračná prepážka môže mať rôzne rozmery pórov (od 1 do 2500 µm) a rôzne hrúbky. Sú buď plochého typu alebo valcového tvaru. V súčasnosti sa často používajú na filtráciu plynov a kvapalín pri vyšších teplotách.

Sklenené frity

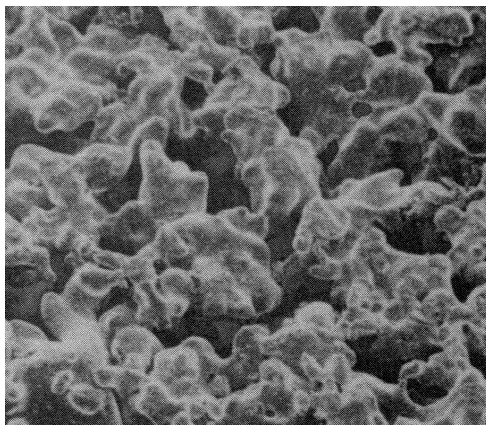
Vyrábajú sa z chemicky a tepelne odolnej skloviny (napr. Simax, Kavalier, Sázava). Frity sa môžu zahriať na maximálnu teplotu 530 °C len pomaly a pomalé musí byť tiež ochladzovanie.

Spekané z kovových práškov, z vlákien a sít

Nachádzajú široké uplatnenie v chemickom a potravinárskom priemysle, ale i v iných oblastiach priemyslu na filtráciu kvapalín a plynov a na dispergovanie plynov do kvapalín (napr. pri flotácii, fluidizácii a pod).

Sintrované kovové prášky.

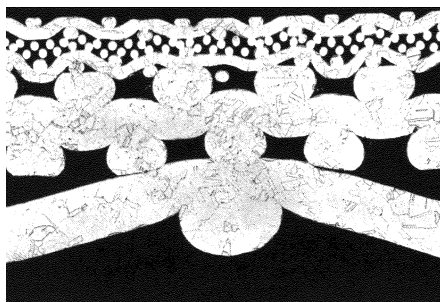
Východiskovým materiálom sú kovové prášky s tvarom guľičky alebo podobné guľke s hladkým povrchom, ale tiež i z práškov zrnitého tvaru v rozsahu 0,5 - 100 µm (obr. 8). Prášky sa získavajú práškovou metalurgiou (napr. rozstrekovaním kovu v inertnej atmosfére a potom jemným mletím). Najčastejšie sa používajú prášky z „nehrdzavejúcich“ ocelí, z bronzu, z mosadze, niklu, monelu, striebra, titanu a tiež z karbidov ťažkých kovov. Prášky sa sintrujú (spekajú) po predchádzajúcom zlisovaní. Malé plochy sa lisujú vo formách. Veľké plochy sa vyrábajú tak, že prášok môže byť unášaný na podložke do valcového lisu a potom spekaný v peci (kontinuálna výroba).



Obr. 8 Mikrofotografia sintrovaného kovového prášku.

Sintrované kovové vlákna.

Tieto druhy filtračných prepážok sa vyrábajú z dlhých jemných vlákien rôzneho priemeru. Charakteristická je ich vysoká porozita, nízky odpor proti toku a vysoká kalová kapacita a to zvlášť pre druhy s gradientovou štruktúrou (narastajúcim rozmerom pórov po hrúbke). Štandardný materiál vlákien je oceľ AISI 316L.



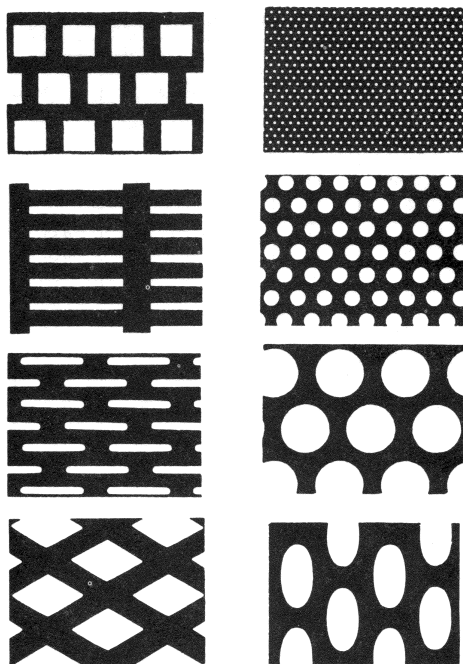
Obr.9 POROPLATE - zlisované a difúzne spojené sitá s rôznymi rozmermi oka.

Kompozitné sintrované kovové média.

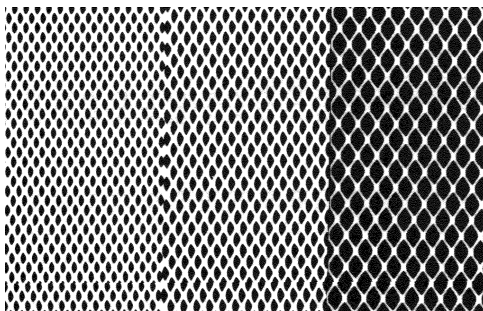
Sú vyrábané skladaním viacerých druhov tkaných sít s rôznymi otvormi oka (obr. 9) a niekedy filtračnú vrstvu môže tvoriť i fritá z práškov (kompozitné viacvrstvové sintrované materiály). Takéto materiály majú vysokú pevnosť a využívajú sa na filtráciu viskózných polymérov pri veľkom rozdieli tlakov.

Dierované prepážky z kovu

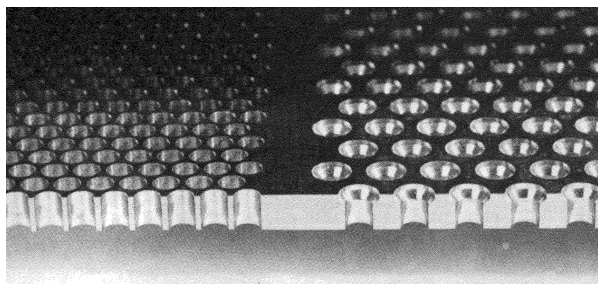
Dierované prepážky môžu mať rôzne veľkosti a tvary otvorov: (kruhové, obdĺžnikové a iné). Na výrobu sa používa rôzna technika. Väčšie otvory sa vylisovávajú raziacimi trnmi do plechu rôznej hrúbky, obr. 10 a potom sa môžu otvory i tvarovať expandovaním, obr. 11.



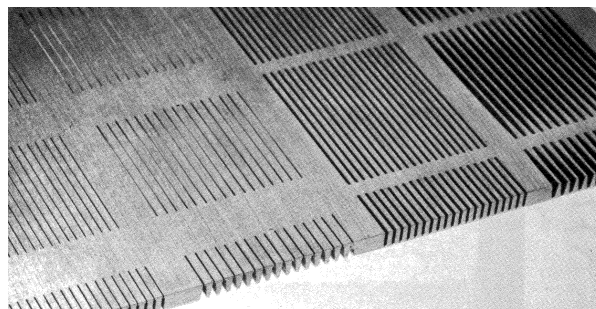
Obr. 10 Štandardné tvary vyseknutých otvorov v kovových plechoch.



Obr. 11 Príklad expandovaných otvorov v kovových plechoch.



Obr. 12 Dosky s vŕtanými otvormi.

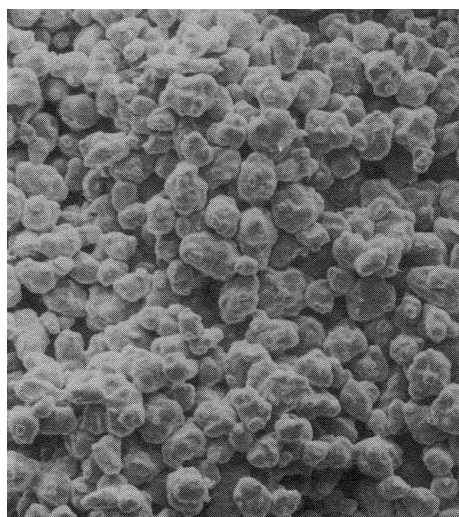


Obr. 13 Dosky s frézovanými otvormi.

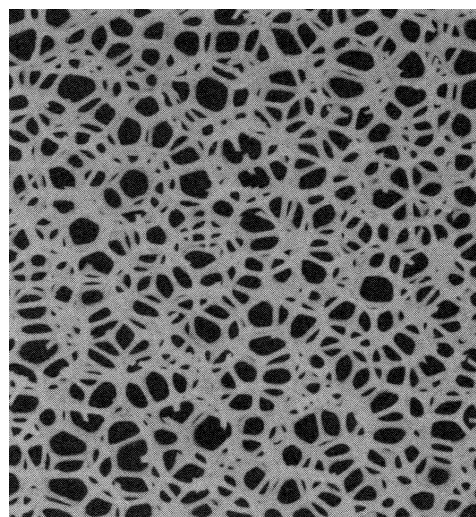
Takéto prepážky sa používajú ako podpora pod filtračnú prepážku, resp. pod sito. Menšie otvory sa lisujú do tenších plechov. Ďalšou technikou je trieskové obrábanie vŕtaním a frézovaním, obr. 12 a obr. 13. Rozmery kruhových otvorov sa dosahujú od 3,5 mm do 20 μm vo fóliách hrúbky od 0,5 mm do 80 μm . Obdĺžnikové otvory 1,00x4,35 mm na niklovej fólii hrúbky 0,14 mm, až 0,04x1,10 mm na fólii 0,16 mm hrubej. Moderný spôsob výroby štrbinových prepážok je laserovou technikou. Šírka štrbiny môže byť od 40 do 200 μm pri použití fólie hrúbky 200 μm .

Porózne prepážky z plastov

Do tejto kategórie zahrňujeme porózne frity a hárky z plastov. Využívanie plastov na výrobu filtračných prepážok je značne rozšírené a vyvíjajú sa neustále nové druhy filtračných prepážok. Ako materiály sa využívajú PVC, polyuretán, polyetylén, polypropylén, polyamid (nylón), teflón (PTFE), PVDF a iné druhy plastov, z ktorých sa vyrábajú rôzne porózne dosky, disky, rúrky a mnoho druhov tvarovaných vložiek rôznej hrúbky a filtračnej plochy. Rozmer pórov je od veľmi veľkých až po veľmi malé - okolo 1 μm , prípadne i menej.



Obr. 14 Mikroštruktúra porózneho sintrovaného materiálu z práškov – FILTROPLAST.



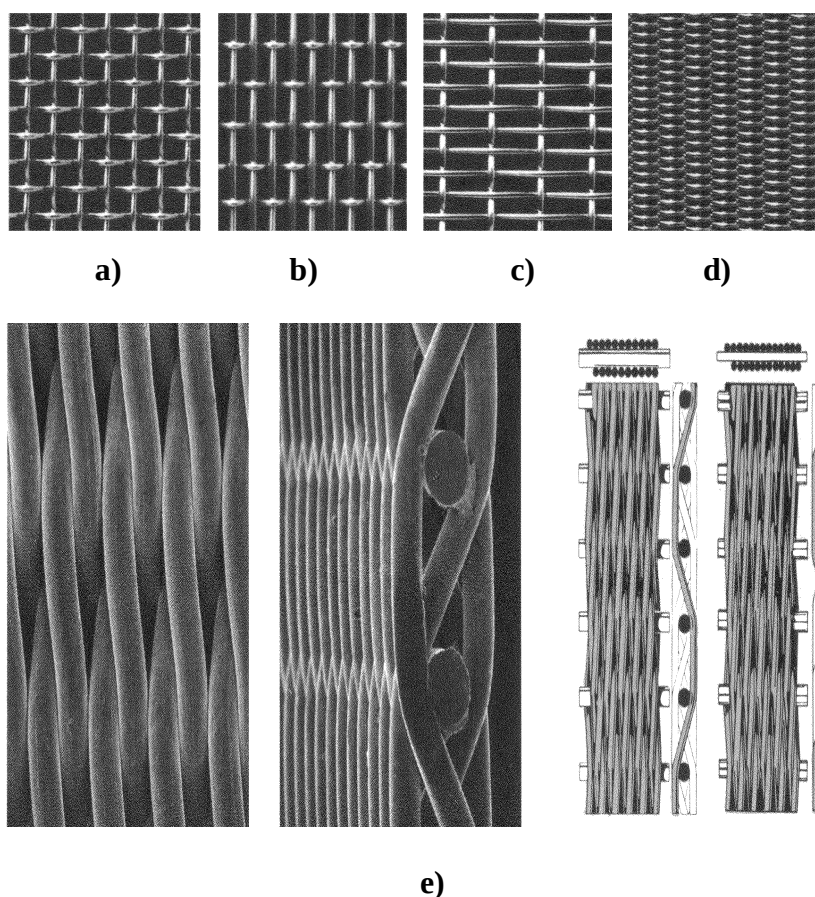
Obr. 15 Fotografia štruktúry napeňovaného materiálu - Scott.

Materiály sa vyrábajú termickým natavovaním práškov, obr. 14, alebo napeňovacou technikou, obr. 15, ktorých výsledkom je porózny priepustný materiál (napr. polyuretanová pena), ktorý má spojité kanálky voľne pre tok. Vyrábajú sa bloky s hrúbkou od 3 do 200 mm

a rozmer panelov je 2x1 m. Porozita dosahuje hodnotu až 97 %. Nominálny rozmer pórov je od 10 do 80 μm .

Tkané kovové sitá

Tkané sitá sú široko používané prepážky a vyrábajú sa z rôznych druhov drôtov, drôťkov a kovových vlákien, monofilov (samostatných drôťkov) i multifilov (drôťového lanka, resp. vláknových povrazcov). Najčastejšie používaný materiál je ušľachtilá oceľ (triedy 17, resp. AISI 304 alebo 314L), farebné kovy, atď.



Obr. 16 Základné druhy tkania kovových sít. a) so štvorcovými okami, b) a c) s obdĺžnikovými okami, d) plátnová väzba s „nulovými otvormi“, e) sito DTW s keprovou väzbou.

Filtračný papier

Filtračné papiere majú vo filtračnej technike široké uplatnenie. Vyrábajú sa papierenským spôsobom. V súčasnosti moderné technológie na výrobu filtračných papierov využívajú vlákna celulóзовé (buničinové), sklené vlákna, kovové vlákna, syntetické vlákna a pod.

Papiere z celulózy majú nižšiu kalovú kapacitu než vrstvy zo sklených vlákien. Napriek tomu, najdôležitejšie aplikácie filtrácie kvapalín v priemysle našli celulóзовé papiere, ktoré majú lepšie mechanické vlastnosti.

filtračné prepážky zo sklených vlákien.

Priemer používaných vlákien je okolo 0,1 až 0,5 μm . Takéto papiere sa viac využívajú v laboratórnych podmienkach. Najväčšie využitie však sklené filtračné papiere majú pri

vysoko účinnej filtrácii vzduchu, ktorá sa môže dosiahnuť vďaka malým priemerom vlákien. Dôležitý rozdiel medzi celulózovým a skleným papierom je v tom, že celulózový papier vo vode nabobtnáva a sklený nie. U sklených papierov filtračná rýchlosť je vyššia než u pevnejších celulózových papierov a tiež sa dosahuje vyššia účinnosť odlučovania častíc než u celulózových.

filtrácia s pomocným filtračným prostriedkom

Pomocným filtračným prostriedkom sa nazýva jemnozrnný materiál, ktorého častice sú nedeformovateľné (alebo len veľmi málo). Pridáva sa do suspenzie v malých množstvách. Primárnym účelom použitia pomocného filtračného materiálu je tvorba filtračného koláča s tuhšou, nedeformovateľnou štruktúrou. Navyše, pri filtrácii kalov upchávajúcich hustý koláč s malou medzerovitosťou, zabezpečuje pomocný filtračný materiál tvorbu koláča s väčšou medzerovitosťou a tým aj väčšou priepustnosťou. Aplikácia pomocného filtračného materiálu je vhodná najmä vtedy, keď tuhá fáza suspenzie má charakter odpadu.

Sekundárnym efektom je prípadná adsorpčná schopnosť pomocného média. Touto vlastnosťou sa vyznačujú tuhé adsorbenty (aktívne uhlie, hlinky, kremelina a pod). Sú to tuhé práškovité (granulované) materiály vyznačujúce sa vnútornou pórovitosťou (veľkou plochou vnútorného povrchu). Majú schopnosť na vnútornom povrchu adsorbovať častice suspenzie, ktorých priemer je menší ako priemer pórov adsorbenta, čím sa zabraňuje ich prieniku do filtrátu. Väčšie častice suspenzie sa akumulujú na vonkajšom povrchu častíc adsorbenta a vytvárajú sa tak agregáty väčších rozmerov, ktoré nemôžu preniknúť cez filtračnú priehradku a formujú koláč s voľnejšou štruktúrou (medzerovitosťou).

Pomocné filtračné prostriedky s adsorpčnými vlastnosťami majú schopnosť zachytiť aj látky rozpustené v kvapalnej fáze spôsobujúce jej zafarbenie, zápach, resp. látky kvalifikované ako škodliviny z hľadiska ekologického, alebo z aspektu humánnej medicíny.

Do kategórie pomocných filtračných prostriedkov patria aj látky rozpustné v kvapalnej fáze suspenzie pridávané v snahe vyvolať koaguláciu jemných častíc suspenzie, resp. zníženie viskozity tekutiny. Koaguláciou vznikajú zhluky častíc väčších rozmerov, znemožňujúcich ich prienik do filtrátu.

V literatúre sa uvádza, že optimálna hmotnostná koncentrácia pomocného filtračného prostriedku sa pohybuje od 0,05 do 0,5 % hm.

V praxi sa bežne aplikujú tri spôsoby filtrácie s tuhým pomocným filtračným prostriedkom.

Pridávanie pomocného filtračného prostriedku do filtrovanej suspenzie

Pomocný filtračný prostriedok sa pridáva do suspenzie ešte pred vstupom do filtračného zariadenia. Už v priebehu homogenizácie miešaním prebiehajú separačné deje, ak pridávaný materiál má adsorpčné vlastnosti. Ak pomocné médium tieto vlastnosti nemá, slúži iba k vystuženiu filtračného koláča a potlačeniu jeho deformovateľnosti. Ak takéto vlastnosti má, potom zabezpečuje zachytávanie jemných častíc suspenzie vo filtračnom koláči, znižuje ich koncentráciu v kvapaline prúdiacej filtračnou priehradkou, znižuje jej zanášanie hĺbkovou filtráciou a minimalizuje prienik do filtrátu.

Naplavovanie pomocného filtračného materiálu na filtračnú priehradku

Filtračná priehradka sa môže pripraviť aj naplavením pomocného filtračného materiálu na nosné dno filtra (sito, rošt, plachietka), ktorého otvory majú väčší priemer ako je priemer častíc vo filtrovanej suspenzii. Naplavovanie sa uskutočňuje filtráciou vopred pripravenej suspenzie pomocného filtračného prostriedku, jej cirkuláciou cez filter v uzavretom okruhu dotiaľ, kým sa nedosiahne vrstva naplaveniny požadovanej hrúbky.

Ako tuhé pomocné filtračné prostriedky sa používajú rôzne druhy granulovaných a vláknitých materiálov.

kremelina

Kremelina je materiál získaný z predhistorických (niekoľko miliónov rokov) skamenelín rozsievok. Vlastné častice majú členitý povrch a okrem toho ešte mikrokapiláry, ktoré prepúšťajú filtrát a umožňujú zachytávať na svojom povrchu jemné častice.

perlit

Je alternatívnym pomocným filtračným prostriedkom. Získava sa expandovaním perlitu (druh sklovitej sopečnej horniny - kyslé vulkanické sklo). Perlit sa používa prednostne na filtráciu relatívne veľkých stlačiteľných častíc, ktoré sa vyskytujú pri výrobe antibiotík a odpadových kalov.

celulózové vlákna

Prírodné drevené vlákna (natural wood) sú najčistejší druh celulózových vlákien. a získavajú sa z vysokočistej bielennej buničiny mletím a triedením.

Celulózové vlákna bez extrahovateľných látok typu EFC sa používajú na filtráciu glukózových sirupov. v chemickom priemysle: filtrácia slanej vody, fermentačných kvapalín, emulzií, disperzií, tukov, olejov, chladiacich kvapalín atď.

zariadenia na koláčovú filtráciu

Filtrácia sa realizuje v rôznych druhoch filtračných zariadení, filtroch. Filtre a filtračné zariadenia delíme:

A. Podľa spôsobu práce na:

- diskontinuálne a
- kontinuálne.

B. Podľa použitej hnacej sily na:

- vákuové (filtračný tlak je menší ako atmosferický)
- atmosferické (využíva sa len výška hladiny suspenzie vo filtri, nad hladinou suspenzie a pod filtračnou prepážkou je atmosferický tlak)
- pretlakové (filtračný tlak > ako atmosferický).

C. Filtre pracujúce periodicky:

- nuče,
- kalolisy včítane vrstvomých filtrov,
- sviečkové, kriketové a listové filtre,

D. Filtre kontinuálne:

- rotačný bubnový filter:
- a) vákuový
- b) pretlakový
- rotačné diskové filtre
- komôrkové rotačné filtre

- rotačný tanierový filter
- pásové filtre

nutné konštrukčné prvky filtračného zariadenia na realizovanie filtračného procesu:

- prívod suspenzie,
- filtračná zóna so zabezpečením pôsobenia hnacej sily,
- prefukovanie alebo presušovanie koláča,
- premývanie koláča,
- odvod filtrátu,
- odvod koláča,
- čistenie filtračnej prepážky,
- pohon rotujúcich a pohybujúcich sa prvkov, ak nie je filter stabilný,
- meranie hnacej sily a ďalších potrebných veličín, kontrola a riadenie automatického chodu.

najvýznamnejšie filtračné charakteristiky, ktoré rozhodujú pri výbere filtra na koláčovú filtráciu sú:

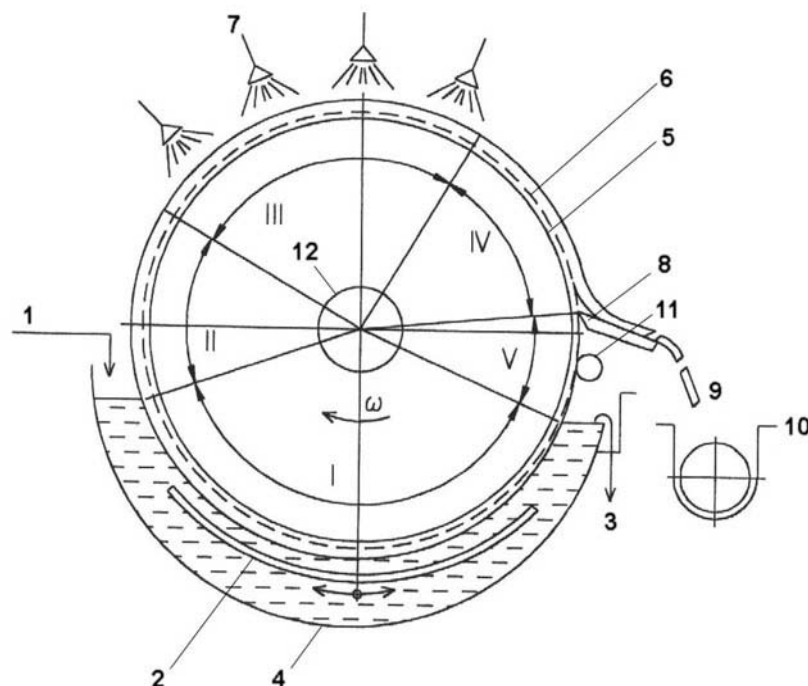
1. špecifický odpor filtračného koláča,
2. množstvo spracovanej suspenzie a
3. koncentrácia tuhej fázy v suspenzii.

BUBNOVÝ ROTAČNÝ FILTER

Bubnový rotačný filter patrí medzi kontinuálne pracujúce filtre. Môže byť vákuový alebo pretlakový.

Rotujúci bubon má na vonkajšej strane filtračnú prepážku. Bubon je sčasti ponorený v nádobe so suspenziou a filtrát prechádza cez tvoriaci sa koláč, filtračnú prepážku, cez jednotlivé segmenty bubna k osi rotácie cez rozdeľovaciu hlavu smerom von. Vytvorený koláč je nepretržite premývaný, prefukovaný a odstraňovaný ako to vidieť z obr. 17.

Vákuový typ takéhoto filtra nie je použiteľný pre suspenzie s vysokým špecifickým odporom koláča, pre vysoko viskózne filtráty a pre filtráty, ktoré nemôžu byť odvádzané priamo do atmosféry (prchavé rozpúšťadlá a pod). Únik pár roztoku do atmosféry sa konštrukčne zabráňuje uzatvorením priestoru nad bubnom (tlakové filtre), kde môže byť i vyšší tlak než atmosferický.



Obr. 17 Schéma rotačného bubnového filtra. Zóna: I. - filtračná, II. - prefukovacia, III. - premývacia, vytesňovacia, IV. - prefukovacia, V. - snímania koláča a čistenia plachietky. 1- vstup suspenzie, 2-miešadlo suspenzie s kývavým pohybom, 3-prepad cirkulujúcej suspenzie, 4-vaňa filtra, 5-valcový bubon filtra, 6-filtračná plachietka, 7-pracie trysky, 8-škrabka, 9-premytý a vysušený filtračný koláč, 10-dopravník, 11-regenerácia filtračnej plachietky.

Príklad schémy rotačného bubnového filtra ilustruje obr.17. Bubnový filter má priestor pod filtračným plášťom, ktorý je rozdelený na sústavu komôrok. Býva ich obyčajne 12 až 24. Vytvorené sú pozdĺžnymi prepážkami medzi vnútorným plným a vonkajším dierovaným plášťom. Na povrch dierovaného bubna sú natiahnuté drenážne sítá (hrubé a jemné) a na nich je potom najčastejšie uložená plachietka.

Pre ľahko filtrovateľné materiály je vo všeobecnosti najvýhodnejší rotačný bubnový vákuový filter. Ma vysokú kapacitu vzhľadom na svoje rozmery a pracuje bez ručnej obsluhy. Môže sa na ňom tiež realizovať premývanie koláča. Ak sa však vyžaduje vysoký stupeň čistoty koláča, výhodnejšie je využiť postup prania rozplavením koláča.

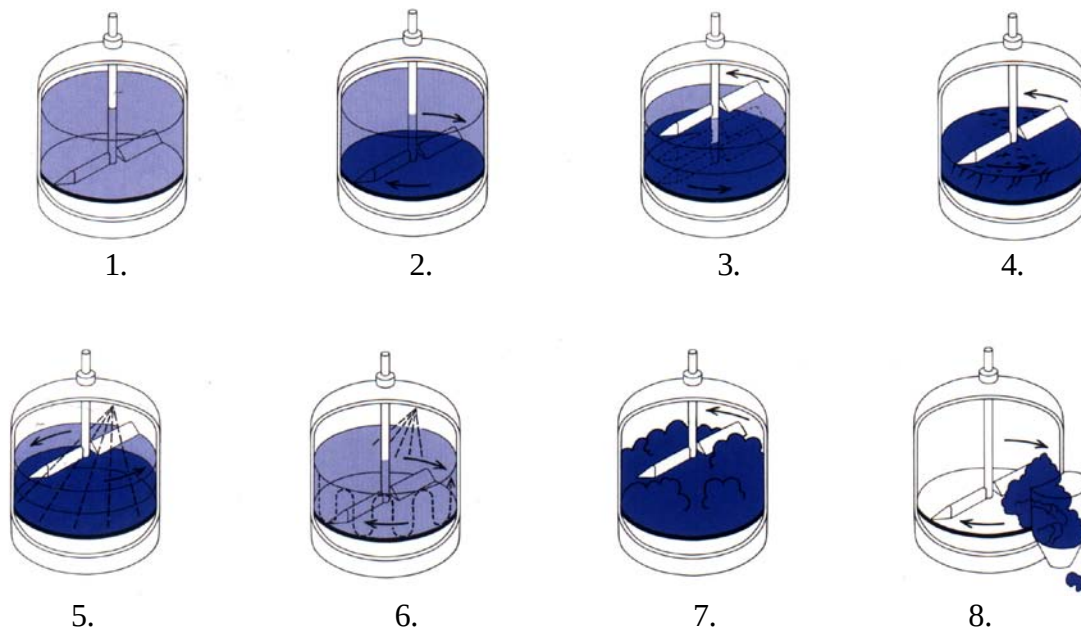
Takto sa môžu uskutočňovať nasledovné operácie:

- I. filtrácia,
- II. prefukovanie (obyčajne vzduchom),
- III. premývanie koláča (môže sa viackrát aj kombinovať s II.),
- IV. prefukovanie,
- V. snímanie koláča a čistenie filtračnej priehradky, pričom sa môže pod koláč ešte priviesť i tlakový plyn na prekonanie adhézných síl medzi koláčom a filtračnou priehradkou.

FILTRAČNÁ NUČA

Jeho využitie je pre filtrovanie tekutín v chemickom a farmaceutickom priemysle, pri výrobe hnojív, farbív, keramiky, a pod. Jeho konštrukcia umožňuje filtráciu problémových látok z hľadiska filtrácie. Využíva sa hlavne pre koláčovú filtráciu.

Filter pozostáva z nádoby, ktorá má na dne sito. Po jeho povrchu sa pohybujú lopatky a zariadenie pracuje vsádzkovo.



Obr. 18 Pracovný cyklus filtračnej nuče.

Pracovný cyklus nuče pozostáva z nasledujúcich krokov:

1. naplnenie zariadenia
2. pre látky, ktoré sa filtrujú obtiažne je možné ich premiešavať, čo skracuje čas ich filtrácie.
3. ak sa filtrujú rýchlo sa usadzujúce látky, koláč môže byť prekyprovaný
4. koláč sa môže stláčať vyhladzovaním, čím sa stáva homogénnejší
5. koláč sa premýva, čím sa zvyšuje jeho čistota
6. koláč sa môže opäť dostať do formy kalu
7. počas sušenia sa koláč premiešava aby sa celý objem postupne dostal dnu cez ktoré sa privádza vyhrievacie médium a tým sa urýchlilo sušenie
8. vyprázdnenie



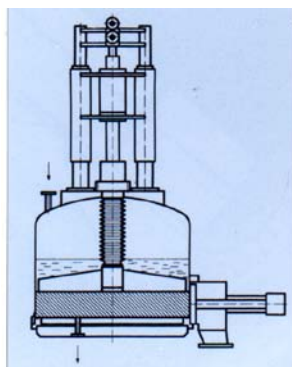
Obr. 19 Pohľad na filter firmy ZWAG.

Zariadenie pracujúce na podobnom princípe je aj na nasledujúcom obrázku.

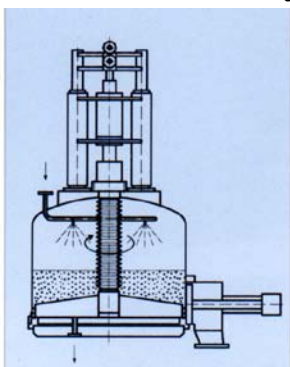
- do filtra priteká zmes a vo filtri sa postupne vytvára koláč.
- v ďalšom kroku sa zastaví prívod filtrovanej zmesi a začne sa premývanie, pričom lopatky premiešavajú filtračný koláč
- potom nasleduje rozotieranie a vytlačanie, pričom sa lopatky otáčajú opačným smerom a stláčajú filtračný koláč.
- v poslednej fáze nastane vyprázdnenie filtra



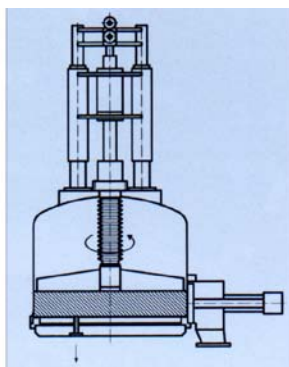
a)



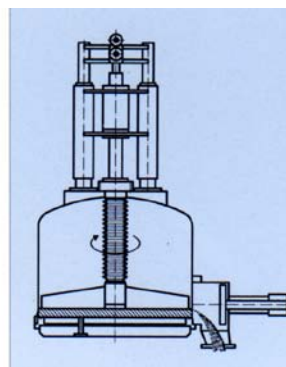
plnenie



premývanie



rozotieranie



vyprázdnenie

filtrácia

naplavovanie

vytláčanie

b)

Obr. 20 Filter firmy ROSENMUND. a) pohľad do vnútra filtra, b) schematické zobrazenie jednotlivých krokov filtrácie.

RÁMOVÝ KALOLIS

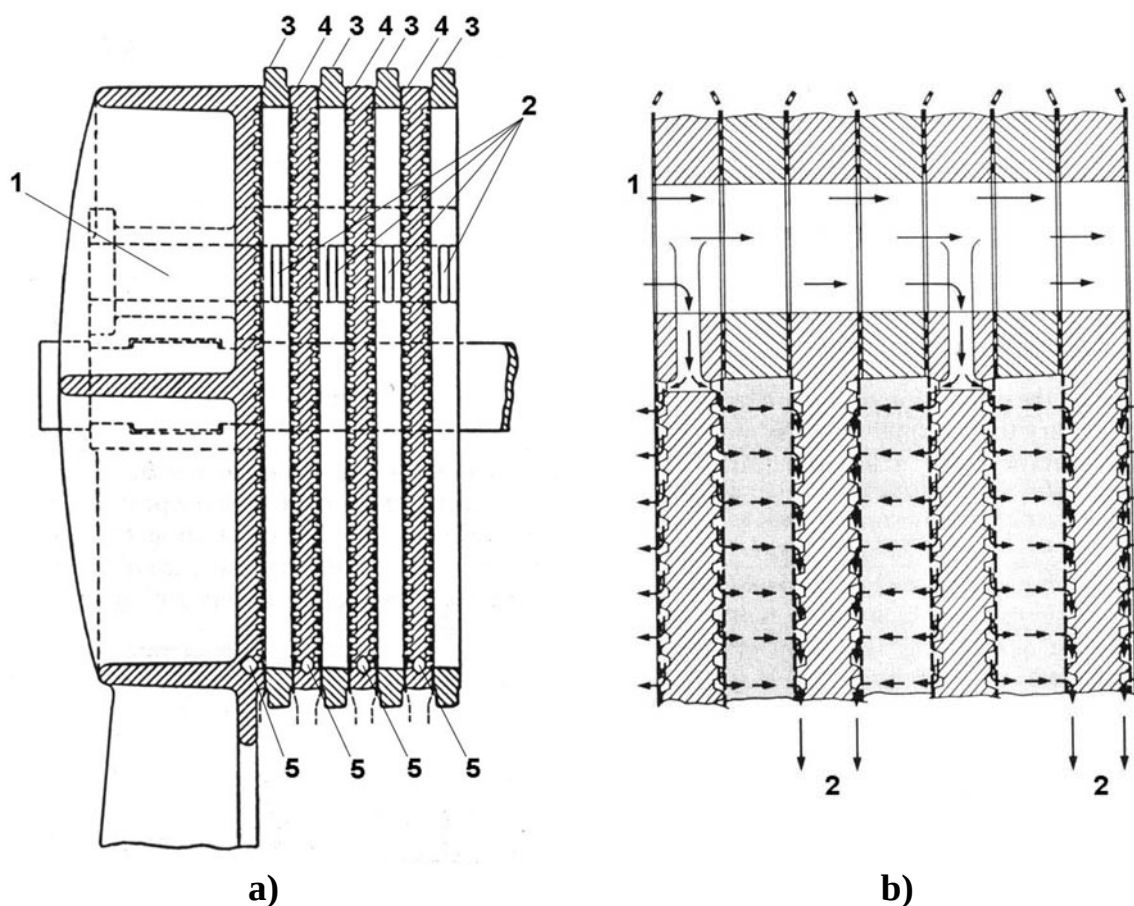
Ak špecifický odpor koláča je vysoký, vyžaduje sa vysoký filtračný tlak. V tomto prípade je rámový kalolis najrozšírenejší.

Pozostáva z rámov, ktoré sa striedajú s doskami kalolisu. Na obr. 21 a) sú schematicky znázornené rámy (3) s prilahlými doskami (4). Čez každú dosku je natiiahnutá filtračná plachietka. Doska pod plachietkou je na ploche otvoru rámu drážkovaná. Drážky sú pospájané priečnymi kanálkami a vytvárajú drenážny priestor s výtokom (5) z oboch strán dosky. Suspenzia sa privádza do každého rámu odbočkami (2) z pozdĺžneho kanála (1) vytvoreného z odpovedajúcich otvorov v rámoch, doskách a plachietkach. Zatiaľ čo filtrát preteká filtračnou plachietkou do drenážneho priestoru dosiek a odtiaľ do výtoku (5), formuje sa v priestore rámu na plachietkach filtračný koláč. Po zaplnení rámu sa obyčajne koláč premýva, obr. 21 b).

Premývacia kvapalina sa často neprivádza rovnakou cestou ako filtrát (premytie koláča by bolo nerovnomerné), ale samostatným kanálkom (1), z ktorého ústia odbočky do drenážnych priestorov každej druhej dosky. Aby premývacia kvapalina z drenážnych priestorov týchto dosiek pri premývaní nevytekala, je potrebné výtok (5) uzavrieť. Premývacia kvapalina potom prechádza koláčom z drenážneho priestoru dosky kvapalinovej do drenážneho priestoru dosky štiavnej, ktorú opúšťa príslušným výtokom (2) (obr. 21b).

Rámy sú obyčajne štvorcové, môžu mať rozmery od 200 až do 2500 mm a hrúbku komory majú od 10 až 75 mm. Filtre majú filtračnú plochu od desiatín ($0,1 \text{ m}^2$) až po 1000 m^2 . Kanálky sú umiestňované obyčajne v ploche rámu a dosky. To vyžaduje odpovedajúce otvory v plachietkach. Nedostatkom takejto konštrukcie je, že plachietky sa v okolí otvorov rozstrapkajú a, v dôsledku zrážania pri praní, poloha otvorov potom presne nesedí. Preto sa často prírodné kanálky umiestňujú do postranných náliatkov a netesnia sa plachietkou, ale samostatnými gumovými tesniacimi prstencami. Plachietka je potom bez otvorov - neporušená.

Používané tlaky sú až do 2,0 MPa prípadne i viac.

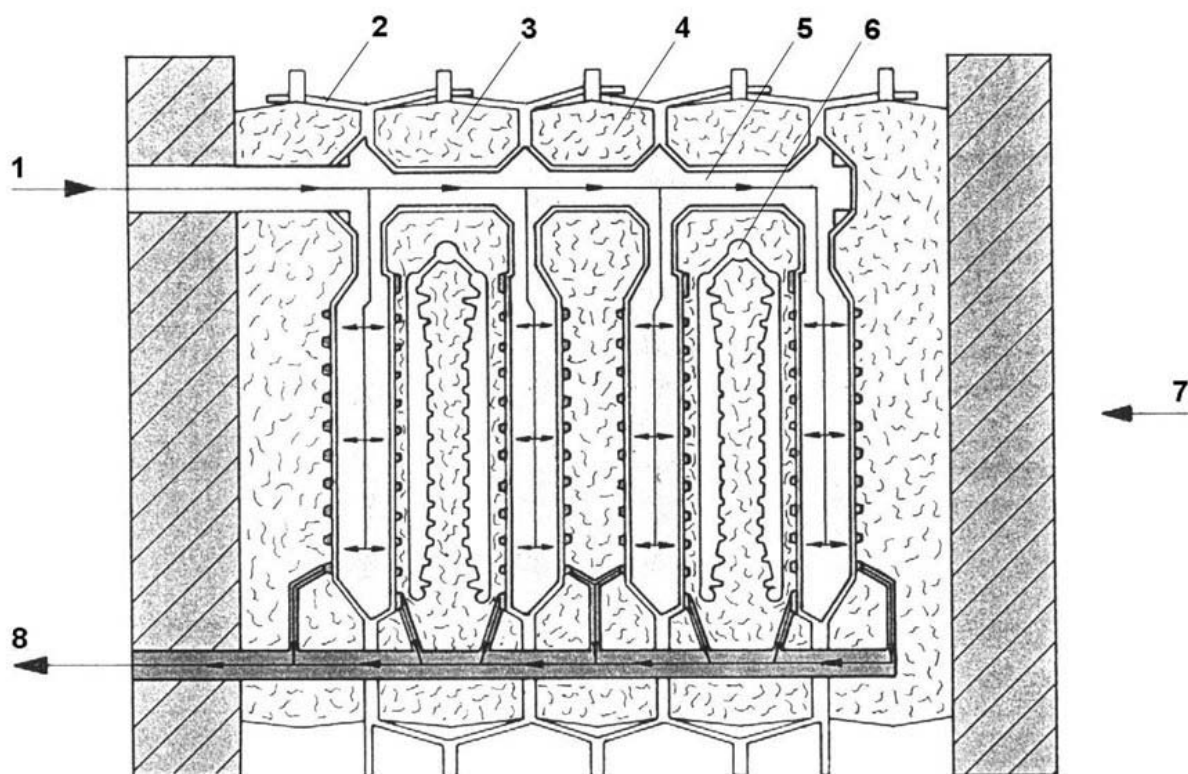


Obr.21 Rámový kalolis. Okraj rámového kalolisu: 1-vstupné hrdlo suspenzie, 2-plniaci otvor, 3-rámy, 4-dosky kalolisu, 5-výstup filtrátu. b) Schéma prania koláča: 1-vstup praciej kvapaliny, 2-výstup praciej kvapaliny.

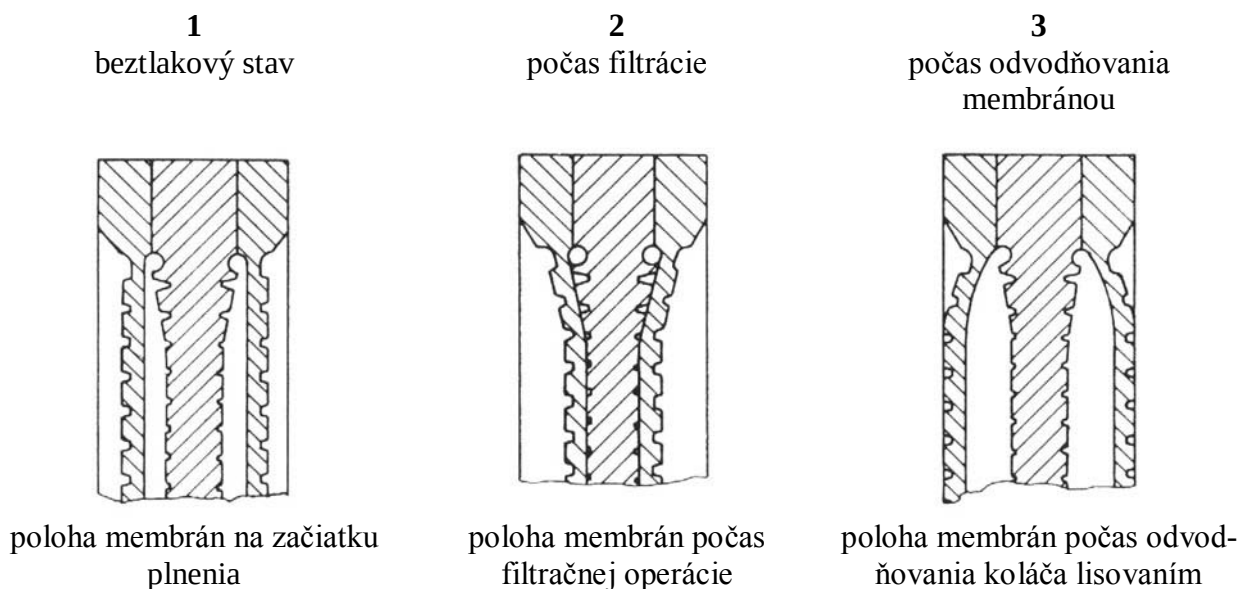
KOMÔRKOVÝ KALOLIS

Komôrkový kalolis, (obr. 22) sa skladá len z dosiek (3), resp. (4), ktoré sú po obvode zosilnené, čím sa medzi nimi vytvárajú komôrky na zhromažďovanie nafiltrovaného koláča. Steny komôrok, ktoré majú drenážne ryhy, sú zastreté plachietkou (2). Dosky majú otvory pre prívod suspenzie, do ktorého sa vkladá po založení plachietky rúrková tesniaca vložka (5). V dolnej časti majú dosky výtok (8) z drenážnych priestorov.

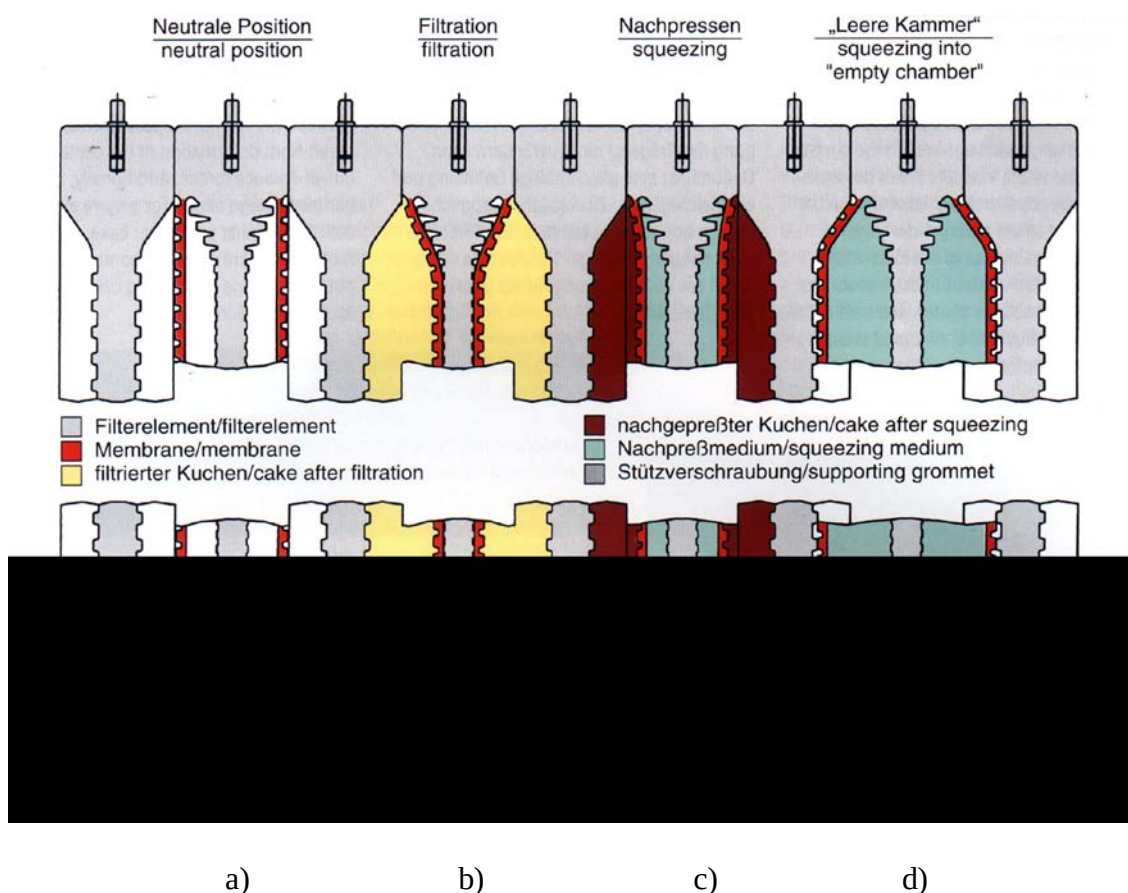
Nevýhodou komôrkových kalolisov je pomerne zložité zakladanie plachetiek.



Obr. 22 Komôrkový kalolis s pružnými membránami. 1-vstup suspenzie, 2-plachietka, 3-doska so zabudovanou pružnou membránou, 4-doska s komôrkami, 5-spojka prívodu suspenzie, 6-kanálik prívodu tlakového média (kvapalina alebo plyn) na dodatočné odvodňovanie membránou, 7-smer sily na uzatváranie kalolisu (obyčajne sa používa hydraulický systém), 8-výtok filtrátu.



Obr.23 Poloha membrán komôrkového kalolisu počas filtračného cyklu.



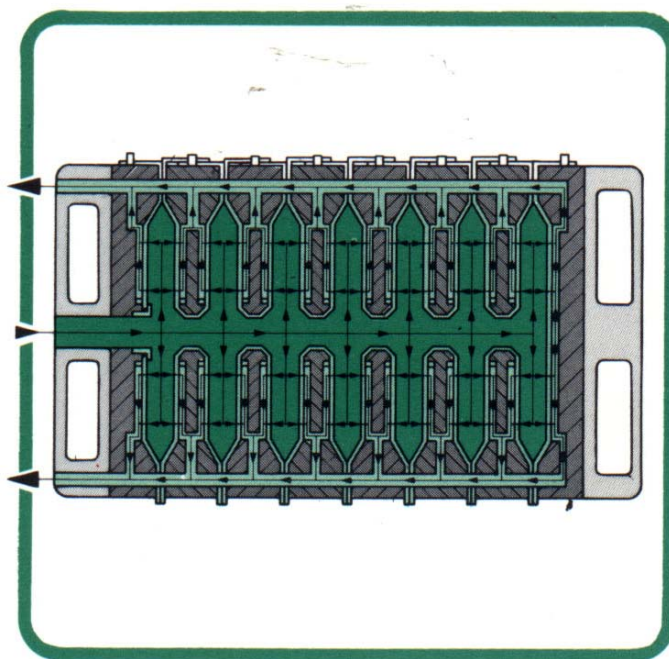
Obr. 24 Jednotlivé kroky filtrácie v komôrkovom kalolise. a) poloha membrán na začiatku cuklu, b) komora po zaplnení filtračným koláčom, c) vytlačanie filtračného koláča, d) komora po vytlačení filtračného koláča.

Na začiatku procesu filtrácie sú membrány v neutrálnej pozícii (a). Filtrovaná zmes sa privádza medzi membránu a filtračný element, kvapalina preteká membránou a postupne sa tu vytvára koláč (žltá farba) (b). Keď je komora zaplnená (c) nastane vytlačanie koláča (hnedá farba) médiom, ktoré je na to určené. Po vytlačení koláča (d) je membrána opretá o druhú stranu filtračného elementu a priestor je zaplnený vytlačacím médiom (modrozelená farba).

V takýchto kalolisoch sa vytvorený koláč môže účinne premývať. Sú konštrukcie, v ktorých sa môže odvodňovať aj pomocou zvláštnych pružných membrán, ktorými sa môže vylisovávať ďalšia kvapalina z koláča (obr.22 až obr.24). Lisovanie koláča sa realizuje privedením tlakovej kvapaliny alebo plynu z jednej strany pružnej membrány, ktorá druhou stranou deformuje koláč a vytlačá kvapalinu.

Filtračný proces má potom tri periódy:

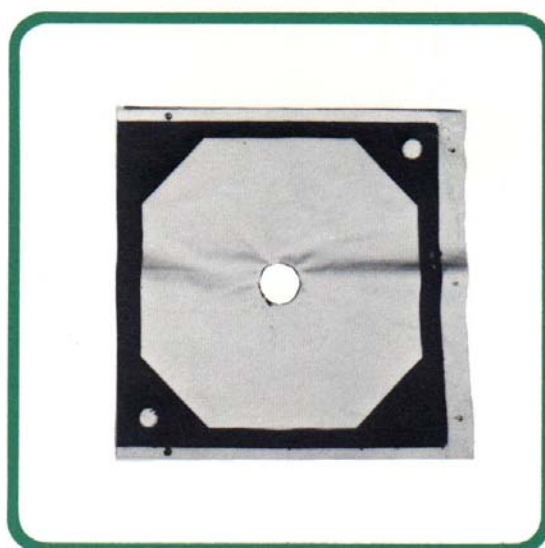
1. perióda vlastnej filtrácie (obyčajne najprv pri konštantnej rýchlosti a potom pri konštantnom tlaku),
2. perióda vylisovávania kvapaliny pomocou pružnej membrány,
3. konsolidačná perióda pri konštantnom tlaku nad membránou.



a)



b)



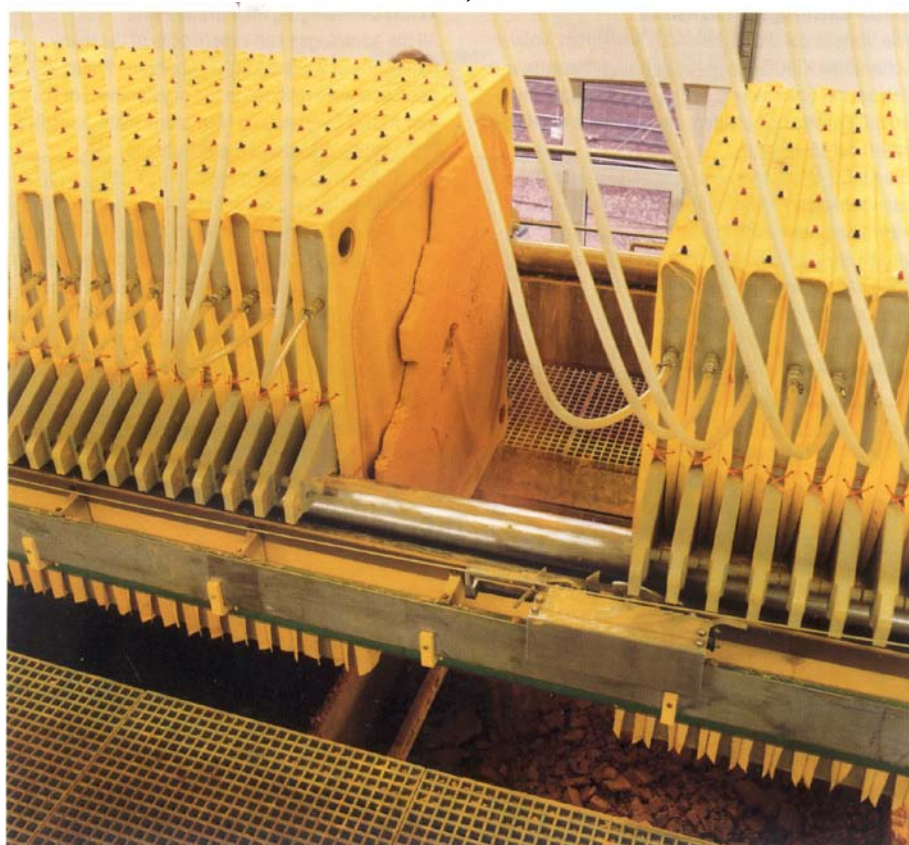
c)

Obr. 25 Filter pre filtráciu kvasníc. a) schéma zariadenia, b) rám z antikorošnej ocele alebo polypropylénu, c) polypropylénová filtračná plachietka.

Filter pre filtráciu kvasníc je na (obr. 25). Filtračný koláč sa vytvára v komorách filtra (a). Kal je dopravovaný prostredným otvorom prostredníctvom čerpadla, pričom tekutá fáza preteká cez filtračné plachietky (c), ktoré sú zovreté medzi rámy z kvalitného syntetického materiálu (b). Po asi 15 – 20 hodinách filtrácie sa filter môže otvoriť a suché kvasnice sa vyberú. Po vyčistení je filter pripravený na ďalšie použitie.



a)



b)

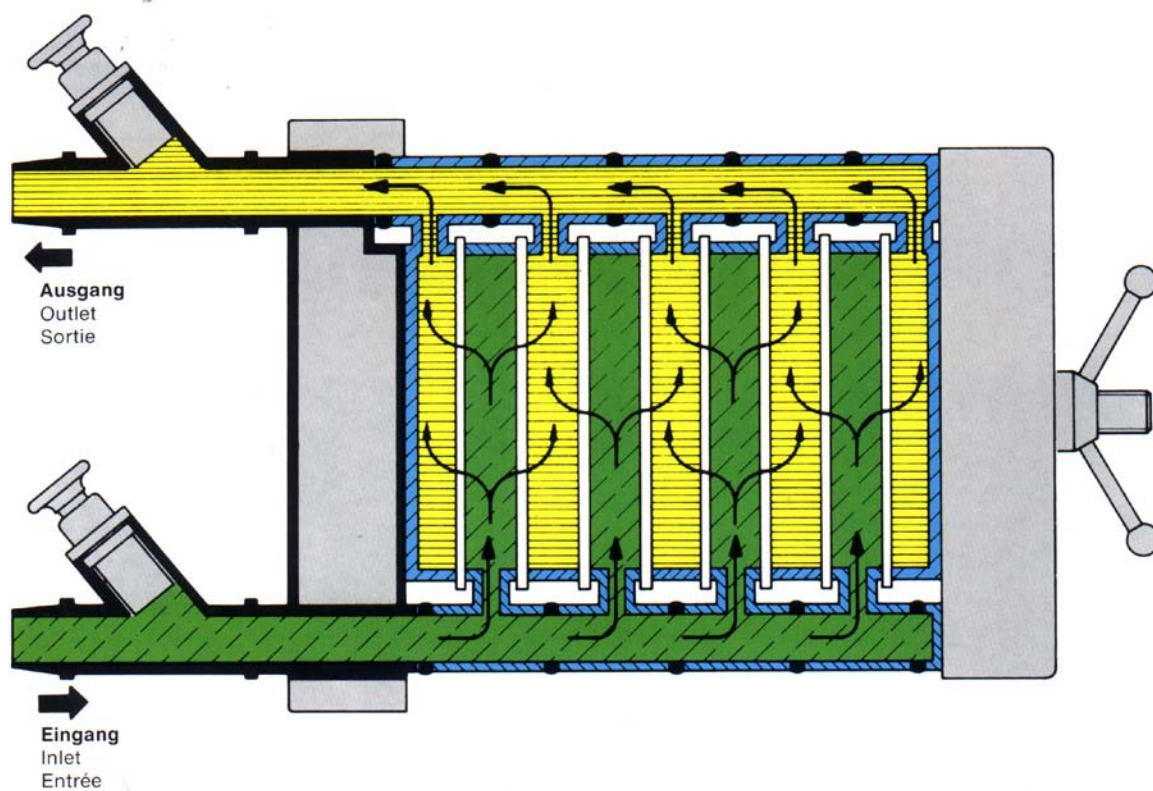


c)

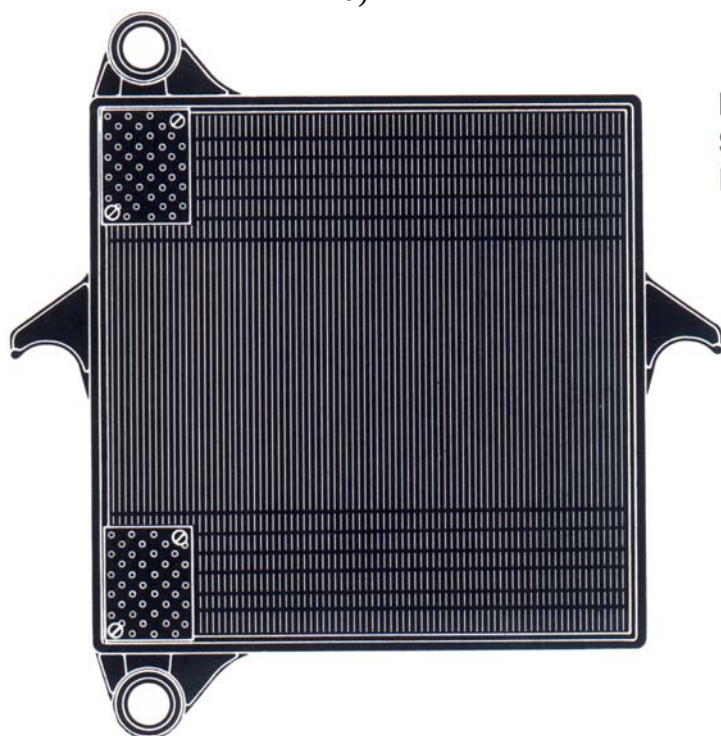
Obr. 27 Komôrkový kalolis firmy KLICO. a) celkový pohľad na kalolis počas prevádzky, b) pohľad na otvorený kalolis, c) detailný pohľad na filtračné dosky a membrány.



Obr. 28 Filtročná stanica s kalolisom.



a)



b)

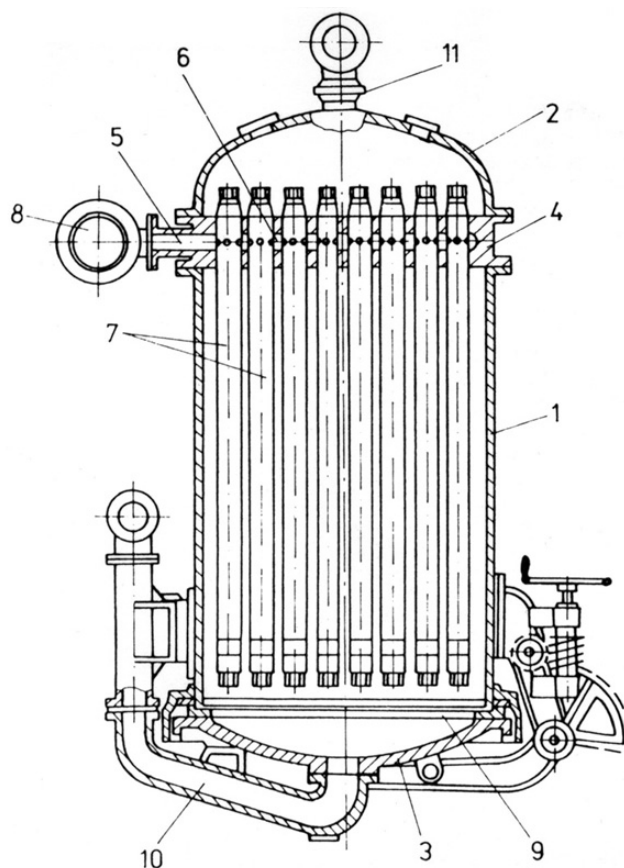
Obr. 29 Filter pre čistenie a sterilnú filtráciu vína, ovocných štiav, vody, vzduchu. a) princíp zariadenia, b) filtračná doska.

Moderné kalolisy môžu vďaka veľkému rozvoju rôznych snímačov a regulačných prvkov pracovať úplne automaticky.

Týchto niekoľko uvedených prípadov nevyčerpáva všetky možné alternatívy používaných prvkov, ktoré sú veľmi rozmanité u každého výrobcu kalolisov. V každom prípade sú však tieto za sebou usporiadané elementy pred filtračným cyklom pevne zovreté hydraulickým lisom, pričom vo väčšine prípadov vzájomné utesnenie plní filtračná plachietka alebo zvláštne tesnenia.

SVIEČKOVÉ FILTRE

Sviečkové filtre patria do skupiny diskontinuálne pracujúcich filtrov a to najčastejšie ako tlakové filtre. Používajú sa v najväčšej miere na filtráciu nápojov, cukorných roztokov a vôbec kvapalín s nízkou koncentrácie jemných až veľmi jemných častíc. Filtračná prepážka má tvar sviečky, preto i názov sviečkové filtre.



Obr. 30 Sviečkový filter. 1-plášť filtra, 2-horné veko, 3-sklápacie spodné veko, 4-doska, 5, 6-kanáliky na filtrát, 7-filtračné sviečky, 8-zberač filtrátu, 9-perforovaná prepážka, 10-prívod suspenzie, 11-hrdlo pre cirkulujúcu suspenziu.



Obr. 31 Rôzne typy filtrov. a) tkanina, b) kovové.

V jednej nádobe je uložených vertikálne viacej sviečok, aby sa dosiahla potrebná filtračná plocha a tým i výkonnosť filtra.

Vlastná filtračná prepážka môže byť vyrobená z rôznych materiálov: z keramiky, z netkaných vrstiev z vlákien kovových alebo plastických. Moderné sviečkové filtračné prepážky sú tiež špirálovo navíjané z drôtov trapézového tvaru s medzerou niekoľko μm až niekoľko desiatok μm .

Priemer sviečok je okolo 20 až 30 mm, ale sú i väčšieho priemeru podľa druhu materiálu, z ktorého sú zhotovené.

Na dosiahnutie vysokej kvality filtrátu používajú sa i pomocné filtračné prostriedky, ktoré sa spravidla na filtračnú prepážku naniesú vytvorením filtračného koláča pred vlastnou filtráciou. Používané pomocné filtračné prostriedky môžu byť: kremelina (najčastejšie), potom perlit, rôzne druhy vlákien ako celulóza, ďalej aktívne uhlie, ktoré sa používa okrem iného aj na odfarbovanie roztokov, atď.

Filtračný koláč, ktorý sa vytvorí na povrchu sviečok, odstraňuje sa periodicky, pričom niekedy aj pomocou stlačeného plynu.

LISOVANIE

DEFINÍCIA:

Odvodňovaním (lisovaním) sa bude rozumieť zbavovanie suspenzie alebo kalu určitej časti kvapalnej fázy, znižovanie podielu kvapalnej fázy v danej zmesi a to mechanickým spôsobom, bez použitia termických procesov.

PRINCÍP PROCESU:

Odstraňovanie kvapaliny alebo roztoku mechanickým stlačovaním koláča môže sa uskutočňovať dvojakým spôsobom:

1. Priamo vo filtri, ktorý má k tomu vybavenie ako sú rôzne zariadenia, nepriepustné pružné membrány v kalolisoch, valčeky na bubnovom alebo pásovom filtri a pod. Tento spôsob odvodňovania sa v literatúre tiež nazýva konsolidáciou.
2. Vo zvláštnych lisovacích zariadeniach (mimo filtra), v ktorých sa môžu realizovať vysoké stlačovacie (kontaktné) sily na štruktúru vytvorenú z častíc, prostredníctvom rôznych prvkov a mechanizmov.

Odvodňovanie jemných kalov filtráciou a lisovaním patrí medzi časté spôsoby separácie a zahusťovania nielen v technologických výrobných linkách produktov, ale aj pri spracovávaní rôznych odpadových kalov. Tu býva obyčajne formulovaná zvlášť prísna požiadavka zahustiť pôvodnú suspenziu (kal) tak, aby sa dosiahla čo najväčšia koncentrácia tuhej fázy. Koláčová filtrácia môže umožniť získať koláč obsahujúci ešte kvapalinu, ktorá sa môže následným mechanickým pôsobením v určitom vhodne usporiadanom zariadení zahustiť na vyššiu koncentráciu. Medzi takéto dodatkové procesy patrí lisovanie.

Mechanická sila na štruktúru sa realizuje prostredníctvom piesta, pružnej nepriepustnej membrány alebo iného druhu priepustnej alebo nepriepustnej lisovacej prepážky. Táto prídavná sila spôsobí zdeformovanie (preskupenie) štruktúry koláča. Pritom sa zvýši koncentrácia tuhých častíc v koláči tým, že preskupením tuhých častíc vytlačí sa z pórov časť kvapalnej fázy. Obyčajne platí, že čím vyšší mechanický (kontaktný) tlak aplikujeme na štruktúru, tým je väčšia možnosť odstránenia kvapaliny zo zahusteného kalu.

deformovateľnosť

Je jednou z podmienok reálnej možnosti odvodňovania uvedeným spôsobom je koláča.

veľkosť celkovej deformácie

Bude závisieť nielen od veľkosti aplikovanej sily, ale aj od vlastností štruktúry, častíc a kvapaliny, vo všeobecnosti, na histórii formovania koláča, resp. lisovanej vrstvy (filtráciou a/alebo lisovaním), t.j. na časovom pôsobení formujúcich síl, napätí a tlakov, zjednodušene hnacích síl procesov a na odpovedajúcej deformácii.

Pri lisovaní, k rozdielu hydrostatických tlakov ešte pribúda ďalšia zložka hnacej sily – mechanická, aplikovaná priamo na štruktúru tuhých častíc z hranice – okraja sledovanej oblasti. Mechanická sila pôsobiaca z hranice oblasti vyvoláva (zvyšuje) vo vnútri štruktúry kontaktné napätia medzi časticami, ale tiež i hydrostatický tlak, ktorý sa podieľa na pohybe tekutej fázy cez deformujúcu štruktúru. Pomer hodnoty kontaktných napätí a vyvolaného

hydrostatického tlaku v určitom čase závisí od rýchlosti deformácie štruktúry, ale tiež aj od vlastností štruktúry a od reologických vlastností kvapalnej fázy.

Mechanické odstraňovanie kvapaliny (pokiaľ je možné) je spravidla energeticky úspornejšie než termické.

HNACIA SILA:

Hnacia sila procesu lisovania môže pozostávať:

- z hydrostatického tlakového rozdielu $\Delta p = p_1 - p_2$ (nie je nutná podmienka)
- z mechanického tlaku, t.j. normálového tlaku p_s , ktorým pôsobí lisovacia prepážka na lisovaný koláč zahŕtený kvapalnou fázou (nutná podmienka lisovania).

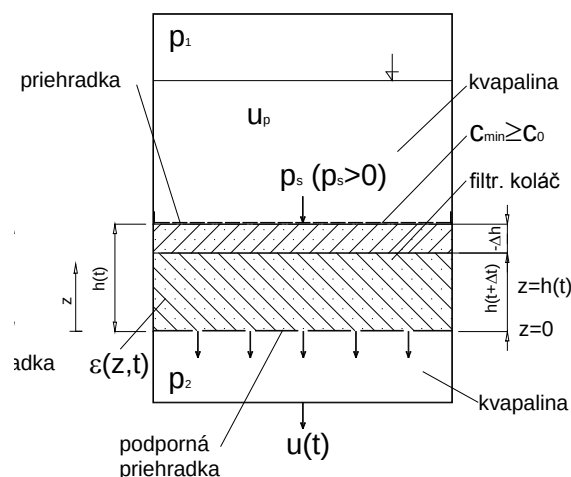
PRINCÍP VÝPOČTU:

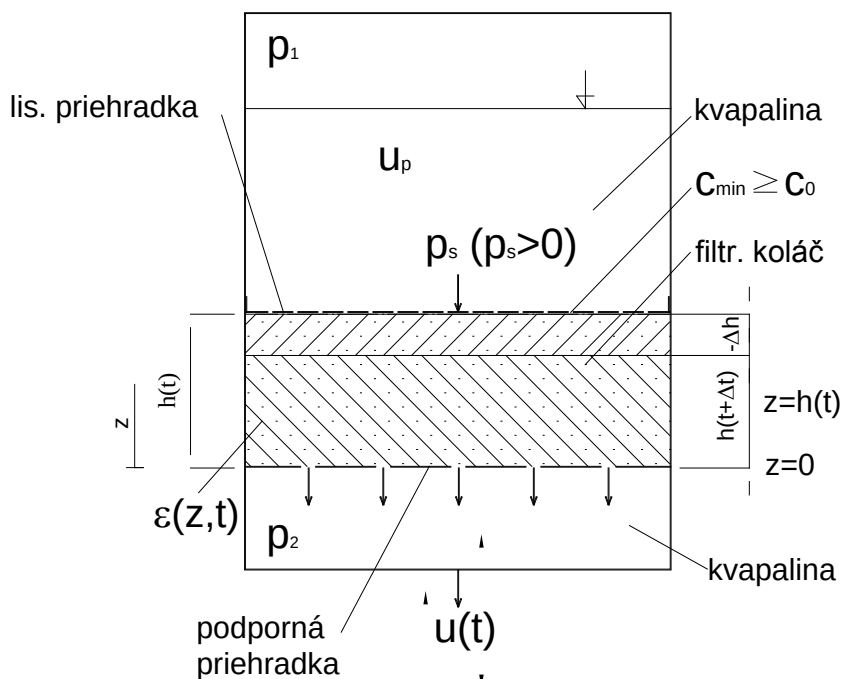
Pri exaktnom modelovaní odvodňovania lisovaním sa uvažuje, že odvodňovaná zmes – kal pozostáva z dvoch fáz:

- kvapalná fáza - roztok (index α)
- tuhá fáza – tuhé častice (index β)

Obe fázy, ako samostatné fázy, sa budú považovať za nestlačiteľné, t.j. že hustota kvapalnej fázy, ρ_α (disperznej fázy, roztoku) a tuhej fázy, ρ_β (dispergovanej fázy, častíc kalu) sa so zvyšovaním hydrostatického tlaku nemení.

Tak ako filtráciu, aj proces lisovania je možné chápať ako pohyb dvoch fáz riadených hnacími silami, vlastnosťami jednotlivých fáz a vytvorenou štruktúrou. Podstatné znaky procesu lisovania sú ilustrované na obr.1.





Obr.32 Charakteristické prvky odvodňovania lisovaním.

Charakteristické znaky procesu odvodňovania lisovaním:

1. Separácia suspenzie dvoch fáz, zvyšuje sa koncentrácia tuhej fázy v koláči (lisovanej vrstve) a kvapalná fáza je z koláča vytlačovaná vo forme filtrátu, ktorý prechádza cez polopriepustnú filtračnú prepážku.
2. Narastaním času lisovania, hmotnosť tuhých častíc v koláči sa nemení (ak zanedbáme únik jemných častíc). Hrúbka koláča sa s časom zmenšuje. Keď v čase t bola hrúbka koláča $h(t)$, v čase väčšom $t + \Delta t$ je hrúbka koláča $h(t + \Delta t)$, pričom $t < (t + \Delta t)$ a $h(t) > h(t + \Delta t)$.
3. Na povrchu koláča, kde sa aplikujú hnacie sily, je koncentrácia častíc vždy väčšia než limitná, nakoľko sa prenášajú kontaktné sily z lisovacej prepážky (priepustnej alebo nepriepustnej voči kvapalnej fáze) do tuhej fázy naformovanej štruktúry

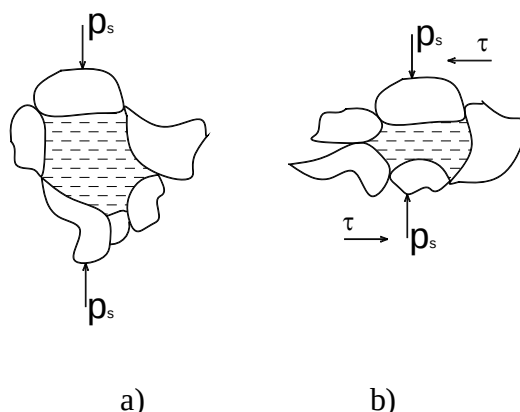
$$c_0|_{z=h(t)} > c_0|_{z=h(0)} \quad (31)$$

4. Hnacia sila procesu lisovania môže pozostávať:
 - c) z hydrostatického tlakového rozdielu $\Delta p = p_1 - p_2$ (nie je nutná podmienka)
 - d) z mechanického tlaku, t.j. normálového tlaku p_s , ktorým pôsobí lisovacia prepážka na lisovaný koláč zahŕtený kvapalnou fázou (nutná podmienka lisovania).
5. Zmeny štruktúry sú vyvolávané
 - a) kumulatívnymi trecími silami zo vzájomného pohybu fáz vo vrstve (v koláči) a
 - b) pôsobením kontaktných síl prenášaných do štruktúry koláča z hraníc (okraja) lisovacieho priestoru lisovacou prepážkou (priepustnou alebo nepriepustnou pre kvapalinu).

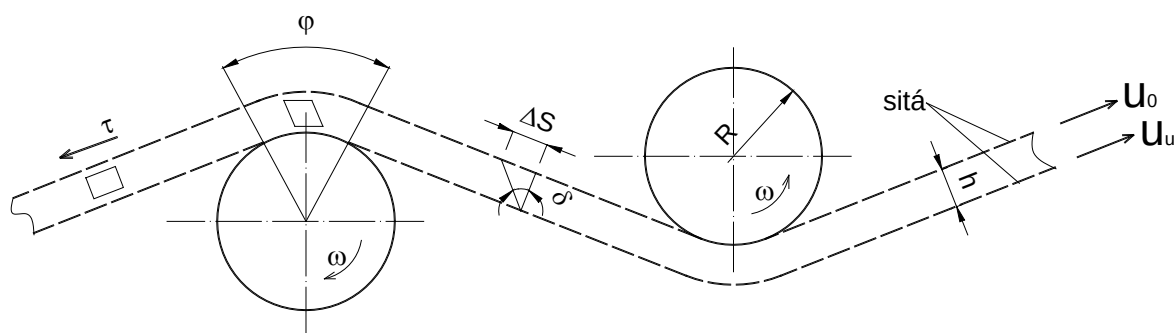
žmýkanie

Je to ďalší odvodňovací proces, kde sa využíva okrem hydrostatického tlaku Δp aj mechanický tlak p_s . Žmýkanie je odvodňovací proces, kde okrem dvoch už uvedených hnacích síl využívaných pri odvodňovaní lisovaním (hydrostatický tlak Δp a mechanický

normálový kontaktný tlak p_s) aplikujú sa ešte šmykové sily (obr.33). Tie spôsobujú v štruktúre koláča ďalšie preskupovanie tuhých častíc (tuhej fáze) do stabilnejších polôh, pričom sa následne odlúči (vytlačí z medzier medzi časticami) ďalšia časť kvapaliny.



Obr. 33 Princíp žmýkania. a) lisovanie len normálovými silami, b) žmýkanie normálovými silami spolu so šmykovými silami.

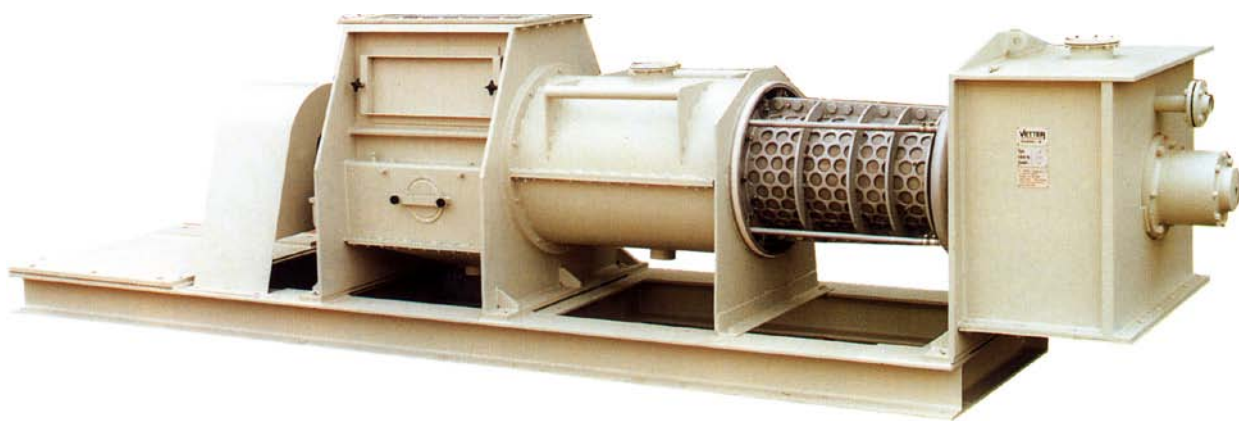


Obr. 34 Príklad realizácie lisovania a žmýkania medzi dvomi sitami.

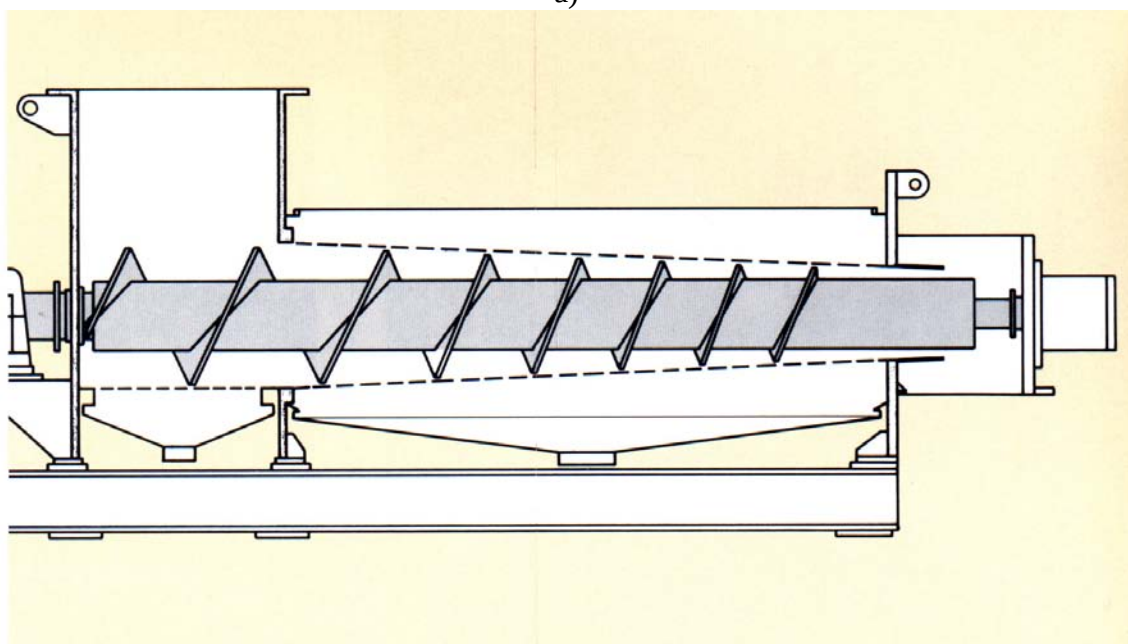
Odvodňovaný koláč je umiestnený medzi dvomi pohybujúcimi sa sitami, pričom sitá spolu s vrstvou materiálu prechádzajú cez dva valčeky opačne orientované. Lisovanie je realizované silami od napnutia sita na valčekoch. Žmýkanie vrstvy medzi dvomi sitami je zasa aplikované normálovými silami na valčekoch od napnutia sita a šmykovými silami medzi dvomi sitami.

APARÁTY:

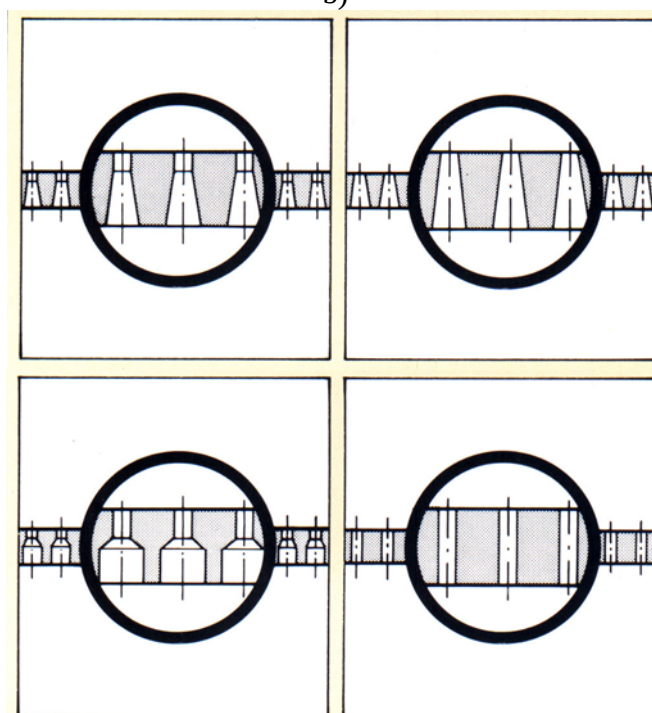
Jedným z možných konštrukčných riešení odvodňovacieho zariadenia je závitkový lis. V odvodňovacom závitkovom lise sa odvodňovanie dosahuje redukováním objemu odvodňovaného materiálu medzi kužeľovým dierovaným plášťom, v ktorom je sito, a závitkou so zmenšujúcim sa stúpaním. Toto konštrukčné riešenie zabezpečuje stláčanie a zároveň aj šmykové namáhanie materiálu, čo výrazne prispieva k lepšiemu odvodneniu materiálu. Na konci zariadenia sa nachádza výsypka z ktorej vypadáva odvodnený materiál.



a)



b)



c)

Obr. 35 Pozdĺžny rez odvodňovacím závitovkovým lisom firmy Vetter Maschinenfabrik GmbH a príklady rôznych sít. a) pohľad na lis, b) rez lisom s kuželovou dierovanou prepážkou a závitovkou so zmešujúcim sa stúpaním závitu, c) detail filtračných prepážok.

Tento princíp sa používa pre lisovanie kukuričných šupiek, mláta v pivovaroch, použitých kávových zŕn, rajčín, zeleniny, citrusových šupiek, organického odpadu, kalov,

SEDIMENTÁCIA

DEFINÍCIA:

Relatívny pohyb častíc fázy dispergovanej v spojitom prostredí tekutej fázy, podmienený účinkom silového poľa určitého druhu, sa nazýva sedimentácia.

Ako sedimentácia sa potom označuje aj technologický proces separácie fáz vytvárajúcich heterogénnu zmes nachádzajúcu sa v silovom poli. V technologickej praxi spracúvania heterogénnych disperzných sústav sedimentáciou sa aplikuje najmä gravitačné a odstredivé silové pole.

Podľa druhu silového poľa sa potom proces separácie kvalifikuje ako:

- sedimentácia v gravitačnom poli Zeme (usadzovanie)
- sedimentácia v odstredivom poli (odstredovanie)

PRINCÍP PROCESU:

Keďže odstredivé pole môže byť mnohonásobne silnejšie ako gravitačné pole, separácia fáz odstredovaním je proces intenzívnejší ako usadzovanie.

Hybnosť elementov fáz heterogénnej sústavy závisí od ich hustoty. K separácii dispergovanej fázy od spojitej fázy sedimentáciou dochádza v dôsledku rôznosti hustôt fáz. Hybnosť častíc dispergovanej fázy závisí okrem hustoty aj od ich veľkosti.

triedenie

Ak dispergovaná fáza je polydisperziou, t.j. tvoria ju častice rôznej veľkosti, pri sedimentácii v prostredí tekutiny inej hustoty ako majú častice, dochádza aj k ich roztriedeniu podľa veľkosti.

rozdzruženie

Ak častice dispergovanej fázy sú rovnako veľké a vyznačujú sa rôznou hustotou, pri sedimentácii v spojitom prostredí tekutiny dochádza k ich rozdzruženiu podľa hustoty.

flotácia

Priebeh sedimentácie mimo už uvedených parametrov závisí aj od tvaru častíc dispergovanej fázy a od fyzikálnych vlastností spojitej fázy, najmä od jej viskozity a od medzifázového napätia, ktoré sa uplatňuje v procese rozdzružovania, nazývanom flotácia.

neovplyvňovaná a ovplyvňovaná sedimentácia

V technologických podmienkach separácie fáz heterogénnych dispergovaných sústav sedimentáciou sa uplatňuje aj vplyv koncentrácie dispergovaných častíc v suspenzii. Z tohoto

hládiska sa sedimentácia kvalifikuje ako nerušená (neovplyvňovaná), resp. rušená (ovplyvňovaná).

Pri nerušenej sedimentácii častíc nedochádza k ich vzájomnému kontaktu a tiež rýchlostné pole nie je ovplyvňované inými, susednými časticami. Takto sa realizuje sedimentácia v riedkych suspenziách. Extrémnym modelom nerušenej sedimentácie je pohyb jedinej častice v neobmedzenom priestore spojitej fázy.

Pri vyšších koncentráciach dispergovaných častíc v suspenzii môže dochádzať k vzájomnému kontaktu a vzájomnému ovplyvňovaniu rýchlostného poľa od susedných častíc a od stien nádoby. Pohyb sedimentujúcej častice je takto ovplyvňovaný; sedimentácia dispergovaných častíc je rušená. Pri rušenej sedimentácii polydisperzných sústav má na jej priebeh vplyv aj granulometrické zloženie dispergovanej fázy.

Z uvedeného je zrejma zložitost' kvantitatívnej analýzy procesu separácie fáz heterogénnej sústavy sedimentáciou. Preto je racionálne, riešenie problému začať analýzou najjednoduchšieho modelu sedimentácie, ktorým je usadzovanie tuhej guľovej častice s hladkým povrchom, nachádzajúcej sa v neobmedzenom objeme newtonovskej viskózne tekutiny v gravitačnom poli Zeme.

HNACIA SILA:

Hnacou silou sedimentácie je rozdiel hustôt tuhej, alebo viacerých tuhých fáz a kvapalnej fázy, v ktorej častice sedimentujú. Rýchlosť sedimentácie je navyše ovplyvnená gravitačným alebo odstredivým poľom, v ktorom prebieha samotný proces.

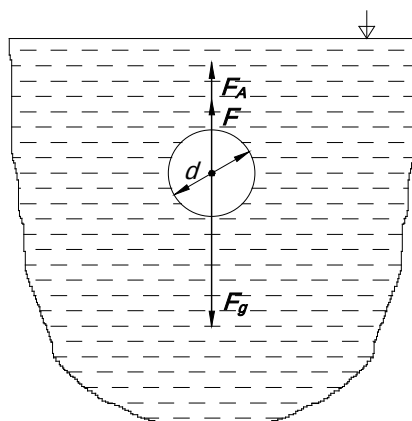
PRINCÍP VÝPOČTU:

nerušená sedimentácia guľovej častice v gravitačnom poli

Na guľovú časticu v prostredí nehybnej tekutiny pôsobia tri sily:

1. sila tiaže, sila gravitačného silového poľa Zeme (F_g)
2. sila vztlaku, Archimedova sila (F_A)
3. sila odporu prostredia pôsobiaca proti pohybu častice (F)

Sila tiaže a vztlaku sú stále a pôsobia na časticu protismerne. Pohyb častice sa kvalifikuje ako usadzovanie, ak sa častica pohybuje v smere pôsobenia sily gravitačného poľa, t.j. keď sila tiaže je väčšia ako sila vztlaku, čo je splnené, keď hustota častice (ρ_t) je väčšia ako hustota prostredia tekutiny (ρ). Sila odporu pôsobiaca proti smeru pohybu častice je tým väčšia, čím je rýchlosť pohybu väčšia. Smer pôsobiacich síl na sedimentujúcu časticu ($\rho_t > \rho$) je znázornený na obr.36.



Obr. 36 Smer pôsobenia síl na sedimentujúcu časticu. F_g - sila gravitačná, F_A - sila vztlaku, Archimedova sila, F - sila odporu proti pohybu guľovej častice.

Pod účinkom stálej výslednice síl ($F_g - F_A$) pôvodne nehybná častica uvedie sa do zrýchleného pohybu, v ktorom je brzdená silou odporu prostredia zväčšujúcou sa s narastajúcou rýchlosťou pohybu častice. Keď sa dosiahne rovnováha síl pôsobiacich na pohybujúcu sa časticu

$$(F_g - F_A) = F \quad (32)$$

systém sa dostane do ustáleného stavu, v ktorom rýchlosť pohybu častice je konštantná, v čase sa nemení.

Rýchlosť pohybu častice v ustálenom stave sa označuje ako rýchlosť usadzovania. Keďže ustálený stav sa dosiahne rýchle, t.j. na krátkej dráhe pohybu častice, pri analýze sedimentácie sa úsek neustáleného pohybu neberie do úvahy.

odpor prostredia proti pohybu častice

Na pohyb častice sedimentujúcej v nehybnom prostredí tekutiny možno nazerať ako na obtekanie nehybnej častice tekutinou pohybujúcou sa rýchlosťou rovnou rýchlosti usadzovania (u). Kinetická energia tekutiny E_k v tomto pohybovom stave je daná vzťahom

$$E_k = m u^2 / 2 = V \rho u^2 / 2 \quad (33)$$

Špecifická energia tekutiny (kinetická energia vzťahovaná na objem kvapaliny)

$$(34)$$

má fyzikálny význam tlaku, označovaného ako dynamický tlak tekutiny (p_{dyn}). Pri obtekaní častice reálnou tekutinou dochádza k disipácii časti energetického obsahu tekutiny transformáciou na teplo, čo sa prejaví poklesom (stratou) jej tlaku (vyplýva to z energetickej bilancie toku tekutiny). Pomerom straty tlaku (Δp) a dynamického tlaku tekutiny je definovaný súčiniteľ (koeficient) odporu (C_d)

$$C_d = \frac{\Delta p}{p_{dyn}} \quad (35)$$

Z definície tlaku, ako sily pôsobiacej na jednotku plochy, vyplýva vyjadrenie sily odporu pri obtekaní častice tekutinou:

$$F = \Delta p S_p = C_d S_p p_{dyn} = C_d S_p \frac{1}{2} u^2 \rho \quad (36)$$

kde S_p je plocha priemetu častice do roviny kolmej na smer pohybu tekutiny. Sila odporu pri obtekaní častice tekutinou je identická so silou odporu proti pohybu sedimentujúcej častice v nehybnom prostredí tekutiny.

Keď častica je guľového tvaru:

$$S_p = \pi d^2 / 4 \quad (37)$$

a sila odporu proti jej pohybu v nehybnom prostredí tekutiny je daná vzťahom

$$F = C_d \frac{\pi d^2}{4} \frac{u^2}{2} \rho \quad (38)$$

odkiaľ súčiniteľ odporu môžeme vyjadriť ako

$$C_d = \frac{8 F}{\pi d^2 u^2 \rho} \quad (39)$$

súčiniteľ odporu C_d pri nerušenej sedimentácii guľovej častice v prostredí reálnej newtonovskej tekutiny

Experimentálne je potvrdené, že súčiniteľ odporu pri sedimentácii guľovej častice v nehybnom prostredí reálnej newtonovskej tekutiny je funkciou Reynoldsovho čísla Re :

$$C_d = C_d(Re) \quad (40)$$

kde Reynoldsovo číslo Re je definované vzťahom

$$Re = \frac{d u \rho}{\mu} \quad (41)$$

v ktorom μ je dynamická viskozita newtonovskej tekutiny.

Závislosť (40) bola experimentálne sledovaná mnohými autormi a je prezentovaná grafom na obr.37. Môžu sa z nej identifikovať tri charakteristické oblasti.

Oblasť I.

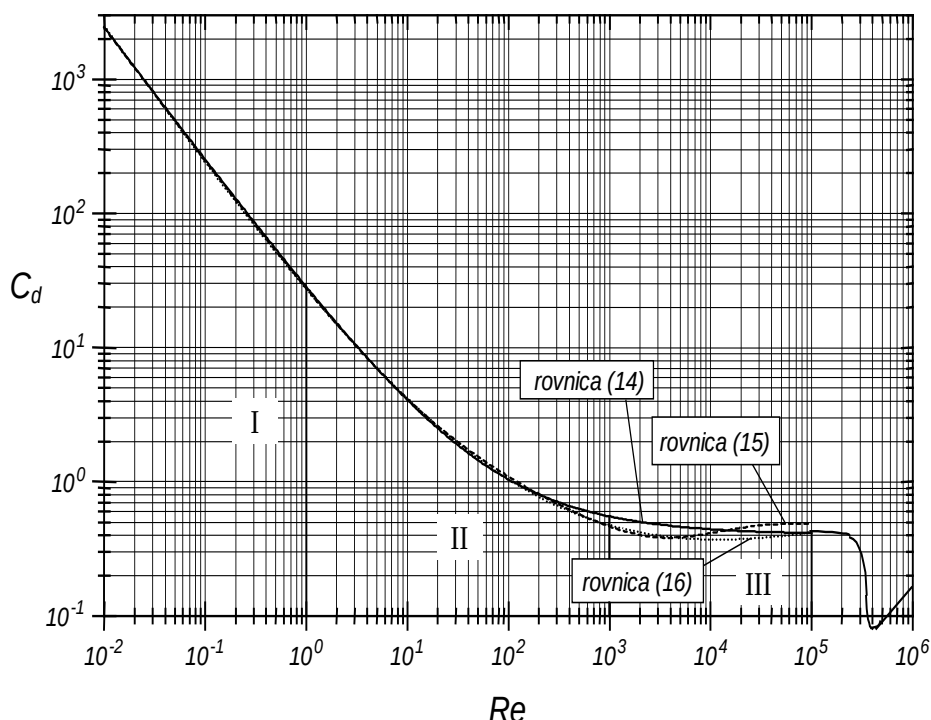
V tejto oblasti ($Re < 1$) je táto závislosť lineárna.

Oblasť II.

V prechodnej oblasti II. , v rozsahu Reynoldsových čísiel troch poriadkov ($1 < Re < 10^3$), je funkcia (9) nelineárna. V oblasti $Re > 10^5$, ktorá už neprichádza do úvahy v technológii separácie fáz heterogénnej disperznej sústavy sedimentáciou, klesá hodnota C_d nespojito na hodnotu cca 0,1, lebo sa mení charakter prúdenia v medznej vrstve. Potom ďalej mierne stúpa.

Oblasť III.

V oblasti III. ($10^3 < Re < 10^5$) súčiniteľ odporu prakticky nezávisí od Reynoldsovho čísla: $C_d \approx 0,44$.



Obr. 37 Namerané závislosti súčiniteľa odporu C_d pri obtekaní guľičky. I - laminárna oblasť, II - prechodná oblasť, III - turbulentná - Newtonova oblasť

Viacerí autori sa pokúšali odvodiť závislosť súčiniteľa odporu od Reynoldsovho čísla analyticky. Niektoré vzťahy sú publikované v novšej literatúre pre nasledujúce oblasti prúdenia.

1. oblasť plazivého obtekania (creeping flow) hladkej guľovej častice viskóznou tekutinou.

$$C_d = \frac{83\pi d u \mu}{\pi d^2 u^2 \rho} = \frac{24\mu}{d u \rho} = \frac{24}{Re} \quad (42)$$

Vzťah platí pre oblasť I, čo je Stokesova oblasť (Stokesova oblasť je podoblasť laminárnej oblasti). Sila odporu v tejto oblasti je výslednicou výlučne viskózných síl.

2. prechodová oblasť

Závislosť súčiniteľa odporu v prechodnej oblasti, vymedzenej rozsahom Re čísiel: $0,25 < Re < 10^3$, sa z praktických dôvodov zvykne vyjadrovať jednoduchou empirickou mocninovou rovnicou

$$C_d = \frac{A}{Re^a} \quad (43)$$

V prechodnej oblasti sa s rastúcim Re číslom znižuje vplyv viskózne sily na veľkosť sily odporu a zväčšuje sa vplyv zotrvačnej sily. Súvisí to s odtrhávaním medznej vrstvy tekutiny od povrchu častice a tvorbou vírivého úplavu v zavetrenom priestore za časticou.

3. turbulentná oblasť

V turbulentnej, tiež nazývanej Newtonovej oblasti, vymedzenej hodnotami Re čísiel: $10^3 \leq Re \leq 10^5$, je vírivé (turbulentné) prúdenie v okolí častice plne rozvinuté. Viskózna sila sa už

prakticky neuplatňuje. Sila odporu proti pohybu častice závisí iba od zotrvačných síl, čo zodpovedá experimentálne stanovenej konštantnej hodnote súčiniteľa odporu

$$C_d \approx konst \approx 0,44 \quad (44)$$

stacionárny pohyb guľovej častice v tekutine v gravitačnom poli

Úlohou bude určiť rýchlosť sedimentácie guľičky pri jej usadzovaní v tekutine v gravitačnom poli. Z riešenia zrýchleného pohybu častice v gravitačnom poli vyplynulo, že častica dosiahne konštantnú rýchlosť usadzovania prakticky za veľmi krátky čas. Z toho dôvodu pri technických výpočtoch spravidla stačí uvažovať stacionárny pohyb guľovej častice. Rýchlosť usadzovania guľovej častice v stacionárnej perióde získame z podmienky, že výslednica síl pôsobiacych na časticu je nulová. Nech na padajúcu guľovú časticu v tekutine pôsobia len sily, ktoré sú uvedené na obr.36:

1. sila tiaže F_g

$$F_g = m_c \cdot g = V_c \cdot \rho_t \cdot g \quad (45)$$

2. vztlaková sila F_A vyplývajúca z Archimedovho zákona

$$F_A = V_c \cdot \rho \cdot g \quad (46)$$

3. sila odporu prostredia proti pohybu guľovej častice

$$F = C_d S_p \frac{u^2}{2} \rho \quad (47)$$

kde V_c je objem častice, ρ_t , ρ - hustota častice, resp. tekutiny, g - gravitačné zrýchlenie, m_c - hmotnosť častice.

Základný smer pôsobenia síl naznačuje obr.36. To je prípad, keď vztlaková sila je menšia než gravitačná, $\rho_t > \rho$, hustota častice je väčšia než tekutiny. V prípade, že hustota častíc je menšia než tekutiny, $\rho_t < \rho$, vztlaková sila je väčšia ako sila tiaže a častica sa bude pohybovať smerom nahor a smer pôsobenia sily odporu bude orientovaný nadol. Keďže sa jedná o guľovú časticu, jej objem a plocha priemetu je:

$$V_c = (\pi d^3) / 6 \quad (48)$$

$$S_p = (\pi d^2) / 4 \quad (49)$$

Rovnováhu síl potom môžeme vyjadriť rovnicou

$$F = F_g - F_A$$

$$\rho_t > \rho \quad (50)$$

Využitím vzťahov (45), (46) a (36) v bilančnej rovnici (50) sa získa vzťah

$$C_d \frac{\pi d^2}{4} \frac{u^2}{2} \rho = \frac{\pi d^3}{6} \rho_t g - \frac{\pi d^3}{6} \rho g \quad (51)$$

Vynásobením rovnice (51) s $(2/\pi d^2)$ a úpravou sa získa dôležitý vzťah pre výpočet sedimentačnej rýchlosti

$$u = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{d g (\rho_t - \rho)}{C_d \rho}} \quad (52)$$

ktorý platí v ľubovoľnej oblasti Reynoldsových čísiel.

Z tejto rovnice vyplýva dôležitá podmienka a to že akékoľvek častice možno separovať sedimentáciou vtedy a len vtedy, keď hustota častíc je rozdielna od hustoty tekutiny, t. j. musí platiť podmienka

$$\rho_t \neq \rho \quad (53)$$

Ak by mali častice a tekutina rovnakú hustotu, t.j. $\rho_t = \rho$, potom zo vzťahu (52) vyplýva, že rýchlosť sedimentácie by sa rovnala nule. Z rovnice (52) ďalej vyplýva, že rýchlosť samostatne sedimentujúcej častice v tekutine bude tým väčšia, čím bude rozdiel hustôt väčší.

zónová sedimentácia

Usadzovanie koncentrovaných suspenzií je veľmi zložitý proces. Pri štúdiu sedimentácie metalurgických kalov sa už v roku 1916 zistilo, že koncentrované suspenzie môžu sedimentovať dvomi rozdielnymi spôsobmi, v závislosti od veľkosti častíc. V oboch prípadoch prebieha sedimentácia vo viac-menej ostro ohraničených zónach.

Charakteristické zóny zobrazené na obr.38 a) sa vytvárajú pri usadzovaní suspenzií tvorených jemnými časticami.

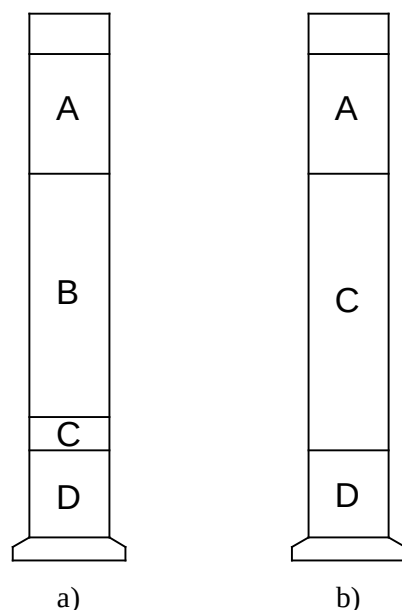
- zóna A je vrstvou vyčírenej kvapaliny
- zóna B je vrstvou suspenzie, v ktorej koncentrácia častíc po výške zóny je konštantná a rovná koncentrácii v pôvodnej suspenzii
- v zóne C sa koncentrácia častíc mení po výške i v čase
- vrstva D je zónou sedimentu (kalu)

Sedimentácia je ukončená, keď sa v systéme nachádza iba zóna vyčírenej kvapaliny A a vrstva kalu D.

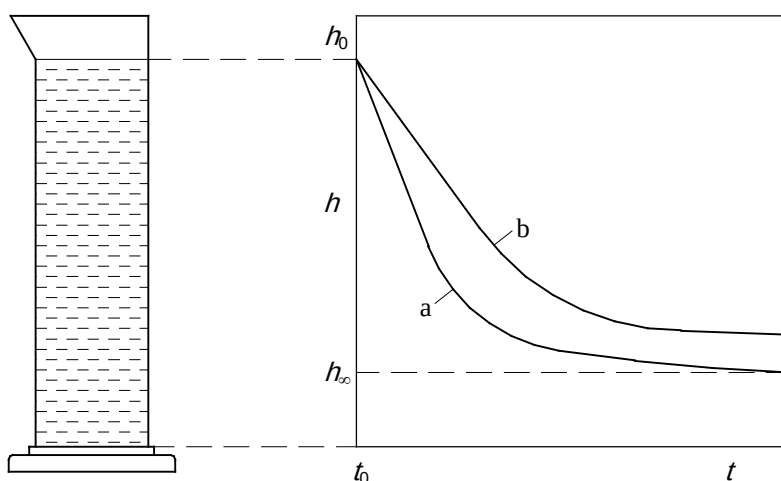
Menej častý priebeh sedimentácie zobrazený na obr. 38 b) sa vyskytuje pri suspenziách z častíc väčších priemerov. Je charakteristický absenciou zóny B.

sedimentačná krivka

Časový priebeh sedimentácie suspenzie sa zisťuje experimentálne sledovaním polohy rozhrania medzi vyčírenou kvapalinou a suspenziou pri usadzovaní častíc v sklenom valci. Experimentálne zistená závislosť polohy tohoto rozhrania od času ($h = h(t)$) sa nazýva sedimentačnou krivkou. Na obr.39 sú schematicky znázornené dva priebehy sedimentačnej krivky pri dvoch rôznych začiatkových koncentráciách suspenzie vytvorenej z častíc rovnakého granulometrického zloženia a z rovnakého materiálu dispergovaného v rovnakej kvapaline.



Obr. 38 Sedimentácia koncentrovaných suspenzií vo valci. A - vyčírená kvapalina, B - zóna konštantnej koncentrácie, C - zóna s meniacou sa koncentráciou, D - sediment, a) prvý typ sedimentácie, kde existuje zóna B, b) druhý typ sedimentácie, kde neexistuje zóna B.

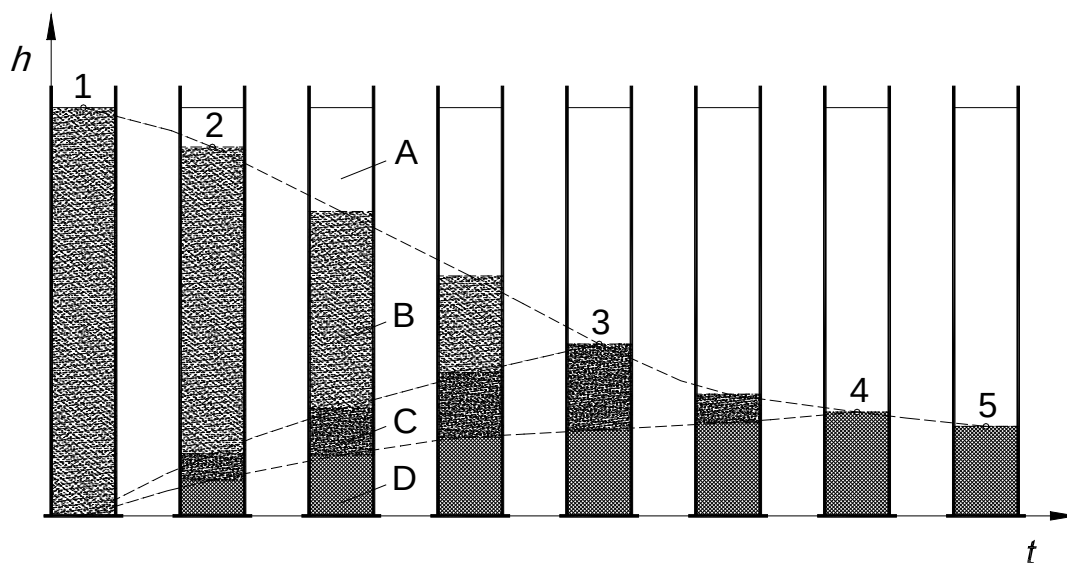


Obr. 39 Sedimentačná krivka jemného kalu: výška rozhrania h od času t . a - menšia začiatočná koncentrácia (väčšie rýchlosti), b - väčšia začiatočná koncentrácia (menšie rýchlosti).

Vizuálne pozorovaný priebeh tvorby a zániku charakteristických zón v čase sedimentácie je schematicky znázornený na obr.40.

Dĺžka zóny B sa v priebehu sedimentácie skraca až do zániku zóny B v bode 3. V tejto fáze sedimentácie rozhranie zón A-B klesá konštantnou rýchlosťou, až na zanedbateľný časový interval na začiatku sedimentácie, v ktorom pokles rozhrania je zrýchlený. Z toho vyplýva, že v zóne B sa častice usadzujú konštantnou rýchlosťou. Dĺžka zóny C sa až do zániku zóny B v bode 3 zvyšuje, čo znamená, že rýchlosť usadzovania častíc v tejto zóne je výrazne nižšia ako v zóne B a je v čase neustálená, o čom svedčí v čase spomalený pokles fázového rozhrania A-C po zániku zóny B (časový interval 3-4). V časovom intervale 4-5 dochádza ku konsolidácii sedimentu; častice sa zoskupujú do tesnejšieho usporiadania, pričom dochádza

k vytesňovaniu kvapaliny zo sedimentu. Na konci sedimentácie sa dosahuje maximálna koncentrácia častíc v sedimente, t.j. jeho limitná medzerovitosť (porozita).



Obr. 40 Úplný priebeh usadzovania koncentrovaných suspenzií jemných častíc. Oblast: A - vyčírená kvapalina, B - usadzovanie konštantnou rýchlosťou v zóne konštantnej koncentrácie, C - zóna s meniacou sa koncentráciou, D - vrstva sedimentu. Bod: 1-začiatok sedimentácie, 2-začiatok sedimentácie konštantnou rýchlosťou, 3-zánik zóny konštantnej rýchlosti a začiatok zóny sedimentácie pri premenlivej rýchlosti, 4-5-konsolidácia sedimentu, 5-konsolidovaný sediment.

Príčin takejto sedimentácie koncentrovanej suspenzie je viacero.

1.ak v sedimentujúcej suspenzii sa nachádzajú častice podstatne rozdielnych rozmerov, potom väčšie častice strhávajú so sebou malé a naopak malé častice brzdia v pohybe veľké častice. Jemné častice tým, že sú strhávané smerom dole pohybom veľkých častíc, sú nimi zrýchľované

2.pri usadzovaní častíc v koncentrovaných suspenziách dochádza k vytesňovaniu kvapaliny zo suspenzie (zóna C). Tok vytesňovanej kvapaliny je protismerný vzhľadom k pohybu častíc. Pozorovaná rýchlosť usadzovania častíc je menšia než ich relatívna rýchlosť vzhľadom ku kvapaline

3.gradienty rýchlosti vytesňovanej kvapaliny sa zväčšujú zvyšovaním koncentrácie častíc v dôsledku znižovania plošného obsahu prierezu medzičasticových priestorov

4.na priebeh sedimentácie má vplyv aj flokulácia agregátov častíc usadzujúcich sa rýchlejšie ako jednotlivé častice. Flokulácia sa uplatňuje najmä pri sedimentácii koncentrovaných suspenzií jemných častíc s veľkým špecifickým povrchom a to najmä v polárnych kvapalinách a ionizovaných roztokoch

Ak interval rozmerov častíc v koncentrovanej suspenzii nie je väčší než 6:1, rozhranie vyčírenej kvapaliny a suspenzie je ostré a všetky častice padajú rovnakou rýchlosťou. Toto je v protiklade s vlastnosťami riedkych suspenzií, pre ktoré rýchlosť sedimentácie častíc sa vypočítava metódami zavedenými skôr a kde rýchlosť sedimentácie je väčšia pri väčších

časticiach. Je to dôsledok toho, že pri zónovej sedimentácii koncentrovaných suspenzií veľké častice sú spomaľované a malé zasa zrýchľované.

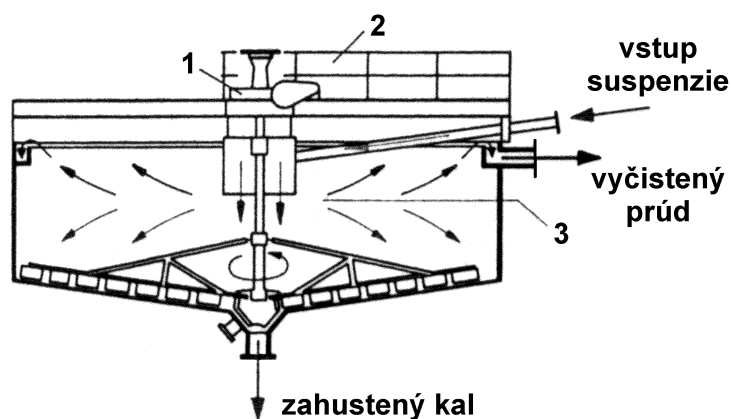
APARÁTY:

K separácii suspenzií gravitačnou sedimentáciou slúžia usadzovacie zariadenia. Cieľom ich aplikácii je čírenie kvapaliny, zahusťovanie kalu alebo oboje súčasne a to nezávisle od koncentrácie tuhých častíc.

Sedimentačné nádoby môžu mať rôzny tvar: kruhový, štvorcový alebo obdĺžnikový.

Usadzovacie zariadenia pracujú diskontinuitne (periodicky) alebo kontinuálne. V zariadeniach s periodickou prevádzkou napustí sa suspenzia do nádrže, kde zostáva v kľude počas usadzovania častíc na dno. Potom sa vrstva vyčírenej kvapaliny odťahuje (dekantuje) násoskou. Sediment sa vypustí nakoniec najčastejšie spodným vypúšťacím kohútom. Pri kontinuálnych usadzovacích zariadeniach je prívod suspenzie, výtok sedimentu (kalu) a prepad vyčírenej kvapaliny nepretržitý.

Dva najpoužívannejšie a základné druhy usadzovacích zariadení sú kruhový a lamelový usadzovák.



Obr. 41 Gravitačný zahusťovač Dorr-Oliver. 1 - pohon, 2 - most obsluhy, 3 - separačná zón.

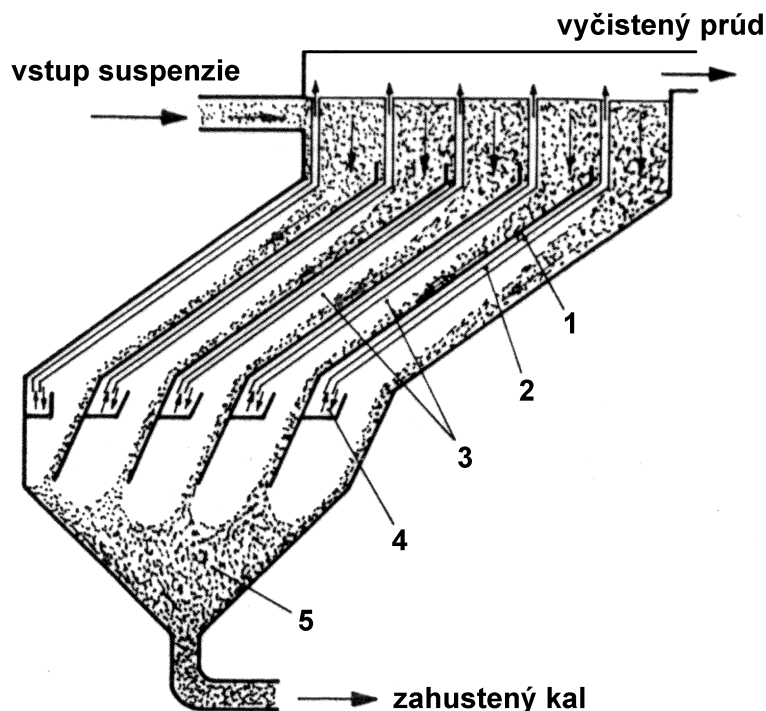
kruhový usadzovák

Usadzovák s kruhovou pôdorysnou plochou sa využíva na spracovávanie tak malých ako aj veľkých množstiev suspenzií, napríklad pri čistení odpadových, ale i úžitkových vôd. Sú vyhotovené buď z betónu, vtedy môžu mať priemer až do 200 m, alebo z ocele. Zjednodušený obrázok takéhoto sedimentačného zariadenia jednoduchej konštrukcie ilustruje obr. 41.

Dávkovanie suspenzie do nádrže sa realizuje cez vstupnú centrálnu nátokovú rúru. Vyčírená kvapalina postupuje radiálne smerom k vonkajšiemu prepadu. Jednotlivé častice alebo aglomeráty vplyvom gravitačného poľa sedimentujú a postupujú do priestoru sedimentu, kde je umiestnené vyhrabávacie zariadenie poháňané buď v strede pohonnou jednotkou v osi alebo pri vonkajšej stene. Kal sa transportuje hrablami do stredu. Odvod kalu sa realizuje membránovými alebo jednovretenovými čerpadlami na ďalšie spracovanie. Väčšie separačné plochy možno dosiahnuť viackomorovým usporiadaním nad sebou, pri priemere nádoby až 35 m.

lamelový usadzovák

Novšie konštrukčné riešenie výkonného usadzovacieho zariadenia predstavuje obr.42. Zväčšenie plochy sa tu dosiahlo zošikmením plôch a ich uložením nad sebou. V usadzovacej nádrži sú usporiadané šikmé lamely (preto lamelový usadzovák), (rúrky alebo taniere) tak, aby sa maximálna dráha usadzovania častíc skrátila. Takto sa výkonnosť zariadenia podstatne zvýši a ušetrí sa pôdorysná plocha. Lamiel v usadzovacom zariadení môže byť až 50. Lamelový usadzovák je "statický" tanierový separátor analogickej konštrukcie ako tanierový odstredivý separátor.



Obr.42 Lamelový gravitačný zahusťovač Passavant. 1 - lamela, 2 - trubka stúpajúceho vyčisteného prúdu, 3 - separačný priestor, 4 - zberný žľab vyčistenej kvapaliny, 5 - zberač zahusteného kalu – sedimentu.

Suspenzia sa privádza do lamelového usadzovacieho zariadenia v hornej časti, klesá smerom dole, pritom dochádza k oddeľovaniu kvapaliny od častíc. Častice sa v šikmom kanáli dostávajú na lamely a kvapalina sa formuje v hornej časti prúdu v separačnom priestore. V spodnej časti separačného priestoru lamelového usadzováku sa vyčírená kvapalina odvádza stúpajúcim vedením do hornej časti usadzováku smerom k prepadu. Kal zasa postupuje v dolnej časti separačného priestoru po šikmých stenách do priestoru sedimentu, odkiaľ je dopravovaný čerpadlom alebo samospádom na ďalšie spracovanie.

ODSTREĐOVANIE

DEFINÍCIA:

Je to separácia fáz suspenzie tuhá fáza – kvapalina, resp. emulzie pozostávajúcej z dvoch navzájom nerozpustných (nemiešateľných) kvapalín, účinkom odstredivej sily.

PRINCÍP PROCESU:

HNACIA SILA:

K separácii fáz heterogénnej sústavy v odstredivom poli dochádza v dôsledku rôznej hustoty fáz a účinkom odstredivej sily pôsobiacej na tieto fázy.

PRINCÍP VÝPOČTU:

separačný deliaci faktor,

Je to podiel odstredivej a gravitačnej sily a rovná sa Froudeho číslu

$$Fr = \frac{F_0}{F_g} = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g} \quad (54)$$

tvar voľného povrchu kvapaliny v rotujúcom bubne

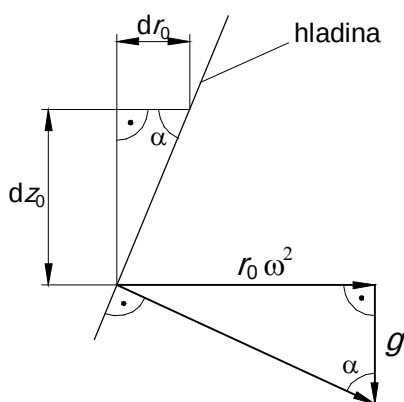
Na element kvapaliny v mieste r rotujúci v nádobe uhlovou rýchlosťou ω pôsobí uhlové zrýchlenie ($r\omega^2$) v smere radiálnom (obr. 43) a v smere axiálnom pôsobí gravitačné zrýchlenie g . Ak sa vyjadrí odstredivá sila v smere radiálnom na hmotnú časticu (element) v tvare

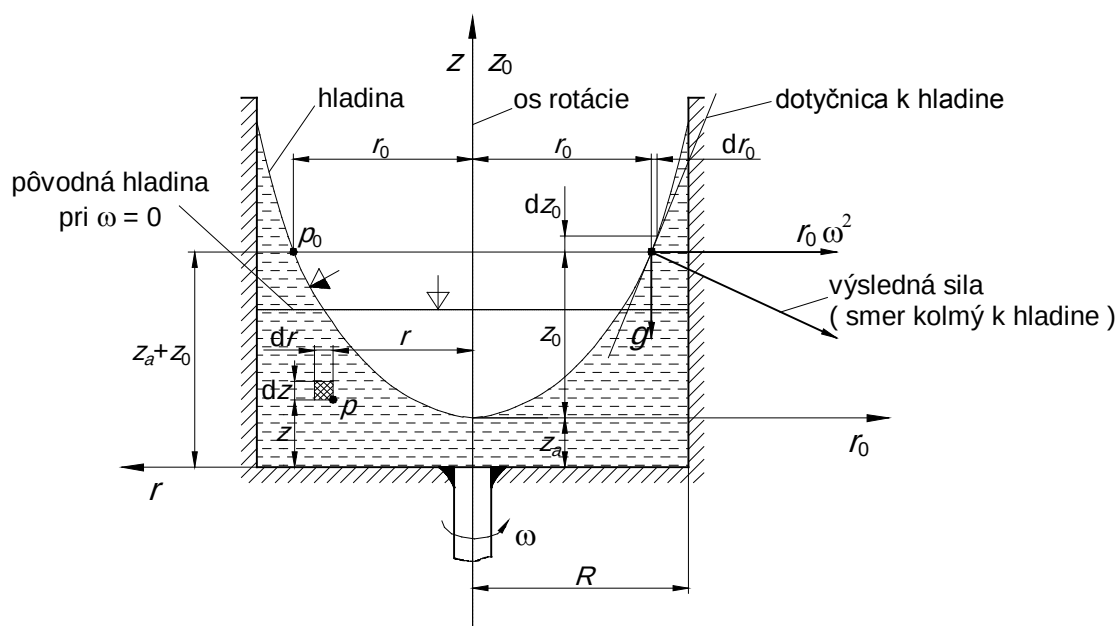
$$F_0 = m \cdot a = mr\omega^2 \quad (55)$$

a gravitačnú silu v smere axiálnom

$$F_g = m \cdot g \quad (56)$$

V praxi sa pohybuje tento silový pomer u odstrediviek v medziach $Fr = 50$ až $5 \cdot 10^5$ a pri ultraodstredivkách až $1,0 \cdot 10^6$.





Obr. 43 Hladina rotujúcej kvapaliny v nádobe s dnom.

Pri odstredivkách axiálna os (os rotácie) môže byť vodorovná alebo vertikálna (v smere gravitácie). V obr. 43 je os rotácie vertikálna. Naznačená voľná plocha hladiny sa vytvorí v ustálenom stave rotujúcej kvapaliny vo valcovej nádobe pri odstredivom zrýchlení, ktoré je porovnateľné s gravitačným. V tejto konfigurácii odstredivá a gravitačná sila sú na seba kolmé a výsledná sila musí byť kolmá na vytvorený voľný povrch hladiny. Potom, na základe podobnosti trojuholníkov sa môže napísať úmera

$$\frac{dz_0}{dr_0} = \frac{r_0 \omega^2}{g} \quad (57)$$

Separáciou premenných a integráciou rovnice v príslušných hraniciach: pri $r_0 = 0$ je $z_0 = 0$ a pri $r_0 = r_0$ je $z_0 = z_0$

$$\int_0^{z_0} dz_0 = \int_0^{r_0} \frac{\omega^2}{g} r_0 dr_0 = \frac{\omega^2}{g} \int_0^{r_0} r_0 dr_0 \quad (58)$$

A realizovaním integrácie a úpravou je

$$z_0 = \frac{\omega^2 r_0^2}{2g} \quad (59)$$

Zo závislosti (59) vyplýva, že tvar hladiny v reze je parabola druhého stupňa a rotačné teleso ohraničené takouto hladinou pri rotácii je rotačný paraboloid. V tomto prípade bol súradnicový systém (r_0, z_0) volený tak, že jeho počiatok je tožný s vrcholom paraboly vytvorenej voľnej hladiny (obr.43). Nakoľko poloha takéhoto súradnicového systému, vzhľadom na pevné dno nádoby, sa mení od uhlovej rýchlosti, volí sa nový súradnicový systém (r, z) tak, že jeho počiatok bude umiestnený na dne nádoby a v osi rotácie. Nech vzdialenosť medzi počiatkom nového súradnicového systému (r, z) a starého (r_0, z_0) je z_a . Potom vzťah medzi súradnicou z a z_0 je

$$z = z_0 + z_a, \text{ resp. } z_0 = z - z_a \quad (60)$$

Dosadením nových hraníc a premenných do integrálu (58)

$$\int_{z_a}^z dz = \frac{\omega^2}{g} \int_0^{r_0} r dr \quad (61)$$

sa po integrácii získa rovnica

$$z - z_a = \frac{\omega^2 r_0^2}{2g} \quad (62)$$

čo je tvar hladiny rotujúcej kvapaliny v nádobe v novom súradnom systéme.

Hydraulický tlak v kvapaline pri rotácii

Na základe rovníc hydrostatiky je možné odvodiť a získať rovnicu pre výpočet hydrostatického tlaku v kvapaline pri rotácii.

(63)

Rovnica (63) platí pre priebeh tlaku v homogénnej kvapaline, ktorá rotuje v bubne valcového tvaru. Os rotácie je totožná s osou valcového bubna. Tlak p_0 je tlak na hladine a súradnice $(z_0 + z_a)$ a r_0 určujú bod na hladine.

Ak Froudeho číslo $Fr \gg 1$, potom druhý člen na pravej strane rovnice (63) je zanedbateľne malý oproti tretiemu členu a vtedy tlak v ľubovoľnom bode kvapaliny bude vyjadrený rovnicou

$$p = p_0 + \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r^2 - r_0^2) \quad (64)$$

Ak p_0 je atmosferický tlak potom sa môže napísať rovnosť $p_0 = 0$. Potom pretlak je

$$p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r^2 - r_0^2) \quad (65)$$

sedimentačná rýchlosť v odstredivom poli v radiálnom smere

Na časticu usadzujúcu sa v rotujúcej kvapaline (v odstredivom poli) pôsobia vo všeobecnosti nasledovné sily:

1. odstredivá sila F_o
2. vztlaková (Archimedova) sila F_A skladajúca sa z dvoch zložiek: zložky v smere radiálnom (kolmo na gravitáciu) F_{Ao} a zložky v smere gravitačného zrýchlenia F_{Ag} , takže platí vektorová rovnica bilancie vztlakovej sily

$$F_A = F_{Ao} + F_{Ag} \quad (66)$$

3. Coriolisová sila F_c
4. gravitačná sila F_g
5. odpor prostredia F skladajúci sa z dvoch zložiek: radiálnej F_r a axiálnej F_a :

$$F = F_r + F_a \quad (67)$$

6. zotrvačná sila F_z .

Sily vyvolané gravitačným poľom v odstredivkách v porovnaní so silami v odstredivom poli v smere radiálnom sú zanedbateľne malé a teda je ich možné zanedbať.

Coriolisová sila pôsobí v tangenciálnom smere a v bilancii radiálnych zložiek nebude vystupovať.

Zotrvačná sila, ktorá pôsobí počas celej doby usadzovania (pretože radiálna, usadzovacia rýchlosť sa mení s polomerom), vzhľadom k ostatným silám sa obyčajne zanedbáva.

Potom v bilancii radiálnych síl vystupujú len nasledujúce sily.

$$F_o - F_{Ao} - F_r = 0 \quad (68)$$

V rovnici (68) sa teda bilancujú už len veľkosti zložiek síl v smere radiálnom, preto symboly nie sú už označené ako vektory, ale len ako skalárne veličiny.

Ak sedimentujúca guľová častica s hustotou ρ_t sa usadzuje na polomere r v kvapaline o hustote ρ rotujúcej uhlovou rýchlosťou ω , potom pre jednotlivé veľkosti zložiek síl platia nasledovné rovnice:

- veľkosť odstredivej sily

$$|\mathbf{F}_o| = F_o = V_t \rho_t \omega^2 r = (\pi d^3 / 6) \rho_t \omega^2 r \quad (69)$$

- veľkosť vztlakovej sily v smere radiálnom

$$|\mathbf{F}_{Ao}| = F_{Ao} = V_t \rho \omega^2 r = (\pi d^3 / 6) \rho \omega^2 r \quad (70)$$

- veľkosť radiálnej zložky sily odporu prostredia

$$|\mathbf{F}_r| = F_r = C_d S_p u^2 \rho / 2 = C_d (\pi d^2 / 4) u^2 \rho / 2 \quad (71)$$

Dosadením rovníc (69) až (71) do bilancie (68) sa získa

$$(\pi d^3 / 6) \rho_t \omega^2 r - (\pi d^3 / 6) \rho \omega^2 r - C_d (\pi d^2 / 4) u^2 \rho / 2 = 0 \quad (72)$$

Úpravou rovnice (72) sa získa rovnica pre sedimentačnú rýchlosť v odstredivom poli v radiálnom smere tvaru

$$u = \sqrt{\frac{4 d (\rho_t - \rho) \omega^2 r}{3 C_d \rho}} \quad (73)$$

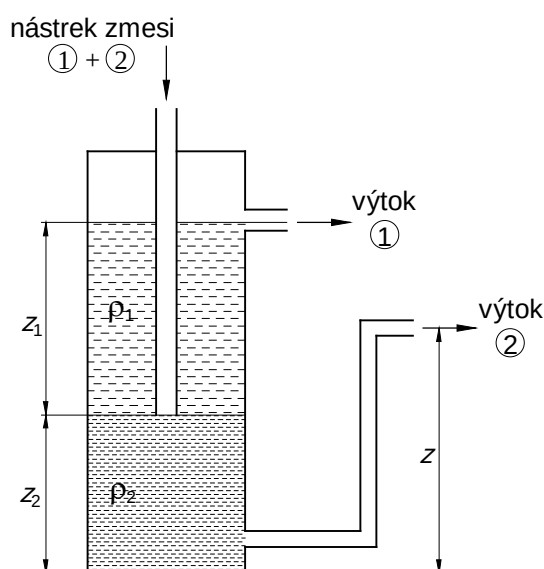
Porovnaním rovníc sedimentačných rýchlostí v gravitačnom a v odstredivom poli vyplýva len jeden rozdiel: miesto gravitačného zrýchlenia g , v rovnici (73) vystupuje odstredivé zrýchlenie ($\omega^2 r$).

separácia nemiešateľných kvapalín rozdielnych hustôt v gravitačnom poli

Princíp kontinuálnej separácie dvoch kvapalín rozdielnej hustoty v gravitačnom poli znázorňuje obr. 44.

Vstup zmesi dvoch nemiešateľných kvapalín sa realizuje v blízkosti rozhrania prírodnou rúrkou kontinuálne.

Kvapaliny sa rozsadzujú v dôsledku rôznej hustoty tak, že kvapalina s menšou hustotou obsadzuje priestor hornej časti (výška z_1) a kvapalina s väčšou hustotou obsadzuje dolnú časť separačného priestoru (výška z_2).



Obr. 44 Schéma separácie dvoch nemiešateľných kvapalín v gravitačnom poli. Kvapalina 1 s hustotou ρ_1 , kvapalina 2 s hustotou ρ_2 , $\rho_1 < \rho_2$.

Poloha fázového rozhrania závisí od polohy výtokového otvoru 2. Ak sa toto rozhranie má udržať v určitej konštantnej výške z_2 , pri zanedbaní strát tlaku prúdiacej kvapaliny poloha výtokového hrdla 2 je daná vzťahom vyplývajúcim z rovnosti hydrostatického tlaku v ramenách tejto spojitých nádob:

$$\rho_2 z g = \rho_1 z_1 g + \rho_2 z_2 g \quad (74)$$

resp.

$$\rho_1 z_1 g = \rho_2 g (z - z_2) = \rho_2 g \Delta z ; \quad \Delta z = z - z_2 \quad (75)$$

Z rovnice (74) sa určí výška prepadovej rúrky pre kontinuálne separačné zariadenie

$$z = z_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} + z_2 \quad (76)$$

APARÁTY:

Zariadenie, v ktorom dochádza k separácii heterogénnych zmesí účinkom odstredivej sily sa nazýva odstredivkou. Generuje sa v ňom odstredivá sila rotáciou konštrukčného prvku zariadenia. V odstredivkách sa dosahuje odstredivé pole niekoľko poriadkov silnejšie ako je pole gravitačné (napr. niekoľko 1000g).

V odstredivkách sa realizujú nasledovné procesy:

čírenie suspenzií

Je to oddeľovanie tuhej fázy z nízkokoncentrovaných suspenzií (obj. koncentrácia do 5 %). Tu sa používajú číriace závitkové a rúrkové odstredivky a separátory s tanierovou alebo valcovou zostavou.

zahusťovanie

Je proces, pri ktorom separované častice dispergovanej fázy sa zakonzcentrovávajú vzhľadom k disperznej fáze. Stupeň zahustenia sa určuje pomerom obsahu tuhej fázy v zahustenej zmesi (koncentráte) a vo fugáte (zriedenej zmesi). Stupeň zahustenia sa dosahuje od 2 do 30 %. Na tento účel sú vhodné zahusťovacie separátory, pričom z rotorov sa koncentrát kontinuálne odvádza cez dýzy.

sedimentačné odstredovanie

Realizuje sa pri stredne a veľmi koncentrovaných suspenziách. Využívajú sa odvodňovacie odstredivky, univerzálne sedimentačné odstredivky a diskontinuálne pracujúce odstredivky s ručným alebo mechanizovaným vyprázdňovaním.

filtrácia v odstredivom poli

Realizuje sa na perforovaných rotoroch kontinuálnym spôsobom alebo diskontinuálne.

klasifikácia odstrediviek hľadiska princípu delenia

- sedimentačné odstredivky majú všeobecnejšie uplatnenie
- filtračné
- filtračné odstredivky sa nasadzujú pri separácii suspenzií, keď je potrebné dosiahnuť vysoký stupeň premytia koláča a tiež odvodnenie netečúcich, resp. zle tečúcich koláčov kombinované
- kombinované

klasifikácia odstrediviek z hľadiska technologického účelu

- odvodňovacie sedimentačné

Sú určené na delenie suspenzií s vysokou koncentráciou so stredne disperznými časticami, kedy je potrebné zabezpečiť vysokú výkonnosť spracovávanej zmesi a malý obsah vlhkosti sedimentu. Čistota fugátu nie je limitujúca.

- univerzálne sedimentačné

Hodia sa pre malé a stredné koncentrácie, kde sa vyžaduje čistota fugátu a nevyžaduje sa vysoká sušina sedimentu,

- číriace odstredivky

Používajú sa na separáciu zmesí s nízkou koncentráciou a na veľmi jemné častice,

- separátory

Najviac sa uplatňujú na separovanie jednotlivých zložiek z emulzií.

klasifikácia odstrediviek z podľa priebehu procesu

- periodické

V periodických odstredivkách sa realizujú postupne rôzne operácie: plnenie, separácia (odstred'ovanie), premývanie, presušovanie, vyprázdňovanie a čistenie (sanitácia).

- kontinuálne.

V kontinuálnych odstredivkách sa operácie realizujú súčasne.

klasifikácia odstrediviek z hľadiska teploty

Odstredivky môžu byť vyhrievané, chladené (plášte) a navyše aj hermetizované.

klasifikácia odstrediviek podľa druhu konštrukčného materiálu

Odstredivky môžu byť vyrobené z uhlíkovej ocele s pogumovanými pracovnými prvkami, poplastované, z titánu a iných druhov materiálov, z ušľachtilých chrómniklových ocelí triedy 17, iných druhov legovaných ocelí atď.

klasifikácia odstrediviek podľa konštrukčného riešenia bubna odstredivky

- usadzovacie odstredivky

Majú plný plášť bubna odstredivky a v odstredivom poli sa fázy separujú usadzovaním špecificky hustejšej fázy (dispergovaných častíc).

Príkladom usadzovacích odstrediviek na suspenzie je odstredivka na kaly z niektorých druhov ČOV, odstredivka na bakteriálnu vyfermentovanú pôdu napr. pri výrobe proteínázy (enzým štiepiaci proteíny).

Tiež sa používajú na separáciu emulzií je mliekarenská odstredivka na separáciu smotany z mlieka alebo odstredivka na separáciu zaolejovaných vodných odpadových emulzných zmesí (separátory).

- filtračné odstredivky

Plášť odstredivky je dierovaný a z vnútornej strany pokrytý sitom alebo plachietkou. Jednotlivé fázy sa vtedy oddeľujú filtráciou.

Vo filtračných odstredivkách možno navzájom separovať aj fázy heterogénnej zmesi rovnakej hustoty. Vytvorený filtračný koláč sa môže premývať, resp. vysušovať priamo v odstredivke.

Typickým príkladom filtračnej odstredivky je odstredivka na separáciu cukru z cukroviny.

klasifikácia odstrediviek podľa konštrukcie rotujúceho telesa

Suspenzia sa v odstredivke uvádza a udržiava v rotačnom pohybe prostredníctvom síl trenia medzi suspenziou a povrchom rotujúceho telesa odstredivky. Podľa konštrukcie rotujúceho telesa rozlišujeme odstredivky.

- bubnové

Pri bubnových odstredivkách je rotujúcim telesom bubon, v ktorom sa nachádza separovaná zmes.

- tanierové

Pri tanierových odstredivkách rotujúce teleso tvorí sústavu tanierov uchytených na rotujúcom hriadeli ponorených v suspenzii. V tanierových odstredivkách je plocha povrchu kontaktu rotujúceho telesa a suspenzie väčšia a sedimentačná dráha dispergovaných častíc suspenzie kratšia ako v bubnových odstredivkách. Tanierové odstredivky sú výkonnejšie a účinnejšie ako bubnové, sú však konštrukčne zložitejšie.

V ďalšej časti textu sa uvádzajú základné princípy a konštrukčné riešenia vybraných typov odstrediviek.

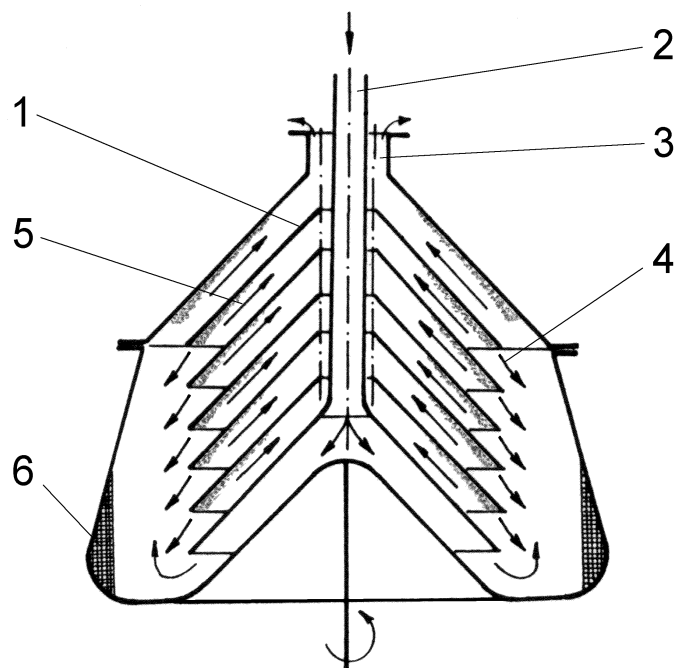
TANIEROVÁ ODSREDIVKA

Čas usadzovania sa dá skrátiť, ak priestor bubna sa rozdelí rovnobežnými šikmými - tanierovými prepážkami, (obr.45).

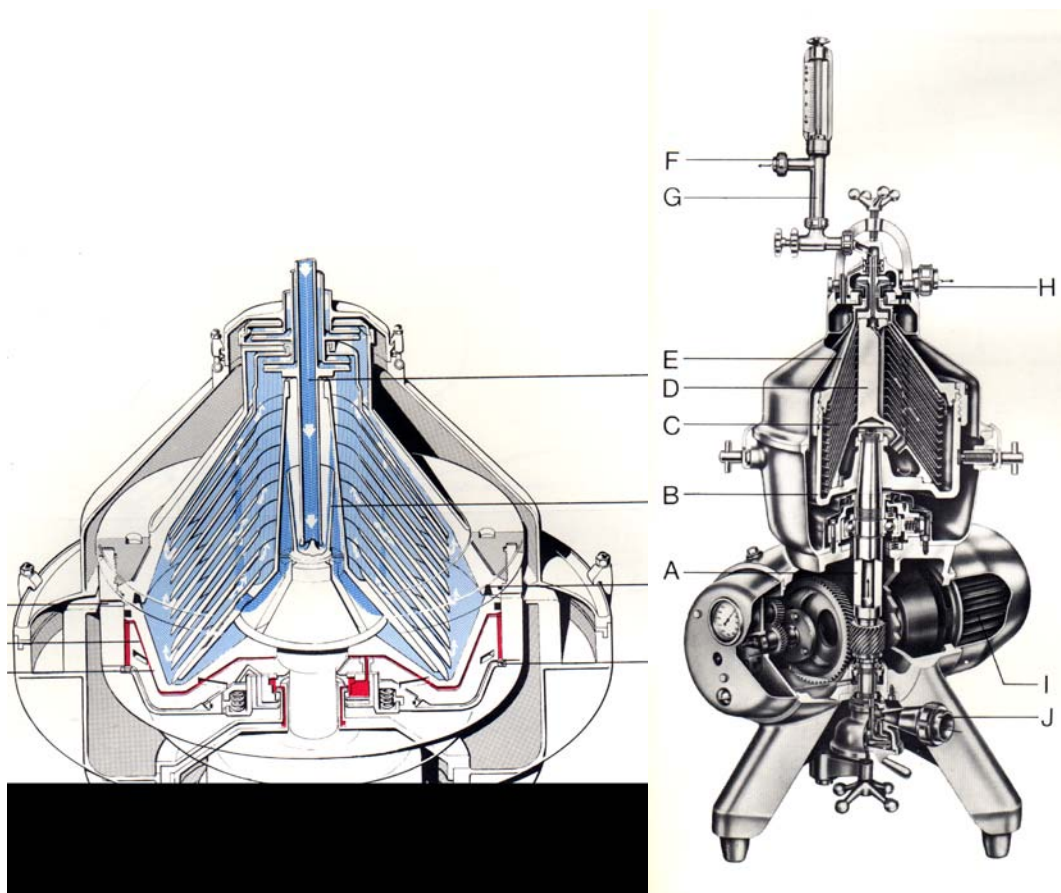
Sedimentácia prebieha v tenkých vrstvách medzi dvomi taniermi, kde je krátka dráha usadzovania a veľká usadzovacia plocha.

Aby mohla byť každá fáza zo zmesi samostatne kontinuálne odvádzaná, prepážky-taniere sú sklonené k smeru pôsobenia odstredivej sily. Takéto geometrické usporiadanie zabezpečuje tiež aj laminárne prúdenie v medzerách medzi taniermi 1 pri zachovaní vysokej priemernej rýchlosti usadzovania.

Častice obsiahnuté v suspenzii sa privádzajú stredovou rúrkou 2. Väčšie častice sa oddeľujú skôr na vstupe do separačného priestoru a jemnejšie v priestore medzi taniermi.



Obr. 45 Bubon tanierovej odstredivky. 1-kuželový tanier, 2-nástrek suspenzie, 3-otvor na tok vyčírenej kvapaliny, 4-tok separovaných častíc (tuhá fáza), 5-tok kvapaliny, 6-sediment.



Obr. 46 Odstredivka firmy Alfa-Laval.

SEDIMENTAČNÉ ODSREDIVKY

Pozostávajú z neperforovaného bubna, do ktorého je suspenzia privádzaná a rotovaná pri vysokých otáčkach.

Kvapalina sa odvádza zbernou rúrkou alebo prepadom cez okraj, pritom sediment zostáva na stene bubna, alebo je občas, alebo kontinuálne odvádzaný z bubna.

Z hľadiska návrhu bubna a mechanizmov vyprázdňovania existuje päť hlavných typov priemyselných sedimentačných odstrediviek:

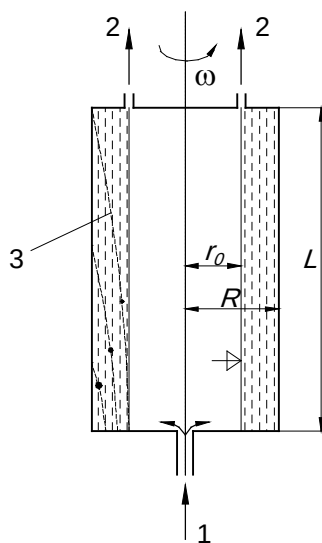
1. rúrkové,
2. viackomorové,
3. bubnové (neperforované), polokontinuálne, občasné vyprázdňovanie (obvyčajne automaticky),
4. závitovkové:
 - a) zadržiavajúce tuhú fázu - diskontinuálne,
 - b) s ejekovanou tuhú fázou (občasne vystreľované),
 - c) dýzové - kontinuálne vyprázdňované

5. separátory.

Rúrkové a viackomorové sú diskontinuálne pracujúce obvyčajne s ručným vyprázdňovaním.

Sedimentačné rúrkové odstredivky

Sú jednoduchej konštrukcie. Pozostávajú z vertikálnej rúrky malého priemeru a veľkej dĺžky ($L/D = 5$ až 7), ktoré rotujú vysokou uhlovou rýchlosťou s vertikálnou osou, $Fr = (15 \text{ až } 100) \cdot 10^3$.



Obr. 47 Trajektórie častíc v rúrkovej odstredivke. 1-vstup suspenzie (nástrek), 2-výstup fugátu - kvapaliny, 3-trajektórie odstred'ovaných častíc.

Delená zmes sa privádza na dne a tok je hlavne v axiálnom smere k výtoku. Výtok fugátu (kvapaliny) je buď cez priehradku (hranu) alebo hrádzu. Na dne rúrky s $r = R$ sú usadzované častice a každá veľkosť má samostatnú trajektóriu.

Rúrkové odstredivky sa hodia na separáciu najjemnejších častíc nízkej obj. koncentrácie (menej ako 1 %), na separáciu vírov, na delenie biomasy z malých fermentorov a na separáciu stabilných emulzií (kontinuálne rúrkové separátory).

Kapacita sedimentu najväčších rúrkových odstrediviek je cca 15 litrov. Môžu sa sterilizovať priamo parou alebo v autokláve.

Bubnové odstredivky

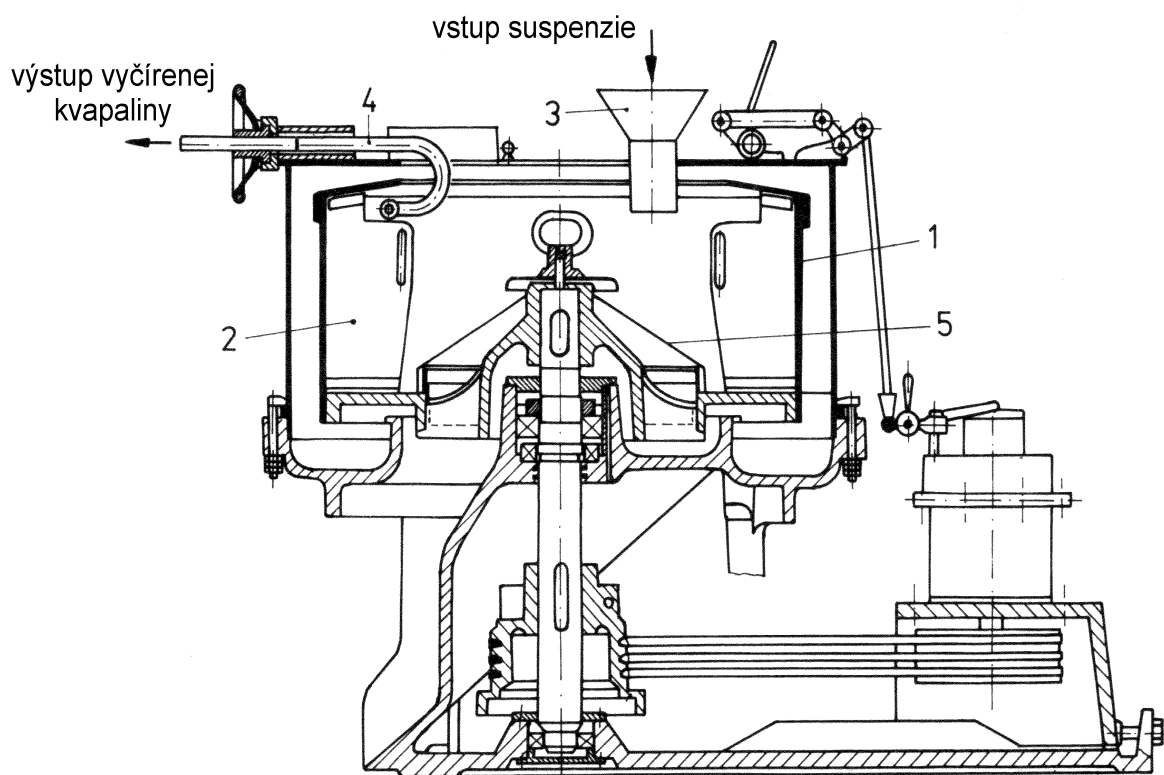
Bubnové odstredivky svojím usporiadaním sa podobajú na rúrkové odstredivky, len majú podstatne kratšiu dĺžku, $L \cong (0,6 \text{ až } 1) \cdot D$.

Účinnosť separácie je vo všeobecnosti podstatne menšia, lebo je kratší zdržný čas, kratšia separačná zóna.

Tieto odstredivky sa obyčajne konštruujú s vertikálnou osou a plnia sa v osi v blízkosti dna bubna. Obsah tuhej fázy v suspenzii by mal byť pomerne nízky (3 až 5 %), aby sa nemusel sediment často vyprázdňovať (čistiť).

Typické použitie bubnových odstrediviek je pri odvodňovaní kalov a pri recyklovaní tuhej fázy z odpadového prúdu.

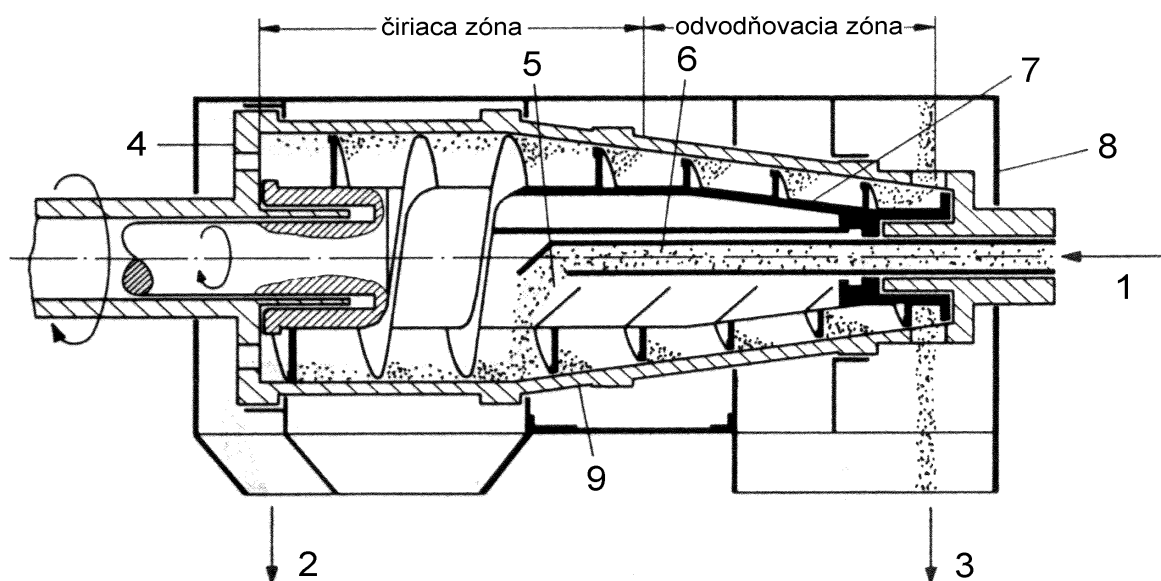
Otáčky rotora sú od 450 do 3500 ot/min, typická výkonnosť 6 až 10 m³/h. Obr. 48 ilustruje jednoduchú bubnovú sedimentačnú odstredivku s ručným vyprázdňovaním a s tuhým uložením vertikálneho hriadeľa bubna. V bubne 1 sú radiálne prepážky 2. Suspenzia sa privádza do odstredivky hrdlom 3. Vyčírená kvapalina sa odvádza z bubna odsávacou rúrkou 4, ktorú je možné radiálne posúvať až k vrstve sedimentu a tak dekantovať prakticky všetku vyčírenú kvapalinu z bubna. Po odvedení kvapaliny sa odstredivka zastaví, zdvihne sa kužel 5 zakrývajúci spodné otvory v bubne a do nich sa potom sediment ručne vyhrabuje.



Obr. 48 Bubnová sedimentačná odstredivka. 1-bubon, 2-radiálne prepážky, 3-prívod suspenzie, 4-odsávacia trubka, 5-uzatvárací kužel.

Závitovkové odstredivky

Často sa nazývajú tiež dekantačné odstredivky. Charakteristickou črtou týchto odstrediviek je, že majú zabudovanú závitovku na kontinuálne vyprázdňovanie sedimentu. Používajú sa tam, kde sa tvorí tuhý sediment.



Obr. 49 Schéma sedimentačnej odstredivky so závitovkovým vyprázdňovaním. 1-vstup suspenzie, 2-výstup fugátu, 3-odlúčený kal, 4-otvor fugátu, 5-rozdeľovacia hlava nástreku, 6-vstupná trubka, 7-dopravná závitovka kalu, 8-kryt, 9-bubon.

Základné charakteristiky závitovkových sedimentačných odstrediviek:

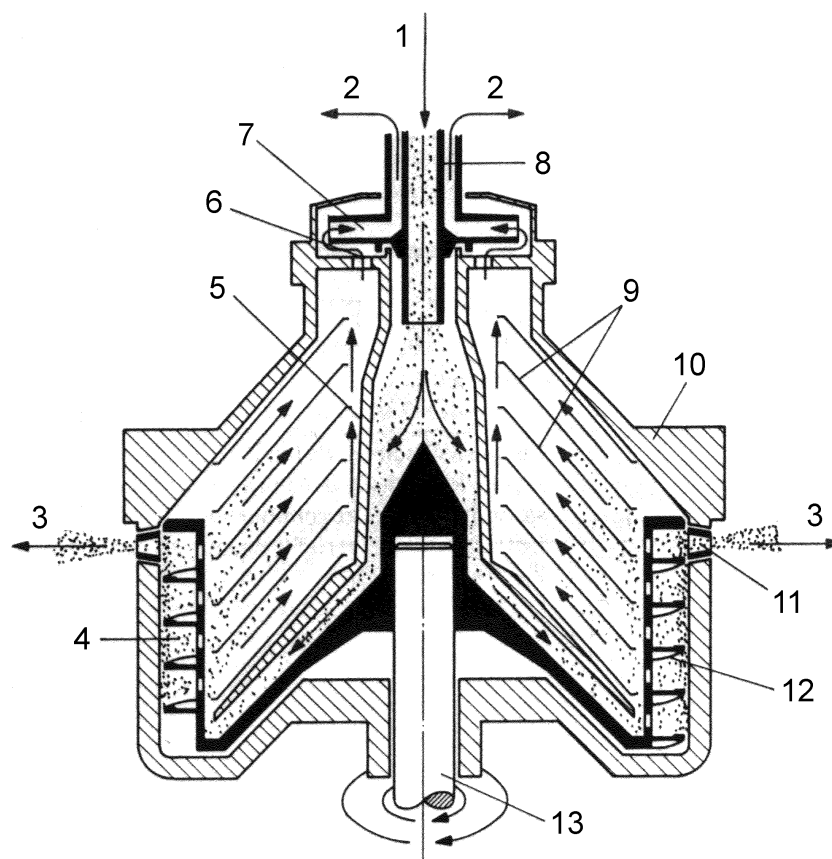
- veľkosť oddeľovaných častíc: $x_T = 1 \mu\text{m}$ až 2 mm
- obsah tuhej fázy: 3 až 60 % obj.
- deliaci pomer: $Fr = 400$ až $10\,000$
- priemer bubna: $D = 0,2$ až 2 m
- otáčky rotora: $n = 800$ až $8\,000 \text{ ot/min}$
- výkonnosť: až $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Suspenzia sa do odstredivky privádza v osi stredovou rúrkou do rotujúcej komory so závitovkou. Vplyvom odstredivých síl tuhá fáza sa pohybuje na stenu bubna ($\rho_t > \rho$), pritom tuhá fáza je dopravovaná závitovkou z valcovej časti do kužeľovej časti k výtoku. Závitovka a bubon sa otáčajú rovnakým smerom len rozdielnymi otáčkami. Na kuželi sa tuhá fáza odvodňuje (odvodňovacia zóna). Odvodnená tuhá fáza je potom dopravovaná na koniec kužeľovej časti k vyprázdňovaciemu otvoru, kde opúšťa rotor. Kvapalná fáza je dopravovaná vo valcovom bubne proti pohybu tuhej fázy k prepadu, situovanom na opačnom konci než odchádza tuhá fáza. V týchto typoch odstrediviek môže byť koncentrácia tuhej fázy podstatne vyššia než napr. v tanierových separátoroch (až do 60 % obj.). Používajú sa na odvodňovanie a zahusťovanie amorfných kalov, odvodňovanie v ťažkej chémii, organických produktoch, v minerálnom priemysle, pri výrobe buničiny v celulozo-papierenskom priemysle, odvodňovanie potravinárskych kalov a pod.

Separátory

Tanierové separátory, sú odstredivky s vysokou hodnotou Froudeho čísla, obvyčajne v rozmedzí od $5\,000$ do $15\,000$. Pomocou špeciálne uložených tanierov v bubne, ako aj uloženia taniera pod uhlom θ sú nútené častice a kvapalina separovanej zmesi protiprúdne sa pohybovať v úzkej štrbine medzitancierového pracovného priestoru rozmerov od $0,3$ do 2 mm

(záleží od typu separátora), kde dochádza ku separácii častíc od kvapaliny. Táto zvláštnosť zabezpečuje separátorom vysoké separačné účinnosti pri vysokej výkonnosti.



Obr. 50 Tanierová odstredivka s vyprázdňovaním pomocou dýzy. 1-nástrek suspenzie, 2-fugát - vyčírená kvapalina, 3-sediment, 4-vstupná trubka pevne spojená s rámom, 5-vstupný lievik rotujúci s bubnom, 6-rotujúci bubon, 7-kuželové taniere rotujúce s bubnom, 8-dýza na vyprázdňovanie sedimentu, 9-závitovka na dopravu sedimentu (rotuje), 10-priestor na sediment, 11-prechod fugátu z rotujúceho bubna do statického zberača, 12-statický odvádzač fugátu, 13-hnací hriadeľ závitovky, 14-hnací hriadeľ bubna.

Ak dispergovaná fáza (tuhé častice) má väčšiu hustotu ako disperzná fáza, $\rho_t > \rho$, potom častice sa pohybujú vplyvom odstredivých síl radiálne smerom k väčším polomerom (na vonkajšiu stranu), častice sú pritom tlačené na horný tanier, po ktorom sklzájajú na vonkajšiu stranu tanierov do priestoru sedimentu.

Kvapalina (disperzná fáza) prúdi po spodnom tanieri smerom do stredu.

Sklon tanierov býva $\theta = 30$ až 40° .

Pri separovaní emulzií, emulgovaná fáza má obyčajne menšiu hustotu ako kontinuálna fáza. Preto emulgovaná fáza (ľahšia) prúdi do stredu a disperzná (ťažšia) prúdi radiálne na vonkajší polomer.

Vyrábajú sa rôzne prevedenia separátorov s ohľadom na vyprázdňovanie:

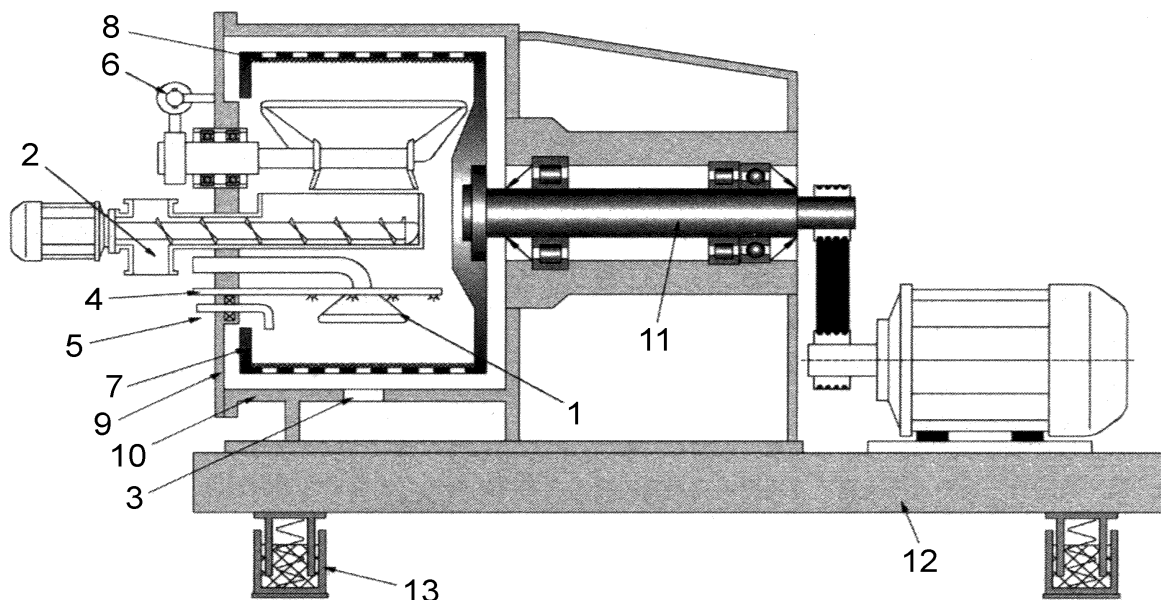
- ručné, po naplnení priestoru sedimentom na konci operácie,
- samovyprázdňovanie - kvázikontinuálne, keď sa dosiahne určitá sila na plášť rotora, otvorí sa štrbina a sediment vytečie von,
- dýzové separátory - kontinuálne vyprázdňovanie cez dýzy, napr. pri zakoncentrovávaní kvasníc. Maximálna koncentrácia spracúvanej suspenzie do 20 % obj.

FILTRAČNÉ ODSREDIVKY

Vo filtračných odstredivkách na koláčovú filtráciu sa využíva odstredivá sila. Odstredivé zrýchlenie dosahuje hodnoty (600 až 2000).g .

Vytvorené koláče majú nízky obsah vlhkosti (6 až 30 %).

Filtračné odstredivky majú perforovaný bubon, ktorý ešte môže byť vyložený jemnou filtračnou prepážkou, najčastejšie sitom alebo pre dobre priepustné koláče je vytvorená z profilov.



Obr.51 Filtračná diskontinuálna bubnová odstredivka s nožovým vyprázdňovaním firmy Alfa-Laval. 1-plniaca rúra suspenzie, 2-výstup dopraveného odstráneného koláča, 3-otvor na odvod fugátu - odmetaného filtrátu, 4-rúra na prívod premývacej kvapaliny, 5-dverná trubka na kontrolu hrúbky koláča, 6-zariadenie na nožové zrezávanie nafiltrovaného koláča, 7-dierovaný bubon so sitom, 8-filtračná prepážka, 9-dvere telesa odstredivky, 10-teleso odstredivky, 11-uloženie hriadeľa/tesnenie, 12-podstavec/základ, 13-pružina/tlmiaci element.

Často používanou diskontinuálnou filtračnou odstredivkou je bubnová s horizontálnym hriadeľom. Filtračná prepážka je horizontálna.

Filtrácia sa realizuje viacerými krokmi:

- plnenie,
- vlastná filtrácia,
- premývanie,
- odvodňovanie a sušenie koláča,
- vyprázdňovanie a čistenie odstredivky, resp. regenerácia filtračnej prepážky.

Uhlová rýchlosť pri každom kroku môže byť rozdielna (pri diskontinuálnych odstredivkách).

Variácií prevedení filtračných odstrediviek môže byť celá paleta: hriadeľ môže byť orientovaný vertikálne alebo horizontálne.

V závislosti od jemnosti filtračnej prepážky, môžu filtračné odstredivky filtrovať častice od 3 μm a väčšie. Čím je suspenzia jemnejšia, tým je výkonnosť danej odstredivky menšia.

Kontinuálne filtračné odstredivky obyčajne filtrujú častice hrubé (väčšie ako 150 μm), pritom používajú filtračné prepážky z rôznych profilov, najčastejšie lichobežníkového tvaru. Najmenšie otvory (štrbiny) takýchto profilov sú 50 μm (prípadne i menšie, produkované laserom). Tieto odstredivky sa aplikujú hlavne na premývacie (pracie) operácie a ako dobré

odvodňovacie zariadenie. Premývacia a pracia kvapalina sa privádza cez plniaci ventil do rotujúceho koláča naformovaného na filtračnej prepážke perforovaného bubna. Po premytí a praní koláča, kvapalina sa z nafiltrovaných častíc v koláči „odmetá“ pri relatívne vysokých otáčkach. Potom sa môže ešte dosušiť ohriatím tlakovou parou (tiež počas prania, resp. premývania) alebo iným spôsobom. Po vysušení sa koláč odstraňuje pomocou noža (nožov) alebo kmitavým (vibračným) pohybom (bubna, kotúča a pod) do výsycky. Filtračné odstredivky sa často aplikujú napr. v oblasti mokrých odlučovačov prachov z plynov, pričom v odstredivke sa filtruje suspenzia z mokrých odlučovačov.

Závitovkové filtračné odstredivky nachádzajú uplatnenie nielen v technológiách, ale aj pri spracovávaní odpadových vôd, kde sa vyžaduje vysoká účinnosť, dobre premytý a odvodnený koláč. Ako filtračné prepážky sa tu používajú sítá s najmenším rozmerom oka 60 μm .

Použitie filtračných odstrediviek je najefektívnejšie, keď sa vyžaduje koláč s najmenšou vlhkosťou a kvalitne premytý.

zvláštnosti odstrediviek a charakteristiky pre ich výber

Z hľadiska obsahu tuhej fázy v zmesi pre kontinuálne filtračné a závitovkové sedimentačné odstredivky horná hranica koncentrácie je daná tekutosťou suspenzie (50 až 60 % obj.). Filtračné diskontinuálne odstredivky môžu pracovať pri nízkych koncentráciách suspenzie. No vo väčšine prípadov to nie je ekonomické, lebo cez filtračnú prepážku a nafiltrovanú vrstvu častíc by muselo prechádzať značné množstvo kvapaliny. Preto je výhodné pred odstreďovaním suspenziu zahustiť na koncentráciu 20 až 30 % obj.

Ďalšími charakteristikami ovplyvňujúcimi výber druhu odstredivky sú: charakter tvoriaceho sa koláča, rozpustnosť tuhej fázy a s ňou spojená možnosť regenerácie filtračnej prepážky a tiež abrazívne účinky tuhej fázy (počas odstraňovania sedimentu, resp. koláča, tvrdosť častíc). Vo filtračných odstredivkách sa lepšie spracováva taká zmes, kde tuhá fáza (častice) je rozpustná, lepšie sa regeneruje filtračná prepážka.

Nie menej dôležitými charakteristikami pri voľbe druhu odstredivky sú aj: výkonnosť odstredivky, druh konštrukčných materiálov rôznych uzlov odstredivky, ktoré sú v styku so spracovávanými zmesami, nevyhnutnosť chladenia alebo vyhrievania odstredivky.

HYDROCYKLÓNY

DEFINÍCIA:

Hydrocyklón je zariadenie na mechanickú separáciu fáz heterogénnej zmesi účinkom odstredivej sily. Označenie „hydrocyklón“ je odvodený od toho, že spojitým prostredím v heterogénnej zmesi, uvedenej v zariadení do špirálového rotačného pohybu, je kvapalina. Dispergovaná fáza je tvorená tuhými časticami (suspenzia), alebo časticami kvapaliny nemiešateľnej v spojitom prostredí (emulzia).

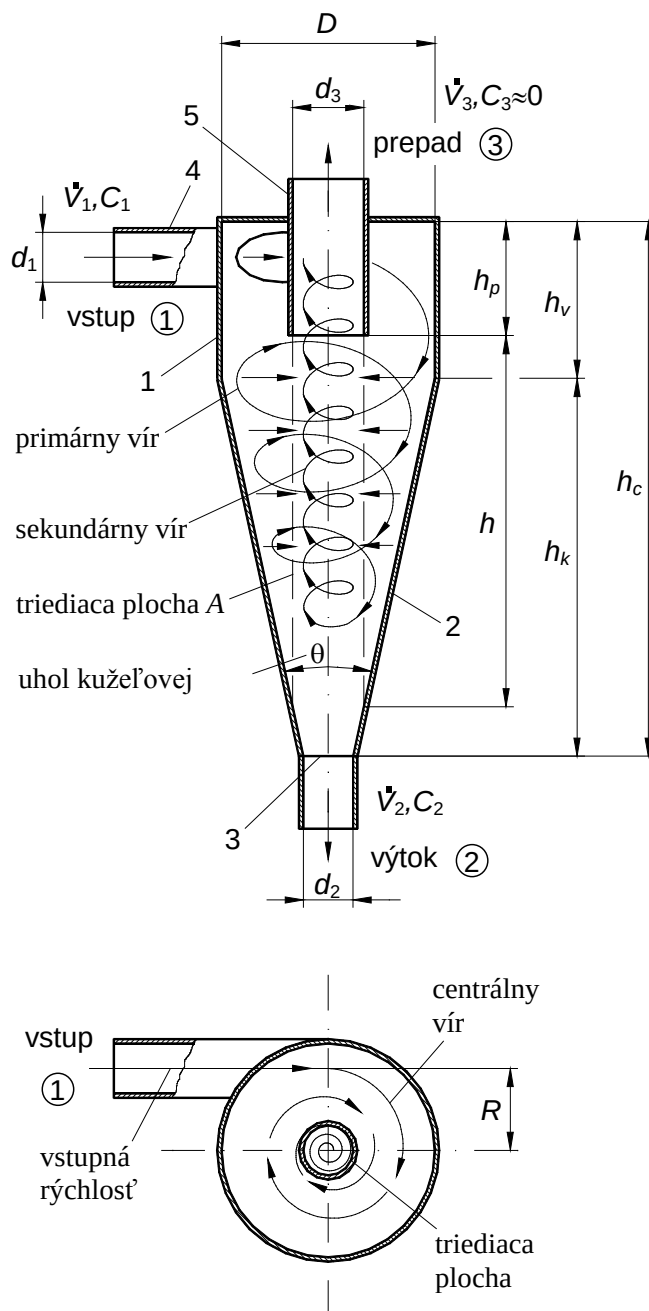
PRINCÍP PROCESU:

Hydrocyklón na rozdiel od odstredivky nemá žiadnu pohyblivú časť konštrukcie. Rotačný pohyb prúdu heterogénnej zmesi sa v ňom dosahuje jej tangenciálnym privodom do telesa cyklónu v jeho hornej valcovitej časti a vytvorení centrálného zostupného víru v jeho spodnej kónicky sa zužujúcej časti. Dispergované častice, ktorých hustota je väčšia ako hustota spojitého prostredia (najčastejší prípad, $\rho_t > \rho$), sa pohybujú smerom k stene cyklónu, nárazom na ňu strácajú hybnosť a po stene cyklónu sklzájú smerom k spodnému výtokovému otvoru, ktorým sa odvádzajú vo forme hustého kalu. Vyčírená kvapalina opúšťa cyklón

prepádovou rúrou centrálne umiestnenou v jeho hornej valcovej časti. Na obr.52 je znázornená schéma cyklónu s jeho charakteristickými konštrukčnými prvkami a s naznačením charakteru prúdenia spojitého prostredia v ňom.

Hydrocyklón pozostáva z nasledovných prvkov: z dutého valca 1 a z dutého kužeľa 2, ktorý má na konci výtokový otvor 3. Pritom vo valcovej časti 1 je umiestnená tangenciálne z vonkajšej strany vstupná rúrka 4, ktorá vstupuje v hornej časti valca 1 do pracovného priestoru hydrocyklóna buď paralelne s vekom alebo špirálovite, preto sa tiež hovorí o tangenciálnom a špirálovom vstupe. V osi cyklóna v hornej časti valca 1 je prepádová rúrka 5. Na obr.52 sú uvedené aj niektoré ďalšie dôležité geometrické prvky hydrocyklóna.

Hydrocyklónom sa môže dosiahnuť odlúčenie tuhých častíc od kvapaliny, ale aj roztriebenie tuhých častíc rôznej veľkosti, resp. rozdrúženie tuhých častíc rôznej hustoty. Môže sa použiť aj ako pračka tuhého granulovaného materiálu obsahujúceho zložky rozpustené v kvapaline. Aplikujú sa v rôznych technologických procesoch. Napríklad v celulózo-papierenskom priemysle sa používajú k odstráneniu náhodných cudzorodých častíc kovových a pieskových zo suspenzie buničiny pred jej zahustením. V procese kryštalizácie sa používajú na roztriebenie veľkých kryštálov od jemného kryštalického produktu, vracaného do procesu. Pri dezintegrácii tuhého materiálu mletím sa v cyklóne oddeľujú hrubé častice vracané do mlyna od jemného produktu mletia. Ako príklad je mletie vápenca na odsírenie odpadných spalín. Tu jemné častice vápenca získané z prepadu cyklóna sú využívané na odstránenie oxidu siričitého z odpadných plynov v elektrárni - kotlov. Účinnejšie použitie jemnejších vápencových častíc je v tom, že majú väčší špecifický povrch a následný pokles reakčného času.



Obr. 52 Schéma hydrocyclóna 1 - valcová časť, 2 - kužeľová časť, 3 - výtokový otvor, 4 - vstupná rúrka, 5 - prepádová rúrka. Prúdy: 1 - nástrek, vstupný prúd, 2 - výtok, zakoncentrovaný prúd, 3 - prepád, ochudobnený prúd. Rozmery: D - priemer hydrocyclóna, priemer valcovej časti pracovného priestoru, d_1 - priemer vstupnej rúrky, d_2 - priemer výtokového otvoru, d_3 - priemer prepádovej rúrky, θ - uhol kužeľovej časti, h - výška myslenej separačnej plochy A , h_p - výška zasunutia prepádovej rúrky vo valcovej časti, h_v - výška valcovej časti, h_k - výška kužeľovej časti, h_c - celková výška hydrocyclóna.

HNACIA SILA:

PRINCÍP VÝPOČTU:

Hoci hydrocyklón je konštrukčne jednoduché zariadenie, prúdové pomery sú veľmi zložité. Odlučovacím priestorom hydrocyklóna je vnútorný priestor dutého valca a dutého kužela. Pre hydrocyklón je ďalej charakteristická existencia plynového jadra v mieste najnižšieho tlaku - v jeho osi.

Čerpadlom dopravená suspenzia do hydrocyklóna vstupným otvorom prúdi v primárnom víre špirálovite smerom k výtoku, kde dopravuje oddeľované častice. Tu sa rozdeľuje prúd na dve časti: jedna časť prúdu (vonkajšia, zakoncentrovaná suspenzia) vynáša cez výtokový otvor odlúčené častice von a opúšťa pracovný priestor cyklóna.

Druhá časť prúdu prúdi v sekundárnom víre špirálovito k prepádovej rúrke. Tu zasa vyčistený prúd opúšťa cyklón.

Primárny a sekundárny vír sa vzájomne pohybujú protiprúdne, pričom sekundárny vír sa pohybuje vo vnútri primárneho, tak ako je to naznačené na obr.52.

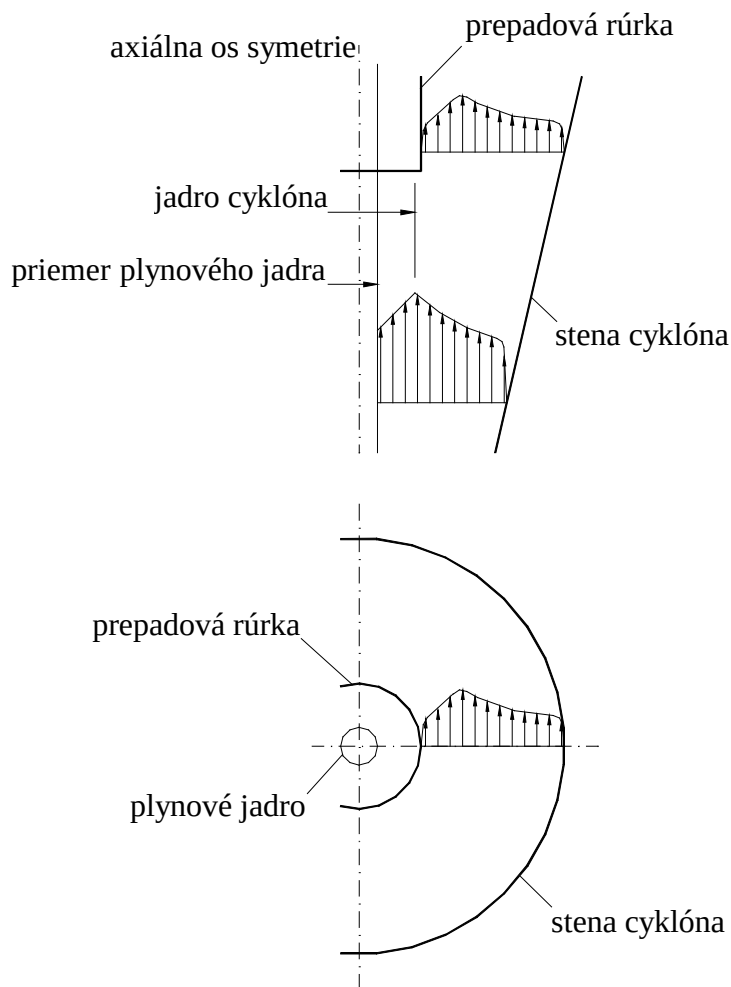
V hydrocyklóne pri ustálenom stave sa nastaví priestorové, trojrozmerné valcové symetrické prúdenie s výnimkou oblasti tangenciálneho vstupu. Preto vektor rýchlosti prúdenia kvapaliny (suspenzie) v ľubovoľnom bode cyklóna má tri zložky: tangenciálnu u_t , radiálnu u_r a axiálnu u_a zložku rýchlosti.

Tangenciálna zložka rýchlosti

Tangenciálna zložka rýchlosti u_t prúdenia kvapaliny v hydrocyklóne má podstatný vplyv na odlučovanie dispergovaných častíc z kvapaliny a na tlakové pole. Smerom od steny k osi cyklóna tangenciálna zložka rýchlosti stúpa pri znižovaní polomeru r . Maximum dosiahne na polomere menšom než je polomer prepádovej rúrky (obr.53). Táto rýchlosť od steny po jadro cyklóna (po max. hodnotu) vystupuje v bilancii momentu hybnosti v tvare

$$u_t \cdot r^n = konst \quad (77)$$

kde u_t je veľkosť tangenciálnej zložky rýchlosti v cyklóne na polomere r (existujú dva rozdielne priebehy, hranicou je jadro hydrocyklóna, rozhranie primárneho a sekundárneho víru - obr.53), r - radiálna súradnica, n - empirický mociteľ, ktorého hodnota závisí od trecích pomerov vo vnútri prúdu. Pre prúdenie bez trenia má exponent hodnotu $n=1$. Exponent n závisí od tvaru cyklóna (geometrickej konfigurácie), od koncentrácie častíc a od fyzikálnych vlastností prúdiacej zmesi.



Obr. 53 Priebeh tangenciálnej zložky rýchlosti. V hornej časti obrázku sú v danom reze naznačené priebehy tangenciálnych zložiek rýchlosti. Dolný obrázok predstavuje priebeh tangenciálnej rýchlosti v reze v mieste s prepadovou rúrkou.

Tangenciálna zložka rýchlosti od steny po jadro cyklóna (v primárnom víre) stúpa. Jeho hodnota v tejto oblasti sa pohybuje od 0,5 do 0,9. Nie je rovnaká v ľubovoľnom mieste cyklóna (v axiálnom smere). Od jadra k osi po plynové jadro (v sekundárnom víre) zasa tangenciálna rýchlosť klesá s exponentom podobným pre potenciálny vír. Takýto charakter závislosti platí až po hranicu plynového (vzduchového) jadra. Exponent n nadobúda v tejto oblasti hodnotu $n \in < -1, -0,5 >$, najčastejšie: $-0,5$. Hodnota exponentu $n = -1$ platí pre rotáciu akoby tuhého telesa.

Radiálna zložka rýchlosti

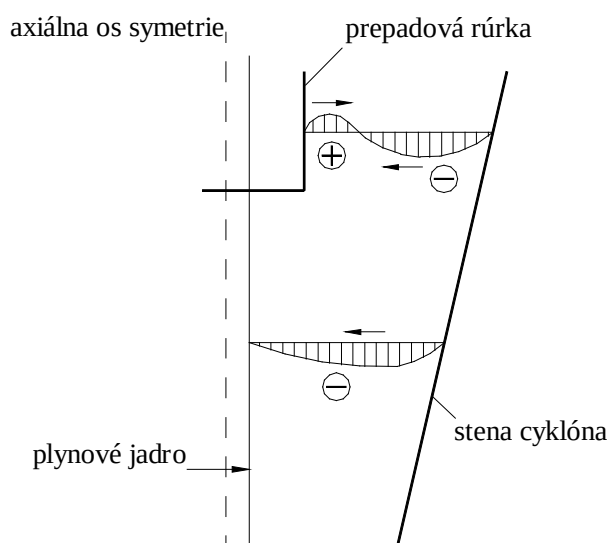
Radiálna zložka rýchlosti kvapaliny u_r je omnoho menšia než tangenciálna zložka rýchlosti. Priebehy radiálnych zložiek ilustrované na obr.54 naznačujú, že kvapalina v celom rozsahu pod prepadovou rúrkou prúdi z vonkajšej strany smerom k osi cyklóna. Výnimku tvorí okolie prepadovej hrany, kde kvapalina vplyvom podružného víru prúdi smerom od stredu.

Nech plocha A predstavuje fiktívnu deliacu (triediacu) valcovú plochu pod prepadovou rúrkou s priemerom d_3 a výške h ako

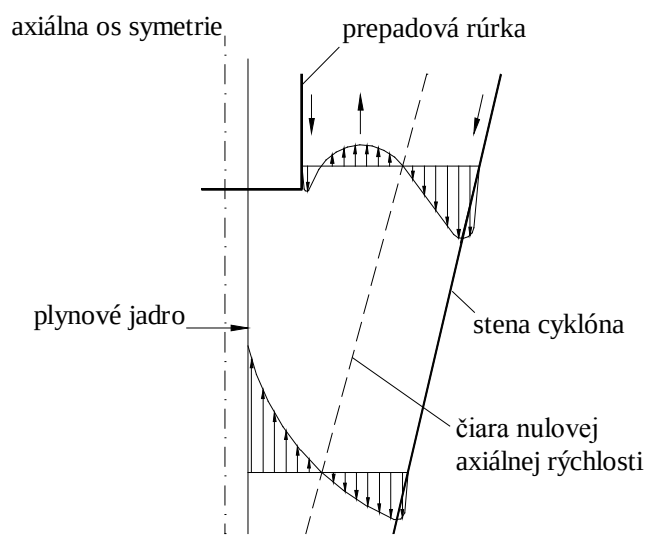
$$A = \pi d_3 h \quad (78)$$

tak, že cez ňu preteká všetka kvapalina do výtoku a do prepadu. Pričom $d_3 \geq d_2$. Potom strednú hodnotu radiálnej zložky rýchlosti kvapaliny cez tuto fiktívnu plochu je možné vyjadriť definičnou rovnicou (z rovnice kontinuity)

(79)



Obr. 54 Pribeh radiálnej zložky rýchlosti.



Obr. 55 Pribeh axiálnej zložky rýchlosti.

Axiálna zložka rýchlosti

Ako znázorňuje obr.55, charakteristické sú dva smery axiálnej zložky rýchlosti: jeden smer (hlavný) je vytvorený prúdom v blízkosti steny, ktorý smeruje k výtoku cyklónu a unáša odlúčené častice väčších rozmerov. Druhý smer je vytvorený prúdom smerujúcim k prepadovej rúrke, ktorou kvapalina spolu s neodlúčenými časticami odchádza z hydrocyklónu. Okrem toho v okolí prepadovej rúrky sa tvorí nevýhodný skratový podružný prúd (po stene od vstupnej rúrky po veku a vonkajšej stene prepadovej rúrky), ktorý strháva častice do prúdu v prepadovej rúrke bez odlúčenia a zhoršuje účinnosť odlučovania hydrocyklónu. V priebehoch axiálnych zložiek rýchlosti je naznačená i čiara nulových hodnôt axiálnych rýchlostí, ktorá delí dve oblasti a určuje smer toku daného prúdu.

pohyb suspendovaných častíc v hydrocyklóne

Mnohí autori riešili teoreticky trajektórie častíc v hydrocyklóne, ktoré získali len pre veľmi nízku koncentráciu, samostatne prúdiace častice.

Častica vstupujúca do hydrocyklónu v blízkosti valcovej steny môže byť ľahko vťahnutá dovnútra v radiálnom smere intenzívnym turbulentným miešaním v okolí vstupu. Prúd suspenzie špirálovite postupuje z valcovej do kužeľovej časti. Tam častice môžu byť strhávané smerom k osi hydrocyklónu len vtedy, keď tam smeruje aj kvapalina. Ak určitá časť kvapaliny zo vstupného prúdu prejde do výtoku, potom s touto kvapalinou sa do výstupu dostáva aj pomerná časť častíc obsiahnutá v kvapaline a to nezávisle od sedimentačnej rýchlosti.

V ľubovoľnom bode hydrocyklónu pôsobia na časticu, ktorá sa pohybuje v tangenciálnom smere spolu s kvapalinou (obr.56) nasledovné sily:

1. odstredivá sila

$$\mathbf{F}_o = m_c \mathbf{a}_r \quad (80)$$

kde m_c je hmotnosť častice, a_r - odstredivé zrýchlenie, ktorého veľkosť je

$$a_r = u_t^2 / r \quad (81)$$

2. Archimedova vztlaková sila v smere radiálnom

$$F_A = m_l a_r \quad (82)$$

kde m_l je hmotnosť kvapaliny vytlačenej časticou

3. Odporová sila, trecia sila

$$(83)$$

kde x - je lineárny charakteristický rozmer odlučovanej (sledovanej) častice, μ - dynamická viskozita kvapaliny, u_{sr} - relatívna zložka rýchlosti medzi kvapalinou a časticou v odstredivom poli v radiálnom smere, rozdiel zložiek rýchlosti kvapaliny a častice v radiálnom smere. (Na rozhraní kritickej plochy A sa neskôr zjednodušene predpokladá, že $u_{sr} \cong \bar{u}_p$). Vtedy kvapalina prúdi smerom k osi a radiálna zložka rýchlosti kvapaliny po zjednodušení sa uvažuje, že má veľkosť $\bar{u}_p$, pritom radiálna zložka rýchlosti kritickej veľkosti častice x_T má v tomto mieste nulovú hodnotu).

V rovnici (83) je odporová (trecia) sila vyjadrená podľa Stokesa, lebo sa predpokladá, že prúdenie v radiálnom smere je v laminárnej oblasti.

Froudeho číslo Fr , charakterizujúce pomer odstredivej F_o a gravitačnej sily F_g , je definované rovnicou

$$Fr = \frac{F_o}{F_g} = \frac{m_c a_r}{m_c a_g} = \frac{u_t^2}{r g} \quad (84)$$

lebo zrýchlenie gravitačné je $a_g = g$ a zrýchlenie odstredivé je $a_r = u_t^2 / r$.

Obyčajne u hydrocyklónov má číslo Fr pomerne vysokú hodnotu, z čoho vyplýva, že vplyv gravitácie sa obyčajne môže zanedbať.

Ak sa predpokladá, že všetka tlaková energia sa zmení na kinetickú ($u_1^2 \rho / 2 = \Delta p$) a neuvažujú sa straty trením v cyklóne, potom pre rýchlosť kvapaliny na vstupe do cyklóna platí rovnica (z Bernoulliho rovnice)

$$u_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad (85)$$

O separačnej schopnosti hydrocyklóna rozhoduje veľkosť vstupnej tangenciálnej rýchlosti u_1 .

Pri návrhu hydrocyklóna je potrebné stanoviť nasledovné charakteristiky:

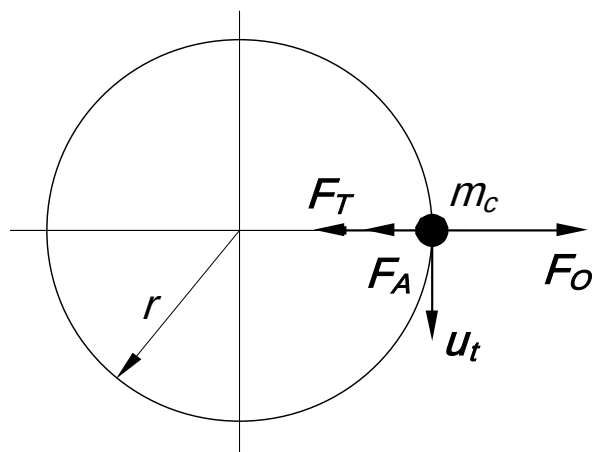
1. kritickú veľkosť odlúčenej častice, prípadne celkovú a frakčnú účinnosť odlučovania, skrátene "odlučivosť" a
2. celkovú stratu tlaku v hydrocyklóne meranú medzi vstupom (tlak vo vstupnej rúrke 4, obr.52) a výstupom (tlak v prepadovej rúrke 5).

určenie kritického priemeru x_T odlúčenej častice

Odstredivá sila pôsobiaca na častice je menšia ako súčet trecích a vztlakových síl, čo platí pre veľmi malé častice. V odlučovacom priestore hydrocyklóna sa takéto častice neodlúčia na vnútornej stene valcovej alebo kužeľovej časti.

Kritickou veľkosťou častice x_T budeme nazývať také častice, ktoré budú mať na rozhraní kritickej odlučovacej plochy A nulovú hodnotu radiálnej zložky rýchlosti (obr.52).

Takáto hranica veľkosti častíc je len fiktívna. V skutočnosti ide o určitý interval veľkosti častíc, z ktorého menšie častice sa budú odlučovať s menšou účinnosťou a väčšie s vyššou účinnosťou.



Obr. 56 Rovnováha síl pôsobiacich na časticu v ľubovolnom mieste hydrocyklónu.

V tejto časti sa bude rozumieť kritickou veľkosťou častíc taká veľkosť častíc, ktoré sa usadzujú rovnakou usadzovacou rýchlosťou, aká je priemerná hodnota radiálnej zložky rýchlosti kvapaliny cez kritickú fiktívnu plochu A :

$$\bar{u}_p = \frac{\dot{V}_1}{2 \pi r_p h} = \frac{\dot{V}_1}{2 \pi r_3 h} = \frac{\dot{V}_1}{\pi d_3 h} \quad (86)$$

kde $r_p \cong r_3$.

Bilancia síl pôsobiacich na časticu na hranici fiktívnej plochy (keď $r = r_p$, $u_t = u_{tp}$, obr.56) sa vyjadrí vektorovou rovnicou

$$\mathbf{F}_o = \mathbf{F}_T + \mathbf{F}_A \quad (87)$$

Ak dosadení za veličiny

$$m_c = \frac{\pi x_T^3}{6} \rho_t \quad (88)$$

$$m_l = \frac{\pi x_T^3}{6} \rho \quad (89)$$

$$a_r = \frac{u_{tp}^2}{r_p} \quad (90)$$

$$F_T = 3 \pi x_T \mu \bar{u}_p \quad (91)$$

do rovnice (87) pre zložky síl v smere radiálnom sa získa skalárna rovnica

$$\frac{\pi x_T^3}{6} \rho_t \frac{u_{tp}^2}{r_p} = 3 \pi x_T^2 \mu \bar{u}_p + \frac{\pi x_T^3}{6} \rho \frac{u_{tp}^2}{r_p} \quad (92)$$

kde u_{tp} je tangenciálna zložka rýchlosti na fiktívnej ploche A.

Z nej po úprave:

$$x_T = \sqrt{\frac{18 \mu \bar{u}_p r_p}{(\rho_t - \rho) u_p^2}} \quad (93)$$

Z rovnice (84) vyplýva

$$a_r = \frac{u_p^2}{r_p} = g \cdot Fr \quad (94)$$

Dosadením (94) do (93) sa vznikne rovnica

$$x_T = \sqrt{\frac{18 \mu \bar{u}_p}{\Delta \rho g Fr}} \quad (95)$$

Rovnica (95) slúži na výpočet veľkosti odlučovanej častice v odstredivom poli na fiktívnej triediacej ploche A.

APARÁTY:

Frekventovane sa používajú v úprave (odkalení) odpadových vôd v priemysle palív k odstraňovaniu hlušiny od uhlia a pod.

V priemysle hliníka sa môžu použiť na triedenie a odstraňovanie častíc (trihydrátu hlinitého), kryštálikov väčších ako 45 μm .

Pri separácii polydisperzných heterogénnych sústav sa aplikujú často ako jednotky predčistenia pred separačnými procesmi investične a energeticky náročnejšími (napr. filtráciou).

Keď hydrocyklóny nie sú schopné uspokojivo separovať v jednom stupni, môžu byť použité za sebou (v sekvencii) s inými stupňami hydrocyklónov alebo s inými typmi procesných zariadení.

Často sú používané ako ochrana (poistka) alebo ako predúpravné zariadenie k zvýšeniu výkonnosti alebo zníženiu ceny na separáciu a pri odstraňovaní kovových častíc od plastických častíc a iných znovupoužiteľných materiálov.

hlavné prednosti hydrocyklónov:

- jednoduchá konštrukcia bez pohyblivých častí,
- veľká výkonnosť vzťahnutá na objem zariadenia,
- malé nároky na údržbu a prevádzku.

nevýhody:

- vysoké erózné účinky pri oddeľovaní abrazívnych častíc,
- možná zhoršujúca sa funkcia hydrocyklóna pri časovo premenlivom prietoku.

Hlavné logické pravidlá:

- malé odlučované častice - malé hydrocyklóny,
- veľké odlučované častice - veľké hydrocyklóny,
- malá kapacita, vysoká účinnosť - jeden hydrocyklón,
- veľká kapacita, vysoká účinnosť - multicyklóny a ich stupňovité zapojenie aj do série.

MEMBRÁNOVÉ PROCESY

Membránové procesy sú v súčasnosti najčastejšie používanou separačnou technológiou na separáciu roztokov, suspenzií a emulzií. Používajú sa hlavne pri odsoľovaní morskej vody, ale tiež pri recyklácii viacerých typov odpadových vôd. Ich výhodou je aparatívna a energetická nenáročnosť spotreba energie pri nich je podstatne nižšia než pri použití iných separačných technológií napr. odparovania.

Membránovými procesmi sa delia, zahusťujeme či čistíme pravé roztoky (rozpustené pevné látky v rozpúšťadle), koloidné roztoky aj veľmi jemné suspenzie.

PRINCÍP PROCESU:

Základný princíp spočíva v rozdielnej priepustnosti jednotlivých zložiek roztoku membránou. Inak povedané, k deleniu prichádza v dôsledku rôznej veľkosti a tvaru častíc a pórov membrány. V niektorých prípadoch je významný aj vplyv náboja alebo zmáčavosť povrchu separovaných častíc a membrány.

Separovaná zložka A je v roztoku s rozpúšťadlom B a je privádzaná ako nástretek. Membránou prechádza prevažne rozpúšťadlo B a odchádzajúci prúd sa nazýva permeát (filtrát). Koncentrovaný roztok postupuje pozdĺž membrány ďalej a odchádza

Obr. 8.1-1 Dtitl

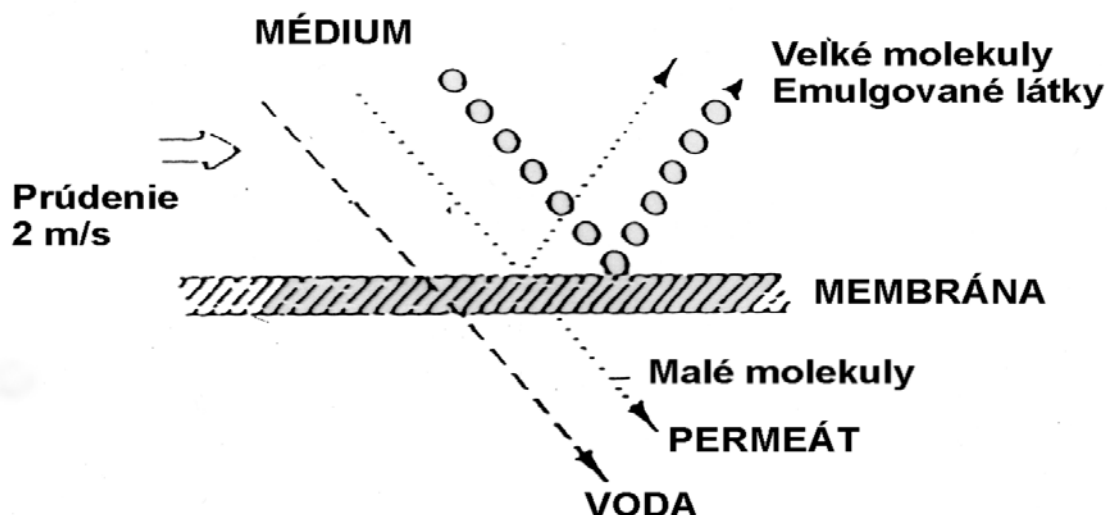
Päť typov membránových procesov sa využíva pri spracovaní odpadových vôd a druhotných surovín:

- Mikrofiltrácia
- Ultrafiltrácia
- Nanofiltrácia
- Reverzná osmóza
- Elektrodialýza

Mikrofiltrácia (MF) je membránový proces, ktorého hnacou silou je rozdiel tlakov. Pri mikrofiltrácii sa používajú membrány s veľkosťou pórov 0,2 - 2 μm . Mikrofiltráciou môžeme selektívne separovať častice s molekulovou hmotnosťou nad 200 kDa. Táto oblasť prakticky zahŕňa oddeľovanie najväčších makromolekúl bielkovín, separovanie vírov, baktérií a ostatných mikroorganizmov pri výrobe umelých bielkovín, filtráciu piva, vína, oddeľovanie najrôznejších suspendovaných látok a odstraňovanie rôznych zákalov. Pri aplikácii v mliekárenstve sa odstraňujú baktérie a iné suspendované častice a frakcionujú sa proteíny. MF využíva nižší gradient tlaku a dosahuje vyššiu hustotu toku permeátu membránou než UF.

Ultrafiltrácia (UF) - separovaná kvapalina prúdi pod tlakom vysokou rýchlosťou (až 6m/s) nad povrchom polopriepustnej membrány (Obr. 3.5.1) Účinkom tlakového gradientu sa pritom zo separovanej kvapaliny cez membránu oddeľujú voda a v nej rozpustené nízkomolekulárne látky. Túto frakciu nazývame **permeát**. Naopak

ultrafiltračná polopriepustná membrána zadržiava nerozpustené , emulgované a rozpustené vysokomolekulárne látky. Následkom oddeľovania permeátu sa nad membránou postupne zvyšuje koncentrácia membránou zadržovaných (teda aj suspendovaných a emulgovaných látok). Túto frakciu so zvýšeným obsahom membránou zadržovaných látok nazývame **koncentrát (retentát)**.



Obr. 1. Schéma princípu ultrafiltrácie.

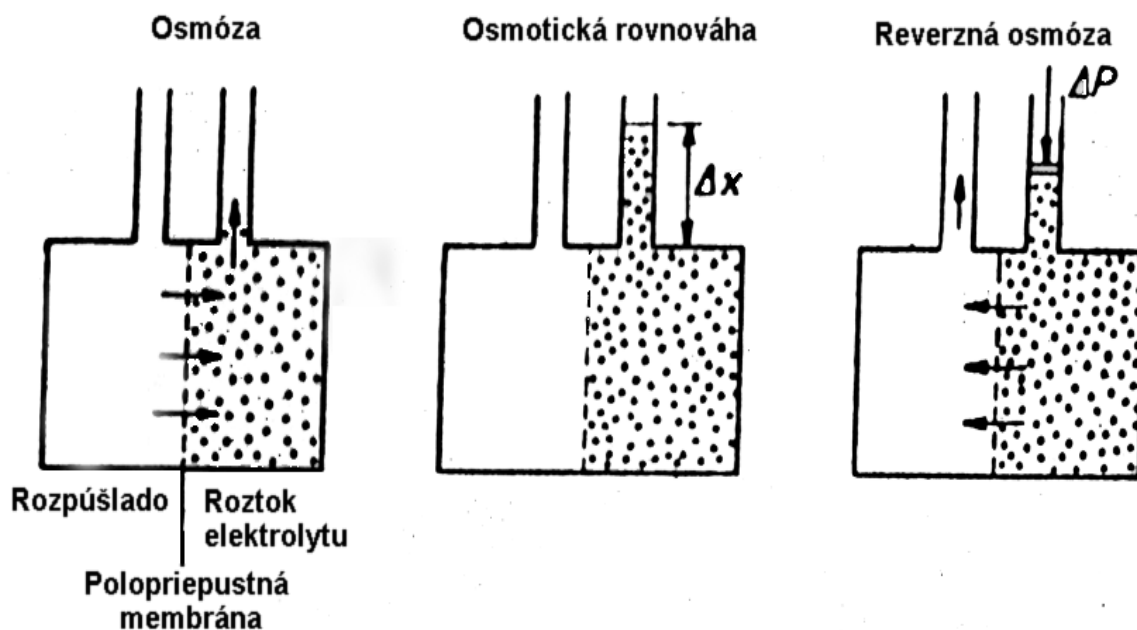
UF používa membrány s deliacou hranicou v rozsahu od 1 - 200 kDa a veľkosti pórov pod 0,01 μm , prebieha pri tlakovom gradiente menšom než 1000 kPa. Pri aplikáciách v potravinárstve sa v retentáte nachádzajú proteíny, tuky a koloidné minerály vo vyššej koncentrácii než v pôvodnej vzorke a permeát obsahuje vodu, rozpustené anorganické látky, laktózu, nebielkovinový dusík a vodorozpustné vitamíny.

Nanofiltrácia (NF) : NF oddeľuje látky s molekulovou hmotnosťou v rozsahu od 300 do 1000 Da. Umožňuje rejekciu iónov založenú na difúzných vlastnostiach a náboji. NF odstráni ióny, ktoré významne prispievajú k osmotickému tlaku roztoku a preto môže prebiehať pri nižších tlakoch než RO napr. mliekárenstve NF membrána s dostatočnou selektivitou zadrží laktózu.

Reverzná osmóza (RO) : RO membrány sú charakterizované deliacou hranicou okolo 100 Da, a používajú sa tlaky 5 - 10 krát vyššie než pri UF.

Na Obr 2 je znázornený princíp osmózy a reverznej osmózy. Ak je roztok od rozpúšťadla oddelený membránou, ktorá neprepúšťa rozpustenú látku , ale naopak prepúšťa rozpúšťadlo bude rozpúšťadlo prúdiť membránou do roztoku a zriedovať ho . Tento jav nazývame **osmóza**. Osmózu som skúšal využiť na skoncentrovanie roztokov termolabilných látok ale aj iných roztokov, ktoré pri odparovaní spôsobovali určité problémy .

Ak však na roztok budeme pôsobiť mechanickým tlakom vyšším , ako je jeho **osmotický tlak**, smer osmózy sa obráti , rozpúšťadlo bude prúdiť cez membránu z roztoku von a roztok sa bude koncentrovávať. Tento jav nazývame **reverzná osmóza**. Reverznou osmózou možno bez zmeny teploty a fázovej premeny , pri minimálnej spotrebe energie separovať roztoky , napr. odsolovať morskú vodu , ale tiež alebo odstraňovať ióny kovov, kyseliny alebo zásady z oplachových vôd z povrchových úprav.



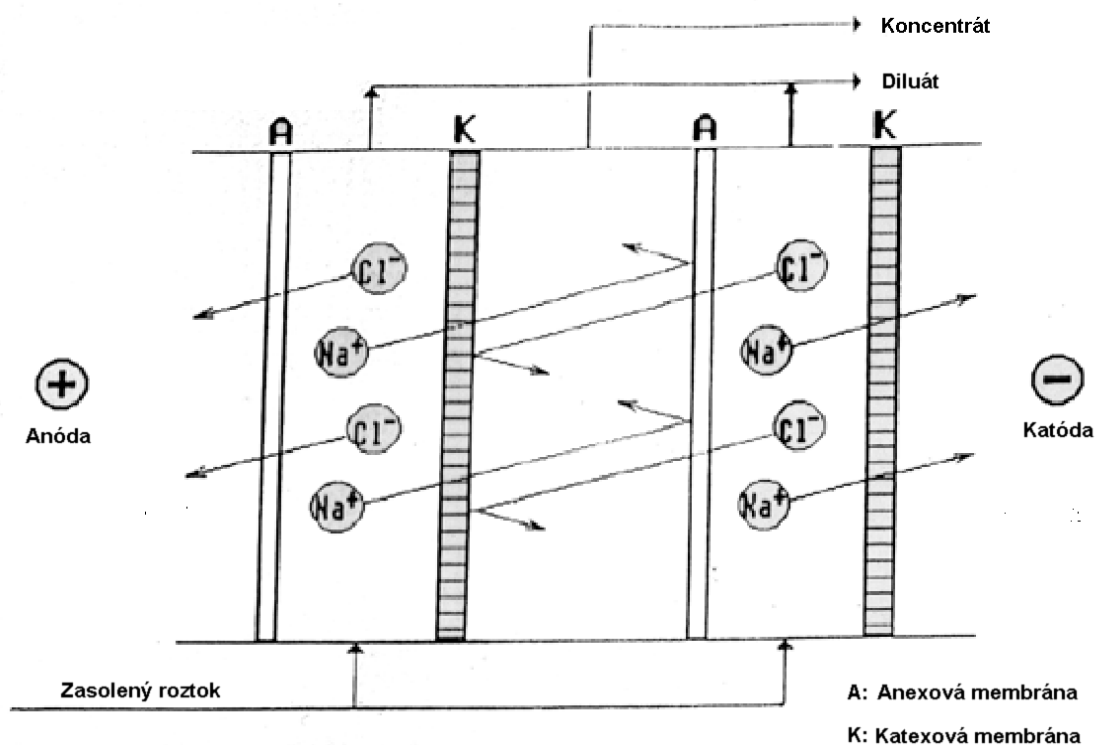
Obr. 2. Schéma princípu osmózy a reverznej osmózy

Na Obr 2 je znázornený princíp osmózy a reverznej osmózy. Ak je roztok od rozpúšťadla oddelený membránou, ktorá neprepúšťa rozpustenú látku, ale naopak prepúšťa rozpúšťadlo bude rozpúšťadlo prúdiť membránou do roztoku a zriedovať ho. Tento jav nazývame **osmóza**. Osmózu som skúšal využiť na skoncentrovanie roztokov termolabilných látok ale aj iných roztokov, ktoré pri odparovaní spôsobovali určité problémy.

Ak však na roztok budeme pôsobiť mechanickým tlakom vyšším, ako je jeho **osmotický tlak**, smer osmózy sa obráti, rozpúšťadlo bude prúdiť cez membránu z roztoku von a roztok sa bude skoncentrovať. Tento jav nazývame **reverzná osmóza**. Reverznou osmózou možno bez zmeny teploty a fázovej premeny, pri minimálnej spotrebe energie separovať roztoky, napr. odsoľovať morskú vodu, ale tiež alebo odstraňovať ióny kovov, kyseliny alebo zásady z oplachových vôd z povrchových úprav.

Elektrodialýza (ED) je membránový proces na odstraňovanie a skoncentrovanie látok iónového charakteru, ich migráciou v elektrickom poli. Priestor je ohraničený iónovo selektívnymi membránami prepúšťajúcimi iba anióny alebo iba kationy. Tým je umožnený prechod iónov v smere potenciálového spádu zo zriedovacieho okruhu (**diluátu**) do koncentračného okruhu (**koncentrátu**). Membrány sú striedavo radené do zväzkov. Zväzok je vystavený pôsobeniu elektrického poľa. Nástrek je vedený do každej druhej komory, kde na strane anódy je anioaktívna membrána, na strane katódy je kationaktívna membrána. Príslušné protiióny (nesú opačný náboj než viazané skupiny v membráne) sú cez membrány odovzdávané do susedných komôr, kde tak vzniká koncentrát. Ióny nemôžu z koncentračných komôr uniknúť, pretože v dôsledku pravidelného striedania anión a kationaktívnych membrán je na strane anódy kationaktívna membrána a naopak. Permeabilita membrán pre elektrodialýzu spočíva vo výraznej preferencii buď len aniónov alebo kationov. (Obr.)

ED sa prakticky používa v procesoch odsoľovania morskej vody, pri regenerácii oplachových vôd z galvanizovni, pri izolácii proteínov a pod.. Medzi hlavné výhody elektrodialýzy patrí zníženie spotreby energie o 50% v porovnaní s klasickými odparovacími technológiami.



Obr. 3. Schéma princípu elektrodialýzy.

HNACIA SILA:

Hnacou silou procesu je niektorý z nasledujúcich faktorov:

- rozdiel tlakov pred a za membránou
- rozdiel koncentrácie separovaných zložiek na oboch stranách membrány
- rozdiel elektrických potenciálov
- odpor na jednej strane membrány

PRINCÍP VÝPOČTU:

Pri **mikrofiltrácii** [1] sa používa poróznejšia membrána, ktorá má vyššie hustoty toku permeátu. Používa sa väčšinou na odstránenie zákalotvorných látok a môže nahradiť tradičný filtračný proces. Parametre mikrofiltrácie zahŕňujú:

- Transmembránový tlak
- Tangenciálnu rýchlosť
- Rozmery a geometriu modulov
- Recirkulačný pomer

Prietok čistej vody cez membránu bez zanášania je daný Darcyho zákonom:

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu R_m}$$

Hnacia sila toku cez membránu $\Delta P = \Delta p - \Delta \Pi$

Kde:

- ΔP - veľkosť hnacej sily [Pa]
- Δp - rozdiel hydrostatických tlakov pred a za membránou [Pa]

$\Delta \Pi$ - rozdiel osmotických tlakov v koncentrácii Π_k a v permeáte Π_p [Pa]
 J_w - hustota toku permeátu, [m³.m⁻².s⁻¹]

Potom rovnica pre hustotu toku permeátu membránou je daná:

$$J_w = \frac{(\Delta p - \Delta \Pi)}{\mu R_m}$$

Kde:

$\Delta \Pi$ - rozdiel osmotických tlakov [N / m²]

Ak už raz filtrácia začala, vnútorná plocha membrány sa zanáša časticami a tak vzniká počas filtrácie ďalší odpor. A tak horeuvedená rovnica je modifikovaná zahrnujúc odpor koláča.

$$J_w = \frac{(\Delta p - \Delta \Pi)}{\mu(R_m + R_c)}$$

Kde:

J_w - hustota toku permeátu, [m³.m⁻².s⁻¹]
 Δp - rozdiel hydrostatických tlakov, [N.m⁻²]
 R_m - vnútorný odpor membrány, [1/m]
 R_c - odpor nánosov na membráne, [1/m]
 μ - dynamická viskozita, [Pa.s]

Odpor spôsobený nánosom na membráne je daný podľa Kozeny-Carmana:

$$R_c = 180 \frac{(1 - \varepsilon)^2 h}{(d_p^2 \varepsilon^3)}$$

Kde:

ε - porosita nánosov [1]
 h - hrúbka nánosov, [m]
 d_p - priemerný priemer častíc vo vrstve nánosov, [m]

Ultrafiltrácia: Použije sa stredne priepustná membrána. Môžu sa ňou odstraňovať koloidné častice vrátane mikroorganizmov. Tento proces môže nahradiť sedimentáciu, filtráciu a dezinfekciu (do určitej miery). Niektoré z prevádzkových parametrov sú:

- doba trvania pracovného cyklu: 16-20h
- čistenie: 2-4h
- veľkosť plochy membrány: 1- 1000 m²
- čistenie – v kyslom alebo zásaditom cykle.

Reverzná osmóza. [5] Používa sa semipermeabilná membrána priepustná len pre veľmi malé molekuly ako napríklad pre vodu. Pri atmosferickom tlaku voda prúdi membránou do roztoku a tento dej sa nazýva osmóza. Tento proces sa však pre purifikačné účely nevyužíva. Ak použijeme hydrostatický tlak vyšší než je osmotický

tlak roztoku smer osmózy sa obráti a začína proces reverznej osmózy. Osmotický tlak je daný :

$$\Pi = cRT$$

Kde:

c - koncentrácia rozpustenej látky [mol.l^{-1}]

R - plynová konštanta [$\text{J.K}^{-1}\text{mol}^{-1}$]

T - absolútna teplota, [$^{\circ}\text{K}$]

Hustotu toku permeátu pri zohľadnení vplyvu osmotického tlaku môže vyjadriť vzťah:

$$J_w = K_m(\Delta p - \Delta \Pi)$$

Kde:

Δp - rozdiel hydrostatických tlakov pred a za membránou [Pa] ,

$\Delta \Pi$ - rozdiel osmotických tlakov v koncentrácii Π_k a v permeáte Π_p [Pa] ,

K_m - koeficient permeability membrány [$\text{m.Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$]

Aplikácie. RO sa používa pre odsolovanie morských a brakických vôd prípadne demineralizáciu užitkovej vody. Pri separácii s RO sa spotrebuje menej energie než pri odparovaní. Porovnanie spotreby energie medzi alternatívnymi procesami:

Špecifická spotreba energie pri mnohostupňovom odparovaní = 15.5 kWh/m^3
 Špecifická spotreba energie pri RO = 9
 kWh/m^3
 Špecifická spotreba energie pri RO s obnovou energie = 6.6
 kWh/m^3

Problémy R.O.

- nutnosť použiť vysoký tlak
- limitácia teploty, chlóru, olejovitých a mastných zložiek, atď.
- vysoký stupeň predprípravy

Elektrodialýza: [2] Pri tomto procese sa odstraňujú ióny na polopriepustných membránach. Elektrické pole sa používa na transport iónov cez membránu. Aplikácie zahŕňujú:

- odsolovanie brakickej vody
- demineralizáciu vody
- odstraňovanie ťažkých kovov

Hlavný problém ED je koncentrácia polarizácie, ktorá má za následok zvýšenie odporu k toku iónov cez membránu. Prúd musí byť zvýšený aby prekonal tento odpor. Hlavným rozdielom medzi ED a ostatnými procesmi je hlavne v tom, že cez membránu je transportovaná rozpustená látka a nie voda ako u ostatných procesov. Odstraňované sú len ionizované látky . Používajú sa dva rozdielne typy membrán (aniónová , kationová). Hnacou silou elektrodialýzy je elektrický potenciál a nie tlak.

Spotreba energie potrebnej na odstránenie solí z roztoku pomocou elektrodialýzy (Lacey 1972).

$$E_{prac} = I^2 n R_e t$$

Kde:

- E_{prac} – spotreba energie [W.s]
- I – prúd pretekajúci aparátom [A]
- R_e - el. odpor páru membrán [Ω]
- t - čas [s]
- n - počet článkov teda párov membrán.

Prúd potrebný na odsolenie je priamo úmerný počtu iónov prenesených cez ionexovú membránu z odsoľovaného roztoku do koncentrátu:

$$I = \frac{z F Q \Delta c}{\xi}$$

Kde:

- Q - objemový prietok vstupujúceho roztoku [l/s]
- F - Faradayova konštanta, [96.540 C.mól⁻¹]
- ξ - prúdová účinnosť
- c_{vst} - koncentrácia vstupného prúdu zásobného roztoku [mol.l⁻¹]
- $c_{výst}$ - koncentrácia výstupného prúdu diluátu [mol.l⁻¹]
- Δc - $c_{vst} - c_{výst}$ [mol.l⁻¹]
- I - elektrický prúd, [amp]
- n - počet buniek
- z - oxidačné číslo prenášaného iónu bezrozmerné

Proces	Hnacia sila	Ovplyvňujúce faktory			
		Rozmer	Difuzivita	Elektr. Náboj	Rozpustnosť
Mikrofiltrácia	Tlak	+++	-	-	-
Ultrafiltrácia	Tlak	+++	-	+	-
Nanofiltrácia	Tlak	+++	+	+	-
Reverzná osmóza	Tlak	+	+++	+	+++
Elektrodialýza	Elektrický potenciál	+	+	+++	-

Tab. 1 . Porovnanie membránových procesov

Polopriepustná membrána

Charakterizácia popopriepustnej membrány

Membrána je polopriepustná bariéra, ktorá v styku s tekutou zmesou niektoré zložky tekutej zmesi zadržiava iné prepúšťa. Tak napr. ultrafiltračná membrána obecné zadržiava nerozpustené (suspendované) látky, koloidne rozpustené látky, emulgované látky a rozpustené vysokomolekulárne látky. Reverzne osmotická membrána musí navyše zadržiavať i rozpustené nízkomolekulárne látky. Elektrodialyzačná membrána zadržiava buď kationy alebo anióny.

Tab. 2. Porovnanie štruktúry membrán

Proces	Štruktúra	Hnacia sila	Mechanizmus
Mikrofiltrácia	Symmetrická mikroporézna (0.02-10 μ)	Tlak, 1-5 atm	Sitový
Ultrafiltrácia	Asymmetrická mikroporézna (1-20 nm)	Tlak, 2-10 atm	Sitový
Nanofiltrácia	Asymmetrická mikroporézna (0.01-5nm)	Tlak, 5-50 atm	Sitový
Reverzná osmóza	Asymmetrická s jemnou deliacou vrstvou a podpornou vrstvou	Tlak, 10-100 atm	Sitový
Elektrodialýza	Elektrostaticky nabitá membrána (kation & anión)	Elektrický potenciál	Difúzia toku, elektrostatická difúzia

Obecné je membrána charakterizovaná svojimi vlastnosťami a to selektivitou pre zadržiavanú látku, ktorá je definovaná vzťahom:

$$S_e = \frac{c_k - c_p}{c_k} \cdot 100$$

Kde:

Se - selektivita [%]

c_k - koncentrácia zadržiavanej látky v koncentráte

c_p - koncentrácia zadržiavanej látky v permeáte

Niekedy je selektivita membrány definovaná hodnotou cut off (deliacou hranicou) teda hraničnou hodnotou molekulovej hmotnosti zadržiavanej látky pod ktorou by už selektivita membrány pre danú zadržiavanú látku mala prudko klesať.

Hodnota cut off membrány však necharakterizuje selektivitu membrány jednoznačne. Zadržiavanie látok ultrafiltračnou membránou nezáleží len na veľkosti molekulovej hmotnosti danej molekuly, ale aj na jej priestorovom usporiadaní, nábojoch a podobne.

Ďalej je membrána definovaná svojou priepustnosťou (hmotnostná hustota toku permeátu membránou, teda hmotnosť permeátu, ktorá prejde jednotkou plochy membrány za jednotku času) obvykle pre destilovanú vodu pri určitom transmembránovom tlaku a pri určitej teplote.

$$J_w = \frac{dm}{t \cdot dA}$$

Kde:

J_w - hmotnostná hustota toku permeátu membránou [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

m - hmotnosť permeátu [kg]

t - čas [s]

A - povrch membrány [m^2]

Pri popise priebehu separácie roztokov membránovými procesmi sa často používa výraz stupeň skoncentrovania, ktorý vyjadruje koľko percent z objemu separovaného roztoku bolo oddelených cez membránu :

$$S_s = \frac{V_p}{V_o} \cdot 100$$

Kde:

S_s - Stupeň skoncentrovania [%]

V_o - Objem vstupného média [m^3]

V_p - Objem permeátu [m^3]

Z hľadiska praktického použitia membrány sú tiež dôležité jej mechanické vlastnosti pevnosť, elasticnosť atď .

Z praktického hľadiska najdôležitejším faktorom pre použiteľnosť membrány je jej odolnosť voči fyzikálne-chemickým vplyvom. Membrána je totiž počas membránového procesu , ale hlavne počas procesu jej regenerácie, teda čistenia povrchu membrány od usadených látok často vystavovaná vplyvom extrémnych hodnôt pH a teploty poprípadne i oxidačných činidiel. Pretože čím je voči týmto fyzikálne-chemickým vplyvom odolnejšia, tým sa dá energetickejšie čistiť, teda účinnnejšie regenerovať , tým je tiež dlhšia jej životnosť. A životnosť membrány je

z hľadiska možnosti jej použitia v praxi mimoriadne dôležitá .Práve podľa odolnosti voči fyzikálne chemickým vplyvom delíme membrány do troch "generácií".

Membrány I. generácie sú estercelulózové membrány , ktoré vykazujú veľmi vysokú selektivitu, ktorá sa navyše dá pomerne jednoducho cielene meniť zahrievaním na určitú teplotu. Tiež ich priepustnosť a mechanické vlastnosti sú pomerne dobré. Ich jediným, ale o to závažnejším nedostatkom je ich nízka odolnosť voči extrémnym hodnotám pH a teploty. Sú stále len v rozmedzí pH 3 - 8 a do teploty 30° C výnimočne do 50° C .

Membrány II. generácie sú membrány pripravené z rôznych syntetických polymérov polysulfónu, polyamidov, polykarbonátov, polyakrylonitrilu atď. Tieto membrány majú obvykle už podstatne vyššiu odolnosť voči fyzikálne-chemickým vplyvom a sú použiteľné v rozmedzí pH 1 - 13 a do teploty 80° C.

Membrány III. generácie sú keramické membrány na báze jemne zrnitého oxidu hlinitého naneseného na keramickom výlisku. Tieto membrány vynikajú extrémnou odolnosťou voči fyzikálne-chemickým vplyvom a možno ich premývať oboma smermi pri tlaku do 5 MPa a pri teplote do 160° C .

V tab. 3.5.2 . sú charakterizované vlastnosti jednotlivých druhov membrán podľa ich štruktúry a materiálu z ktorého sú vyrobené.

Tab.3. Materiály membrány a ich charakteristika . [4]

Membrány	Východiskový materiál	Spôsob výroby	Štruktúra	Použitie
Keramické	kremitany, oxid hlinitý, grafit, kovové prášky	lisovanie a spojovanie jemnozrnných práškov	porézne 0,1 až 10 µm	filtrácie suspenzií, separácie plynov, separácie izotopov
Polymérne tavené	polytetraflouretylén, polyetylén, polypropylén	lisovanie a spojovanie jemnozrnných práškov	porézne 0,1 až 50 µm	filtrácia agresívnych médií, čistenie vzduchu
Polymérne ťahané	polytetraflouretylén, polyetylén, polypropylén	ťahanie kryštalickej fólie kolmo ku smeru kryštalizácie	porézne 0,1 až 1 µm	filtrácia agresívnych médií, čistenie vzduchu, medicínske aplikácie
Leptané polymérne fólie	polykarbonát	ožarovanie fólie a leptanie kyselinou	porézne od 0,5 µm	analytická a medicínska chémia
Homogénne	silikokaučuk, hydrofóbne kvapaliny	extrúzia homogénnych fólií, nanášanie kvapalných filmov	homogénna fáza s nosičom	delenie plynov, prenos iónov
Symetrické mikroporézne	deriváty, celulózy, polyamid,	fázová inverzná reakcia	porézne 50 až 500 nm	sterilná filtrácia, dialýza,

	polypropylén			destilácia
Integrálne symetrické	deriváty, celulózy, polyamid, polysulfón	fázová inverzná reakcia	porézne 1 až 10 nm alebo homogénne	ultrafiltrácia a delenie plynov
Kombinované asymetrické	deriváty, celulózy, polyamid, polysulfón, polydimetylsiloxan	povlaky mikroporéznej membrány filmom	homogénny polymér alebo porézne 1 až 5 nm	ultrafiltrácia a delenie plynov
Iónomeničové	Polyetylén, polysulfón, polyvinylchlorid	fólie z iónomeničových živíc, sulfónovanie homogénnych polymérov	matica s pozitívnym alebo negatívnym nábojom	elektrodialýza, elektrolyza

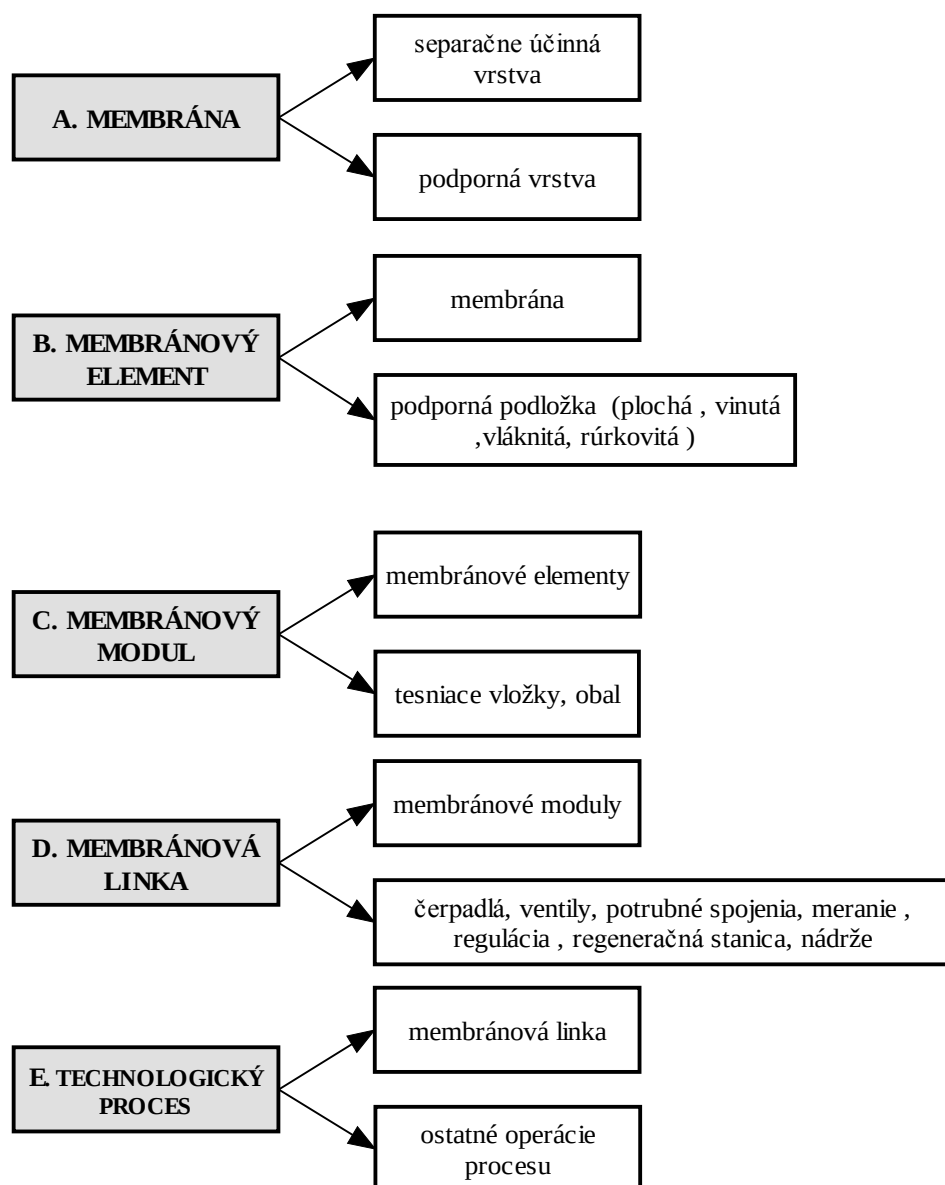
PREHĽAD VYBRANÝCH PRIEMYSELNÝCH APLIKÁCIÍ

Faktory, ktoré ovplyvňujú membránové procesy.

Spoločnou črtou membránových procesov je, že separácia nimi prebieha na membráne.

Jednotlivé membránové procesy sa navzájom líšia princípom, hnacou silou procesu a tiež vlastnosťami jednotlivých prvkov z ktorých pozostávajú. Na druhej strane prvky z ktorých membránový proces pozostáva sú do značnej miery podobné. Preto aj problémy, ktoré je nutné riešiť pri praktickom uskutočnení membránového procesu sú podobné.

Komplexný pohľad na membránový proces nám poskytuje Glímeniusov rebríček membránového procesu (Obr.4.)



Obr. 4 Gliveniusov rebríček Membránového procesu.

(Mikrofiltrácie MF; Ultrafiltrácie UF, Nanofiltrácie NF, Reverznej osmózy, RO Elektrodialýzy ED)

Najzávažnejším problémom membránových procesov je časový pokles hustoty toku permeátu membránou, ktorý ovplyvňuje ekonomiku procesu. Príčinou sú javy vo vnútri membrány, na jej povrchu a v jej blízkosti. V prípade, že veľkosť pórov v membráne je porovnateľná s veľkosťou separovaných častíc, môžu byť v priebehu procesu blokované póry membrány týmito časticami. V prípade, že častice sú omnoho menšie, ako je daná veľkosť pórov membrány, môžu existovať interakcie medzi týmito časticami a povrchom pórov membrány. Iný veľmi dôležitý jav je **koncentračná polarizácia**. Membránou zadržiavané látky sa akumulujú na povrchu membrány v podobe vrstvy s relatívne vysokou koncentráciou. Táto vrstva na povrchu membrány zapríčiňuje nižšiu priepustnosť pre separovanú kvapalinu. Konečná koncentrácia na povrchu membrány môže dosahovať také vysoké hodnoty, že častice tu vytvoria filtračný koláč s vysokým odporom.

Hrúbka vrstvy koncentračnej polarizácie a jej dôsledky klesajú so vzrastajúcou rýchlosťou prúdenia pozdĺž membrány a so zvyšujúcou sa mierou turbulencie.

S rastúcou koncentráciou nástreku hustota toku permeátu membránou klesá až do určitej hodnoty, od ktorej je membrána prakticky nepriepustná. Táto hodnota udáva maximálnu koncentráciu retentátu, ktorá sa dá počas prevádzky dosiahnuť.

S rastúcou teplotou hustota toku permeátu stúpa, lebo teplota pozitívne ovplyvňuje koncentračnú polarizáciu.

Okrem toho hodnotu toku permeátu ďalej ovplyvňuje:

- Veľkosť a charakter separovaných častíc: V prípade, že veľkosť pórov membrány je porovnateľná s veľkosťou separovaných častíc, môžu byť v priebehu procesu blokované póry membrány týmito časticami a tým môže dochádzať k časovému poklesu prietoku permeátu.
- Vzájomné interakcie častíc systému a častíc s povrchom membrány. Takéto nestabilné častice majú tendenciu koagulovať. Niektoré disperzné systémy sú vzhľadom k veľkému medzifázovému povrchu nestabilné a ich sklon ku koagulácii je značný. Odolnosť systému voči koagulácii sa označuje ako stabilita disperzie. Stabilita disperzie ovplyvňuje predovšetkým mieru zanášania membrány.

MEMBRÁNOVÉ ZARIADENIA .

Membránový proces napr. ultrafiltrácia môže prebiehať ako: Dead-end filtrácia a

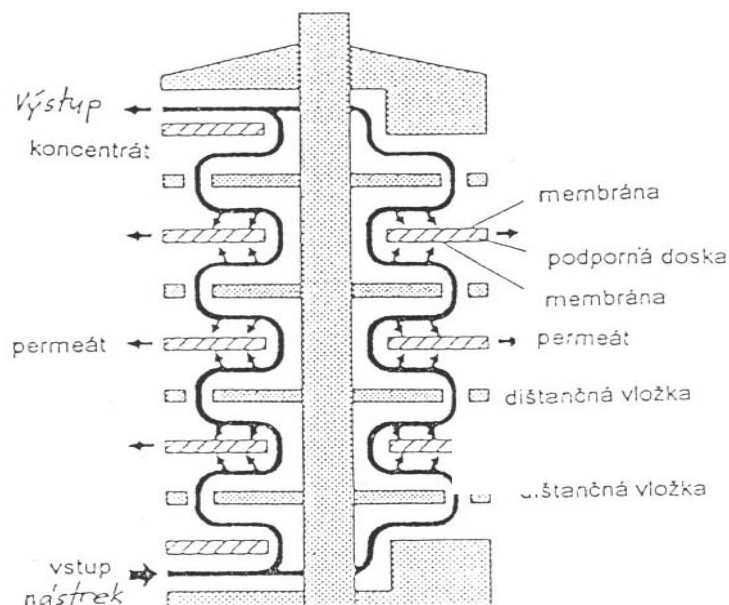
Cross-flow filtrácia.

- Dead-end filtrácia je filtrácia s jediným koncom. U nej je hlavným problémom, že sa pri nej často zanášajú membrány.
- Cross-flow filtrácia. Prekonáva zanášanie membrán a je široko používaná pri spracovaní vody a odpadových vôd.

Pre cross-flow usporiadanie sa používajú rôzne typy základných membránových elementov, ktoré vďaka svojej geometrii majú umožniť čo najintenzívnejšie premiešavanie separovaného roztoku a tiež účinný proces regenerácie membrán.

Membránový element pozostáva z membrány a z podložky, ktorej úlohou je podprieť membránu, privádzať k nej separovaný roztok a odvádzať permeát. V súčasnosti sa na ultrafiltráciu používajú 4 druhy membránových elementov a to:

1. **s plochou membránou**, majú do série zapojené ploché membrány. Membrány z jednej strany majú podpornú dosku s kanálikmi na odvod permeátu. Membrána sa od podpornej dosky oddelí dištančnými vložkami, ktorými cirkuluje suspenzia alebo roztok nad membránou.



Obr.5. Membránový element s plochou membránou

2. **s trubkovitou** membránou sa využívajú pre ich výhodu turbulentného režimu. Membrána je umiestnená v trubke z vnútornej strany. Takéto trubkové membrány sa potom vkladajú do pevných dierkovaných trubiek z nehrdzavejúceho materiálu. Trubky majú priemer 10 až 25mm a dĺžku 1 až 6m. Moduly obsahujú viac takýchto zostáv trubiek.

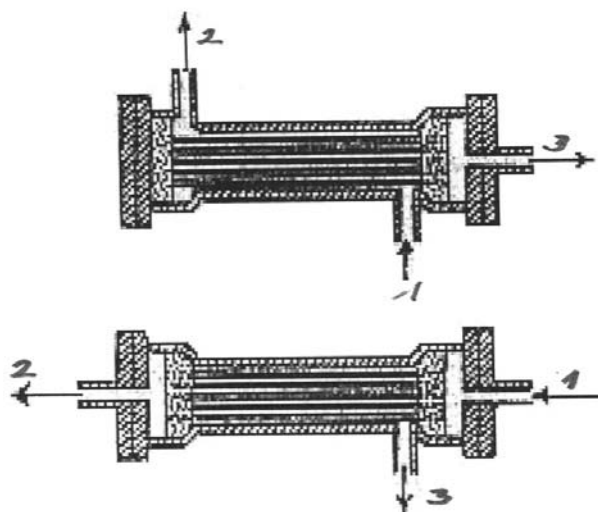
Obr. 6. Membránový element s trubkovitou membránou

(1- membrána, 2- tlaková nádoba, 3- permeát , 4- vstupný roztok , 5- koncentrát)

3. **s vinutou** membránou pozostávajú z viacerých plochých membrán oddelených od seba turbulizačným separátorom zo sita navinutých do rolky. Permeát tečie špirálovite do centrálnej trubky pre odvod permeátu a filtrovaný roztok cirkuluje paralelnými kanálmi naformovanými medzi oddelenými dvomi membránami. Štandardné rozmery sú : priemer 0,1m, dĺžka 0,9m a filtračná plocha cca 5m². Nevýhodou týchto modulov je, že majú sklony k zanášaniam.

Obr. 7 . Membránový modul s vinutou membránou (1- prietok permeátu po prechode membránou, 2-vstupný roztok, 3- porézna podložka, 4-obal , 5-

- zarolované , 6-uzáver, 7- tlaková nádoba, 8-tesnenie, 9- vložka, 10-membránový element, 11- permeát, 12- koncentrát)
4. **s vláknitou membránou.** pozostávajú zo zväzkov kapilár (vlákien) utesnených v rúrke. Membránová vrstva môže byť zvnútra pre menšie tlaky (mikrofiltrácia, ultrafiltrácia), pre vyššie tlaky obyčajne zvonka (reverzná osmóza). Typický ultrafiltračný modul obsahuje až 3000 kapilár s dĺžkou 1m.



Obr.8. Membránový element s vláknitou membránou (hollow fibre 1- vstupný roztok prechode membránou, 2-koncentrát , 3- permeát)

V tab.4. je uvedené porovnanie parametrov jednotlivých typov membránových elementov.

Tab.4. Porovnanie parametrov membránových elementov

Parametre	Membránový element			
	Plochý	tubulárny	vinutý	hollow fibre
Plocha, m ² /m ³	300	300	1000	15
Vnútorný priemer/, mm	0,3-1	20-50	20-100	0.5-2
Rýchlosť prúdenia separovanej kvapaliny, l/m ² .deň	0,7-2	300-1000	300-1000	30-100
Reynoldsovo číslo	až 6000	až 30000	až 1000	až 1000
Potreba predúpavy	priemerná	jednoduchá	priemerná	vysoká
Rozsah zanášania	priemerný	malý	priemerný	vysoký
Postupy čistenia:				
Mechanické	nemožné	možné	nemožné	nemožné
Chemické	možné	možné	možné	možné



Možnosti použitia membránových procesov pri recyklácii odpadových vôd a druhotných surovín.

Značnú časť zložiek odpadov zo súčasných výrobných procesov môžeme považovať za druhotné suroviny a recyklovať ich. Je treba len nájsť vyhovujúcu technológiu, ktorou je možné tieto zložky ekonomicky výhodne spracovať do vhodnej formy, napríklad ich skoncentrovať, alebo purifikovať a znova použiť ako surovinu pre tú istú výrobu, z ktorej odpadajú, prípadne ako surovinu pre iné výroby. Rozhodujúca teda pre realizáciu tohoto ekologicky výhodného prístupu je ekonomicky i technicky vhodná separačná technológia. Medzi separačné technológie tohoto typu patria i membránové procesy. Hlavnou výhodou membránových procesov pri aplikáciách tohoto druhu je ich energetická a v niektorých prípadoch i aparatívna nenáročnosť a tiež pomerne vysoká výkonnosť membránových zariadení vzhľadom k ich rozmerom. Tieto výhody priamo predurčujú membránové procesy pre použitie pri likvidácii a recyklácii odpadov. Pritom je obvykle treba spracovávať, teda skoncentrovať, alebo purifikovať, alebo najčastejšie súčasne oboje, veľké objemy značne zriedených roztokov, emulzií, alebo suspenzií a to pri minimálnych ekonomických nákladoch.

Jednotlivé membránové procesy sa vzájomne líšia hnacou silou i charakteristikou zložiek, ktoré zadržiavajú. Ultrafiltráciou je možné skoncentrovávať a purifikovať suspenzie, emulzie a roztoky vysokomolekulárnych látok pri veľmi malej spotrebe energie. Ultrafiltráciu preto možno považovať za najvýhodnejší membránový proces pre recykláciu odpadov, samozrejme pokiaľ zložku, ktorú chceme recyklovať, ultrafiltračná membrána zadržiava, resp. ak ultrafiltračná membrána zadržiava znečisťujúce zložky. Pri niektorých typoch odpadov je však nutné recyklovať nízkomolekulárne látky kyseliny, zásady, soli, cukry a podobne. V týchto prípadoch môže byť vhodné použiť na recykláciu iný membránový proces napr. reverznú osmózu, nanofiltračnú, elektrodialýzu alebo membránovú elektrolyzu.

Možnosti použitia membránových procesov pri recyklácii odpadových vôd a druhotných surovín v potravinárstve .

Mliekarenský priemysel .

Snáď najznámejšou aplikáciou ultrafiltrácie je získavanie bielkovín resp. tukov zo srvátky.

Srvátka ako vedľajší produkt z výroby syrov (sladká), alebo tvarohu (kyslá) je svojím zložením mimoriadne hodnotná. Obsahuje esenciálne aminokyseliny, mimoriadne hodnotné proteíny, vitamíny, laktózu s energetickou hodnotou rovnakou ako sacharóza.

Membránové separačné procesy jednoznačne vyhrali pri spracovaní srvátky pred inými separačnými postupmi, najmä pre hospodárne podmienky separácie a purifikácie. Ultrafiltráciou sa zo srvátky získajú proteíny, ktoré sú mimoriadne hodnotené, vďaka cennému obsahu esenciálnych aminokyselín, aj keď autori [8]

poukazujú, že chuť môže byť nahorklá. Ultrafiltrácia srvátky je druhá najväčšia membránová aplikácia ak membránové aplikácie hodnotíme z hľadiska ich ekonomického vplyvu. Je to spôsobené najmä faktom, že srvátka je zdroj znečistenia životného prostredia, ktorý patrí k historicky najväčším. BSK₅ srvátky je 30 až 50 kg.m⁻³. Permeát z ultrafiltrácie srvátky možno potom skoncentrovať nanofiltráciou alebo reverznou osmózou. Obsahuje totiž cenné zložky napr. laktózu, vitamíny a minerálne látky a je prakticky sterilný Preto sa často využíva v potravinárskom, farmaceutickom, alebo fermentačnom priemysle prípadne na výrobu nealko nápojov.

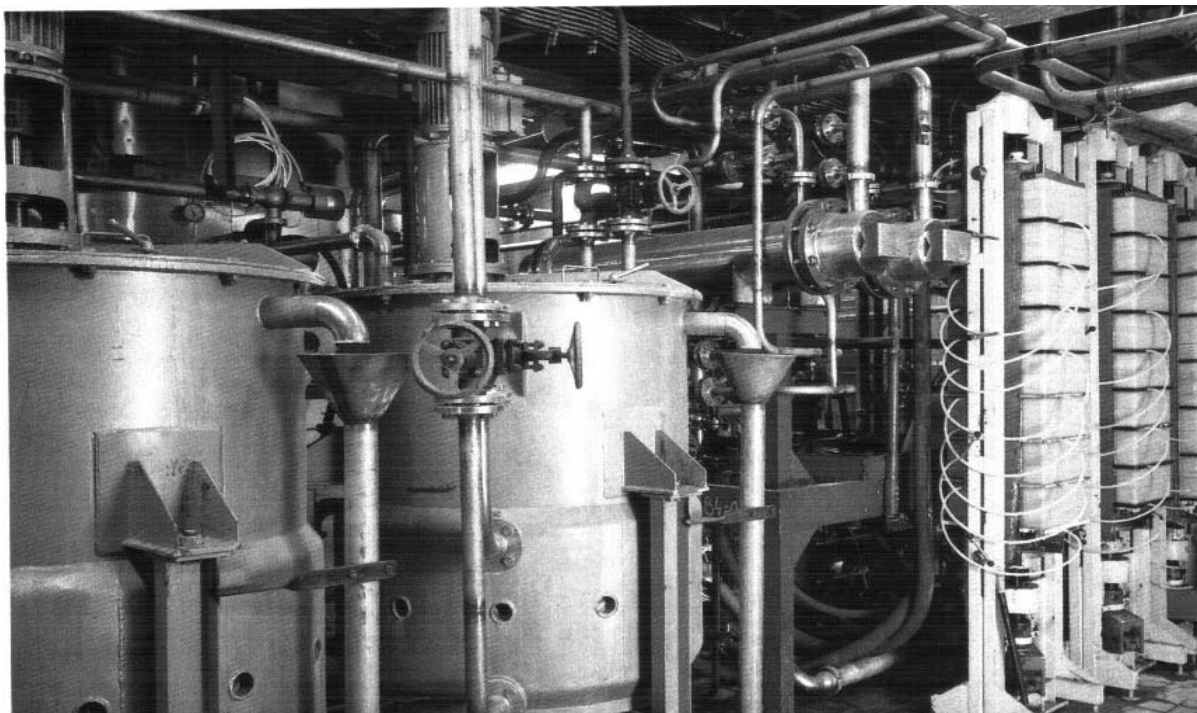
Nanofiltráciou a reverznou osmózou možno oddeliť zo srvátky aj laktózu, ktorá tvorí väčšinu jej sušiny. Pri reverznej osmóze sa skoncentrujú i minerálne látky (napr. soli) zo srvátky. Tieto sú však pri niektorých aplikáciách membránových procesov hlavne z chuťových dôvodov neželané a odstraňujú sa pred ďalším spracovaním zo srvátky elektrodialýzou.

Mäsný priemysel

Najzaujímavejšou aplikáciou ultrafiltrácie **v mäsnom priemysle** je ultrafiltrácia krvi jatočných zvierat. Táto i keď v priemere tvorí asi 7% z hmotnosti jatočného zvieraťa a obsahuje mnohé z nutričného hľadiska zaujímavé látky sa ešte len z malej časti využíva pre ľudskú výživu. A práve ultrafiltráciou možno krv, alebo častejšie z krvi získanú plazmu výhodne skoncentrovať až na obsah sušiny (bielkovín) 20-30 %. Veľkým problémom pri tejto aplikácii je minimálna údržnosť krvi resp. plazmy nakoľko ju vzhľadom k denaturácii a vyvráždaniu bielkovín z nej nemožno ultrafiltrovať pri vyšších teplotách. Ďalšími aplikáciami ultrafiltrácie v mäsnom priemysle, sú ultrafiltrácia lakov napr. rybného, feferónového, kápiového láku, rôznych vývarov napr. pečeňového, z koží, z orezu a podobne.

Zaujímavá je tiež možnosť získavať z odpadov mäsného priemyslu kolagén (želatínu), elastín atď. a tie potom skoncentrovať resp. purifikovať ultrafiltráciou.. Ultrafiltrácia tu neslúži len na skoncentrovávanie roztoku, ale súčasne umožňuje purifikáciu roztoku od nežiadúcich anorganických solí, ktoré pri ultrafiltrácii prechádzajú do permeátu. V porovnaní s tradične používaným odparovaním nehrozí pri ultrafiltrácii nebezpečie narušenia koloidných vlastností skoncentrovávanej želatíny.

UF sa skoncentrovávajú s cieľom získať želatínu najrozličnejšie extrakty napr. z behákov hydiny, alebo z odpadových kostí a štiepenky (kožný odpad). a takto získaný koncentrát má obvykle lepšie technologické vlastnosti ako koncentrát získaný na odparke a ušetrí sa aj značné množstvo energie .



Obr. 9. Membránová linka na skoncentrovávanie a purifikáciu roztokov želatíny. V KGP Liktovský Mikuláš.

Tab. 5. Porovnanie nákladov na skoncentrovávanie roztoku želatíny na odparke a ultrafiltráciou.

	Odparka	UF zariadenie
Para (kg)	570	0
Voda (m ³)	8,5	0,8
elektrická energia (kW)	9,13	10
finančné náklady (Kčs)	51,31	4,4

Škrobárenský priemysel

Jednou zo zaujímavých aplikácií ultrafiltrácie pri likvidácii a recyklácii odpadových vôd je získavanie škrobu i neškrobových látok z odpadových škrobárenských vôd. Pri výrobe 30 t škrobu denne vznikajú odpadové vody, obsahujúce 10 t neškrobových látok. Jedná sa o bielkoviny, voľné aminokyseliny, cukry, organické kyseliny, anorganické soli.

Tieto odpadové vody majú hodnotu CHSK okolo 9000-14000 mg O₂. l⁻¹. To znamená, že táto výroba spôsobí rovnaké znečistenie ako mesto s 85 000 obyvateľmi. [20].

Fermentačný priemysel .

Počas väčšiny fermentačných procesov mikroorganizmy tvoria vo fermentačnej pôde vedľa hlavného produktu fermentácie i celý rad vedľajších produktov. Je nesporné, že niektoré z týchto vedľajších produktov sú cenné látky využiteľné v

priemysle. Obvykle sa však ničia pri procese izolácie hlavného produktu a znehodnotené prechádzajú do odpadových vôd.

Veľmi významným vedľajším produktom fermentačných procesov sú extracelulárne enzýmy. A práve ultrafiltrácia je separačnou metódou, ktorou je možné tieto makromolekulárne vedľajšie produkty veľmi výhodne odseparovať z fermentačnej pôdy pri minimálnej spotrebe energie. Výhodou pritom môže byť nielen to, že sa získa cenný priemyselne využiteľný enzým, ale ultrafiltrácia môže súčasne znamenať veľmi významnú čistiacu operáciu v izolačnom postupe hlavného produktu a tiež sa zlepši kvalita odpadových vôd z procesu.

Ultrafiltračné zariadenie je možné tiež výhodne použiť ako enzýmový reaktor. Využije sa pritom možnosť oddeľovať makromolekulárne látky od nízkomolekulárnych. Zvlášť výhodná je táto aplikácia ultrafiltračného zariadenia tam, kde substrát enzymatickej reakcie je makromolekulárny a produkt enzymatickej reakcie je nízkomolekulárny. Tu sa ultrafiltráciou z reakčnej zmesi kontinuálne odstraňuje produkt enzymatickej reakcie pri zadržaní enzýmu a nezreagovaného substrátu v reakčnej zmesi. Tým sa rovnováha reakcie neustále posúva v prospech produktu.

Väčšina oplachových vôd v textilnom priemysle vzniká pri odšlichtovaní (35-55 %) a farbení (10-22 %). A práve z týchto odpadových vôd je možné účinné látky (šlichtovacie činidlá, farby) odseparovať ultrafiltráciou, alebo nanofiltráciou a v optimálnom prípade ich znovupoužiť.

Pri ochrane materiálu. Materiál je treba chrániť nielen proti vplyvom prostredia, ale aj pripraviť na ďalšie spracovanie alebo k ďalším povrchovým úpravám.

Väčšina povrchových úprav pracuje s vodou, do ktorej v priebehu úpravy obvykle prechádzajú niektoré zložky spracovávaného materiálu alebo pomocných materiálov. Takto vznikajú počas povrchových úprav rôzne druhy odpadových vôd. Tieto odpadové vody väčšinou obsahujú látky biologicky ťažko odbúrateľné alebo neodbúrateľné. Niektoré z nich sú dokonca toxické. Tieto odpadové vody sú preto vážnym ekologickým problémom. V niektorých prípadoch sa skládkujú, čo je však technicky a hlavne ekonomicky neúnosné a preto treba riešiť ich vhodnú likvidáciu alebo ešte lepšie recykláciu.

Najvhodnejšie riešenie tohoto problému poskytujú technológie schopné odseparovať zložky prechádzajúce pri povrchových úpravách do vodného prostredia a potom podľa okolností ich znovu použiť alebo likvidovať v skoncentrovanom stave napríklad spaľovaním alebo iným podobným spôsobom.

Veľmi modernou a výhodnou metódou skoncentrovania a prípadne aj regenerácie oplachových vôd z povrchových úprav sú membránové procesy, hlavne ultrafiltrácia, ale aj reverzná osmóza a elektrodialýza.

strojárenský priemysel

Regenerácia elektroforéznych farieb z oplachových vôd.

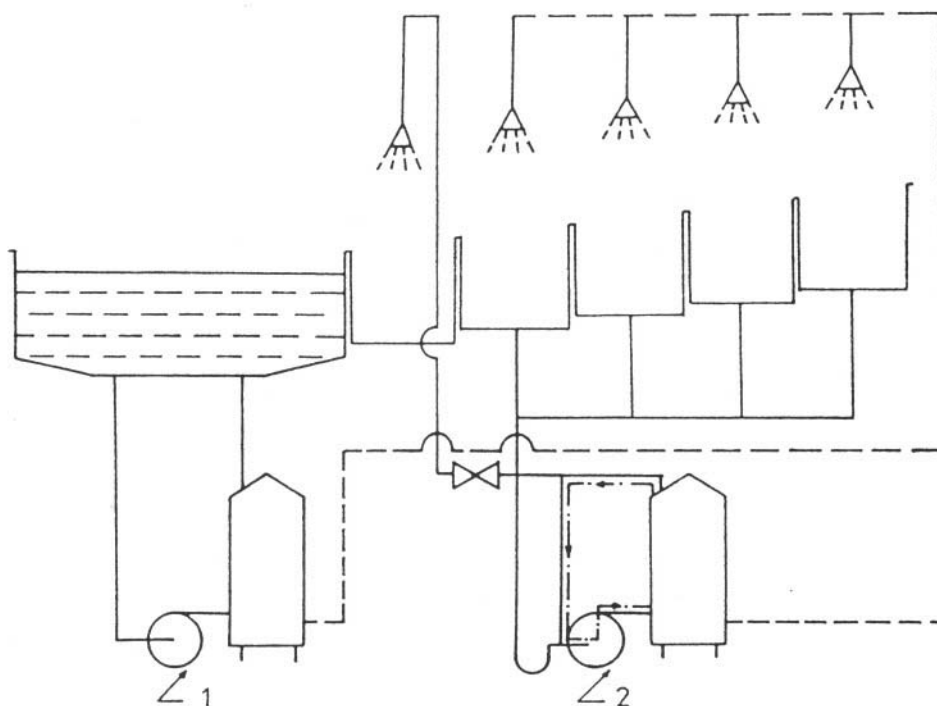
<http://www.aquahard.cz/kat/katafor.html>

Nanášanie podkladových lakov pomocou elektroforézy je dnes bežné hlavne v automobilovom priemysle, ale i pri farbení iných výrobkov napr. pračiek, chladničiek, sporákov atď. Do roku 1977 sa používali elektronátery výlučne anodického typu a to hlavne preto, že chémia živíc používaných k ich príprave je jednoduchá. Keď sa však ukázalo, že tieto elektronátery nie sú dostatočne odolné voči kórozii začali katodické elektronátery postupne nahrádzať anodické.

Dôvodom bolo, že katiónové živice majú prirodzenú funkciu inhibítorov kórozíe.

Ultrafiltrácia sa používa pri nanášaní elektronáterov jednak na odstraňovanie

rozpustených solí , ktoré zvyšujú vodivosť farby, ale hlavne k recyklácii farby z oplachov (obr.5. .). Týchto oplachov býva väčší počet a preto je obvyčajne výhodné rozdeliť ultrafiltráciu do viacerých, minimálne do dvoch stupňov.



Obr. 10. Schéma regenerácie elektroforéznych farieb pomocou ultrafiltrácie.
(1 – prvý stupeň ultrafiltrácie , II.- druhý stupeň ultrafiltrácie.).

Účelom použitia ultrafiltrácie pri tejto aplikácii je :

1. zníženie spotreby elektroforézneho laku,
2. zabránenie zhoršovania kvality laku počas elektroforézy,
3. odstránenie väd náteru finálnych výrobkov,
4. zabránenie vzniku veľkých objemov odpadových vôd.

Regenerácia priemyselných emulzií pomocou ultrafiltrácie .

<http://www.techtydenik.cz/tt1998/tt21/panoram7.htm>

Priemyselné emulzie majú svoj nesporný význam v mnohých technológiách a odvetviach priemyslu . Používajú sa na viaceré účely napríklad ako emulzie rezné (obrábacie, chladiaco-mazacie), odmasťovacie, valcovacie a mazacie (lubrikačné). Najbežnejšie sa emulzie používajú v strojárskom priemysle pri obrábaní kovov, pri valcovaní, alebo povrchových úpravách ale tiež a v priemysle textilnom a sklárskom pri lubrikácii textilných alebo sklenených vlákien . [3]

Široké používanie emulzií v priemysle však prináša so sebou mnohé ekologické problémy. Jedná sa totiž takmer výhradne o organické látky, v niektorých prípadoch biologicky ťažko odbúrateľné a ktoré pri vypustení do životného prostredia môžu

značne znečistiť pôdu a vzduch . Priemyselné emulzie v niektorých prípadoch obsahujú tiež toxické zložky a tak môžu byť v prípade ich preniknutia do poľnohospodárskej pôdy, alebo pitnej vody nebezpečné aj pre život ľudí.

V praxi sa v súčasnosti využíva viac spôsobov zneškodňovania použitých emulzií. Tie spôsoby môžeme rozdeliť na :

- fyzikálne metódy, sem patrí odparovanie a spaľovanie emulzií, elektrolytické metódy a delenie pomocou odstrediviek, delenie pomocou ultrafiltrácie. V poslednej dobe sa z fyzikálnych metód uplatňuje hlavne ultrafiltrácia.
- chemické metódy.

Pri delení priemyselných emulzií ultrafiltráciou sa postupuje nasledovne.

Odpadové vody sa zhromažďujú v zbernej nádrži, ktorej veľkosť záleží na množstve odpadových vôd. Je dôležité, aby emulzie boli zbavené mechanických nečistôt, t.j. mali by byť pred vstupom do deliaceho stupňa vedené cez filter, ktorý odfiltruje častice väčšie ako 0,5 mm. Deliaci stupeň je tvorený membránovými modulmi. Časť delenej kvapaliny preniká membránou a odteká z modulov von ako čistá oleja zbavená voda (.permeát.). Oddelovaním permeátu sa v časti kvapaliny, ktorá zostala nad membránou a plynule prúdi z modulu do zbernej nádrži a naspäť do modulu plynule zvyšuje koncentrácia oleja (koncentrát). V praxi môže koncentrácia oleja v koncentráte dosiahnuť 50% a aj viac.

Tento koncentrát sa potom odoberá z cirkulačného systému. Koncentrát sa potom môže spaľovať v špeciálnom horáku, prípadne sa môže ďalej spracovať, alebo recirkulovať. Z jedného kubického metra odpadovej vody v závislosti na pôvodnej koncentrácii oleja v nej, môžeme získať až 950 l čistej vody.

Regenerácia solí kovov z oplachových vôd pokovovania pomocou elektrodialýzy

Kovové povlaky s antikoroznymi vlastnosťami sa priemyselne môžu vyhotovovať rôznymi spôsobmi,

Na znečisťovaní odpadových vôd sa podieľajú oplachové vody, využité galvanické kúpele, koncentráty a ekonomické oplachy. Hraničný obsah škodlivých látok je predpísaný vyhláškami. Dovoľené množstvo niklu vo vypúšťaných vodách z galvanizovní je 1,0 mg/l.

V praxi sa ukazuje, že najväčším problémom je zneškodnenie vyčerpaných kúpeľov a ekonomických oplachov. Kovové ióny z týchto odpadových vôd je možno výhodne získavať elektrodialýzou alebo reverznou osmózou

MIKROFILTRÁCIA

- koláčová alebo hĺbková
 - sterilizácia – farmaceutický priemysel
 - oddelovanie častíc – výroba polovodičov
- cross flow aplikácie
 - oddelovanie ťažkých kovov
 - pestovanie a premývanie tkanív
 - separácia krvnej plazmy

ULTRAFILTRÁCIA

- výroba „ultračistej“ vody pre výrobu polovodičov a farmaceutík
- separácia olejov z odpadných vôd

- mliekarenské aplikácie
 - získavanie surového proteínu zo srvátky
 - zahušťovanie mlieka
- potravinárske a nápojové aplikácie
 - želatíny
 - ovocné šťavy
 - víno
 - pivo
- farmaceutické a biotechnologické aplikácie
 - pestovanie tkanív
 - zahusťovanie enzýmov a ich čistenie
 - spracovanie krvnej plazmy
 - čistenie odpadových vôd

NANOFILTRÁCIA A REVERZNÁ OSMÓZA

- odsolovanie morskej vody
- recyklácia detergentov a rezných kvapalín

ELEKTRODIALÝZA

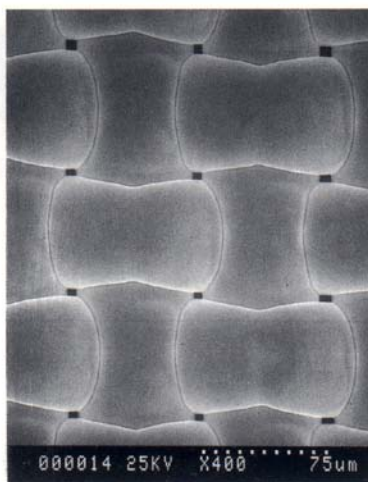
- získavanie Cu, Ni,

MEMBRÁNOVÉ ČISTENIE PLYNOV

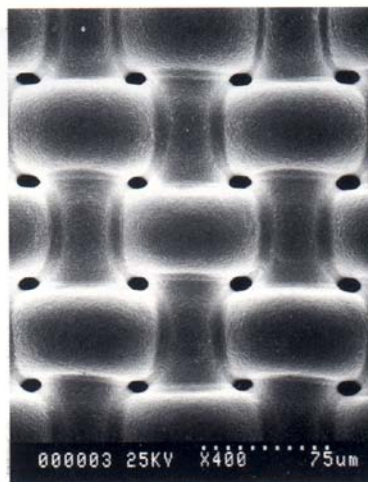
- čistenie H_2
- oddeľovanie CO_2



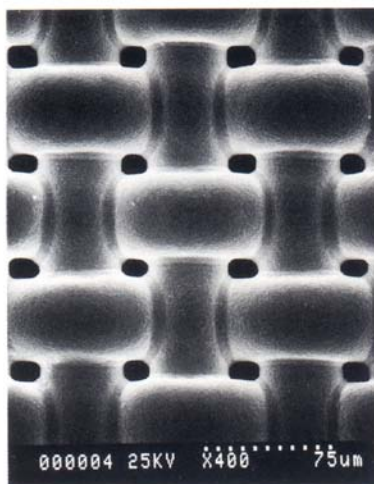
Metallfilter mit Porengrößen von max. 5.0 μm



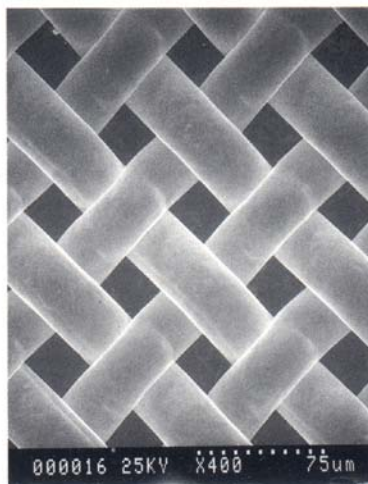
Metallfilter mit Porengrößen von max. 7.0 μm



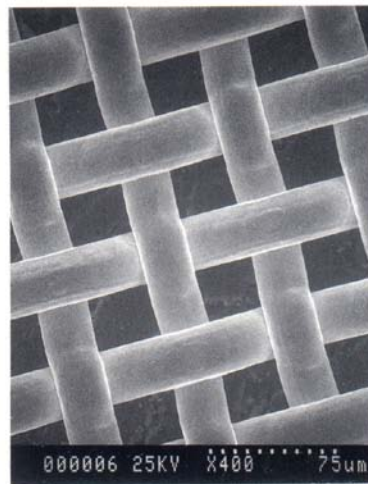
Metallfilter mit Porengrößen von max. 14.0 μm



Metallfilter mit Porengrößen von max. 18.0 μm



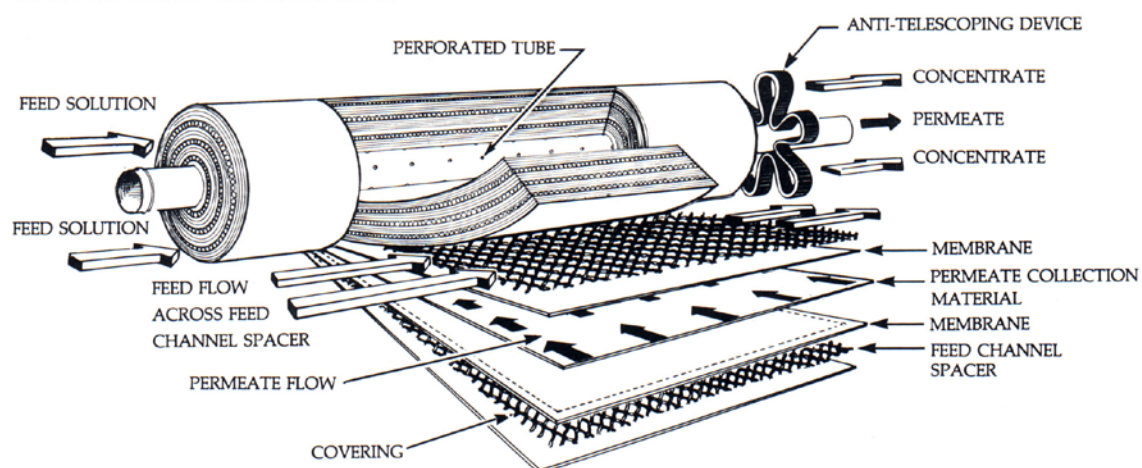
Metallfilter mit Porengrößen von max. 30.0 μm



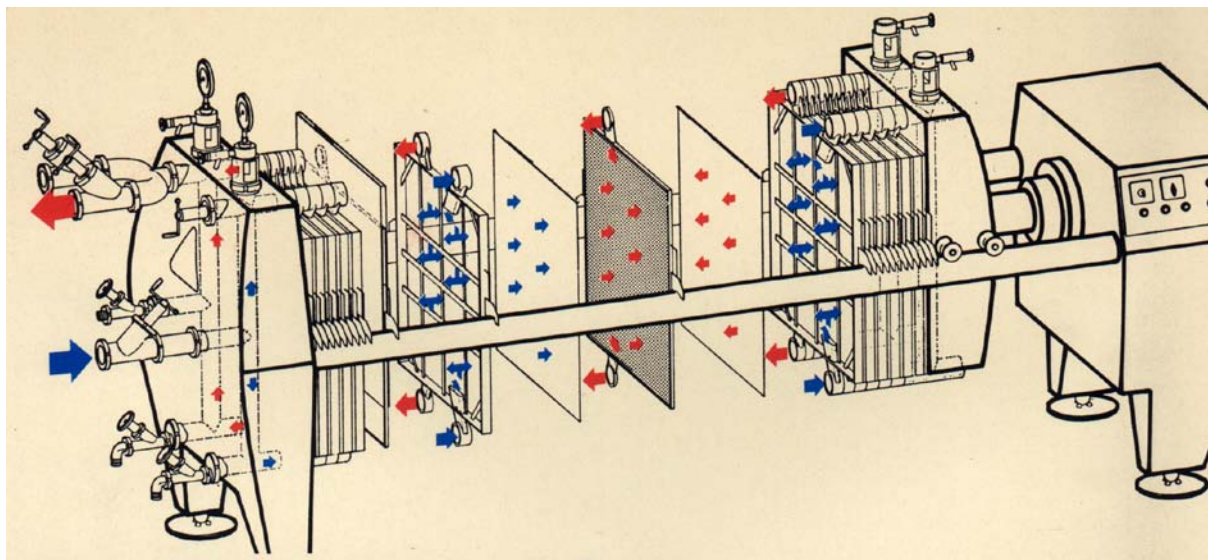
Metallfilter mit Porengrößen von max. 36.0 μm

Rozne typy kovových membrán pre filtráciu

TAL-WOOD MEMBRANE CONFIGURATION



1B-79-4





Príklad:

Nech v bubne rotuje voda s hustotou $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ otáčkami $n=3000 \text{ 1/min}$. Polomer bubna nech je $R=0,5 \text{ m}$ a polomer hladiny nech je $r_0=0$, t.z., že bubon je uzavretý a naplnený vodou. Má sa vypočítať tlak pôsobiaci na stenu bubna.

Riešenie:

1. Uhlová rýchlosť bubna je

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{2 \pi 3000}{60} = 314 \text{ s}^{-1}$$

2. Na výpočet tlaku využijeme zjednodušený vzťah (12d)

$$p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (R^2 - r_0^2) = \frac{1}{2} 1000 (314)^2 (0,5)^2 = 1,23 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 12,3 \text{ MPa}$$

Z vypočítanej hodnoty tlaku vyplýva, že pri odstred'ovaní môže hydrostatický tlak na bubon nadobúdať vysoké hodnoty.

Príklad 7.1

Zadanie: V danom hydrocyklóne sa má spracovávať $\dot{V}_1 = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ vodnej suspenzie mletého jemného kremeňa. Strata tlaku môže byť $\Delta p = 100 \text{ kPa}$. Je potrebné stanoviť kritickú veľkosť odlučovateľných častíc x_T .

Dané údaje: hustota kvapaliny $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, hustota kremenných častíc $\rho_t = 2500 \text{ kg/m}^3$, dynamická viskozita $\mu = 1,0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

Rozmery hydrocyklóna: $D = 125 \text{ mm}$, $d_3 = 32 \text{ mm}$, $h = 800 \text{ mm}$.

Riešenie:

1. Výpočet Froudeho čísla

$$Fr = \frac{4 \Delta p}{\rho g D}$$

$$Fr = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,125} = 326$$

2. Zaťaženie kritickej triediacej plochy A , priemerná radiálna zložka rýchlosti kvapaliny cez kritickú separačnú plochu

$$\bar{u}_p = \frac{\dot{V}_1}{A} = \frac{\dot{V}_1}{\pi d_3 h}$$

$$\bar{u}_p = \frac{25}{\pi \cdot 0,032 \cdot 0,8} = 311 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h} = 0,0864 \text{ m/s}$$

3. Výpočet kritickej veľkosti odlučovateľných častíc

$$x_T = \sqrt{\frac{18 \mu \bar{u}_p}{\Delta \rho g Fr}}$$

$$x_T = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 8,64 \cdot 10^{-2}}{(2500 - 1000) \cdot 9,81 \cdot 326}} = \sqrt{3,24 \cdot 10^{-10}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$x_T = 18 \text{ }\mu\text{m}$$

LITERATÚRA

Čerňanský

Brokeš

Ditl

[1] Kossaczky E., Surový J.: Chemické inžinierstvo 2, ALFA 1987

OTÁZKY NA SKÚŠKU

1. Definícia separačných procesov a ich rozdelenie. Princíp filtrácie, hnacia sila procesu, filtračná rýchlosť a základná rovnica filtrácie. Bloková schéma možného poradia rôznych operácií vo filtri, filtračné mechanizmy pri filtrácii na, resp. vo filtračných prepážkach, schéma a princíp činnosti rotačného bubnového filtra.

2. Definícia separačných procesov a ich rozdelenie. sedimentácia a jej definícia, nerušená sedimentácia guľovej častice v gravitačnom poli, vzťah pre výpočet sedimentačnej rýchlosti, zónová sedimentácia a sedimentačná krivka, kruhový usadzovák.

3. definícia separačných procesov a ich rozdelenie, hydrocyklóny a ich definícia, princíp procesu, schéma hydrocyklóna, rovnováha síl pôsobiacich na časticu v ľubovoľnom mieste hydrocyklónu, rovnica na výpočet veľkosti odlučovanej častice v odstredivom poli na fiktívnej triediacej ploche

