

TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY A JEJICH VYUŽITÍ V OBLASTI LIKVIDACE ODPADNÍCH VOD

Petr Mikulášek

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Ústav environmentálního a chemického inženýrství

petr.mikulasek@upce.cz



O B S A H

Úvod

- obecný popis membránových separačních procesů

Tlakové membránové procesy (TMP)

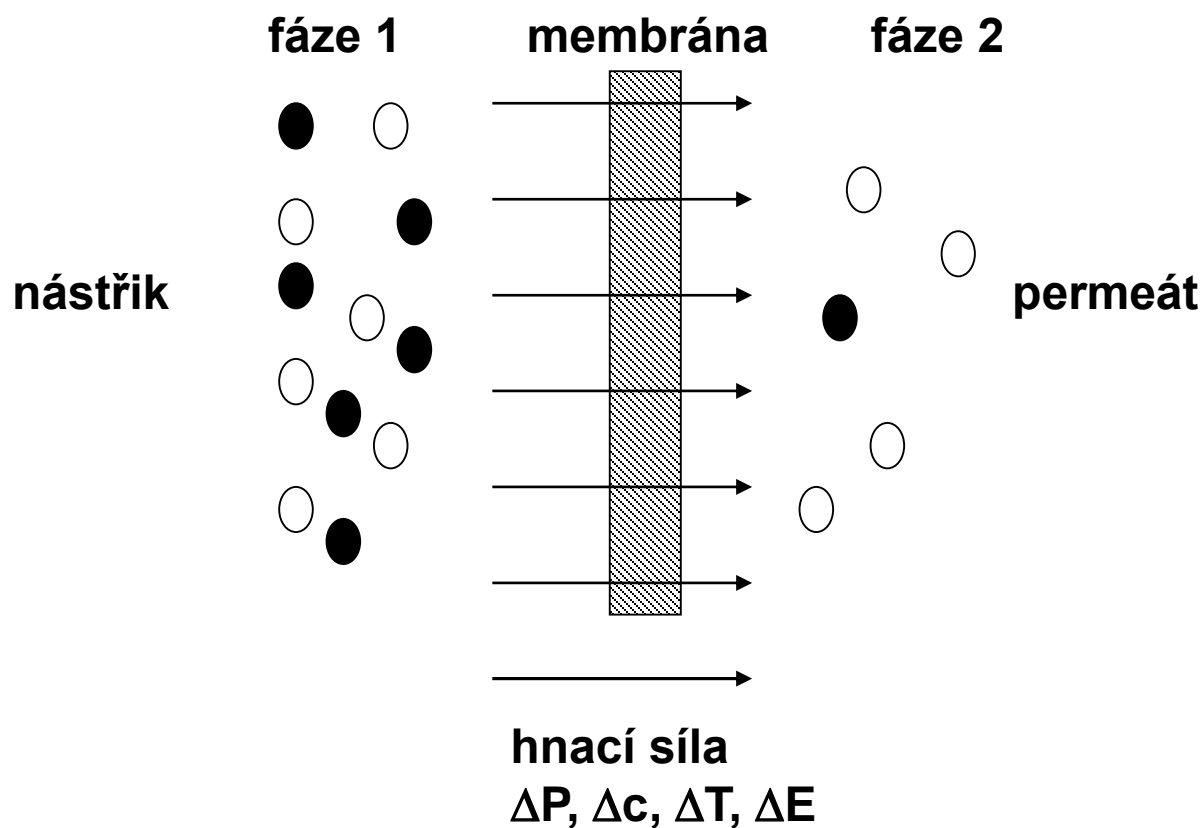
- základní popis
- membrány a moduly
- membránová zařízení
- procesní charakteristiky

Vybrané aplikace TMP

- aplikace MF
- aplikace UF
- aplikace NF a RO

Závěr

MEMBRÁNOVÉ SEPARAČNÍ PROCESY



Veličiny (teplota, tlak, koncentrace, aktivita) ovlivňující průběh membránového procesu lze vyjádřit pomocí chemického potenciálu $\mu = f(T, P, c, a)$

<u>Membránový proces</u>	<u>fáze 1</u>	<u>fáze 2</u>	<u>hnací síla</u>
mikrofiltrace	L	L	ΔP
ultrafiltrace	L	L	ΔP
nanofiltrace	L	L	ΔP
reverzní osmóza	L	L	ΔP
dialýza	L	L	Δc
separace plynů	G	G	ΔP
pervaporace	L	G	ΔP
elektrodialýza	L	L	ΔE
membránová destilace	L	L	$\Delta T/\Delta P$

TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

MIKROFILTRACE

- tlakový separační proces, při kterém jsou zadržovány částice a makromolekuly větší než $0,1 \mu\text{m}$ a menší než $10 \mu\text{m}$.

ULTRAFILTRACE

- tlakový membránový separační proces, při kterém jsou zadržovány makromolekuly menší než $0,1 \mu\text{m}$ a větší než 2 nm (látky s relativní molekulovou hmotností 10^3 až 10^6).

NANOFILTRACE

- tlakový membránový separační proces, při kterém jsou zadržovány molekuly menší než 2 nm , tj. látky s relativní molekulovou hmotností cca 200 - 1000.

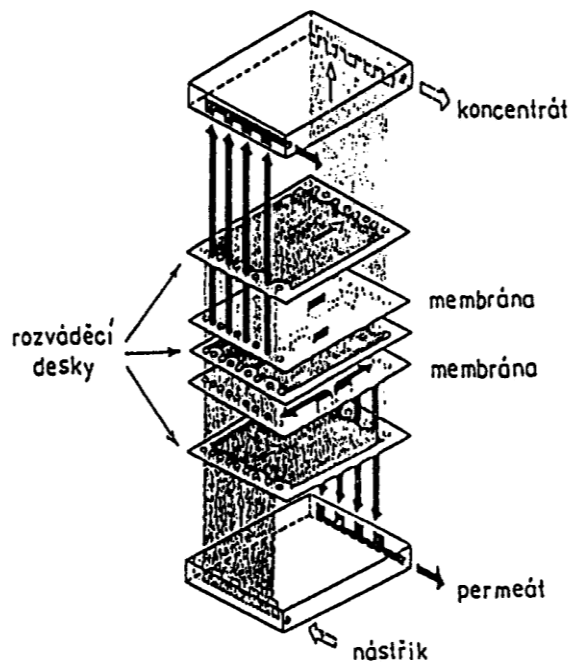
REVERZNÍ OSMÓZA

- tlakový membránový separační proces, při kterém prochází rozpouštědlo selektivně membránou proti osmotickému tlaku roztoku.

POŽADAVKY NA MEMBRÁNY

- vysoká rozdělovací schopnost (selektivita),
- vysoký měrný výkon (permeabilita),
- chemická stálost proti vlivům zpracovávaných látek,
- neměnnost charakteristik během provozu,
- dostatečná mechanická pevnost,
- nízká cena.

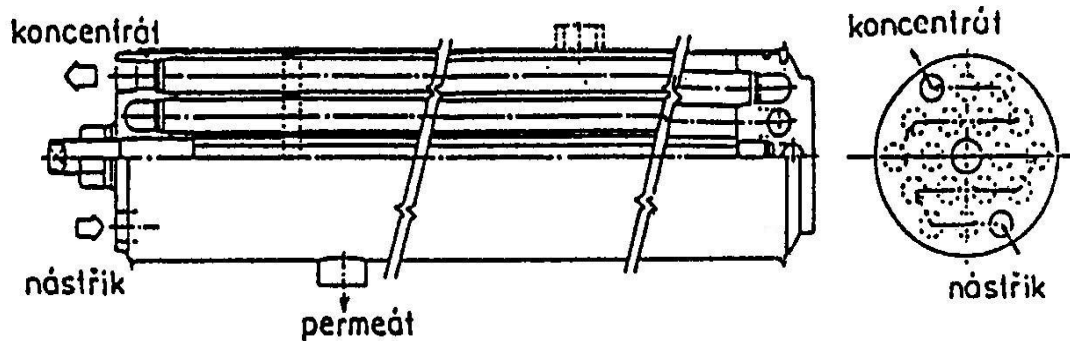
MEMBRÁNOVÉ MODULY



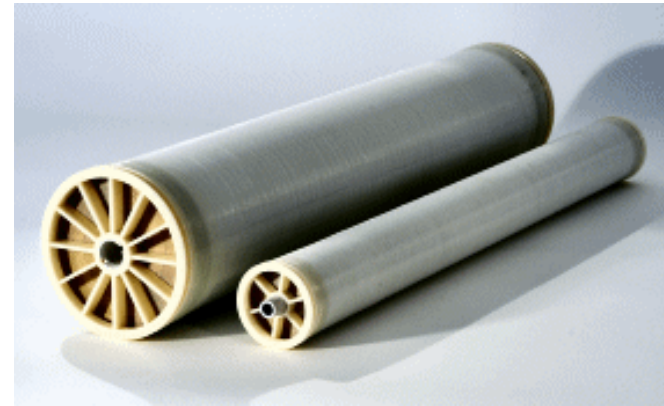
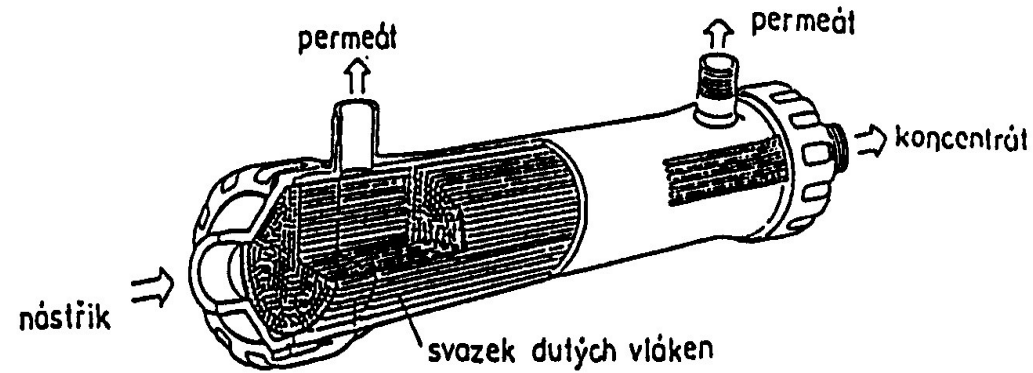
Deskový modul



Trubkový modul

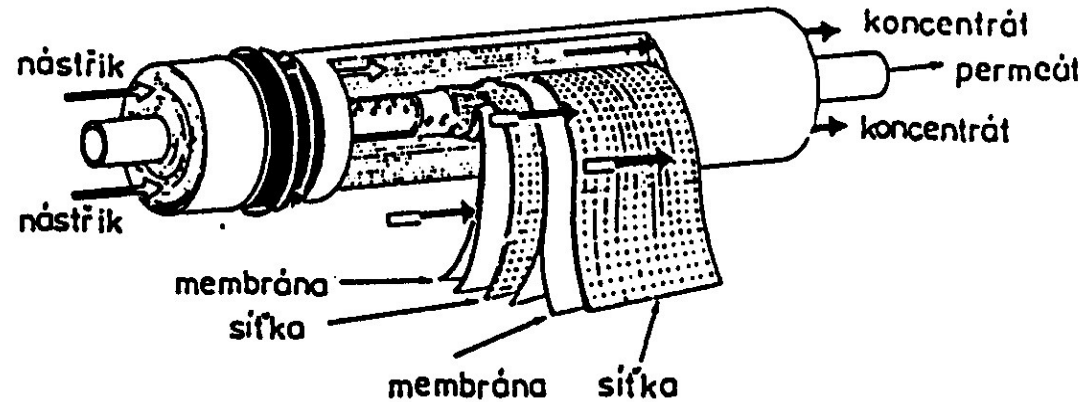


MEMBRÁNOVÉ MODULY



Modul s dutými vlákny

Spirálově vinutý modul



MEMBRÁNOVÁ ZAŘÍZENÍ

Membránová zařízení pro tlakové membránové procesy se skládají z:

- **membránových modulů:** deskový, trubkový, moduly s dutými vlákny a moduly spirálově vinuté;
- **čerpadel:** odstředivá, pístová, membránová;
- **nádrží na nástřík a permeát, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev nástříku;**
- **potrubí a armatur;**
- **měřicích zařízení:** tlakoměrů, teploměrů, měření průtoku permeátu a nástříku.

Kompletní linka s membránovým zařízením zahrnuje:

- **zařízení pro předcházející úpravu zpracovávaných roztoků** (např. filtrace, chemická úprava apod.),
- **zařízení pro kontrolu a řízení procesu** (měření složení proudů),
- **zařízení pro eventuální čištění zanesených membrán.**

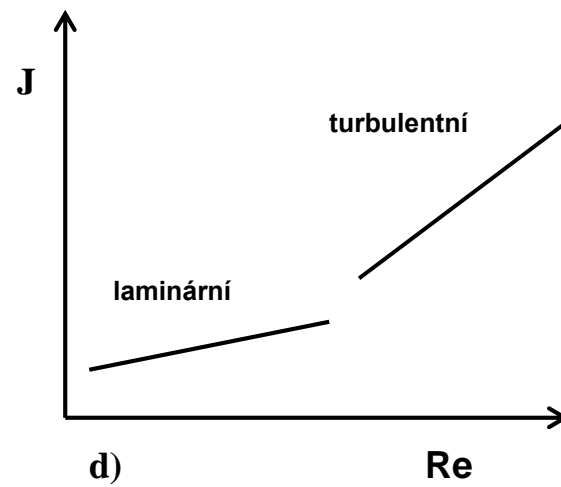
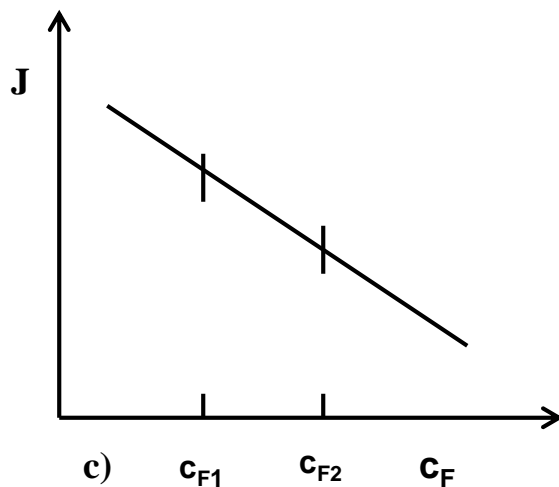
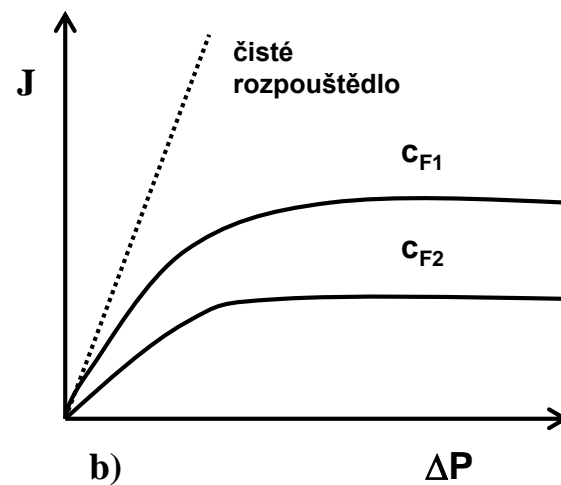
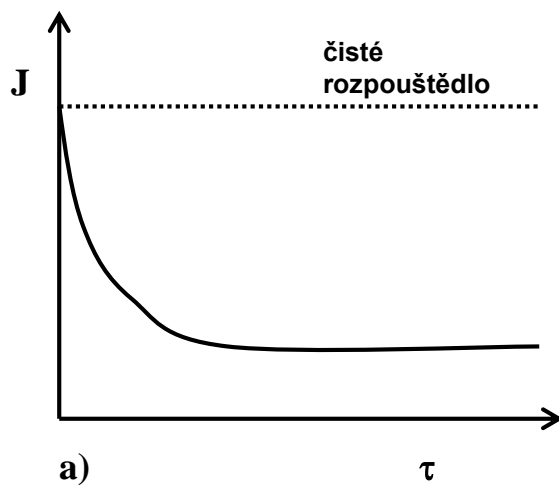
MEMBRÁNOVÁ ZAŘÍZENÍ



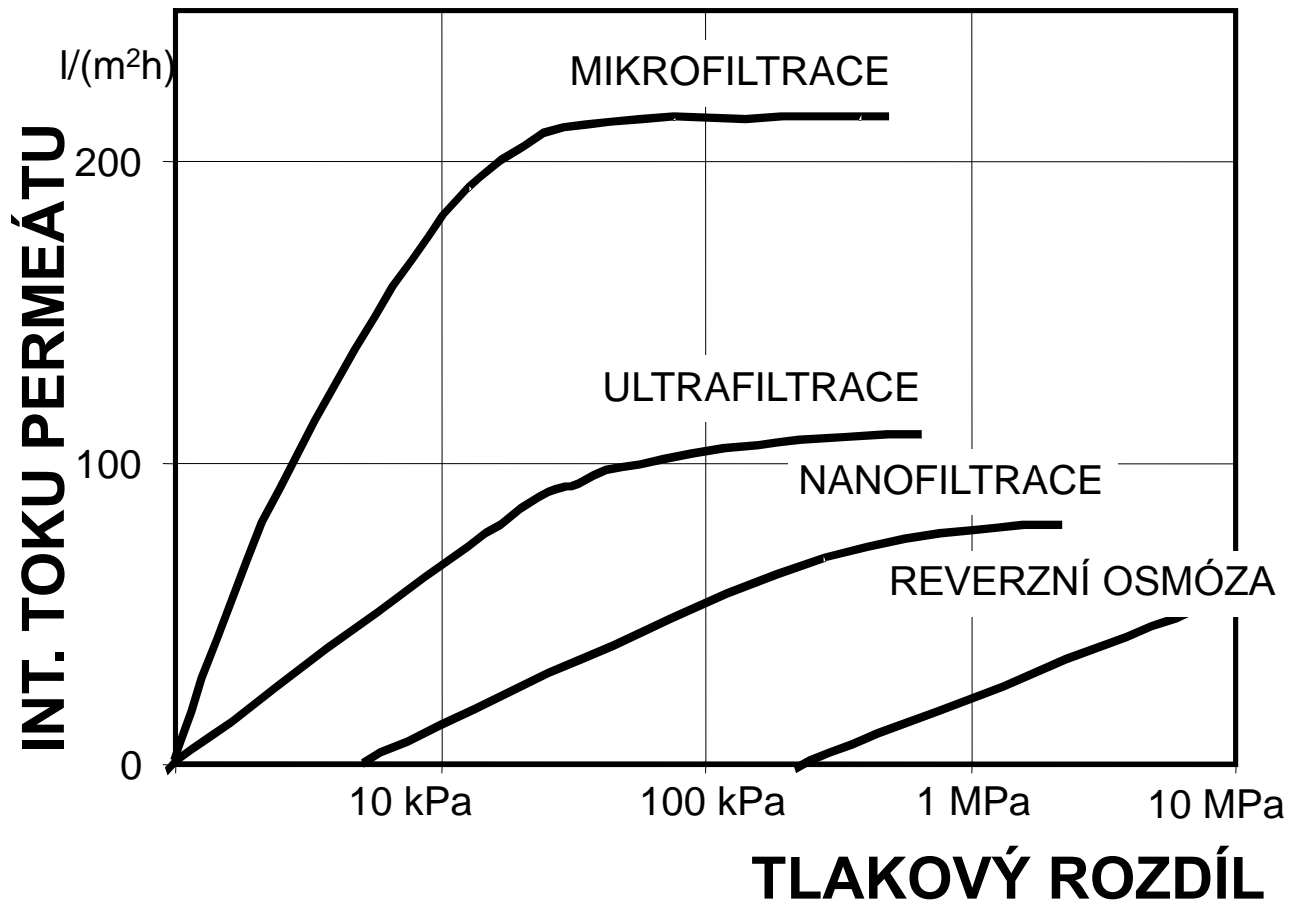
TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

mikrofiltrace	ultrafiltrace	nanofiltrace reverzní osmóza
separace částic (mikroorganismy)	separace makromolekul (bakterie, kvasinky)	separace nízkomolekulárních látek (soli, glukóza, laktóza)
osmotický tlak zanedbatelný	osmotický tlak zanedbatelný	osmotický tlak vysoký ($\approx 1 - 25$ barů)
nízký rozdíl tlaků (< 4 bary)	nízký rozdíl tlaků ($\approx 1 - 10$ barů)	vysoký rozdíl tlaků ($\approx 10 - 80$ barů)
symetrická struktura asymetrická struktura	asymetrická struktura	asymetrická struktura
tloušťka separující vrstvy symetrické $\approx 10 - 150 \mu\text{m}$ asymetrické $\approx 1 \mu\text{m}$	tloušťka separující vrstvy $\approx 0,1 - 0,5 \mu\text{m}$	tloušťka separující vrstvy $\approx 0,1 - 0,5 \mu\text{m}$
separace založena na rozdílné velikosti částic a pórů membrány	separace založena na rozdílné velikosti částic a pórů membrány	separace založena na rozdílné rozpustnosti a difuzivitě

PROCESNÍ CHARAKTERISTIKY



Závislost intenzity toku permeátu na ΔP při použití tlakových membránových procesů



VÝHODY MEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ

- možnost provádět separaci kontinuálně
- obecně nízká energetické náročnost
- možnost kombinovat MP s dalšími separačními procesy
- separaci lze provádět za mírných podmínek
- snadnost měření provozních parametrů
- rozmanitost vlastností membrán a jejich přizpůsobivost
- možnost pracovat bez přídavku dalších látek

NEVÝHODY MEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ

- **koncentrační polarizace a zanášení membrán**
- **nízká životnost membrán**
- **nízká selektivita nebo výkon**

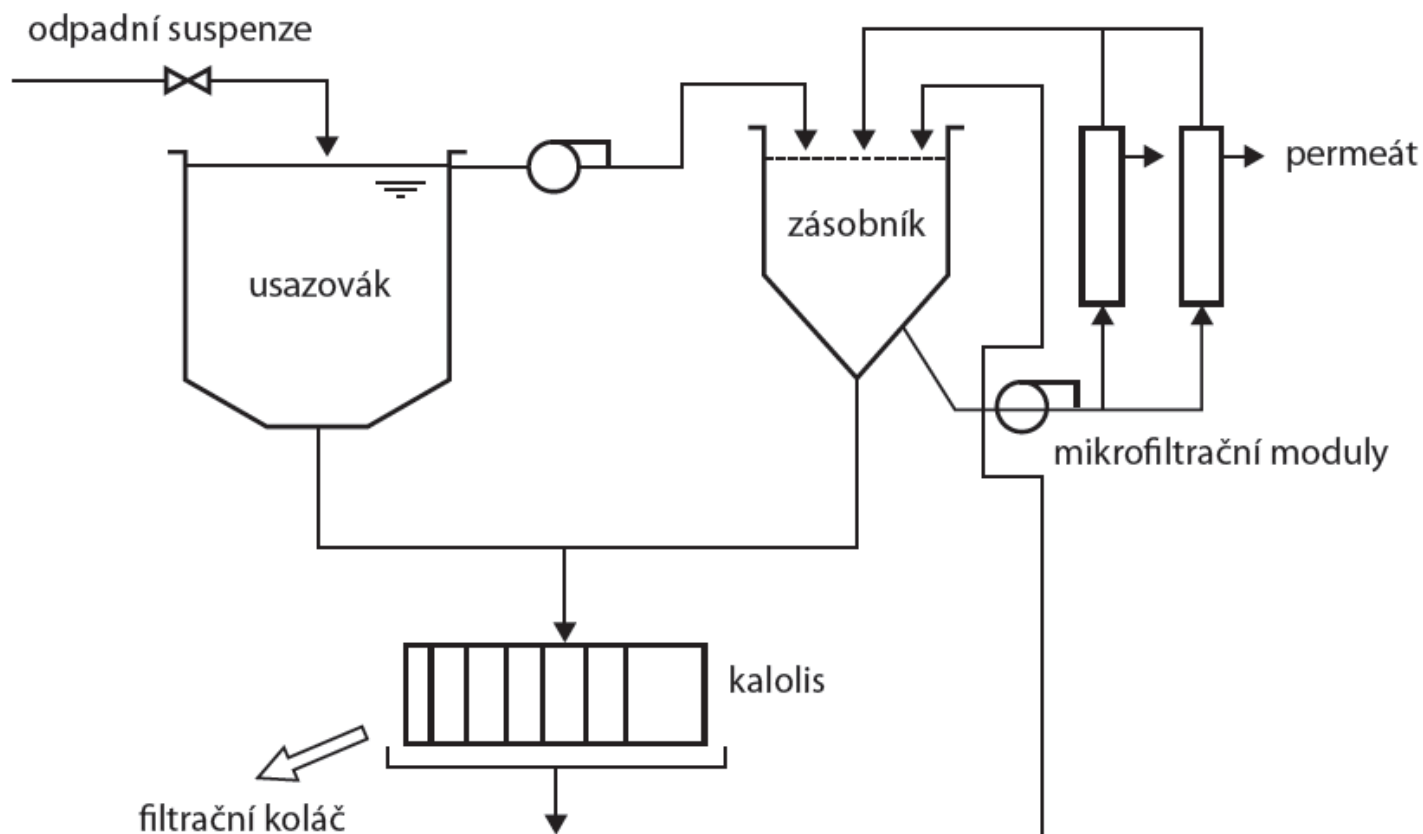
VYBRANÉ APLIKACE MF, UF, NF a RO

MIKROFILTRACE

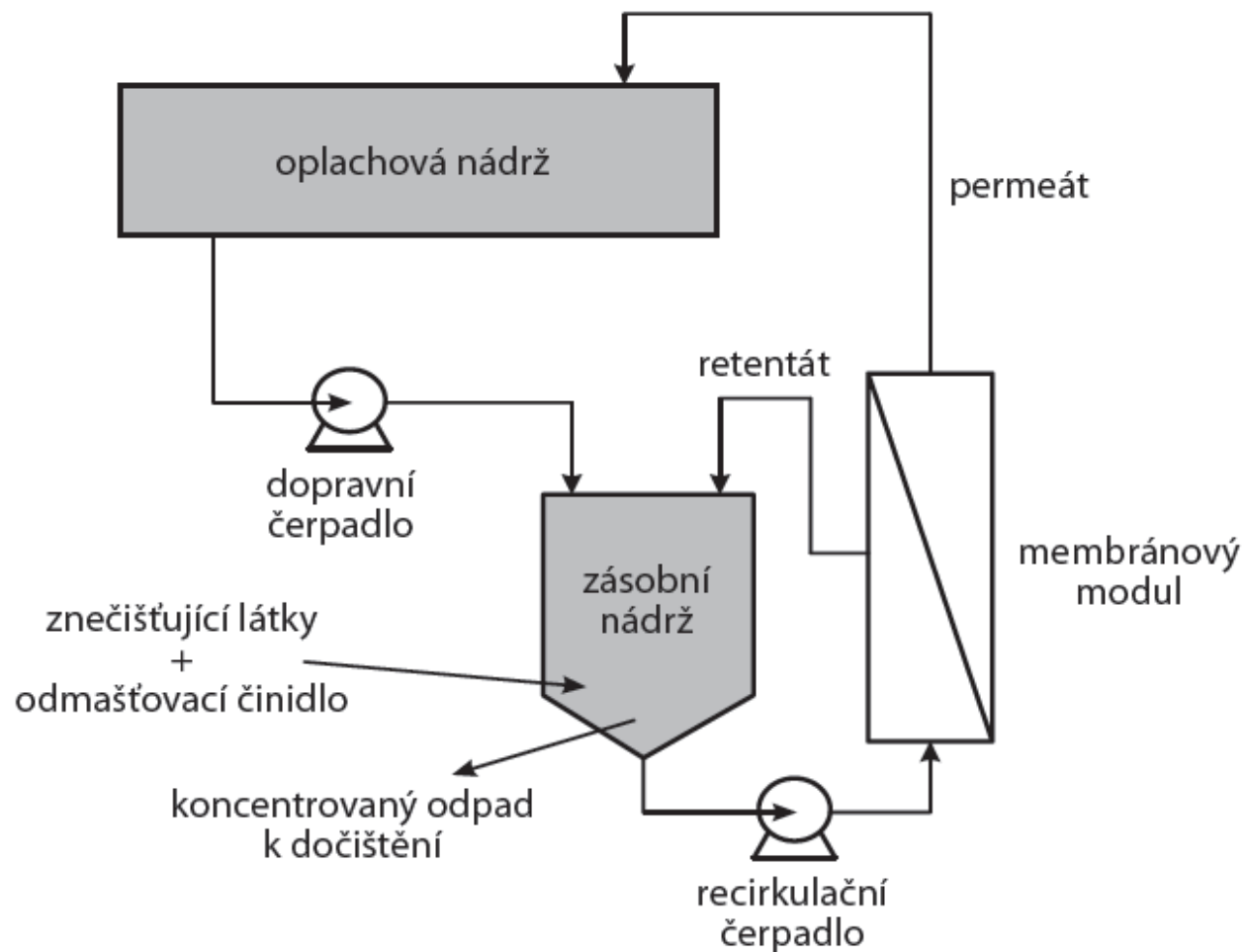
- odstraňování bakterií a kvasinek z piva, vína, surového mléka,
- čištění a sterilizace ovocných šťáv,
- úprava vody při výrobě velmi čisté vody,
- separace velmi jemných krystalů ve farmaceutickém průmyslu,
- zahušťování oleje z olejových emulzí,
- proces předřazený UF a RO.

LIKVIDACE ODPADNÍCH VOD

- lze odstraňovat organická barviva, povrchově aktivní látky, soli těžkých kovů, toxické organické látky, netoxické, avšak těžko biologicky odbouratelné látky atd.



REGENERACE ODMAŠŤOVACÍCH LÁZNÍ



LIKVIDACE ODPADNÍCH VOD Z MYČEK AUTOMOBILŮ



Pracovní cyklus jednotky:

Plnění

Koagulace

Přepouštění

Odkalení

Filtrace

Zpětný
proplach

Aerace

Vypouštění

PILOTNÍ MEMBRÁNOVÁ JEDNOTKA

Uspořádání separace: „out – in“ uspořádání

Membrána:

konfigurace: kapilára

materiál: hydrofilizovaný polytetrafluoroethylen (PTFE)

Velikost pórů: 0,1 mikrometru

Plocha membrány: 0,1 m²

Rozměr: $\phi 76$ mm \times 400 mm

Maximální tlakový rozdíl: - separace: 100kPa
- zpětné promývání: 150kPa

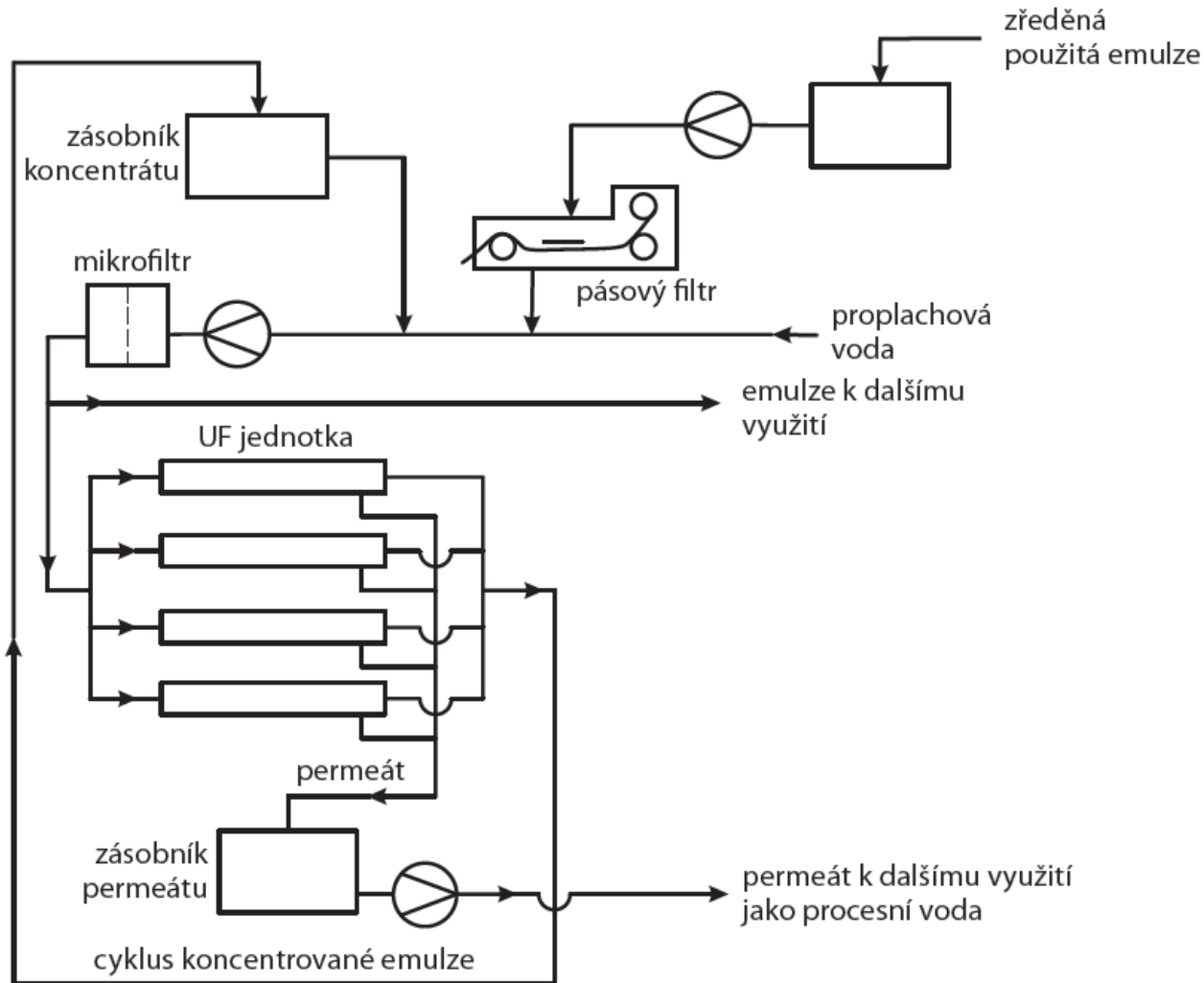
Teplota: < 40 °C

VYBRANÉ APLIKACE MF, UF, NF a RO

ULTRAFILTRACE

- zpracování olejových emulzí,
- získávání elektroforézních barev z oplachových vod,
- zpracování odpadních vod z textilního a papírenského průmyslu,
- zahušťování latexových disperzí,
- zahušťování bílkovin a zpracování syrovátky,
- při hemodialýze,
- proces předřazený RO.

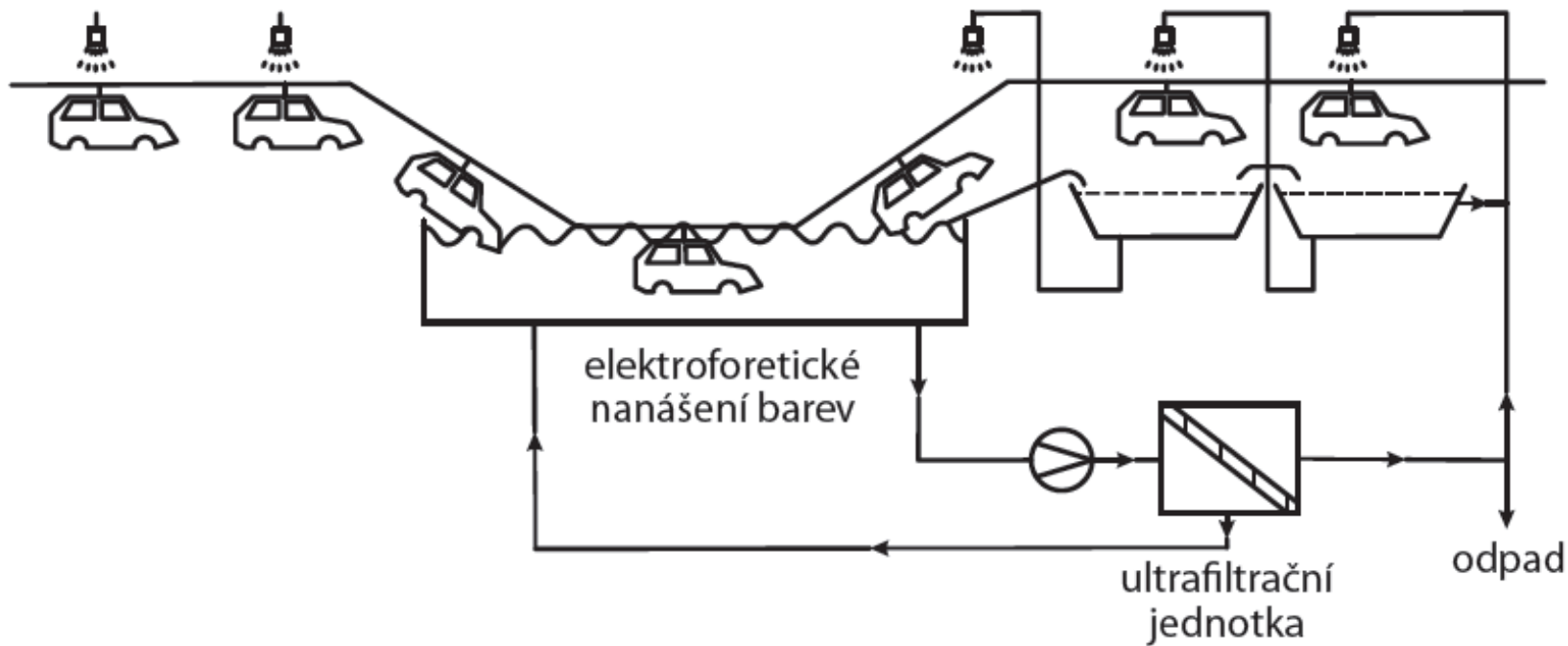
LIKVIDACE OLEJOVÝCH EMULZÍ



REGENERACE ELEKTROFORÉZNÍCH BAREV

chromátování/fosfátování

oplachování



Membránové jednotky využívané při úpravě vody v papírenství

Společnost	Země	Aplikace	Konfigurace/modul
Hokuetsu, Fine pap. Niigata	Japonsko	recirkulace	CR-UF, 560 m ²
Modern Karton, OCC	Turecko	recirkulace	CR-UF, 560 m ²
Albert Köhler GmbH & Co.	Německo	odpadní voda	MBR (UF) + RO
UPM-Kymmene Tervasaari	Finsko	recirkulace	CR-UF, 560 m ²
Holmen Paper Madrid	Španělsko	recirkulace	CR-UF, 140 m ²
LINPAC, rec. paper mill	USA	odpadní voda	trubkové UF
Papierfabrik Palm	Německo	odpadní voda	trubkové UF, 2 280 m ²
Artic Paper	Švédsko	odpadní voda	trubkové UF, 270 m ²

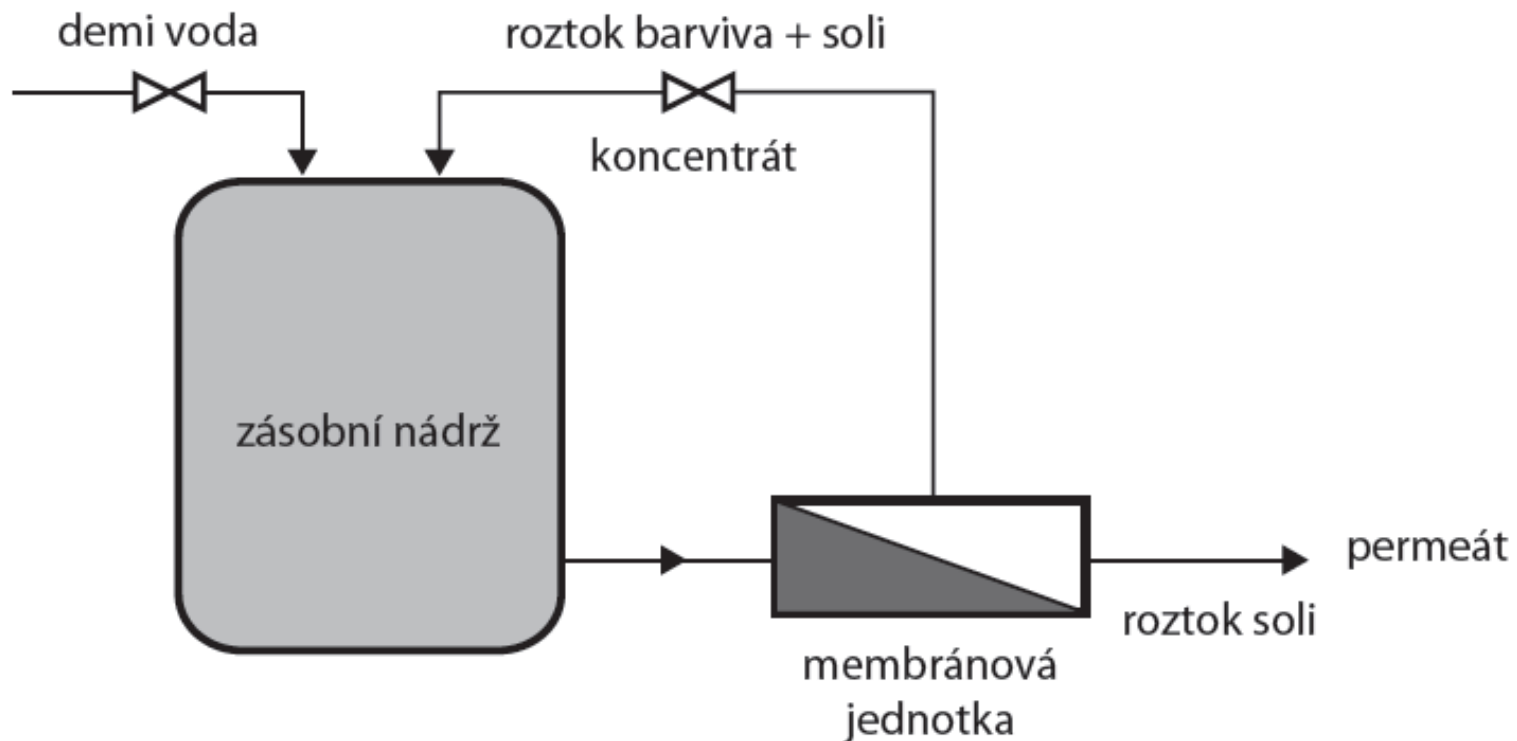
CR – rotační deskový modul, MBR – membránový bioreaktor

VYBRANÉ APLIKACE MF, UF, NF a RO

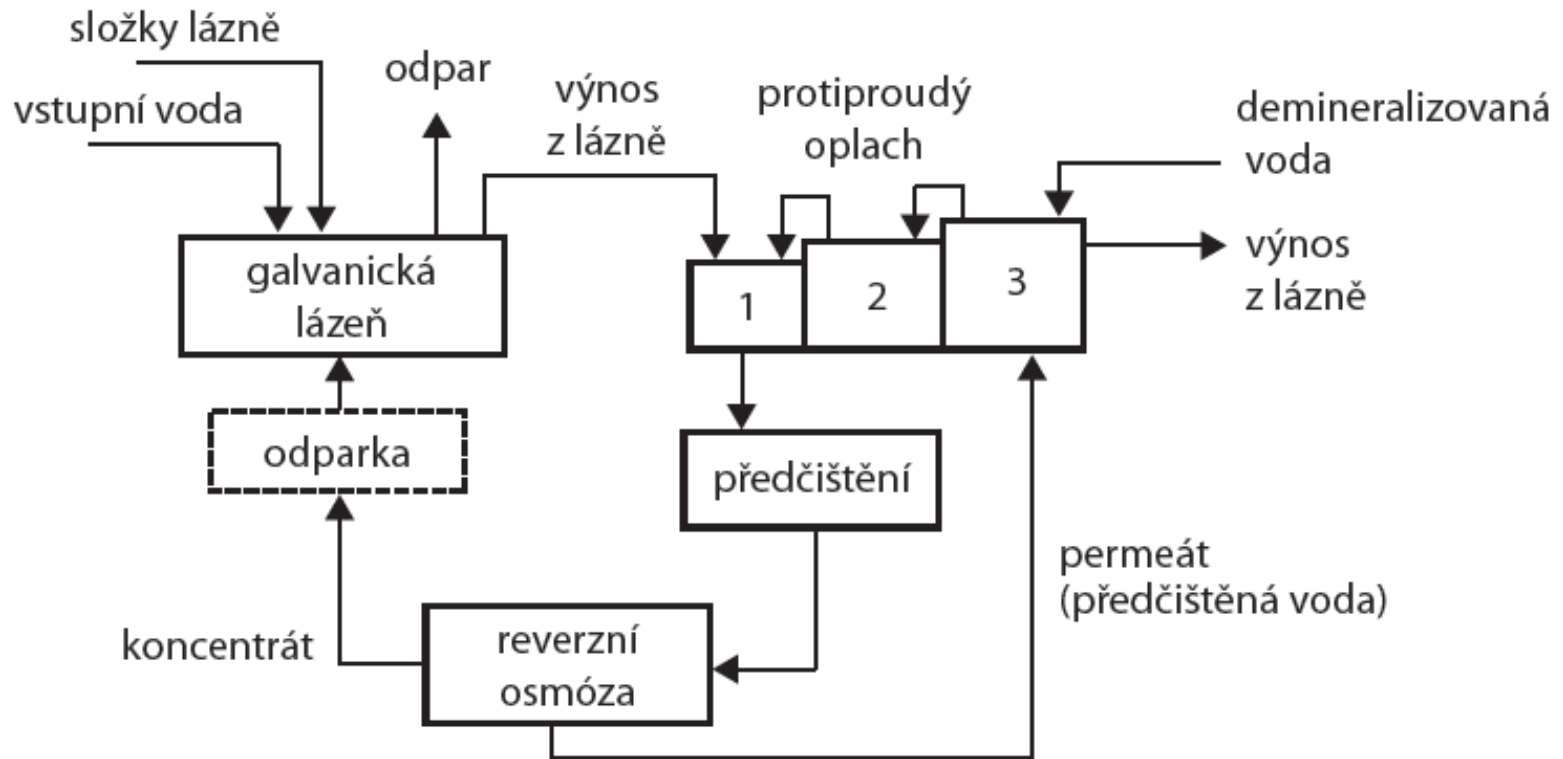
NANOFILTRACE a REVERZNÍ OSMÓZA

- změkčování vody,
- odsolování produktů a meziproduktů v chemickém průmyslu,
- odsolování mořské a brakické vody při výrobě pitné vody,
- výroba velmi čisté vody pro elektrotechnický a farmaceutický průmysl,
- čištění odpadních vod z galvanizoven, textilního a papírenského průmyslu.

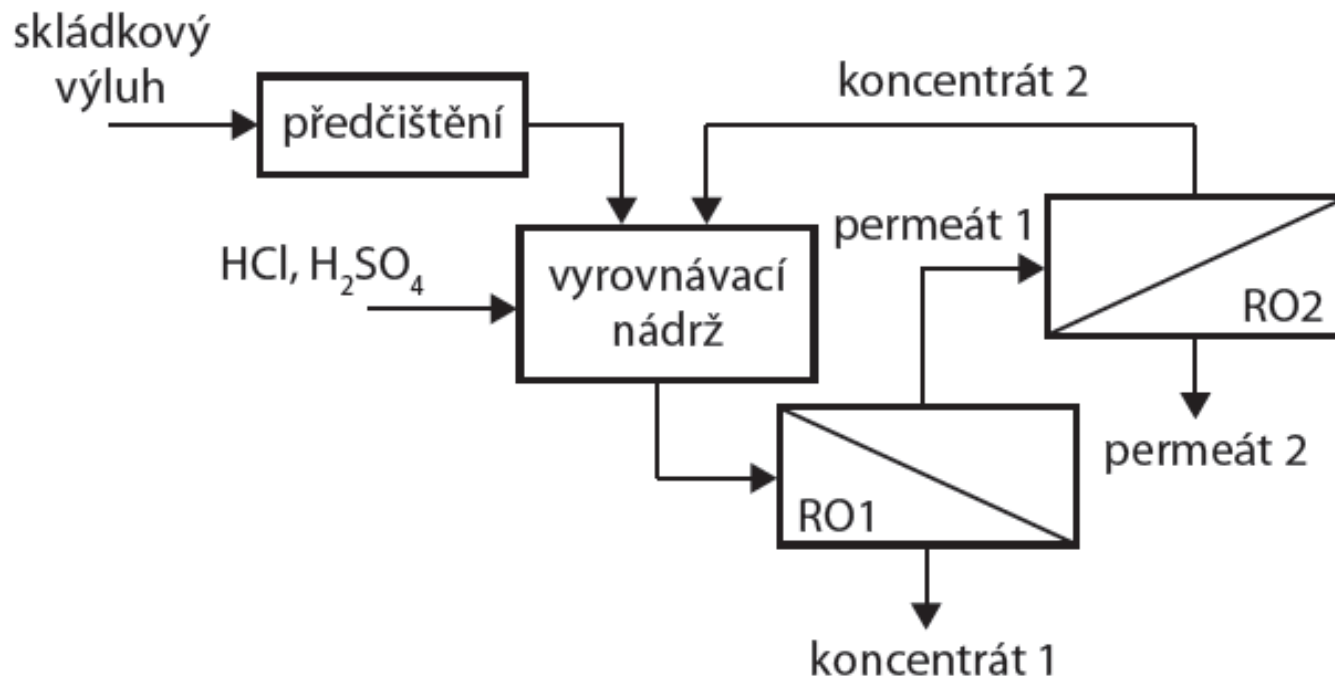
DIAFILTRACE A ZKONCENTROVÁNÍ PŘI VÝROBĚ BARVIV



ČIŠTĚNÍ OPLACHOVÝCH VOD POMOCÍ REVERZNÍ OSMÓZY



TYPICKÉ TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ČIŠTĚNÍ SKLÁDKOVÝCH VÝLUHŮ



KOMBINOVANÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

= kombinace membránové separace a předúpravy nástríku

DŮVODY

Intenzifikace procesu

Odstranění dalších škodlivin (ionty těžkých kovů, organické látky)

Možnost zlepšit funkci membrány (backflushing, probublávání, distributory toku)

REALIZACE

Dávkování hlinitých nebo železitých solí (koagulantů)

→ odstranění těžkých kovů a jiných škodlivin anorganické povahy

Přídavky práškového aktivního uhlí

→ odstranění organických sloučenin

Přídavky iontoměničů (ionexů)

→ zachycení nežádoucích kationtů, aniontů (ionty těžkých kovů, amonné ionty)

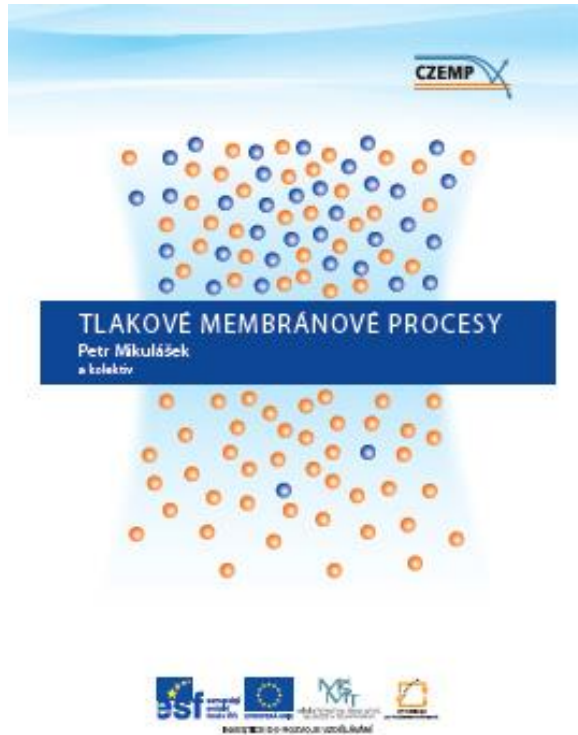
ZÁVĚR

Použití tlakových membránových procesů je založeno na:

- znalostech popisu základních mechanismů charakterizujících transportní jevy v porézních nebo (ne)porézních membránových strukturách a v rozhraní membrána – roztok,
- relativně jednoduchém a kompaktním uspořádání,
- využitelnosti kombinovaných (hybridních) a integrovaných membránových procesů.

DĚKUJI ZA POZORNOST.

LITERATURA PRO DALŠÍ STUDIUM



TLAKOVÉ MEMBRÁNOVÉ PROCESY

P. Mikulášek a kol.

ISBN 978-80-7080-862-7

Vydavatelství VŠCHT v Praze
(prosinec 2013)

Kniha obsahuje historický vývoj TMP, popis membránových materiálů, zařízení a jeho prvků, teorii transportu látek membránami a shrnutí faktorů ovlivňujících výkonnost procesů, teoretický popis (modelování) toku při separaci, metody intenzifikace, návrh membránových jednotek a aplikace tlakových membránových procesů a zařízení v chemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu, v biotechnologiích a při zpracování odpadních vod.