

Chemická technika

05a – Separace kapalných směsí

Petr Zbořil

Separace kapalných směsí

■ Způsoby

- Usazování a dekantace
 - Gravitační síla
- Filtrace
 - Přepážka – dělicí, filtrační
- Odstředování
 - Odstředivá síla
 - Kombinace s filtrací – vlastní princip separace

Usazování a dekantace

■ Rychlost sedimentace

- $F_{g-v} = F_f \quad (4/3 \cdot \rho_p \cdot d^3 \cdot (g - \rho_f)) = 6 \mu v$

$$v = d^2 (g - \rho_f) / 18 \mu$$

- Vyšší T – nižší μ ρ_f x konvekce, rozpouštění apod.

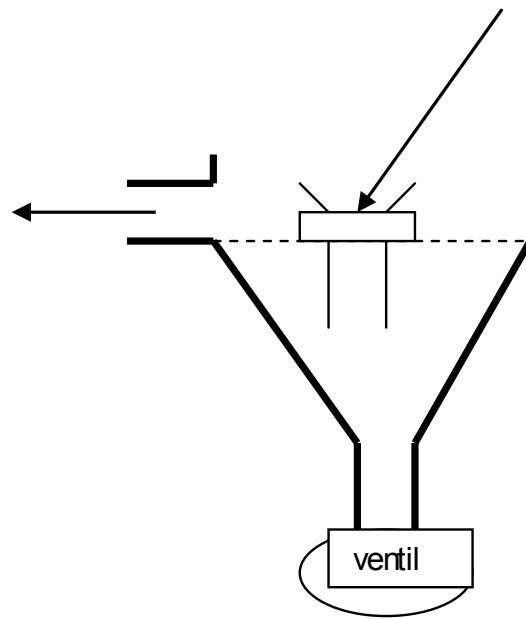
■ Hrubé suspence

■ Provoz kontinuální a kombinovaný

- Kontinuální tok, periodické odstraňování sedimentu

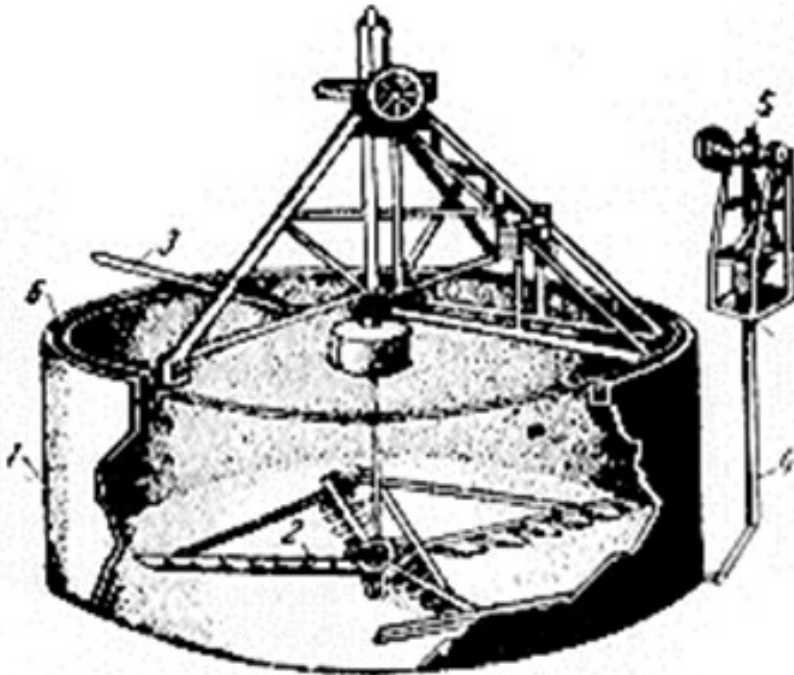
Sedimentace – zařízení

- Usazovací nálevka



Sedimentace – zařízení

■ Kontinuální usazovací nádrž



Obr. 123 Nepřetržitě pracující usazovák (zahusťovač) s lžebly:

1 — nádrž; 2 — lžebly; 3 — žlab na přívod suspenze;
4 — potrubí na odvod usazeniny; 5 — membránové čerpadlo;
6 — žlab na odkalenou kapalinu.



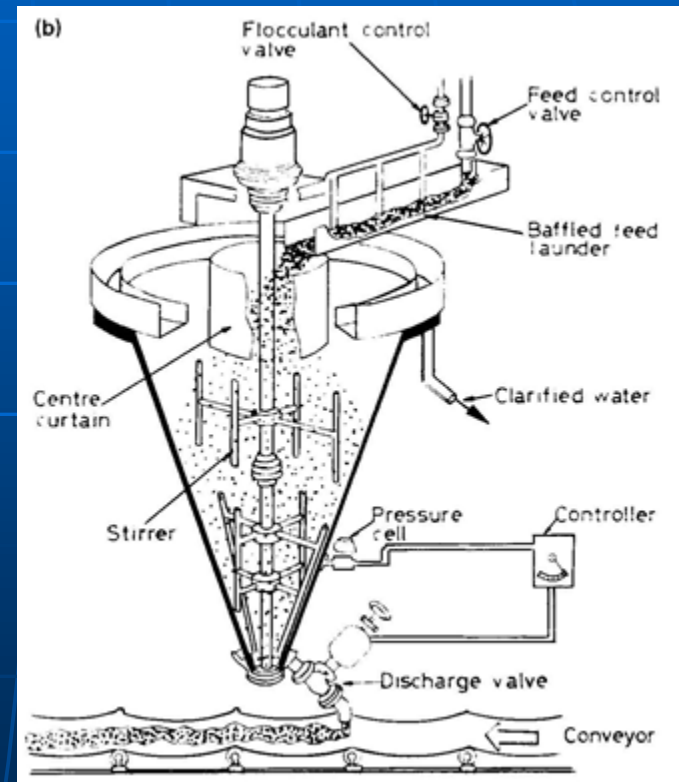
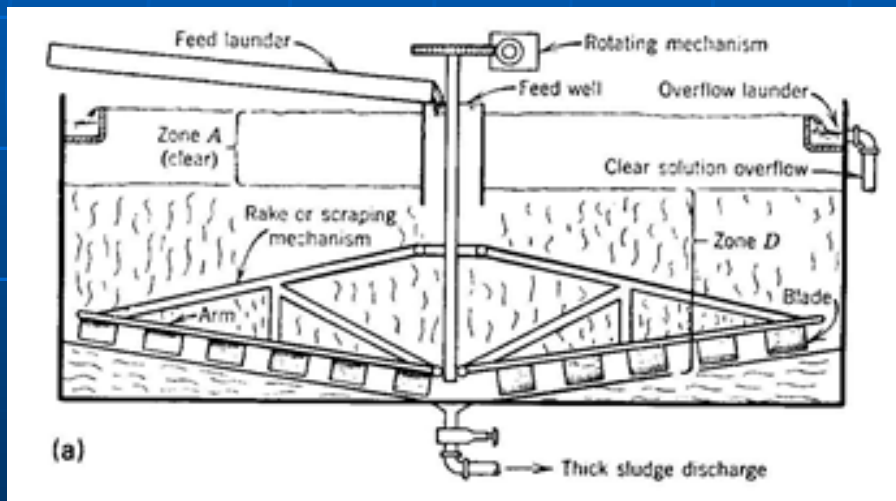
Sedimentace – zařízení





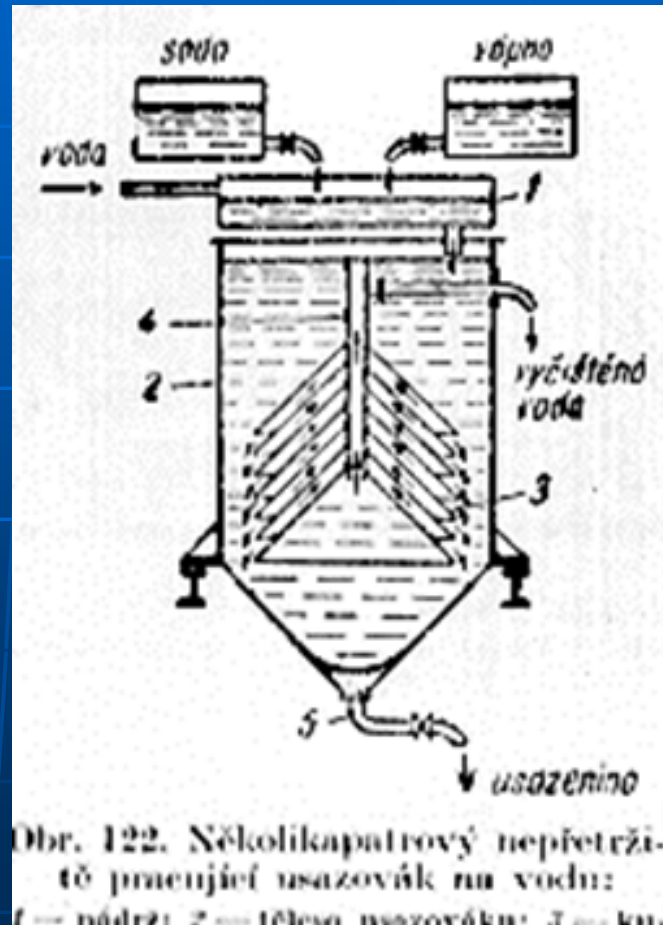
Sedimentace – zařízení

- Kontinuální usazovací nádrž



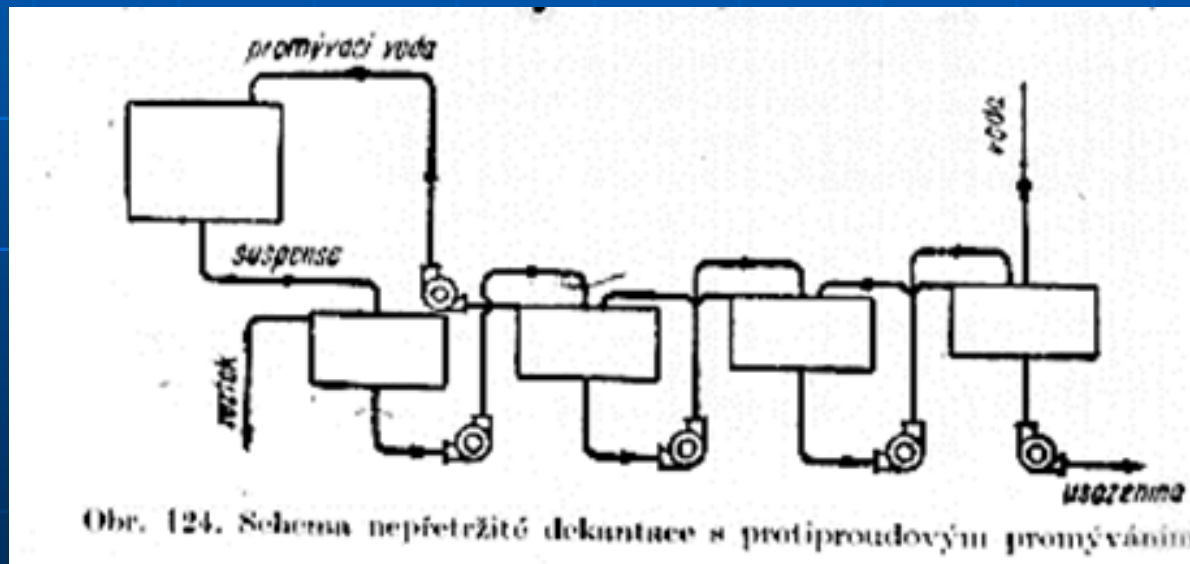
Sedimentace – zařízení

Přepážkový usazovák



Sedimentace – aplikace

- Kontinuální dekantace s protiproudovým promýváním



Filtrace

- Charakteristika

- oddělování jemných suspenzí
obtížně sedimentujících

- dosahuje se tuhé fáze s malým
zbytkem kapaliny

- separace pomocí porezní přepážky
(vč. vrstvy filtračního koláče)

Filtrace

- Rychlost filtrace

$$dV/dt = S \cdot P / (\eta \cdot (k_{eq} + k))$$

S = plocha, P = tlak, η = viskozita μ = koef. odporu
přepážky, k = tloušťka přepážky, k_{eq} = tloušťka
koláče ekvivalentní svým odporem příslušné
tloušťce přepážky

Vliv viskosity – zvýšení T – omezeno možností
rozpuštění sraženiny, destrukce a denaturace,
koroze materiálu apod., energetické nároky

Filtrace

- **Hydraulický odpor přepážky**
 - dán kvalitou = porositou přepážky, vhodný výběr
 - roste s usazováním koláče
 - zlepšuje se filtrace jemných částic (opakovaná filtrace, usazení jemné vrstvy – křemelina)
 - překonání postupným zvyšováním tlaku
 - periodické nebo kontinuální odstraňování koláče s event. promytím

Filtrace

■ Vliv tlaku

- nestlačitelný koláč (krystalky aj. nedeformovatelné částice)
rychlost roste úměrně tlaku
- stlačitelný (amorfní) rychlost neroste úměrně tlaku, mnohdy klesá (deformace částic, zmenšování kanálků)
- nerovnoměrný tlak (rázy pístového čerpadla) – nebezpečí pronikání jemných částic

Filtrace – dělicí hlediska

- 1. způsob provozu
 - periodický
 - kontinuální
- 2. tlak
 - hydrostatický (sloupec kapaliny)
 - tlakové (čerpadla)
 - vakuové (vývěvy)
 - centrifugační (princip separace x konstrukce – centrifugy)
- 3. druh přepážky
 - zrnitá náplň (volně uložená)
 - tkanivové
 - tuhá nepohyblivá
 - polopropustná – membrány

Filtrace – přepážky

- Zrnitá náplň
 - pískové (i hlína) – pro vodné směsi, vápenec – mramor, dřevěné uhlí
 - hrubší vrstva dole, perforované dno nebo sběrač (trubka)
 - hydrostatické (otevřené) nebo tlakové (uzavřené)
 - kapilární síly – elevace 0,4 – 2 m (hlína)
 - malý obsah tuhé fáze, bezcenná
 - promytí sousměrně, čištění protisměrně (voda, vzduch)
 - periodický – polokontinuální provoz

Zrnité náplně

■ Pískové filtry

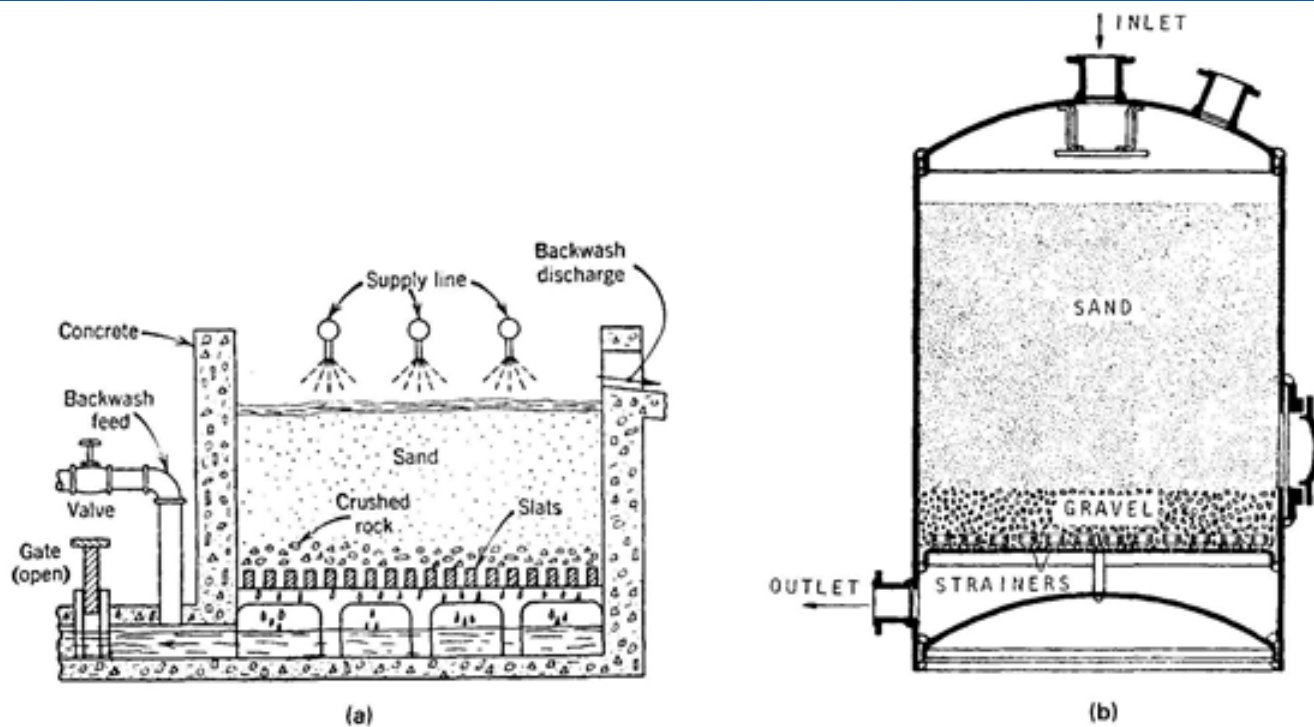


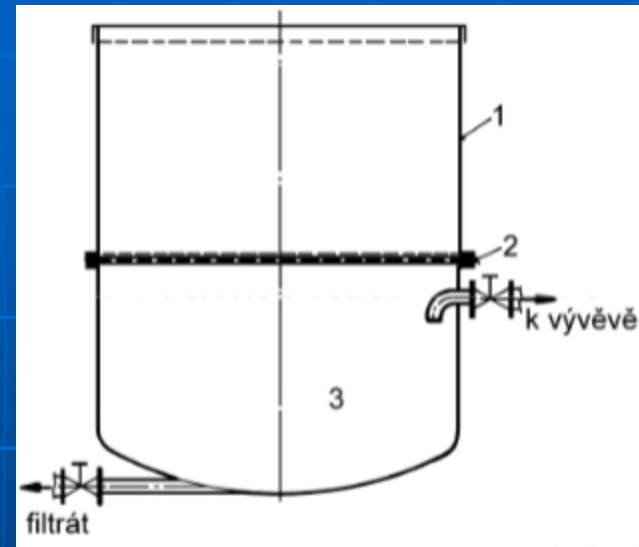
Figure 11.9. Deep bed sand filters for removal of small contents of solids from large quantities of liquids. Accumulations from the top and within the bed are removed by intermittent backwashing. Charcoal may be used instead of sand for clarifying organic liquids. (a) Gravity operation. (b) Pressure operation.

Filtrace – přepážky

- Tkanivové – i netkané vrstvy
- větší obsah tuhé fáze dále zpracovávané
- minimální ztráty kapaliny
- materiál dle chemické odolnosti (laboratoř – papír)
 - živočišná vlákna (vlna) – kyselé pH do 40-50 °C
 - bavlna – slabě kyselé – slabě zásadité
 - minerální vlákna – silné kyseliny, horké roztoky
 - kovová – sítě, slinuté porezní (ocel, nikl) - zásady
 - plastové tkaniny, lisované přepážky
- malá mechanická pevnost – suport – dřevěné či kovové mřížky
- periodický a kontinuální provoz

Tkanivové přepážky

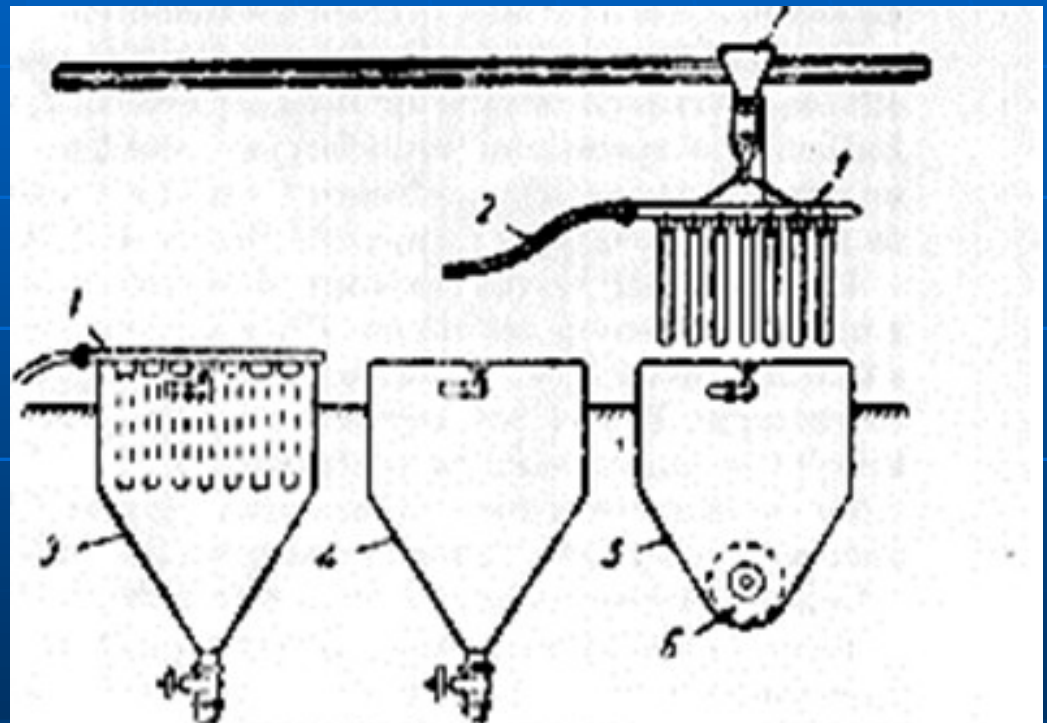
- Periodické
 - polokontinuální
- Nuč
 - takuová
 - tlaková



Tkanivo vypořádáno – mřížka, síto apod.
Přepážka též tuhá – sintr, keramika
Hydraulický tlak, přetlak (uzavřená nádoba)
Ovládání manuální, motorem

Tkanivové přepážky

- Rukávcové a listové filtry
 - Tlakové
 - Vakuové

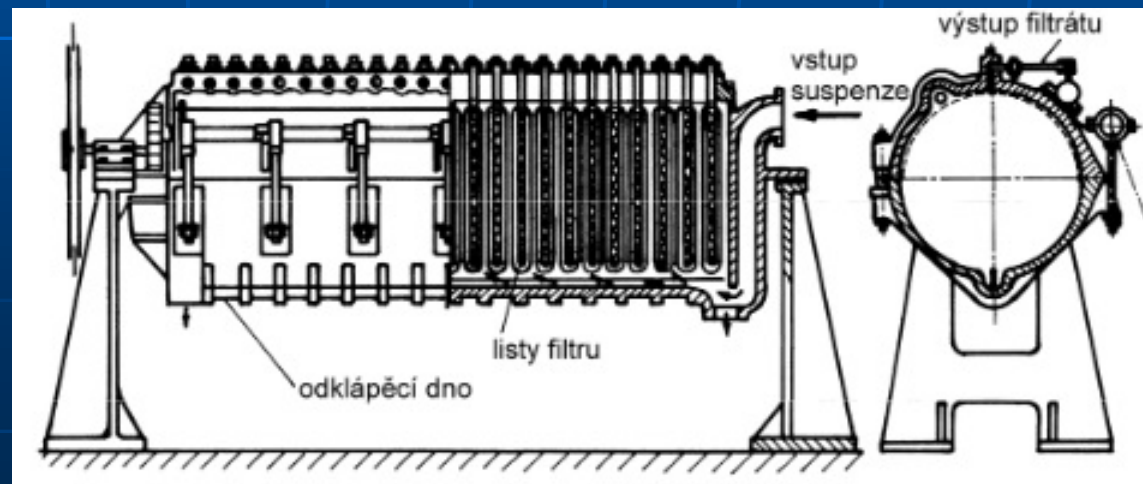
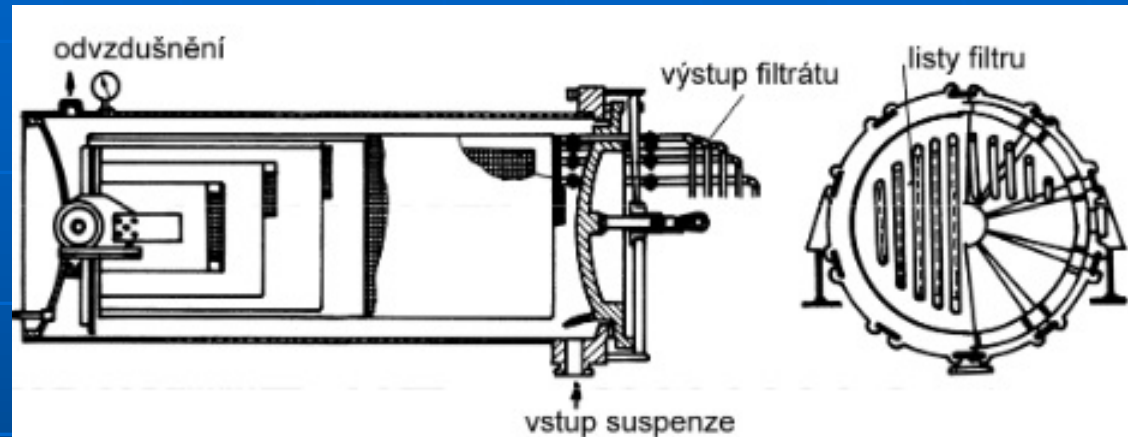


Obr. (131) Listový filtr:

1 — filtrační listek; 2 — hadice na spojení s vakuovým nebo tlakovým potrubím; 3 — nádrž na filtrační listek; 4 — nádrž na promývání kolíček; 5 — nádrž na odstraňování kolíček; 6 — ánek na návěšování osedlých; 7 — visuté dopravní zařízení.

Tkanivové přepážky

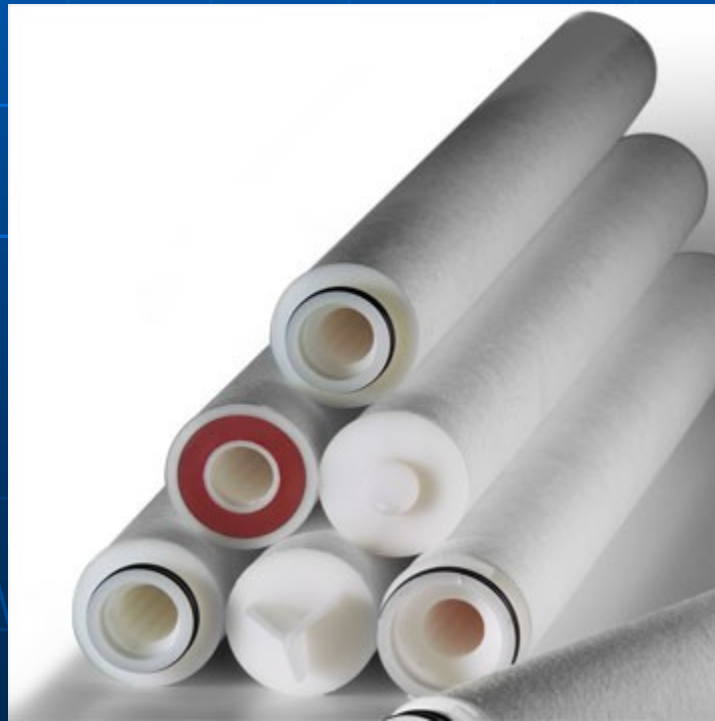
- Listové filtry
 - Tlakové
 - Vakuové



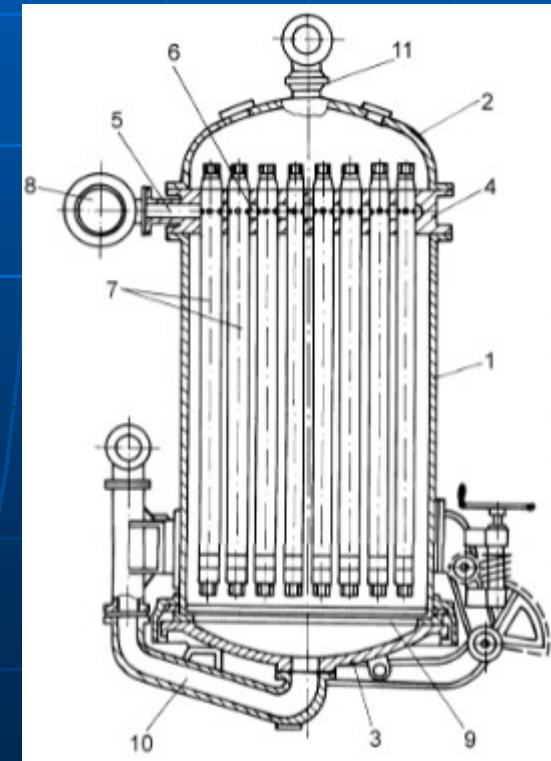
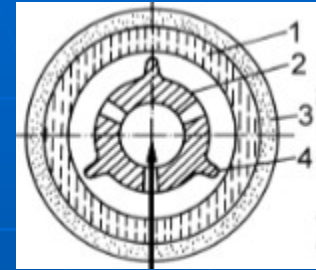
Tkanivové přepážky

■ Svíčkové filtry

- Tkanivo, plst
- Papír apod.
- Plastové
- Kovové

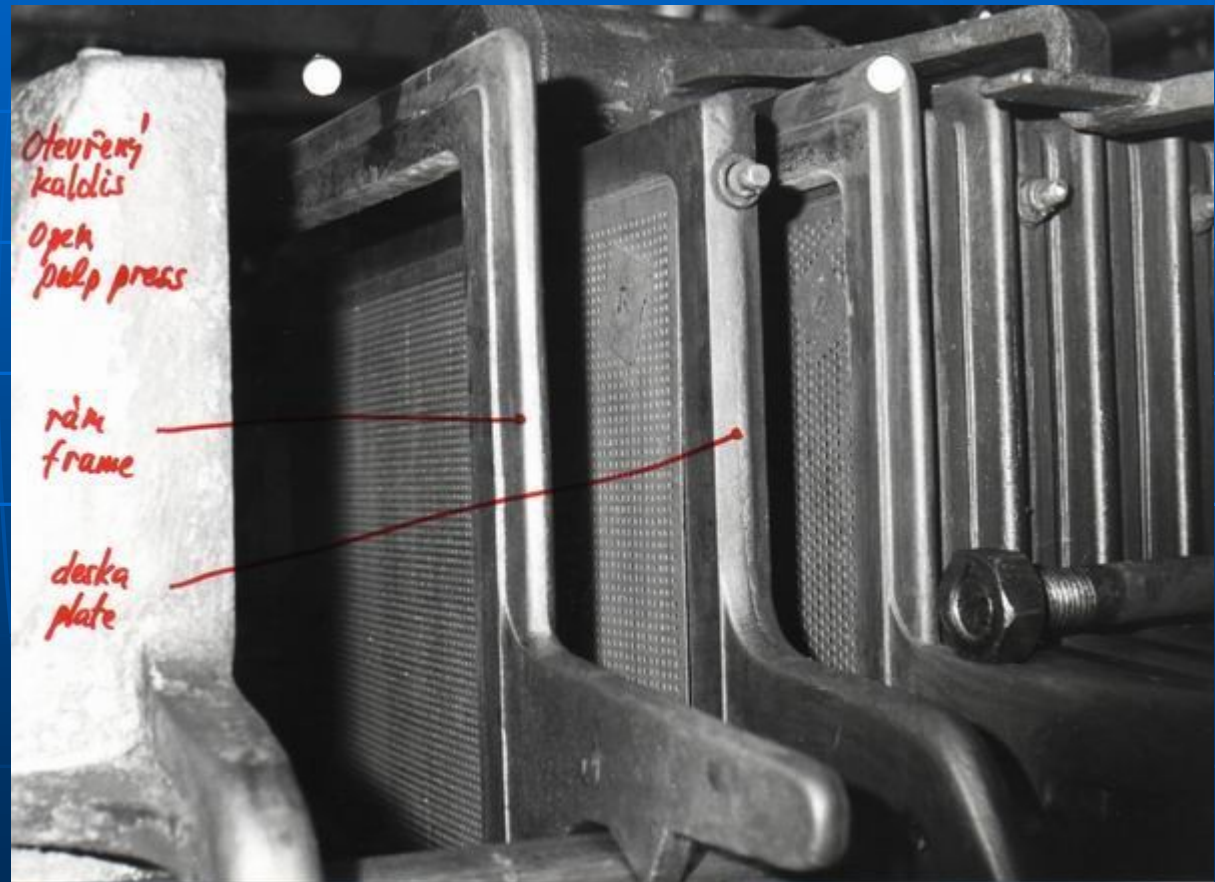


- 1 – přepážka
- 2 – centrální trubka
- 3 – filtrační koláč
- 4 – podélná žebra



Tkanivové přepážky

- Kalolis
 - Deskový
 - Rámový



Tkanivové přepážky

- Kalolis
 - Deskový
 - Rámový



Tkanivové přepážky

- Kalolis - plachetky



Tkanivové přepážky

- Kalolis



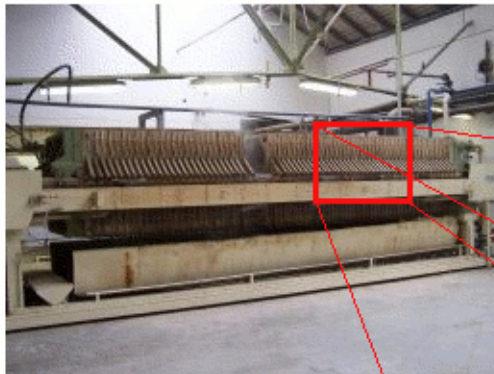
Tkanivové přepážky



- Kalolis

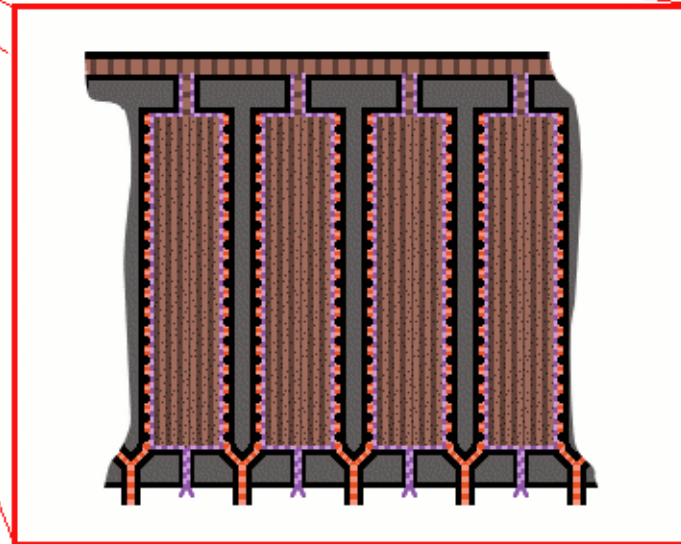


Tkanivové přepážky

- Kalolis – provoz

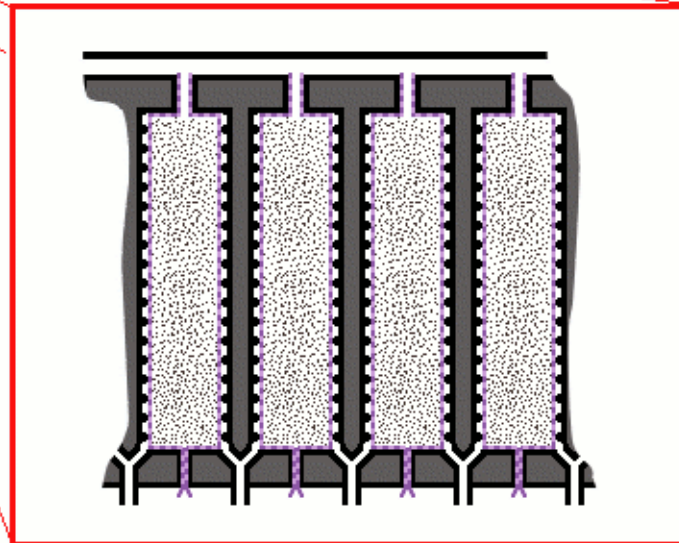


-  suspenze zahuštěného kalu
-  zfiltrovaná šťáva



Tkanivové přepážky

- Kalolis – provoz

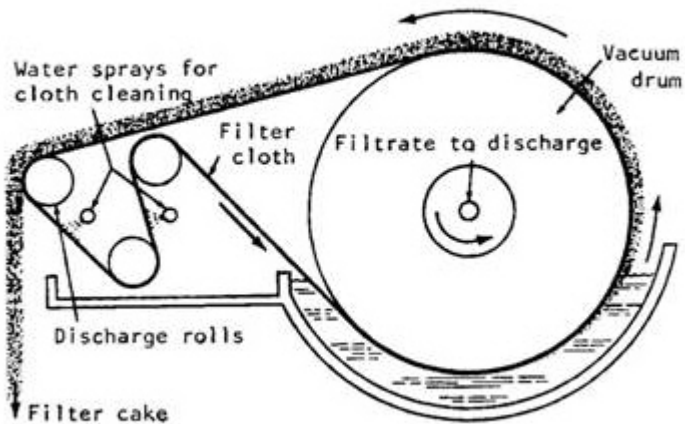


Filtrace – přepážky

- Tuhá nepohyblivá přepážka
 - keramické poresní materiály, sintr
 - odolné mechanicky, chemicky i tepelně
 - různě velké póry
 - kompaktní, dokonalé odkalování a promývání
 - poměrně drahé, periodický provoz
- Zařízení
 - Svíčkové – podobné rukávovým
 - Nuč

Tkanivové filtry – kontinuální provoz

- Bubnové vakuové filtry
 - vnější filtrační povrch



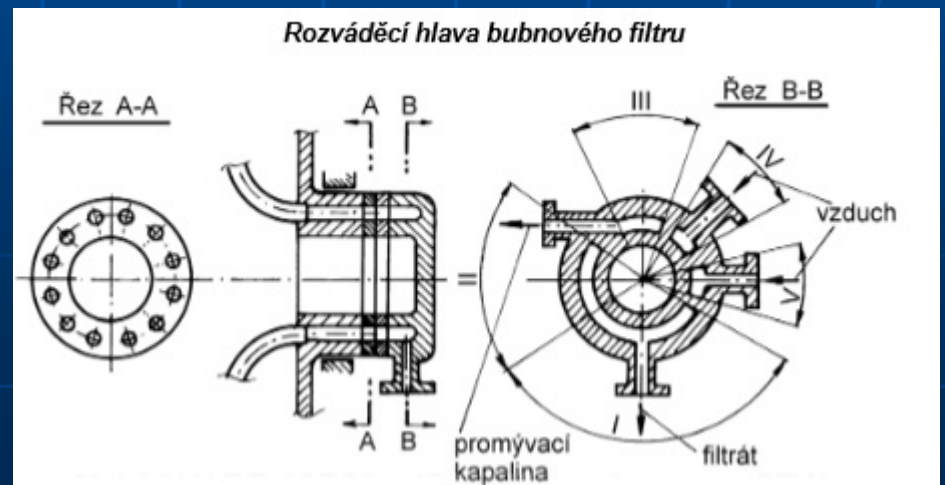
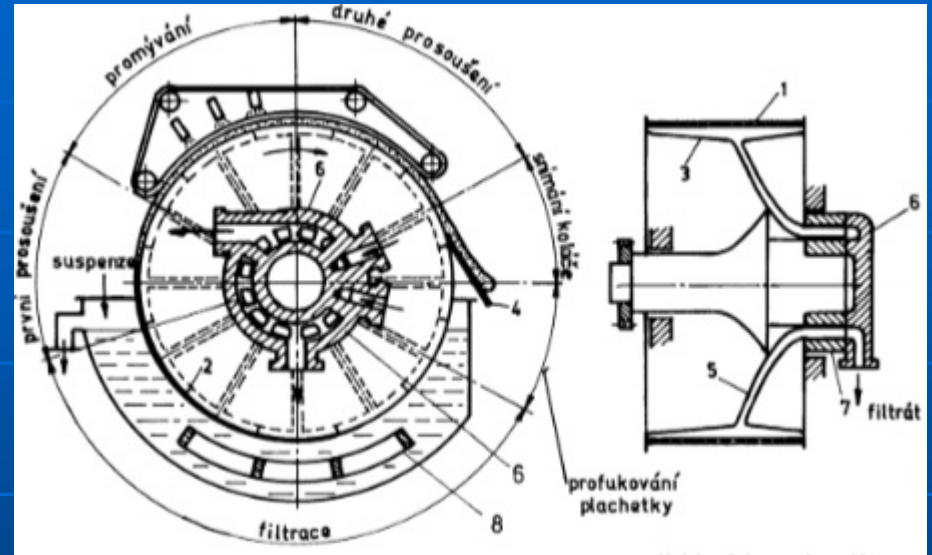
Rotary Drum Vacuum Filter



Click the Back button to return

Tkanivové filtry – kontinuální provoz

- Bubnové vakuové filtry
 - vnitřní filtrační povrch



Tkanivové filtry – kontinuální provoz

- Bubnové vakuové filtry
 - vnitřní filtrační povrch

326 SOLID-LIQUID SEPARATION

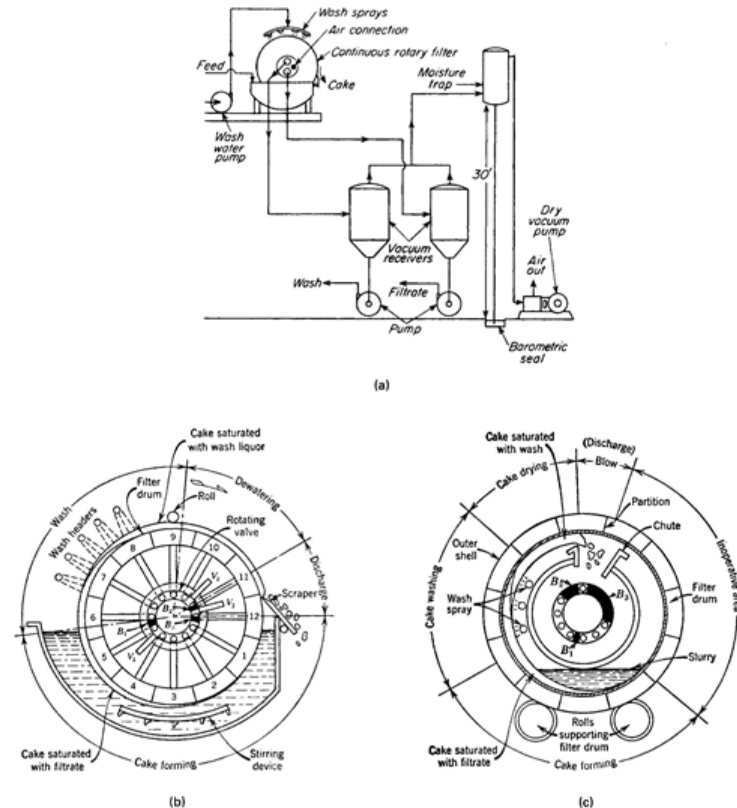
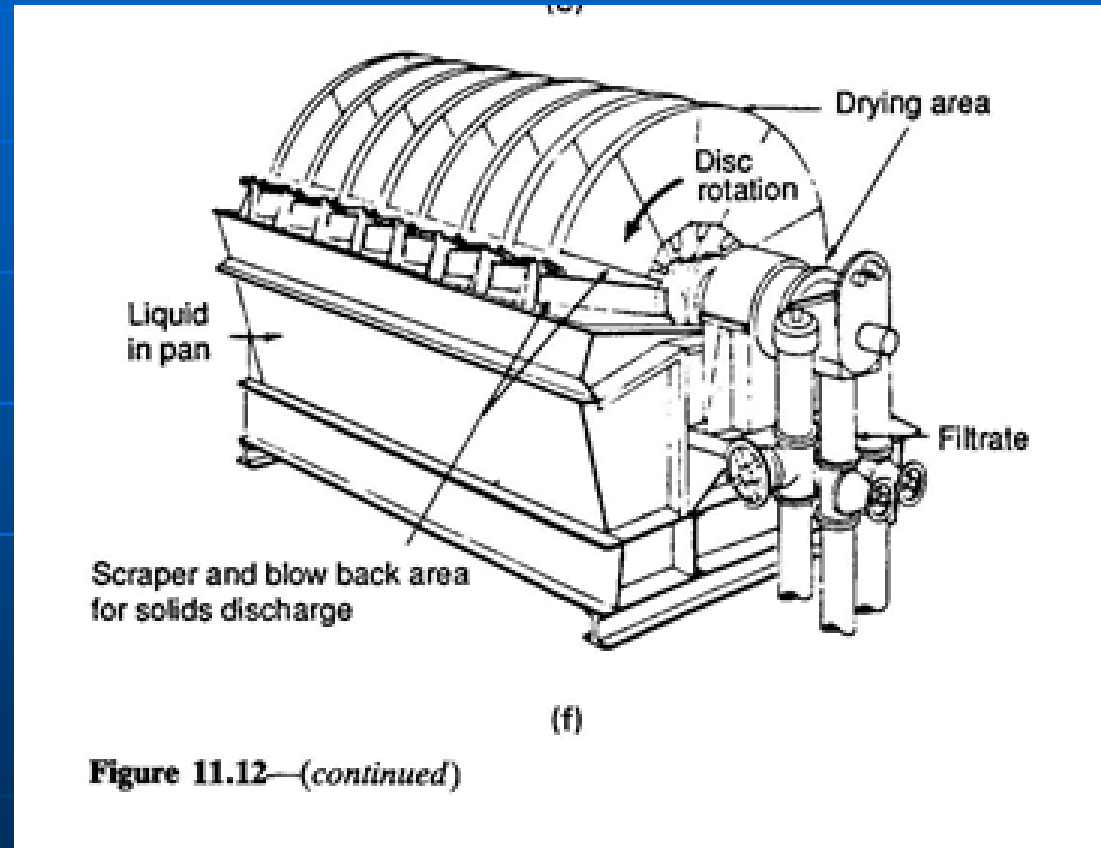


Figure 11.12. Continuous rotary drum filters. (a) Flowsketch of continuous vacuum filtration with a rotary drum filter. The solids are taken away with a screw or belt conveyor (McCabe and Smith, Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1956). (b) Cross section of a dip-type rotary drum filter showing the sequence of cake formation, washing, dewatering and cake removal; units also are made with top feed (Oliver United Filters). (c) Cross section of a rotary drum filter with internal filtering surface, suited particularly to free settling slurries (Oliver United Filters). (d) Rotary filter with a filtering belt that is discharged and cleaned away from the drum; in the similarly functioning string discharge filters, the filtering cloth remains on the drum but the string assembly follows the path shown here for the belt. (e) Double drum filter, particularly suited to rapidly settling slurries, and may be adapted to cake washing which is not shown in this unit (System Gerlach, Nordhausen, E. Germany). (f) Vacuum disk filter, the main kind in use when cake washing is not required (Dorr-Oliver Inc.).

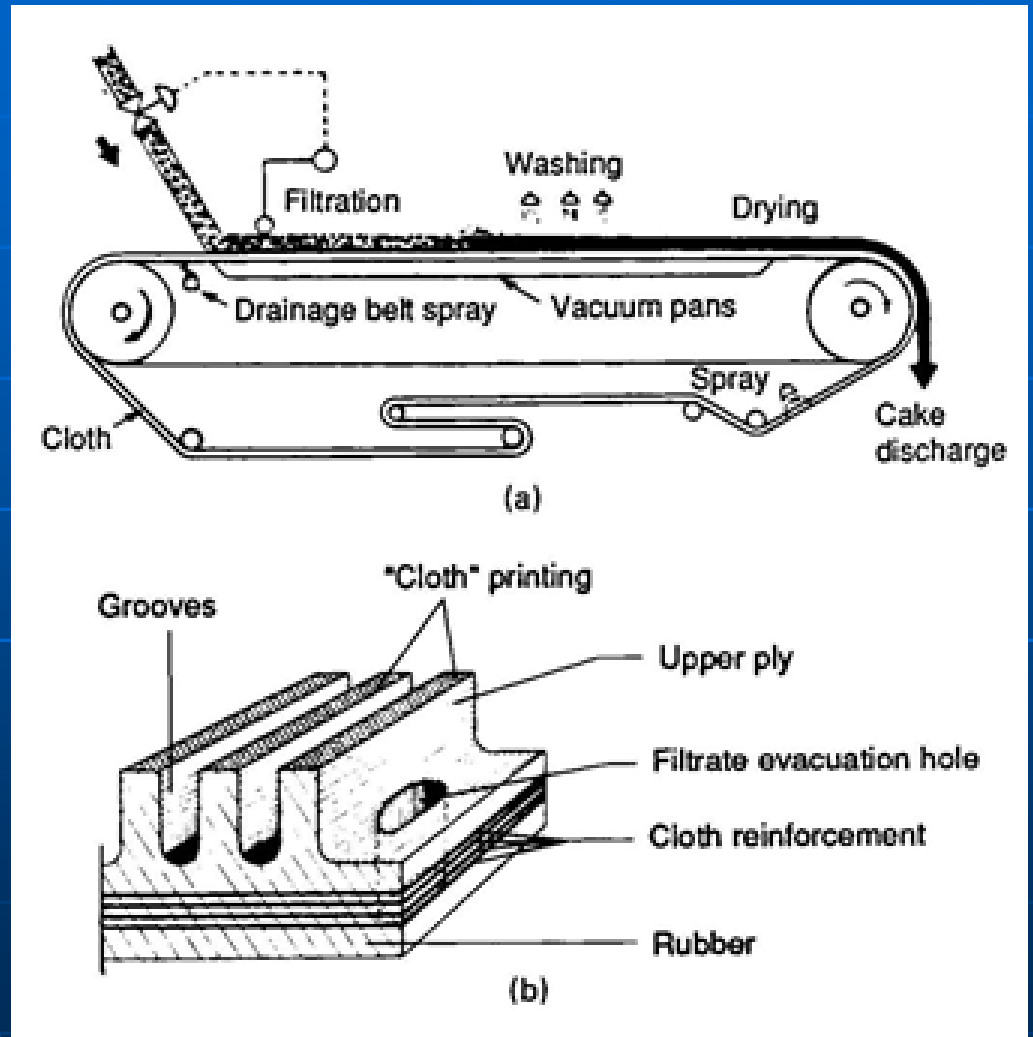
Tkanivové filtry – kontinuální provoz

- Diskové
- Též pevná
přepážka



Tkanivové filtry – kontinuální provoz

- Pásové
- vakuový
- Těž plstěný

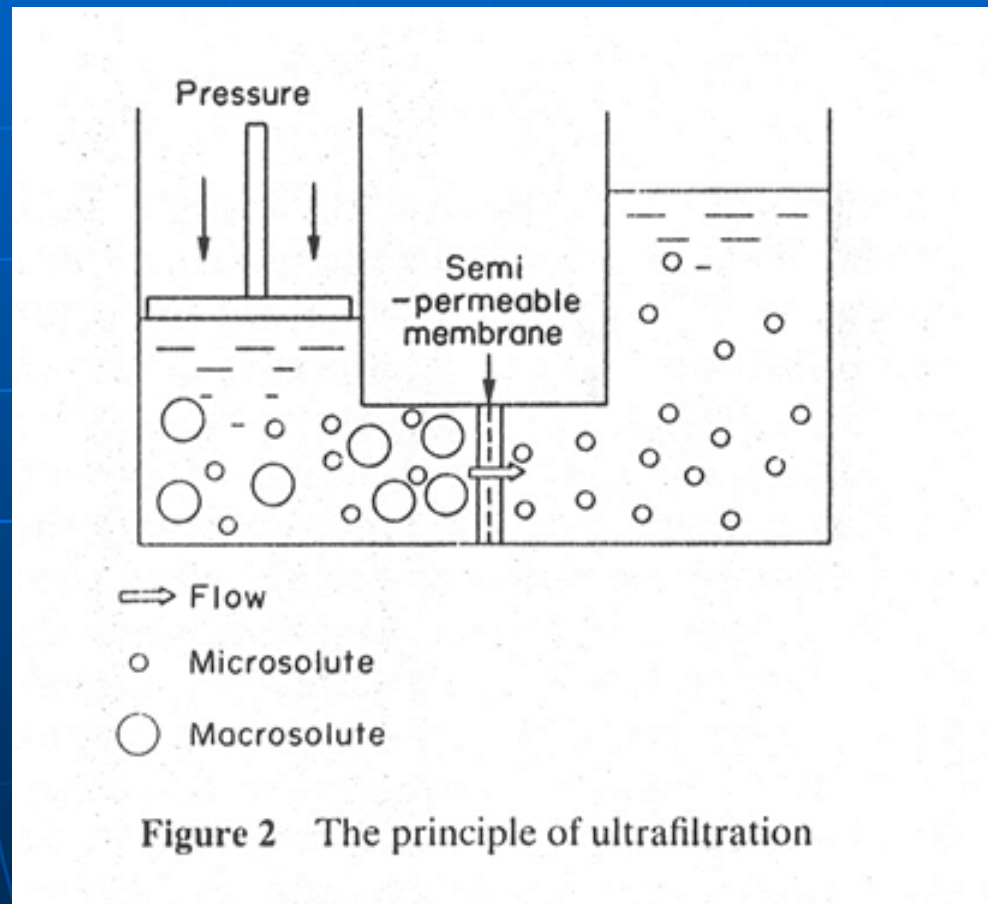


Filtrace – přepážky

- Membrány
 - membrány s mikroskopickými póry, různé rozměry, uniformita
 - pro koloidní roztoky, velmi jemné částice
 - tlakové či vakuové, malé průtoky,
 - zanášení, různé konstrukce filtračních přístrojů
 - malá mechanická a chemická odolnost, nutnost suportu
 - speciální účely, zahušťování, sterilizace

Membránová filtrace

■ Princip



Membránová filtrace

- Velikost pórů a retence
 - Vylučovací limit

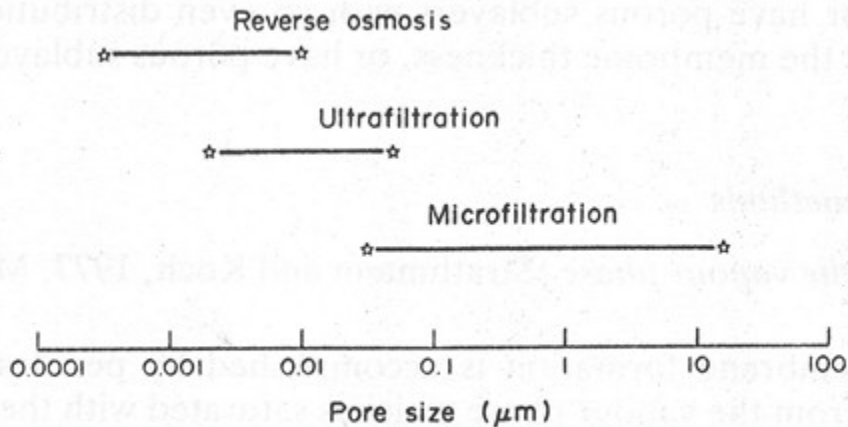


Figure 1 Membrane filtration size spectrum

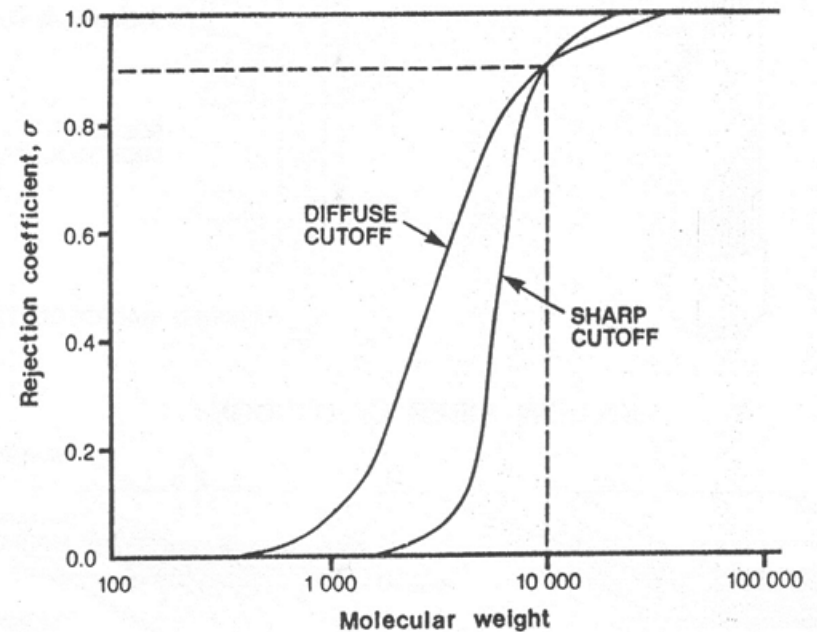
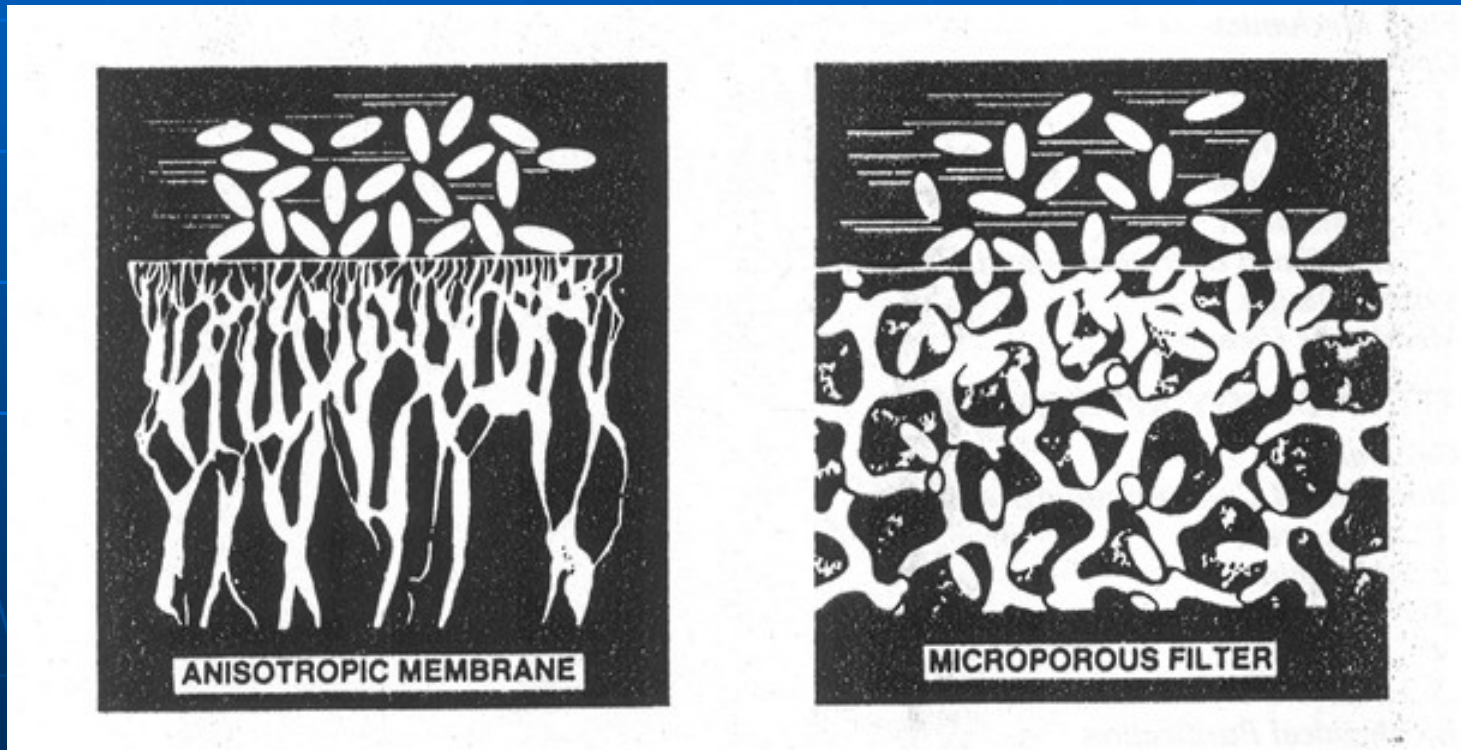


Figure 11 Rejection coefficient as a function of molecular weight

Membránová filtrace

- Průřez membránou



Membránová filtrace

■ Struktura a vlastnosti membrán

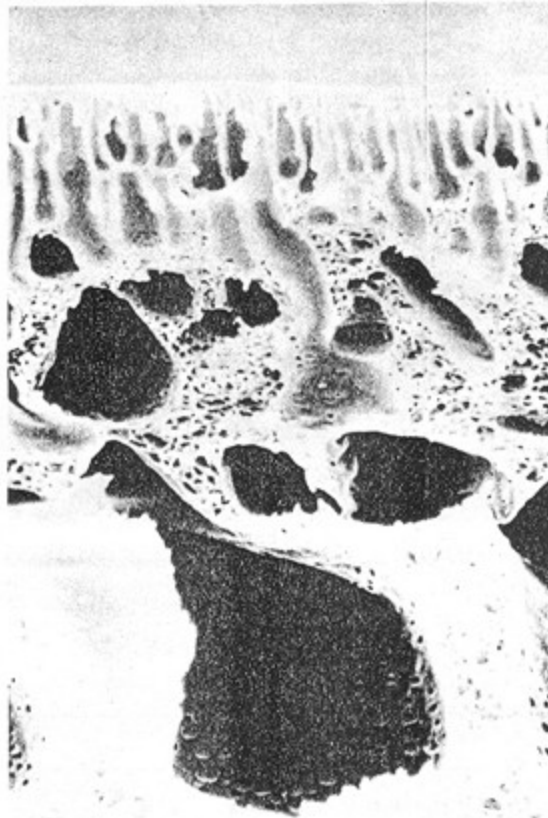


Figure 1 A side view scanning electron microscope photograph of an ultrafiltration membrane: note the asymmetric structure from top to bottom

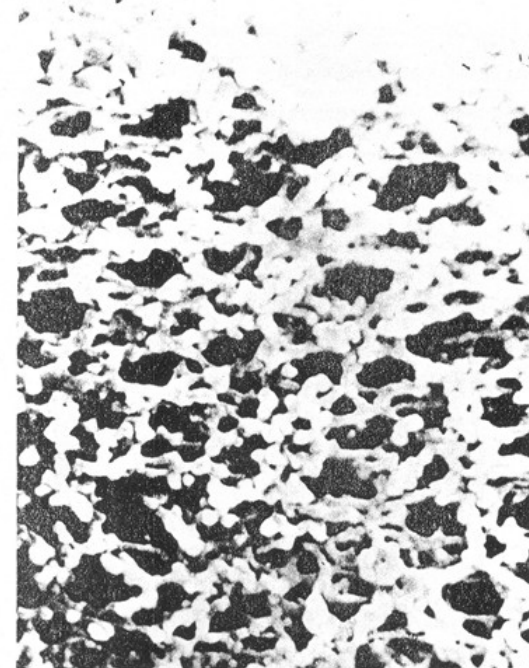


Figure 2 A side view scanning electron microscope photograph of a microporous membrane of pore size 0.22 μm : note the uniform structure throughout

Table 2 Chemical Compatibilities of Cleaning Solutions with Different Membranes

Filter material	pH range	NaOH	NaOCl	Ethanol	Formalin
Cellulosics	4-8	None	10 p.p.m. (0.5 h)	20%	2%
Polysulfone	1-14	1 M (50 °C)	0.1%	70%	4%
Polyvinylidene fluoride derivative	2-13	0.1 M	0.1% (0.5 h)	100%	4%

Membránová filtrace

- Gradienty na membráně – problémy

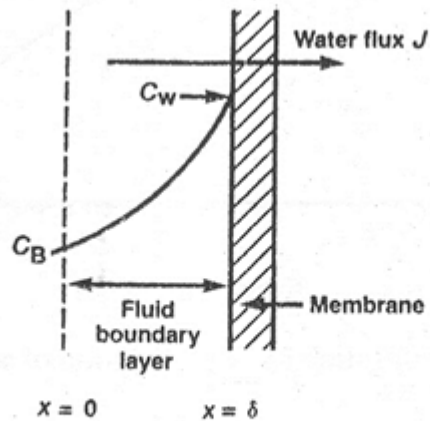


Figure 3 Concentration gradient during ultrafiltration

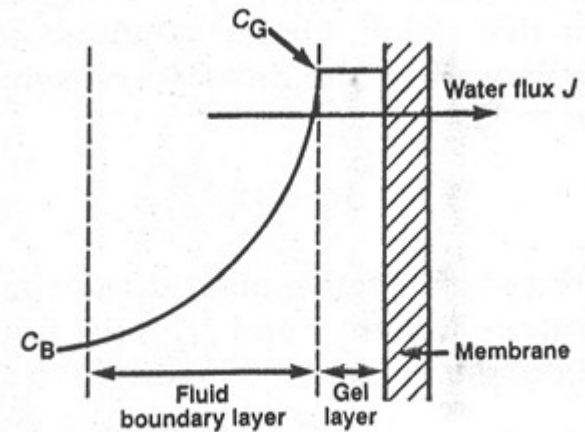
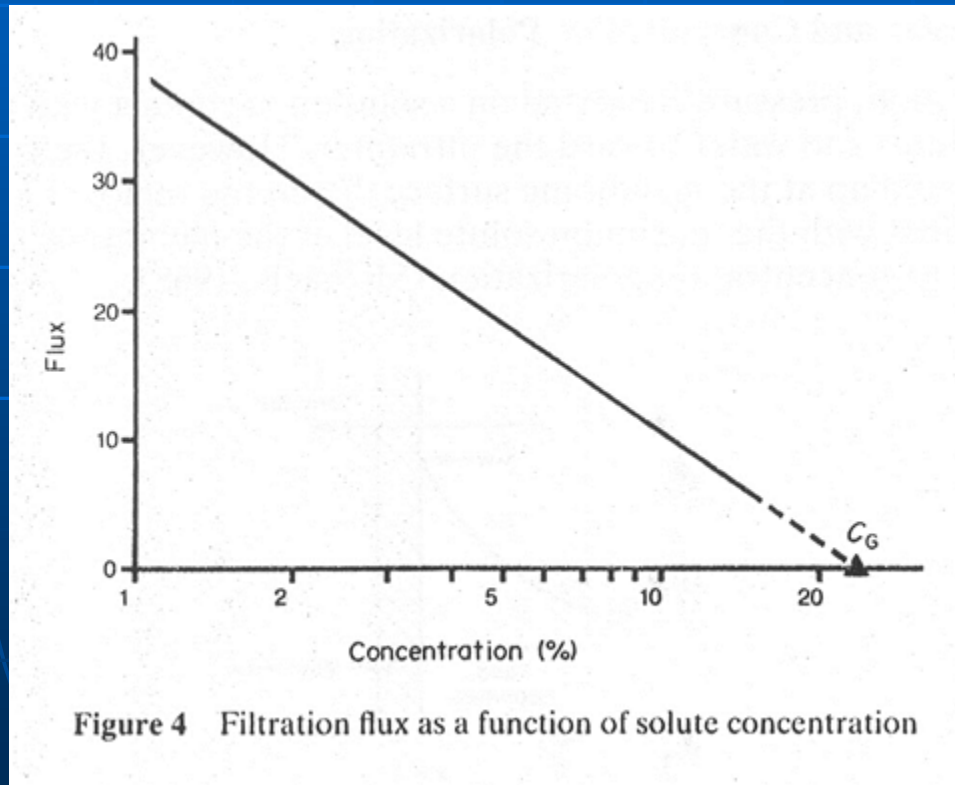


Figure 5 Concentration gradient during gel polarization

Membránová filtrace

- Gradienty na membráně – problémy



Membránová filtrace

- Gradienty na membráně – problémy

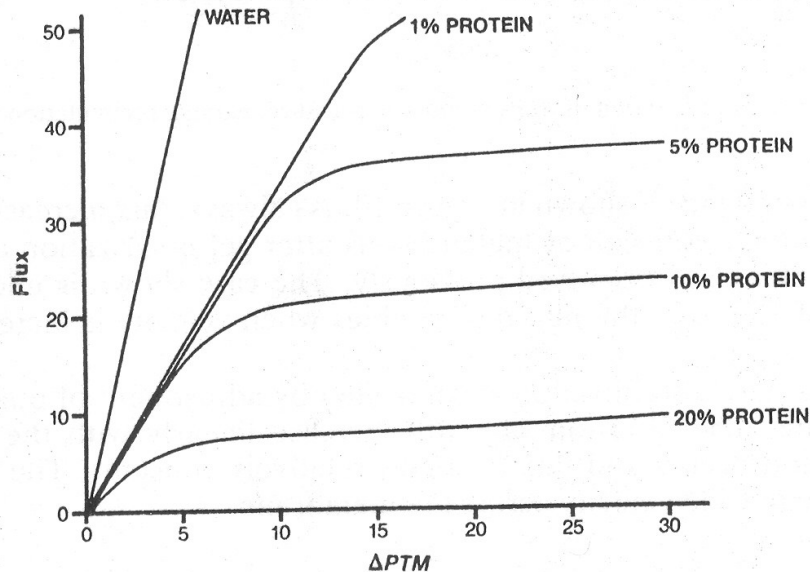
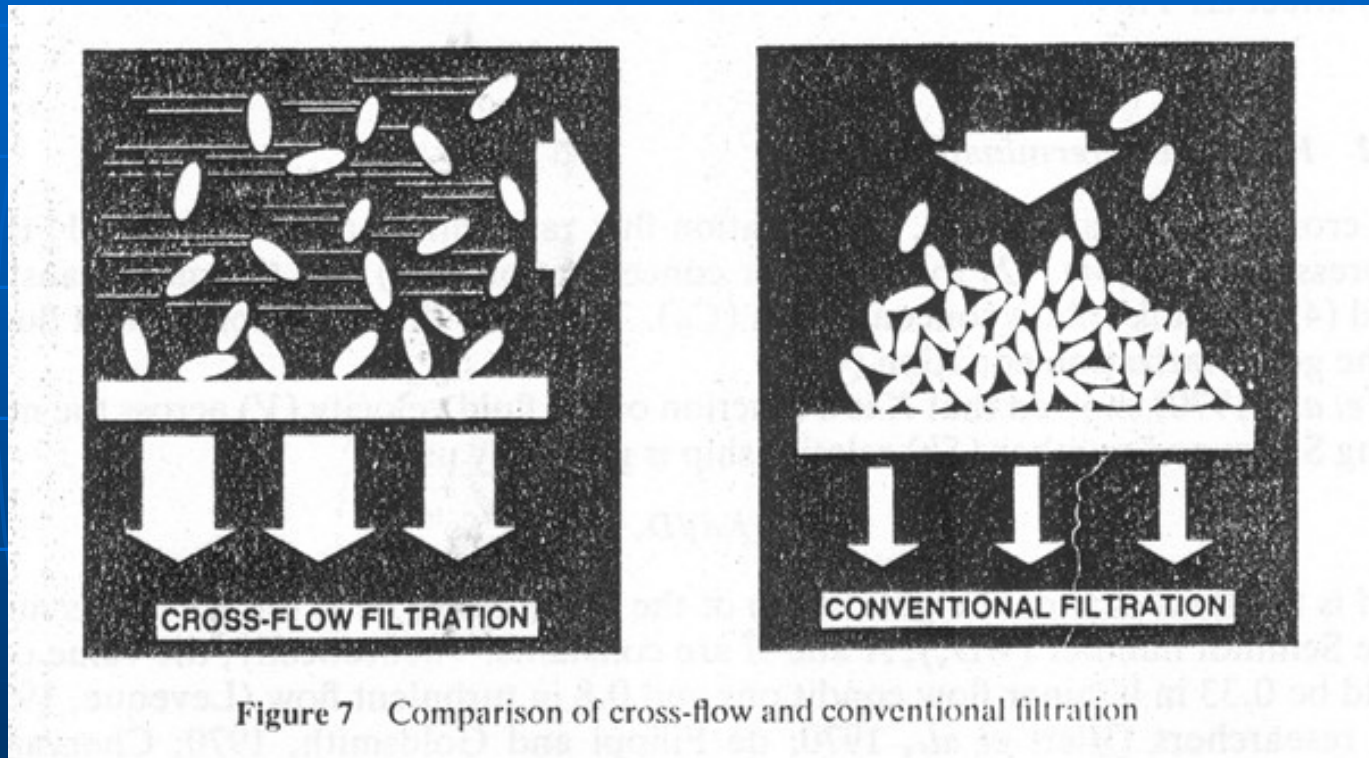


Figure 9 Filtration flux as a function of transmembrane pressure, varying solute concentrations

Membránová filtrace

- Zařízení
- Podle režimu
 - Periodická
 - Kontinuální
- Podle toku
 - Kolmý
 - Tangenciální

Membránová filtrace



- Srovnání tangencionální a konvenční filtrace

Membránová filtrace

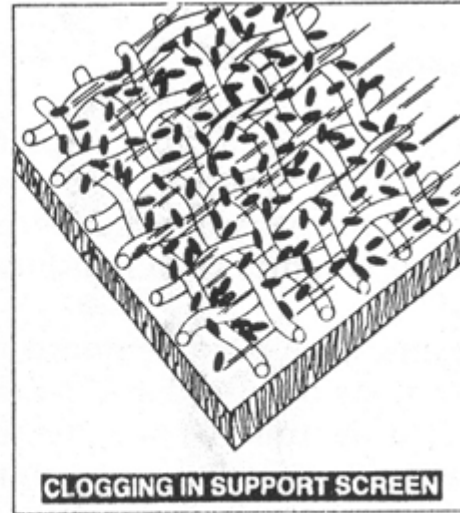
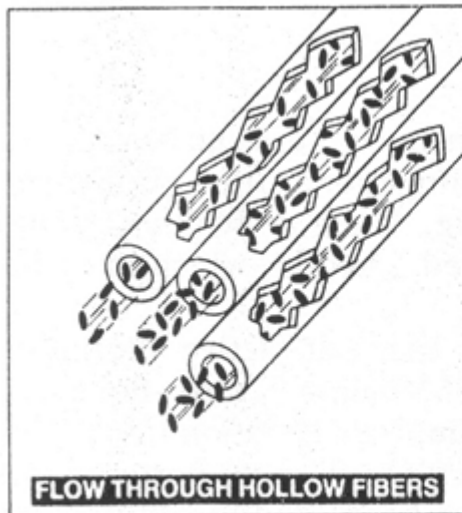
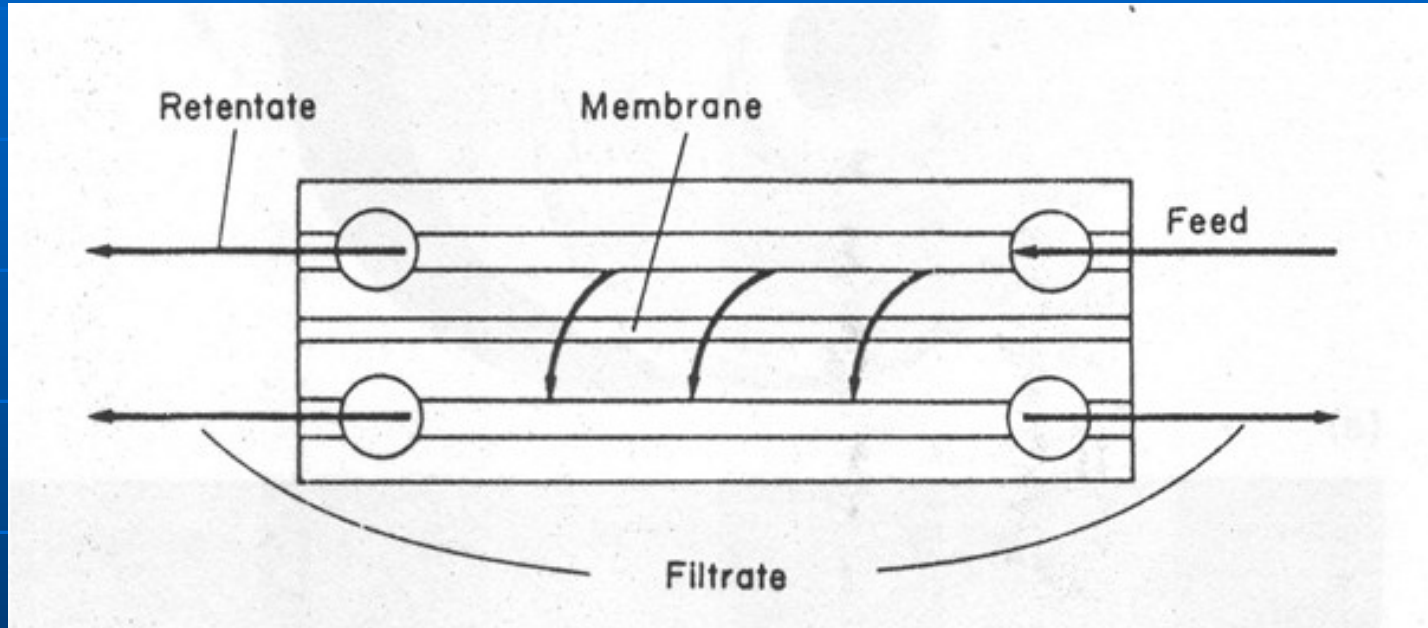


Figure 2 Comparison of flow through hollow fibers and membrane support screen

- Srovnání tangencionální a konvenční filtrace

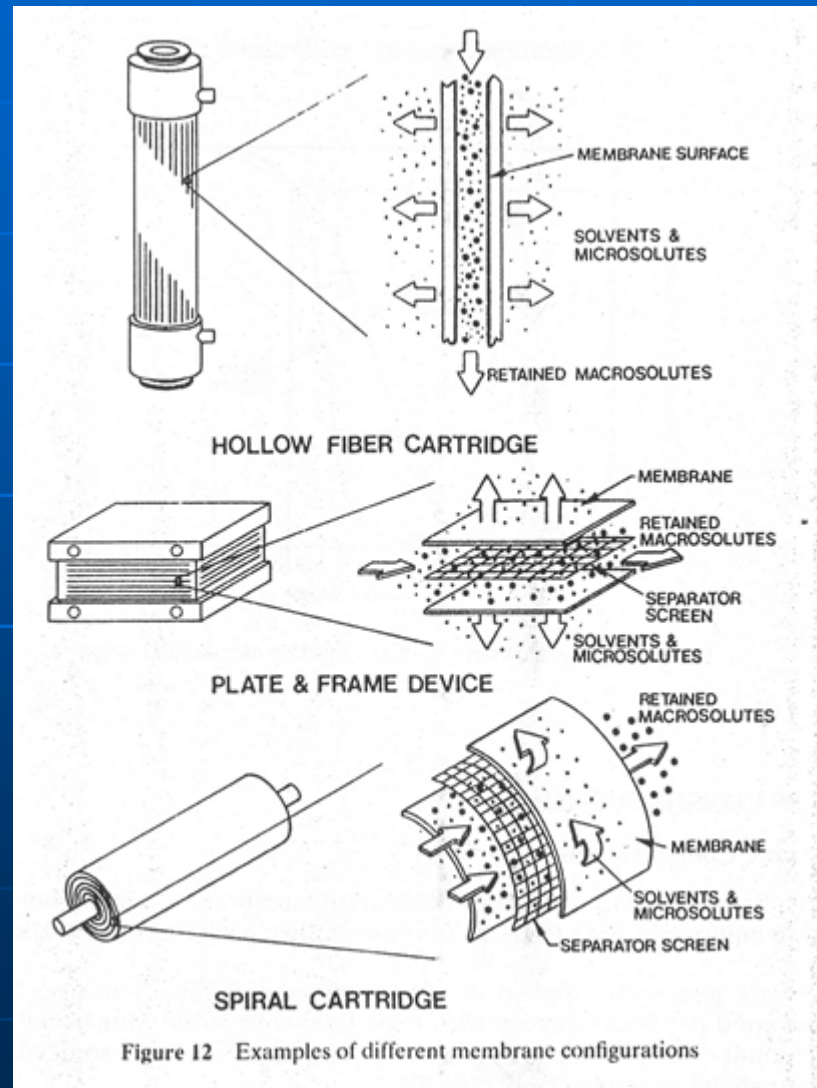
Membránová filtrace



- Tangenciální filtrace

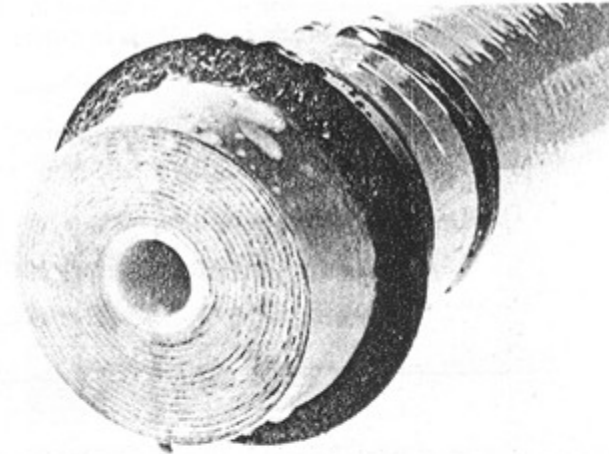
Membránová filtrace

- Typy zařízení

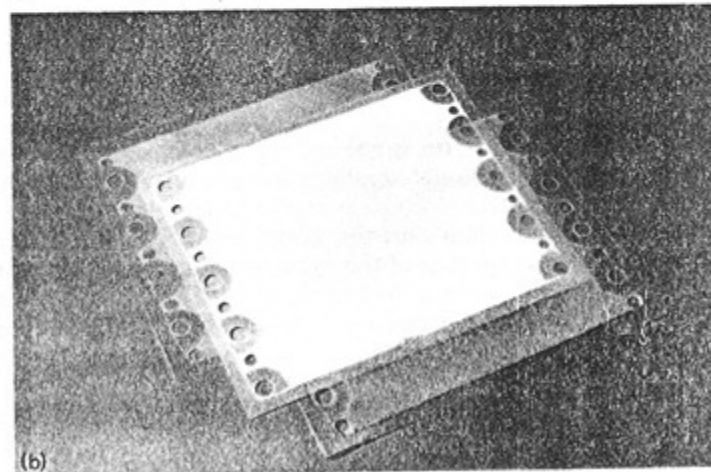


Membránová filtrace

- Typy zařízení



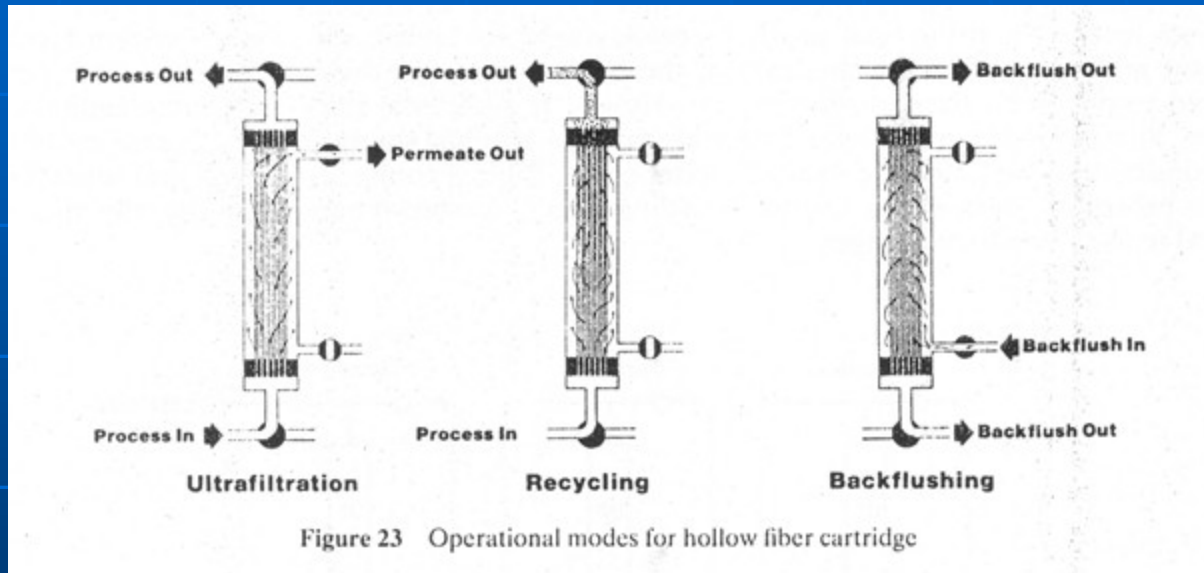
(a)



(b)

Figure 3 (a) A spiral membrane device: flat sheets are wound around a central, perforated, hollow core through which the filtrate exits; large surface areas are possible in relatively small volumes. (b) A flat sheet membrane configuration which fits into a plate and frame holding device

Membránová filtrace



- Způsoby provozu – dutá vlákna

Membránová filtrace

- Poloprovodní zařízení – dutá vlákna

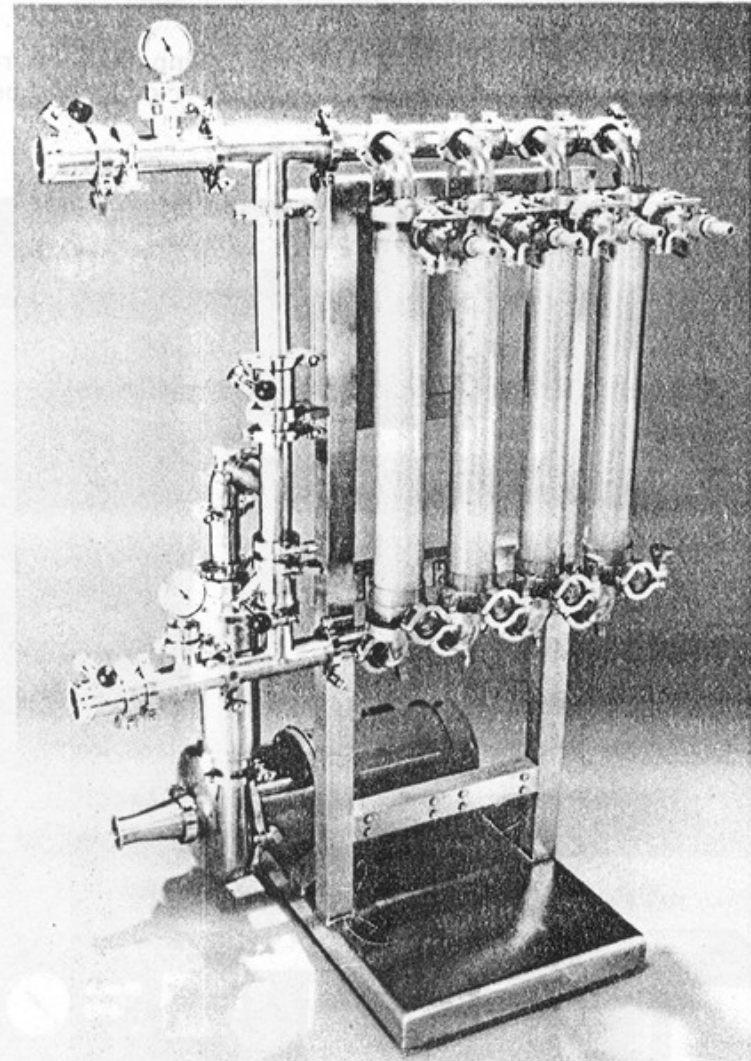
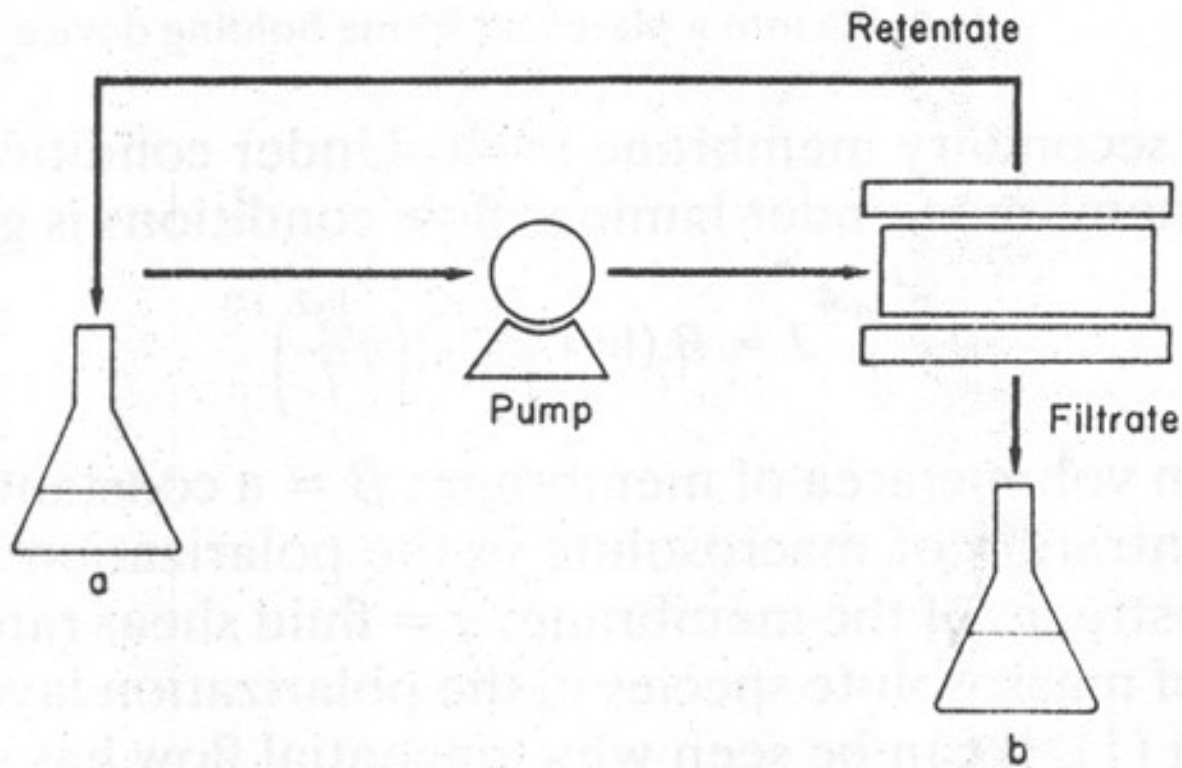


Figure 8 Pilot scale hollow fiber system (reproduced by permission from Amicon Corp.)

Membránová filtrace



Membránová filtrace

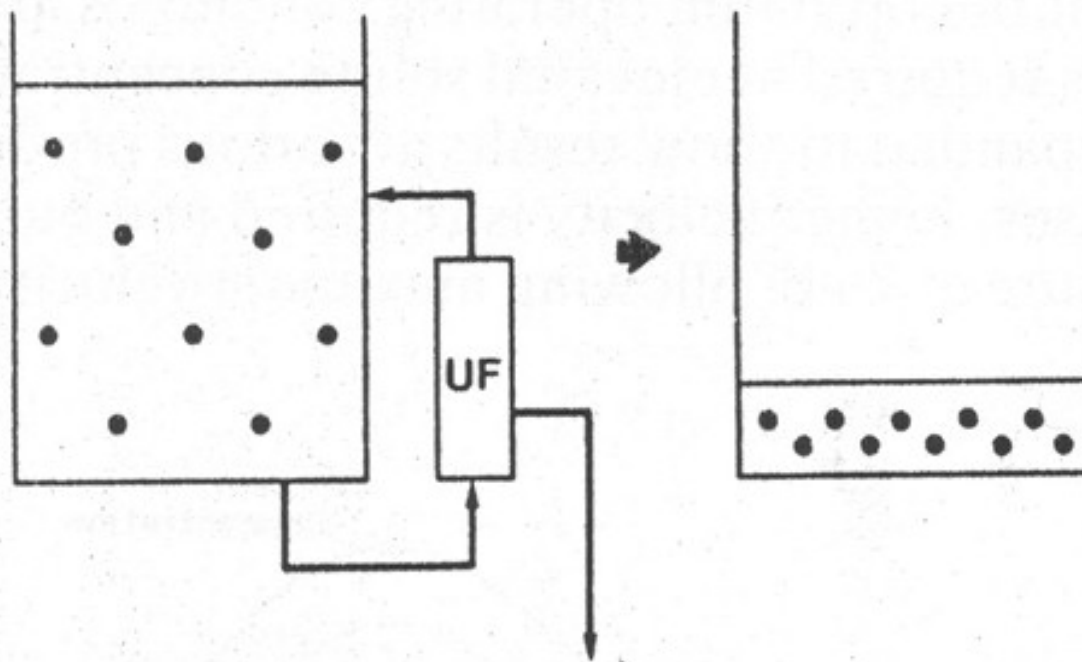


Figure 15 Flow schematic for concentration process

Membránová filtrace

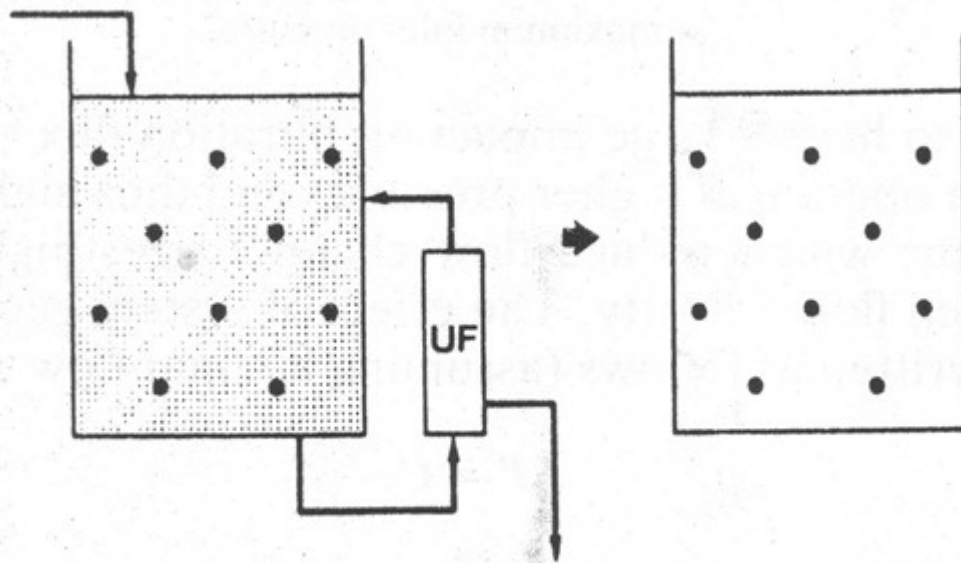


Figure 16 Flow schematic for diafiltration process

Membránová filtrace

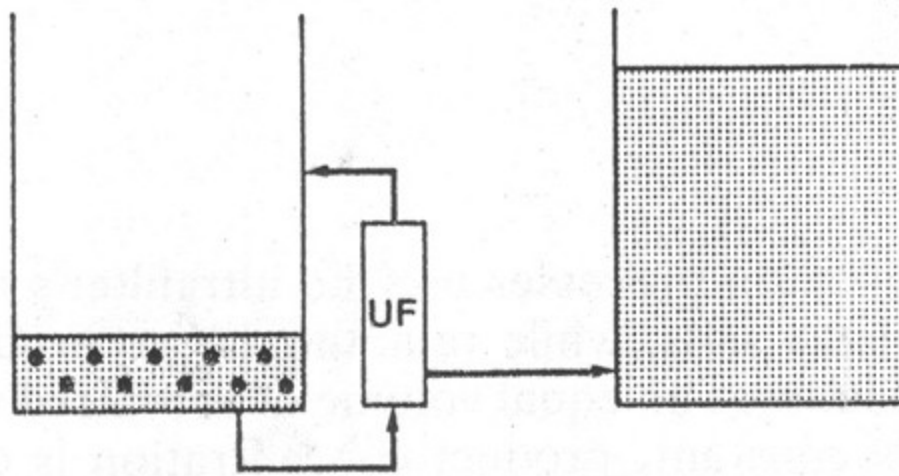
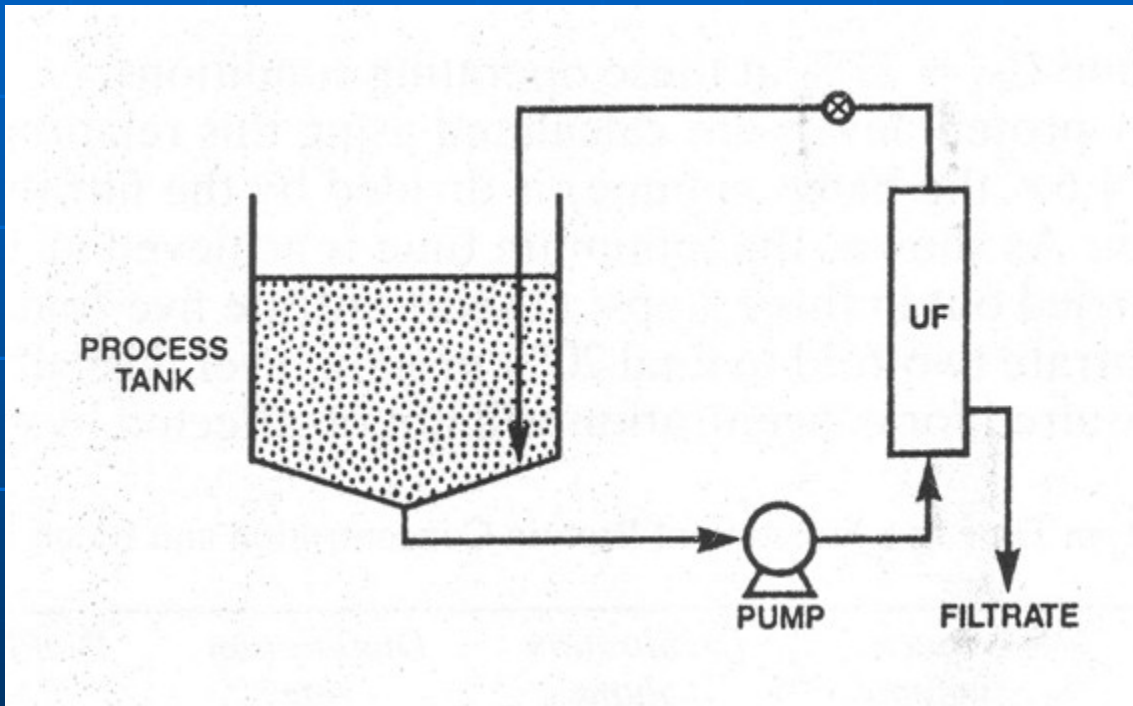


Figure 17 Flow schematic for purification process

Membránová filtrace



Membránová filtrace

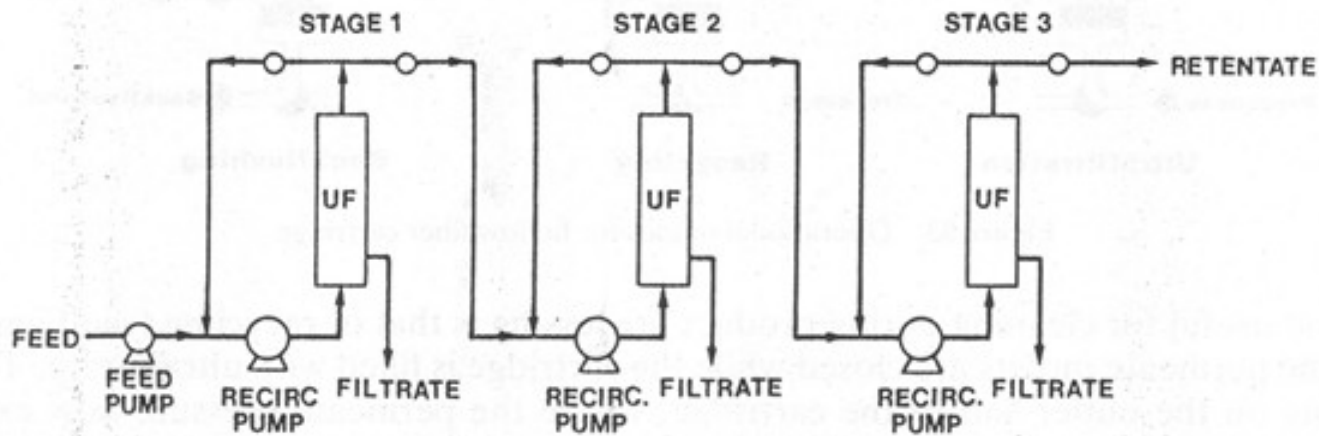
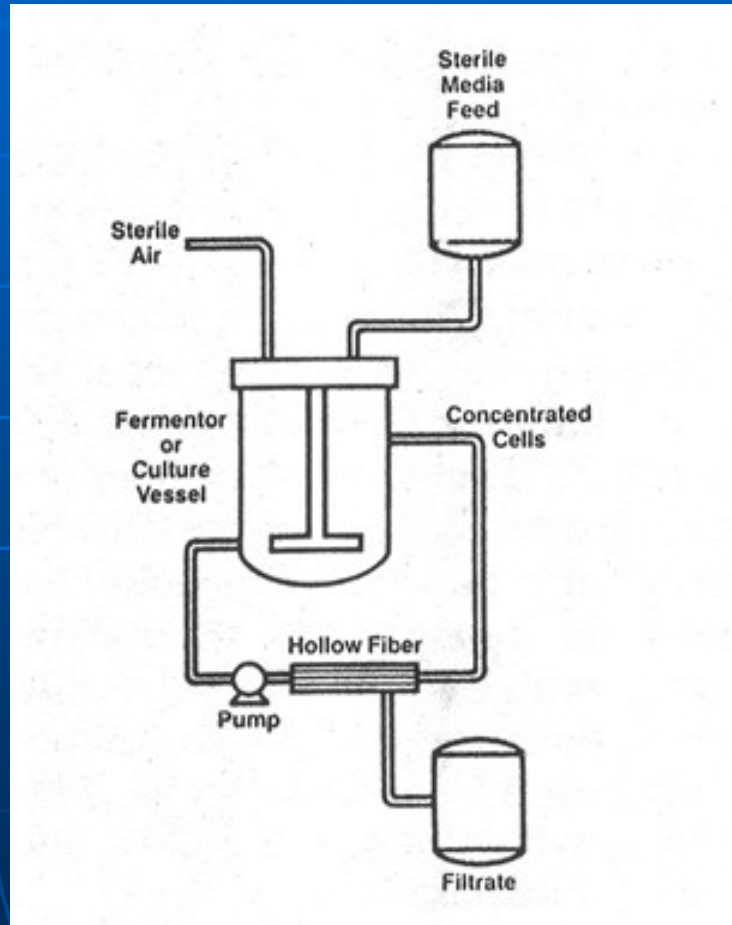


Figure 22 Multistage continuous system

Membránová filtrace



Membránová filtrace

Table 10 Comparison of UF and Other Processes For Concentration of Foot and Mouth Virus^a

<i>Method</i>	<i>Initial volume (l)</i>	<i>Concentration factor</i>	<i>Recovery (%)</i>
UF	100	24×	92-100
Centrifugation	6	25×	24-77
PEG precipitation	4	20×	63-85
Sulfate precipitation	4	20×	80

^a Morrow *et al.* (1974).

Table 9 Comparison of UF and Other Processes for Concentration/Purification of Albumin

<i>Method</i>	<i>Dimer (%)^a</i>	<i>Energy costs</i>	<i>Labor (man-h)^b</i>	<i>Capital cost (\$)^b</i>
UF	Trace	Low	20	60 000
Lyophilization	3.3-4.7	High	180	300 000
Vacuum distillation	1.2-1.5	High	100	180 000
Wiped film evaporation	1.8-2.0	High	N.A.	200 000
Solvent drying	4.6-5.2	Medium	N.A.	150 000

^a Mercer (1977). ^b Figures for preparation of 1000 l of 25% albumin; N.A. = not available.

■ Srovnání separací

Table 3 Comparison of Hollow Fiber Filtration and Centrifugation for Bacteria Harvesting

	<i>Hollow fiber filtration</i>		<i>Centrifugation^a</i>	
	<i>Annual</i> (\$)	<i>\$ per</i> <i>1000 l</i>	<i>Annual</i> (\$)	<i>\$ per</i> <i>1000 l</i>
Depreciation	4500	0.22	15000	0.75
Maintenance	1800	0.09	6000	0.30
Labor	7500	0.38	7500	0.38
Power	1500	0.08	6200	0.31
Water, chemicals	1400	0.07	1200	0.06
Membranes	10500	0.52	—	—
Total operating costs	27200	1.36	35900	1.80
Capital cost	45000		150000	

Assumptions

- (1) System output: 5000 l h⁻¹ (water removal rate)
- (2) Operation 250 d y⁻¹, 16 h d⁻¹ plus 2 h d⁻¹ cleanup
- (3) Depreciation: 10 y S/L
- (4) Maintenance: 4% of capital cost annually
- (5) Labor at \$15.00 h⁻¹ (2 h d⁻¹)
- (6) Power at \$0.05 kWh⁻¹
- (7) Membrane life of 1 y, \$157 m⁻²
- (8) Membrane average flux rate: 75 l m⁻² h⁻¹
- (9) Broth: *E. coli*, simple medium, 20 g l⁻¹ feed, 180 g l⁻¹ product
- (10) Centrifuge type: Alfa-Laval Type AX213

^a Personal communication, Alfa-Laval AB, Tumba, Sweden (1984).

Table 4 Comparison of Hollow Fiber Filtration and Centrifugation for Yeast Harvesting

	<i>Hollow fiber filtration</i>		<i>Centrifugation^a</i>	
	<i>Annual</i> (\$)	<i>\$ per</i> <i>1000 l</i>	<i>Annual</i> (\$)	<i>\$ per</i> <i>1000 l</i>
Depreciation	7500	0.19	5000	0.12
Maintenance	3000	0.07	2000	0.05
Labor	7500	0.19	7500	0.19
Power	2400	0.06	2900	0.07
Water, chemicals	2300	0.06	1500	0.04
Membranes	17400	0.43	—	—
Total operating costs	40100	1.00	18900	0.47
Capital cost	75000		50000	

Assumptions

- (1) System output: 10 000 l h⁻¹ (water removal rate)
- (2) Operation 250 d y⁻¹, 16 h d⁻¹ plus 2 h d⁻¹ cleanup
- (3) Depreciation: 10 y S/L
- (4) Maintenance: 4% of capital cost annually
- (5) Labor at \$15.00 h⁻¹ (2 h d⁻¹)
- (6) Power at \$0.05 kWh⁻¹
- (7) Membrane life of 1 y, \$157 m⁻²
- (8) Membrane average flux rate: 90 l m⁻² h⁻¹
- (9) Broth: *S. cerevisiae*, simple medium, 40 g l⁻¹ feed, 180 g l⁻¹ product
- (10) Centrifuge type: Alfa-Laval Type SFDX-209S

^a Personal communication, Alfa-Laval AB, Tumba, Sweden (1984).

Děkuji za pozornost