



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



OKRESNÍ HOSPODÁŘSKÁ
KOMORA OLOMOUC

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzikální chemie

ZÁKLADY CHEMICKÝCH TECHNOLOGIÍ

Jiří Kolínek

Olomouc, 2012

Soubor přednášek ZÁKLADY CHEMICKÝCH TECHNOLOGIÍ si klade za cíl seznámit studenty se základními jednotkovými operacemi a zařízeními v chemických technologiích, zaměřeno na výrobu léčivých látek. Stručně budou vysvětleny zásady Správné výrobní praxe.

Ve vybraných případech bude doplněno ilustrativními příklady výpočtů.

Přednášky budou zaměřeny spíše na praktické aplikace než na teoretické základy chemického inženýrství. Teoretické základy si mohou zájemci doplnit v odborné literatuře.

Pro tento kurz se doporučují skripta VŠCHT Praha dostupná v **elektronické** formě na http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-778-1/anotace/

Poznámky z přednášek budou doplněny exkurzí do výrobního závodu, kde si studenti prohlédnou jednotlivé typy výrobních zařízení.

Náplň předmětu :

(rozdělena do 13 přednáškových bloků)

1. Základní pojmy, chemické inženýrství jako nástroj převodu chemického návrhu do chemické technologie.

Bilance hmoty a energie.

2. Hydromechanické procesy.

Hydrostatika. Proudění tekutin, laminární proudění, turbulentní proudění.

Doprava tekutin, typy čerpadel, charakteristika čerpadla, charakteristika potrubí.

3. Filtrace.

Základní pojmy, typy filtrace, hybná síla filtrace, filtrační cyklus.

Odstředivky, filtrační odstředivky.

Příklady procesních zařízení pro filtraci.

4. Mísení a míchání.

Mísení sypkých materiálů, homogenizace. Základní typy mísičů, homogenizátory.

Míchání tekutin, základní typy míchadel, modelování míchacích zařízení.

Příklady zařízení.

5. Sdílení tepla.

Tři základní mechanismy sdílení tepla: vedením, prouděním, zářením.

Vedení tepla, přestup tepla, složené sdílení tepla - prostup tepla.

6. Výměníky tepla.

Typy výměníků tepla, konstrukce výměníků tepla. Souproudé a protiproudé uspořádání.

Odpařování. Odparky, odpařovací zařízení.

Příklady procesních zařízení.

7. Destilace a rektifikace.

Rovnováha kapalina - pára, Raoultův zákon.

Kontinuální (mžiková) destilace. Kontinuální rektifikace, McCabeova - Thieleova metoda.

Vsádková destilace, vsádková rektifikace.

Zařízení pro destilaci a rektifikaci.

8. Extrakce

Extrakce kapalina - pevná látka, extrakce kapalina - kapalina.

Jednostupňová extrakce, opakovaná extrakce, protiproudé uspořádání.

Procesní zařízení pro extrakci.

Sušení.

Vlastnosti sušeného materiálu.

Průběh sušení. Druhy sušáren.

Příklady procesních zařízení pro sušení.

9. Membránové procesy

Princip a třídění membránových procesů.

Charakterizace membránových procesů. Mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace. Pervaporace.

Reversní osmóza.

Příklady procesních zařízení.

10. Chemické reaktory.

Základní typy, teoretické modely ideálních reaktorů.

Mikroreaktory.

Příklady průmyslových reaktorů.

11. Mechanické operace.

Mletí, mikronizace. Sítování.

Příklady procesních zařízení.

12. Základy "Správné výrobní praxe". Požadavky na výběr zařízení pro produkci léčivých látek.

13. Exkurze ve výrobním závodě.

POZNÁMKA:

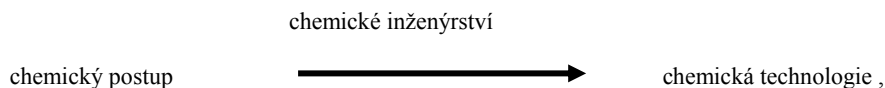
Texty v této podobě jsou „zkušební verzí“. Na základě poznatků z prvních dvou ročníků přednášek budou upraveny, hlavně doplněny o ilustrativní funkční schemata zařízení a obrázky, které v první fázi budou studentům na přednáškách prezentovány převážně z firemní literatury.

Stejně tak u ilustrativních příkladů budou studenti odkázáni na odbornou literaturu.

1. Základní pojmy. Bilance hmoty a energie

Základní pojmy, chemické inženýrství jako nástroj převodu chemického návrhu do chemické technologie.

Vztah chemická technologie- chemické inženýrství se dá se znázornit následujícím schématem



kteří můžeme interpretovat následovně: chemické inženýrství poskytuje chemikům nástroje k převedení chemického postupu z laboratoře do provozního měřítka.

Nebo jinak:

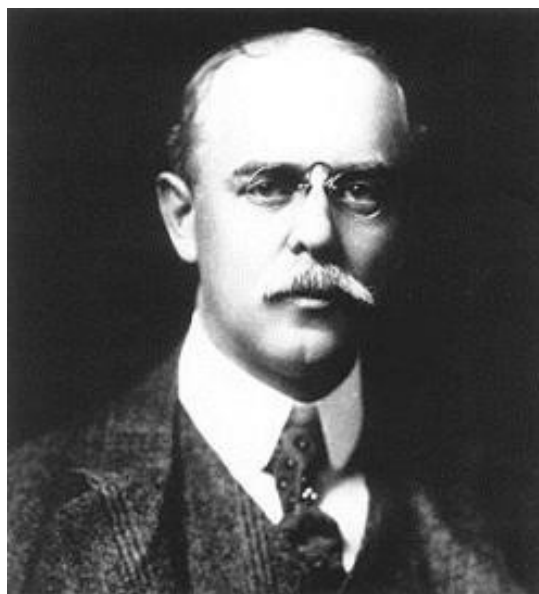
chemická technologie: konkrétní postup, co je zvláštní, specifické,
chemické inženýrství: zamýšlí se co je společné, co se dá zevšeobecnit
chemické inženýrství – poskytuje technologům stavebnici, utříděné poznatky,
jednotkové operace.

Pojem jednotkové operace zavedl americký inženýr Artur D. Little v r. 1915

Američtí chemici William H. Walker, Warren K. Lewis a definovali chemické inženýrství jako samostatný obor.



William H. Walker



Warren K. Lewis

Příklad : vztah chemický technolog a chemický inženýr

Chemický problém:

Po proběhnutí chemické reakce je potřeba reakční směs co nejrychleji zneutralizovat, aby se zabránilo nežádoucím následným reakcím: Po neutralizaci je potřeba rozdělit dvoufázovou směs.

Řešení:

- spádová technologie

tradiční: míchaný reaktor, reaktor na dělení fází

nový prvek: reaktor, statický směšovač, reaktor na dělení fází,

- vertikální technologie

tradiční: míchaný reaktor, přetlačení do dělicího reaktoru,

nový prvek: použije se odstředivé čerpadlo na přečerpání RS, čerpadlo se využije jako směšovač.

Pojmy:

Systémy:

Svět okolo nás – objekty, proměnné v čase, mohou měnit tvar, velikost, polohu.

Fyzikální vlastnosti - látka, směs složek.

vymezení hranic studovaného problému - systémy,

reálné hranice, myšlené hranice,

Systémy:

ustálené a neustálené

homogenní a heterogenní

otevřené, uzavřené, izolované

Procesy:

dělení z pohledu jednotkových operací:

mechanické procesy (mikronizace, mletí, drcení, třídění)

hydromechanické procesy (proudění a doprava tekutin, filtrace, míchání usazování, fluidace),

tepelné procesy (např. výměna tepla, odparky),

difúzní separační procesy (extrakce, sušení, destilace,...),

chemické procesy,

bio- procesy

s rozvojem poznání – dělení na základě společných rysů:

přenosové procesy (transportní)

přenos (sdílení) hybnosti

přenos (sdílení) energie

přenos (sdílení) hmoty

transformační (přeměnové) procesy:

chemické reakce

změny skupenství

dělení na základě průběhu v čase:

procesy vsádkové (diskontinuální), procesy kombinované (polovsádkové), procesy průtočné (kontinuální)

Bilance hmoty a energie

Bilancování je každodenní činnost, která nás provází v běžném životě.

V technické praxi - „účetnictví v přírodních a technických vědách“

Analogie s běžnou domácností:

Bilancovaná veličina

peníze

Bilanční systém

bankovní účet

Bilanční období

měsíc

počáteční stav účtu	+	součet vkladů	+	úrok	=	konečný stav účtu	+	součet výběrů	+	součet poplatků
---------------------	---	---------------	---	------	---	-------------------	---	---------------	---	-----------------

Na začátku: tři otázky

bilancovanou veličinu „ *CO?*“
 hranice bilancovaného systému „ *KDE?*“
 časový úsek bilance – bilanční období „ *KDY?*“

„ *CO?*“ Bilancované veličiny

(hodnota závisí na velikosti systému)	(hodnota nezávisí na velikosti systému)
ANO	NE
<i>extenzivní</i>	<i>intenzivní</i>
látkové množství / složky	měrné teplo,
hybnost (m . v)	barva
energie	tvrdost

„ *KDE?*“ Oblast bilance – bilanční systém

Pomyslné hranice
 Reálné hranice
 Diferenciální systém

Systém otevřený
 Systém uzavřený - nevyměňuje hmotu
 izolovaný- hmotu ani energii

Složité systémy, podsystémy

Výše zmíněné pojmy lze ilustrovat obrázkem:

OBRÁZEK

Znázornění bilancované úlohy blokové (proudové) schéma, flow sheet.

Prvky blokového schématu: bilancované uzly
 proudy

obrázek příklad flow sheetu

reálné proudy
 suroviny
 reakční směs
 produkty

fiktivní proudy
 co vzniká reakcí
 co zaniká reakcí
 co bylo v systému na začátku bilančního období
 „ konci „

„ **KDY?**“ Bilanční období

Konečné bilanční období: definované, začátek, konec
rok, měsíc, den, hodina,...

diferenciální bilanční období: velmi krátké (infinitesimalně malé) období dt za časem t .
bilancované veličiny se mění s časem

Bilanční období

Konečné bilanční období: definované, začátek, konec
rok, měsíc, den, hodina,...

diferenciální bilanční období: velmi krátké (infinitesimalně malé) období dt za časem t .
bilancované veličiny se mění s časem

Bilanční období

Konečné bilanční období: definované, začátek, konec
rok, měsíc, den, hodina,...

diferenciální bilanční období: velmi krátké (infinitesimalně malé) období dt za časem t .
bilancované veličiny se mění s časem

Příklady výpočtů

Materiálová bilance

bilance hmotnosti

bilance látkového množství

bilance složek (látky které bilancujeme, sloučeniny, směsi sloučenin, prvky, ionty,)

vyjádření složení:

hmotnostní zlomek

molární zlomek

úlohy - skripta

Bilance entalpie

oblast chemického inženýrství (nejtěžší kapitola CHI ,)

využívají se informace o teplotách pozorovaného (studovaného) systému, můžeme některé teploty vypočítat, dále se sleduje množství vyměněného tepla mezi systémem a okolím, případně nám umožňuje je vypočítat,

využíváme znalosti o rozsahu či rychlosti procesů změny skupenství a chemických reakcí, nebo je můžeme vypočítat

Formy energie:

makroskopická mechanická energie: (může přímo působit silou po dráze na makroskopická tělesa a tak konat práci)
energie potenciální

mechanika: přeměna potenciální a kinetické energie

hydrodynamika: Bernoulliho rovnice- bilance mechanické energie proudící tekutiny

mikroskopická energie (nahodilý mikroskopický pohyb molekul, vzájemné působení mezi molekulami, vazby mezi atomy v molekulách,...)

Tyto jevy nejsou zcela prozkoumány, jsou k dispozici prostředky, jak určit změnu mikroskopické energie

v makroskopickém tělese se změnou podmínek či stavu (teploty, tlaku, složení,...)

energie kinetická (pohybová, energie tělesa při určité rychlosti)

Pojmy: teplota, teplo, tepelné procesy, tepelná energie, bilance tepla

Tepelné procesy: změny teploty, ale také tlaku a/nebo objemu.

Stavové chování – tyto změny nejsou nezávislé ! (stavová rovnice ideálního plynu)

Změna skupenství – fázové rovnováhy

Změna objemu a tlaku – doprovázeny přeměnami energie, souvisejícími s objemovou prací (důležité, pokud v systému vystupují plyny a páry).

Kondenzované fáze (kapaliny, pevné látky) – objemová práce zanedbatelná.

Energie elektrická – většinou se 100% účinností přeměna na teplo

Proč entalpická (NE energetická) bilance

Dá se jednoduše prokázat (skripta), že složky mechanické energie (potenciální a kinetická) se v případech které bilancujeme při běžných operacích v chemických technologiích jsou zanedbatelné.

První věta termodynamická

$dU = dQ + dW$, akumulace = vstup + vstup

dU změna vnitřní energie,

dQ teplo převedené z okolí do systému

dW práce vykonaná okolím na systém

po úpravách a zavedení předpokladu $dW = -pdV$ (koná se pouze vratná objemová práce) a pro uzavřený izochorický systém $dV=0$) dostaneme

$dU = dQ$, akumulace = vstup

Definuje se nová stavová veličina entalpie H

$$H = U + pV$$

Po úpravách a dosazení do první věty termodynamické dostaneme

$$dH = dQ + Vdp$$
 , akumulace = vstup + vstup

pro izobarické a izochorické systémy

$$dU = dH = dQ$$

a integrací v čase se získá

$H_{kon} - H_{poč} = Q$ (konečné množství) – (počáteční množství) = (vstup)

Kde H_{kon} , resp $H_{poč}$ je entalpie systému na konci resp na počátku bilančního období a Q je celkové množství tepla, které do systému vstoupilo za bilanční období z okolí.

Platnost rovnice: uzavřený izobarický bilanční systém a konečné bilanční období

Bilance entalpie otevřeného systému

otevřený bilanční systém/uzel – diskrétní vstupy a výstupy (proudy)

poč.H + součet vstupů H + vstup Q + zdroj Q = součet výstupů H + konečná H

Zdroj tepla: např. disipace mech.

Příklady – řešené úlohy skripta

2. Hydromechanické procesy.

- voda fascinovala člověka vždy, proudění, „živá voda“,
- na druhé straně „ničící živel“
- snaha porozumět, využít

Tekutiny:

- kapaliny
- plyny
- páry

stlačitelnost – vzdálenosti mezi molekulami

Síly obecně působící v tekutinách:

- síly objemové (hmotnostní), úměrné objemu / hmotnosti. Např. gravitační, odstředivá, magnetická, ...
- síly plošné, působí na plochy – reálné, smyšlené (fázové rozhraní, stěna trubky, ..., myšlené rozhraní mezi vrstvami tekutiny. Plošná síla – vždy vektor, má směr.
Normálová složka – tlaková síla, tečná složka – síla smyková

obrázek

Hydrostatika

Tekutina v klidu – neexistují smykové síly.

Základní zákon hydrostatiky – napětí v kapalině je vždy kolmé na libovolnou plochu uvnitř tekutiny, kolmá síla na jednotku plochy = tlak, $dF = p dA$.

Základní vztahy - doplnit

Příklady skripta str.41, 42

Hydrodynamika, proudění tekutin

Proudění podél pevné nehybné stěny – rychlostní profil

Newtonův zákon pro viskozitu

Newtonovské tekutiny

Nenewtonovské tekutiny

Rovnice kontinuity (bilance hmotnosti)

Bernoulliho rovnice (bilance mechanické energie)

Součinitel tření

Bezrozměrná kritéria podobnosti

Bezrozměrné geometrické simplexxy

Laminární proudění

Skripta str.43

Doprava kapalin

Potřeba dopravovat kapaliny – všude kolem nás, vodovod , ropovod, technologické operace

Chemické technologie:

základní aparatura možné uspořádání:

- vertikální uspořádání, samospád – pro transport používám hydrostatickou energii, omezení
- horizontální uspořádání – pro transport musím dodat energii – čerpadlo

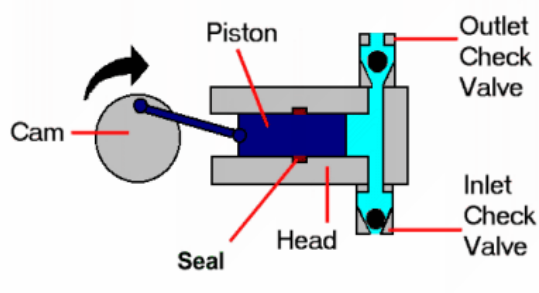
často kombinace

Základní dělení čerpadel:

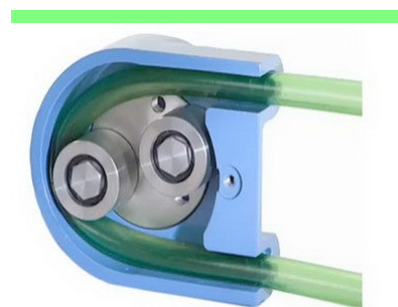
1. Hydrostatická čerpadla:

Přeměna mechanické energie na tlak přímo na pracovním prvku čerpadla

Pístové, membránové, zubové, lamelové, hadicové, vřetonové

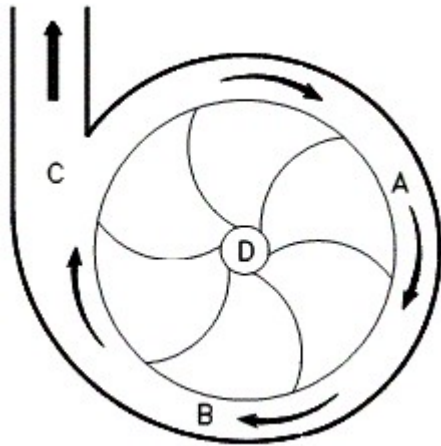


Pístové čerpadlo



Hadicové čerpadlo

2. Hydrodynamické Odstředivá čerpadla



U odstředivých čerpadel je kapalina po vstupu do oběžného kola unášena lopatkami a odstředivou silou tlačena radiálně k obvodu kola. Zvyšuje se rychlost a tlak kapaliny. Na obvodu kola je největší obvodová rychlost a z toho vyplývá, že kapalina zde má největší kinetickou energii. Tuto energii kapalina získala od motoru, který pohání oběžné kolo. Z oběžného kola kapalina přechází do difuzoru a dále do spirálové skříně. V těchto částech se rozšiřuje průtočný průřez, tím se snižuje rychlost kapaliny (rovnice kontinuity) a stoupá tlak – dle zákona zachování energie (Bernoulliho rovnice). Lopatky difuzoru usměrňují proud kapaliny z oběžného kola, omezují její víření a tím se zlepšuje účinnost stroje. Proto jsou lopatky difuzoru zakřiveny tak, aby k nim byl vektor výstupní rychlosti z oběžného kola tečný. V řadě případů však difuzor není použit a kapalina z oběžného kola přechází přímo do spirálové skříně.

Podle konstrukce - axiální, radiální

Vyšší tlaky – víceúhňová

Příklady: firemní literatura, prospekty

Pro návrh technologického uzlu s čerpadlem potřebujeme:

Charakteristika čerpadel a potrubí:

charakteristika čerpadla - experimentálně

charakteristika potrubí - počítá se

Grafické znázornění, průsečík křivek – *pracovní bod*

Ilustrovat na příkladech z prospektů

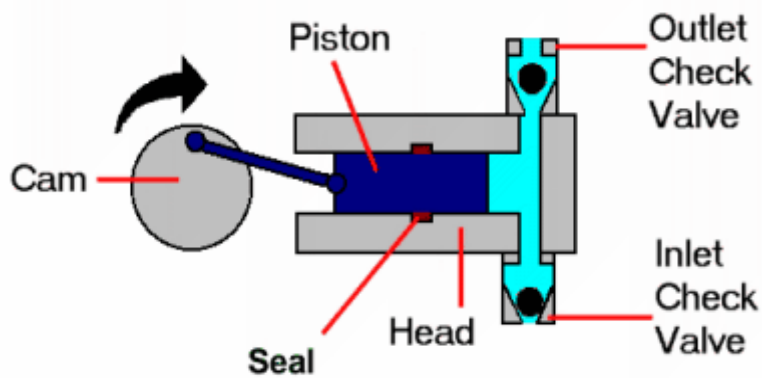
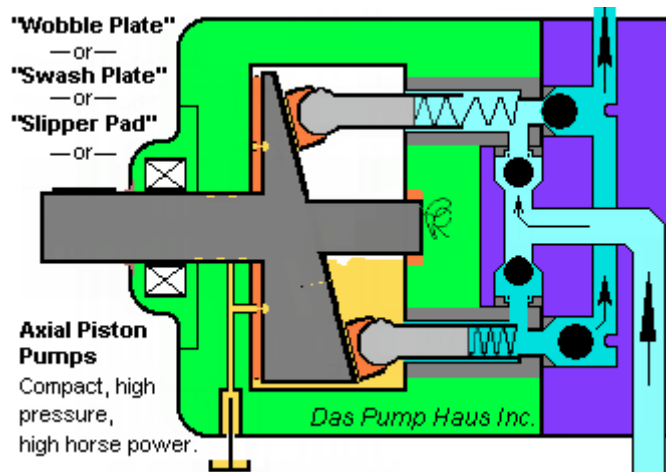
Řízení čerpacího systému změnou charakteristiky čerpadla:

Hydrostatická čerpadla-jen změnou objemového průtoku

Hydrodynamická čerpadla – jak změnou průtoku, tak změnou měrné energie

Řízení čerpacího systému změnou charakteristiky potrubí:

Škracení – jen hydrodynamická čerpadla



<http://druhy-cerpadel.cz/hydrostaticka/s-kmitavym-pohybem/>

http://www.eamos.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=15&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=15&id_set_test=&search=&kat=&startpos=6

3. FILTRACE

Doplnit

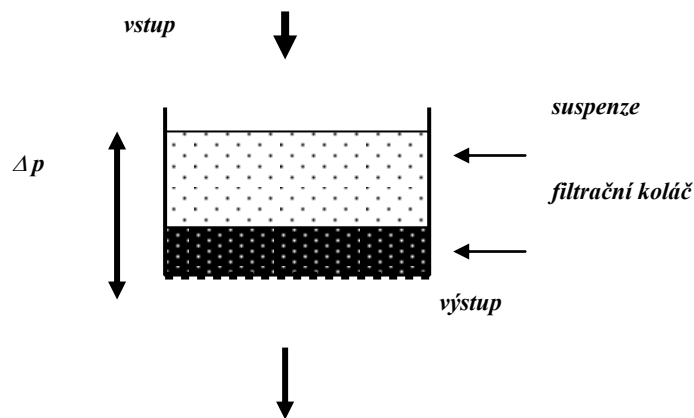
Přenos laboratorních výsledků

Obrázky-z firemní literatury

- jedna ze základních jednotkových operací
- odstraňování pevných částic z kapalin nebo plynů pomocí filtrační přepážky
- účel: získat čistou tekutinu
 - získat pevné částice
 - získat obojí

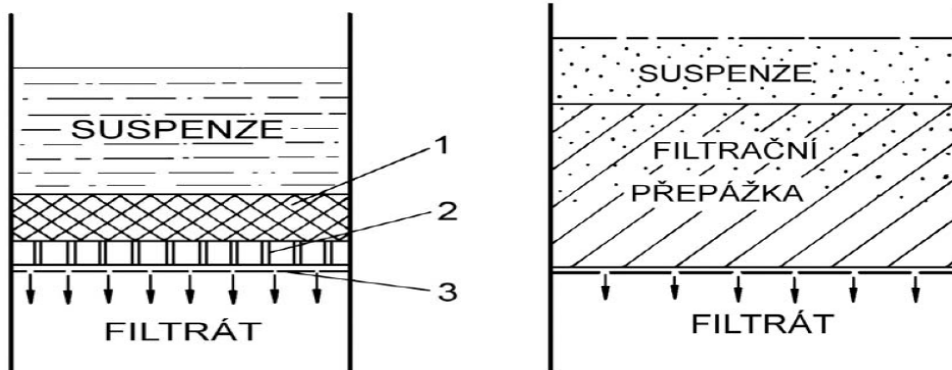
Obecný princip filtrace

Náčrt



způsoby filtrace

- koláčová XXX účel
- hloubková
- s křížovým tokem („cross flow“), membránové filtrace,



Hybná síla filtrace

- tlakový rozdíl mezi horním povrchem filtračního koláče a spodním povrchem filtrační přepážky,
- = filtrační rozdíl tlaků
- nosný rošt (podpůrná deska) zpravidla vykazuje zanedbatelný hydraulický odpor

Vytváření filtračního rozdílů tlaků

- hydrostatickým tlakem
- zvyšováním tlaku nad hladinou suspenze, *tlaková filtrace*
- snižováním tlaku pod filtrační přepážkou, *vakuová filtrace*
- čerpání do filtru pomocí čerpadla
- odstředivou silou – *filtrační odstředivky*

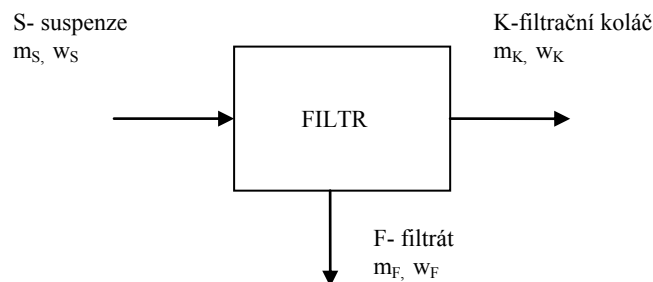
Průběh (etapy) filtračního procesu (koláčová filtrace)

1. *Vlastní filtrace* – vytváří se filtrační koláč a filtrát.
2. *Promývání filtračního koláče* promývací kapalinou, odstranění nežádoucích rozpustných složek (nečistot)
3. *Odstranění vlhkosti z koláče*. Původní nebo promývací kapalina se odstraní – profouknutí vzduchem, stlačením koláče.
4. *Částečné/úplné sušení filtračního koláče* sušicím plynem
5. *Vyjmutí filtračního koláče z filtru*
6. *Příprava filtru na další filtraci* (rozebrání, čištění, výměna/vyčištění filtrační přepážky, sestavení filtru)

Filtrační přepážky

- vrstvy zrnitých materiálů (pískové filtry, filtrační hlinky, křemelina,..)
- vrstvy vláknitých materiálů (skleněná, celulózová vlákna, vlákna ze syntetických materiálů, ...) – nanesou se na perforovanou nosnou přepážku
- papírové materiály
- porézní kompaktní materiály – řízená porozita
 - o porézní (sintrované, spékané kovy, porézní sklo – frity)
 - o keramické (desky, trubky=filtrační svíčka)
- tkaniny z přírodních nebo syntetických vláken
 - o filtrační plachetky
 - o netkané materiály (plsti z textilních, syntetických, grafitových vláken)
- perforované desky, síta – kovové a syntetické polymerní materiály s definovanou strukturou a morfologií pórů
- speciální filtrační membrány

Materiálová bilance:



bilanční systém – filtr

bilanční období – doba jednoho filtračního cyklu, nebo ustálený stav(kontinuální)

$$m_s = m_K + m_F$$

obdobně : *balance tuhé fáze*
balance kapaliny

Kinetika filtrace:

rychlost filtrace = hybná síla / odpor filtru

odpor filtru = odpor filtr. koláče + odpor filtrační přepážky
filtrační koláč nestlačitelný, stlačitelný

- *filtrace při konstantním rozdílu tlaku*
- *filtrace při konstantní rychlosti*

doplnit – skripta

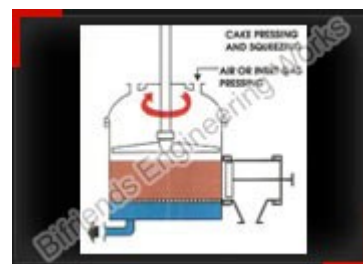
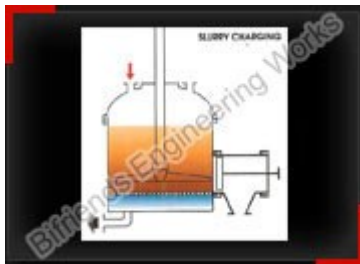
Zařízení:

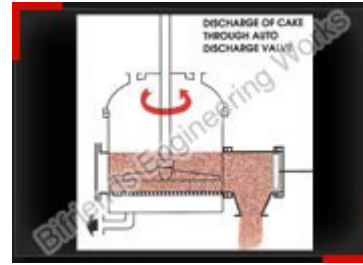
Obrázky
Prospekty

<http://www.rousselet.cz/principy.html>

Speciální zařízení:

- **sušící filtr**, více operací v jednom zařízení: filtrace, promatí/vymívání, sušení (některé typy umožňují i provedení chemické reakce, rozmělnění aglomerátů produktu)





4. Mísení, míchání

MÍCHÁNÍ

- patří mezi nejvíc používané operace v chemickém průmyslu (resp . příbuzných oborech, potravinářský, výroba kosmetiky, farmaceutických přípravků, ...)
- hlavní cíle:
 - o odstranění nehomogenity
 - koncentrační,
 - fázová,
 - teplotní,
 - tvarová, distribuce velikosti částic
 - o zlepšení sdílení hmoty a tepla

Z hlediska zpracovávaného materiálu rozlišujeme:

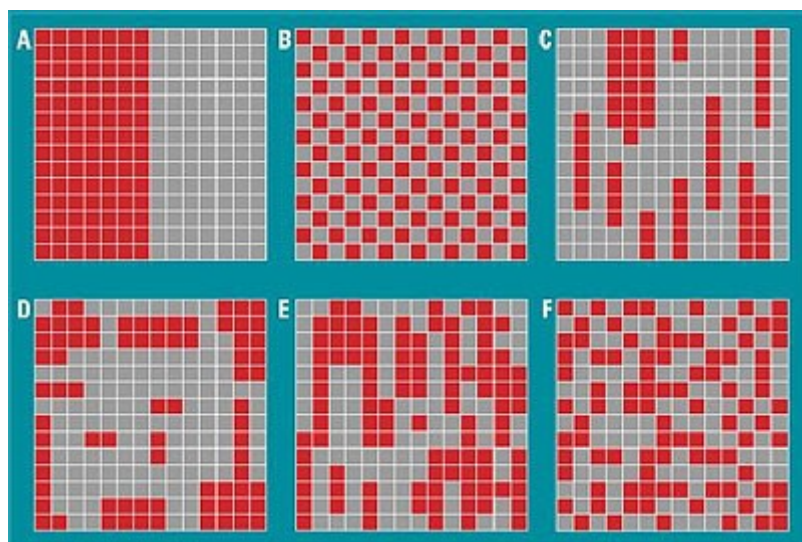
- mísení pevných zrnitých materiálů
- míchání v kapalném prostředí (kapaliny, emulze, suspenze,)

MÍSENÍ PEVNÝCH ZRNITÝCH MATERIÁLŮ

Příprava směsí z různých přísad:

- potravinářský průmysl
- farmaceutický průmysl
- výroba krmných směsí
- výroba dezinfekčních prostředků, ...

Sypké směsi – nelze dosáhnout dokonalého smísení (vzájemně mísitelné kapaliny ano), aby všechny vzorky odebrané v různých místech měly stejné složení.



A: dokonalé rozdělení

B: ideální směs (v praxi nedosažitelné)

C, D, E: reálné směsi

F:

Charakter sypké směsi: dvě nebo více složek, každá složka je soubor zrn, který se při dynamickém pochodu mísení chová stejně (příčemž každé zrno může být složeno z různých chemických sloučenin).

Vlastnosti zrna:

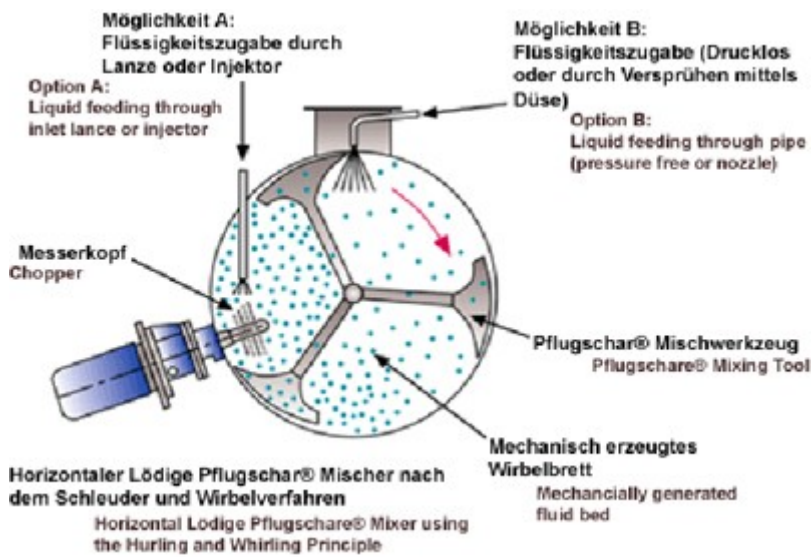
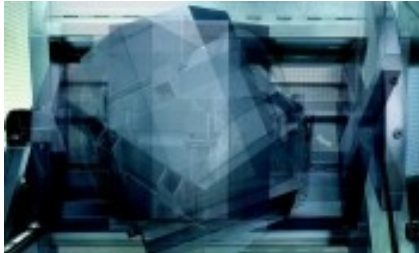
- tvar

- hmotnost
- mechanická pevnost (drobení, otěr,...)
- obsah vlhkosti,
- tepelná stálost
- vlastnosti povrchu (velikost povrchu, sklon nabíjet se el. nábojem – sklon k shlukování, ...)

Složitý proces, výsledek – náhodný stav, u směsí s rozdílnými vlastnostmi zrn – rozduřování („čím delší doba míchání, tím vyšší stupeň separace částic“)

Zařízení:

Nahradiť obr. schématem- princip 3D míchačů – www.wab.ch , stáhnout leaflet



Příklady, firemní literatura, prospekty

MÍCHÁNÍ V KAPALNÉM PROSTŘEDÍ

Velmi rozšířený proces, i v běžném životě od narození (sunar) po celý život (káva)

Návrh jednotkové operace míchání :

- malá zařízení, poměrně snadná záležitost
- velké míchané nádoby, příkon míchadla řádově 100kW: abychom dosáhly požadované parametry s co nejmenšími energetickými nároky je složitý proces.

Dnes – účinné SW prostředky

Podle požadovaného cíle můžeme míchání rozdělit:

1. Homogenizace

Promíchávání navzájem mísitelných kapalin.

- v malém měřítku jednoduchý proces,
- velké měřítko, značně rozdílné viskozity homogenizovaných kapalin – může způsobovat značné obtíže

Lze hodnotit **stupněm homogenity** (nemusí být vztažen pouze na koncentraci, ale např na teplotu, barvu,...).

- vztah dosažené hodnoty hodnocené veličiny při dokonalém promíchání (vypočítaná hodnota) a hodnoty dosažené v daném čase, hodnota se mění od 1 do 0.

V literatuře jsou pro různá míchadla publikované kritériální rovnice, vyjadřující závislost stupně homogenity na čase (platí pro dané míchadlo, geometrické uspořádání, typ nádoby,...)

2. Suspendace

Systém kapalina – tuhá fáze, cílem je udržet tuhé částice ve vznosu.

Tím se dosáhne zlepšení přestupu hmoty mezi fázemi

- rozpouštění, krystalizace
- adsorpce,
- katalytické reakce

nebo se připravují suspenze pro další zpracování

- lékové formy
- nanášení ochranných povlaků (smaltování, plasty – „teflonové pánve“)

Při návrhu dva parametry:

- první kritická frekvence otáčení (žádná částice nezůstane v klidu)
- druhá kritická frekvence otáčení (rovnoměrné rozdělení částic v objemu)

3. Dispergace

Vytvoření dvoufázové soustavy, maximální mezifázový povrch, intenzifikace sdílení hmoty.

Emulgace : kapalina – kapalina

Aerace : kapalina – plyn

Spojité a dispergovaná fáze (v některých případech závisí na systému míchání)

4. Intenzifikace přestupu tepla

Z teorie sdílení tepla je známo, že intenzita výměny tepla je přímo úměrná rychlosti proudění kapaliny.

Mícháním se zvyšuje tepelný výkon zařízení – topení / chlazení, vnější dvojité plášť (duplikace, navařená „půl trubka“), vnitřní had.

Druhy míchadel, použití

Obrázek

Normovaná míchadla

Pomaloběžná:

- na obr. označena 1, 2, 3, 14, 15 a 16
- obvodová rychlost konců lopatek míchadla do $1,5 \text{ m s}^{-1}$,
- pro míchání směsí s vysokou viskozitou,

Rychloběžná:

- na obr. označena 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
- obvodová rychlost 4 až 15 m s^{-1} ,
- pro viskozity odpovídající řádově viskozitě vody

Přechod mezi uvedenými kategoriemi - lopatková míchadla:

- na obr. označena 4, 5
- obvodová rychlost 1,5 až 4 m s^{-1} .

Účinek míchadla na míchanou kapalinu:

Obrázek

Míchaný profil v nádobě – různá míchadla, vliv narážky

- radiální míchadla, např. 4, 8, 9, 10, 12, 13,
- axiální míchadla, např. 5, 6, 7, 11,
- vliv, funkce narážek, typy narážek

volba míchadla:

- pro homogenizaci a suspendaci: míchadla axiální, obvykle směr otáčení takový, aby výstupní proud směřoval ke dnu,
- pro dispergaci: radiální míchadla

Modelování míchání (přenos výsledků z malého, tj. laboratorního nebo poloprovozního měřítka do průmyslových podmínek: Vychází se z poznatku, že pro

- heterogenní směsi platí předpoklad konstantní hodnoty hustoty příkonu $P/V = konst.$
- homogenní směsi platí předpoklad zachování konstantní obvodové rychlosti konců lopatek $nd = konst.$

Při platnosti těchto předpokladů lze odvodit vztah mezi frekvencí otáčení a průměrem míchadla (index d značí dílo, index m model):

- pro heterogenní směsi: $n_d = n_m [d_m / d_d]^{2/3}$
- pro homogenní směsi: $n_d = n_m d_m / d_d$

Míchání ve smaltovaných aparátech:

- tvar míchadla přizpůsoben možnostem smaltování
- konstrukce narážky
- zvláštní konstrukce – systém „cryo lock“

*obrázky – firemní literatura, prospekty
„pharma“ provedení míchadel*

6. Výměníky tepla.

Doplnit – příklady výpočtů

Odparky, filmové odparky – fa VTA

pojmy:

teplo

Teplo je část vnitřní energie, která samovolně přechází z místa s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou. Přesnější (avšak nezavedené) označení pro teplo by byl například pojem *tepelná energie*. Teplo je tedy pojem popisující *proces*, který způsobuje *změnu stavu* systému, na rozdíl od *teploty*, která popisuje *stav* systému.

Základními mechanismy sdílení tepla jsou vedení (kondukce), proudění (konvekce) a sálání (radiace).

Vedením tepla rozumíme přenos tepla v nehybném prostředí prostřednictvím vibrací základních částic hmoty (atomů, molekul). Klasický pokus na prokázání sdílení tepla vedením je ohřev kovové tyče na jednom konci, kdy teplota postupně vzrůstá nejen v místě ohřevu, ale postupně i ve vzdálenějších částech.

O *sdílení tepla prouděním* hovoříme v tekutém prostředí, kde dochází k pohybu větších celků tekutiny buďto samovolně díky rozdílu hustot (s rostoucí teplotou obvykle hustota tekutiny klesá, ohřátá tekutina tak stoupá vzhůru a na její místo přichází chladnější tekutina) – tzv. volná konvekce, anebo je proudění vynuceno působením vnější síly, např. zařazením čerpadla (nucená konvekce).

Ke *sdílení tepla sáláním* může docházet mezi dvěma tělesy o různé teplotě, jestliže teplejší těleso vyzařuje paprsky v infračervené oblasti spektra (a tím se ochlazuje), zatímco chladnější těleso toto záření pohlcuje (a tím se zahřívá). Jedná se tedy o sdílení tepla mezi dvěma systémy (tělesy), které nejsou v přímém kontaktu, musí však mezi nimi být prostředí propustné pro elektromagnetické záření (např. vakuum).

přestup a prostup tepla

Přestup tepla je sdílení tepla z jádra proudící tekutiny na fázové rozhraní (např. stěna zařízení) nebo z jádra proudící tekutiny na fázové rozhraní. Teplo se zde sdílí převážně prouděním. Intenzitu sdílení tepla v daném systému vyjadřujeme pomocí součinitele přestupu tepla.

Prostup tepla je sdílení tepla z jádra teplejší proudící tekutiny do jádra chladnější proudící tekutiny přes fázové rozhraní nebo přes pevnou přepážku. Prostup tepla se obecně skládá ze tří dílčích dějů: z přestupu tepla z jádra teplejší tekutiny na stěnu (fáz. rozhraní), vedení skrze stěnu, a přestupu tepla ze stěny do jádra chladnější tekutiny. Intenzitu sdílení tepla v daném systému vyjadřujeme pomocí součinitele prostupu tepla.

Výměníky tepla:

zařízení, které slouží k výměně tepla mezi dvěma fázemi (obvykle kapalné)
z teplejší se teplo odebírá

do studenější se převádí

technologické systémy : potřebujeme vyhřívát, chladit (reakční směs, úprava teplota vstupujících surovin, operace s fázovými proměnami –odpařování, kondenzace, ...

u velkých systémů – důležitá část návrhu, *úspora energie*

Konstrukce výměníků:

- z hlediska funkce

Rekupační výměníky - výměna tepla mezi tekutinami oddělenými nepropustnou přepážkou. **Materiál přepážky – vysoká tepelná vodivost**
Kontinuální provoz

Regenerační výměníky – výměna tepla prostřednictvím hmoty, která je schopna akumulovat teplo (keramické hmoty, ...). Velké, energeticky náročné technologické celky – tavící pece, cihelny, ...
Přerušovaný proces, většinou periodický

Směšovací výměníky – přímé smíchání teplejší a chladnější tekutiny (příprava teplé vody mícháním s párou)

- z hlediska uspořádání toků

Souproudé výměníky

Protiproudé výměníky

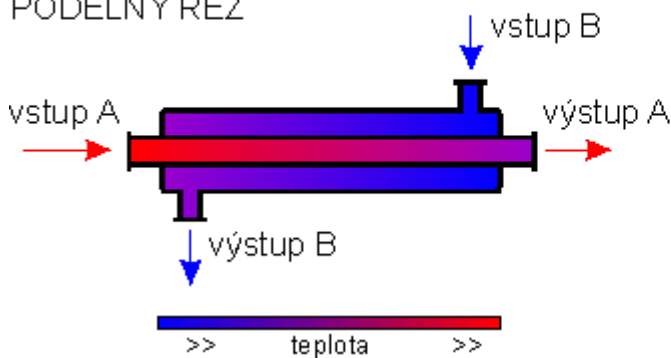
Výměníky s křížovým tokem

V oblasti chemických technologií kterou se zabýváme – převážně rekupační výměníky

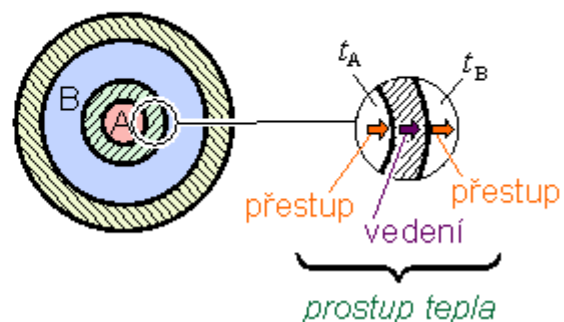
Funkce výměníku tepla

REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍK TEPLA – TRUBKA V TRUBCE

PODÉLNÝ ŘEZ



PŘÍČNÝ ŘEZ



Entalpická bilance

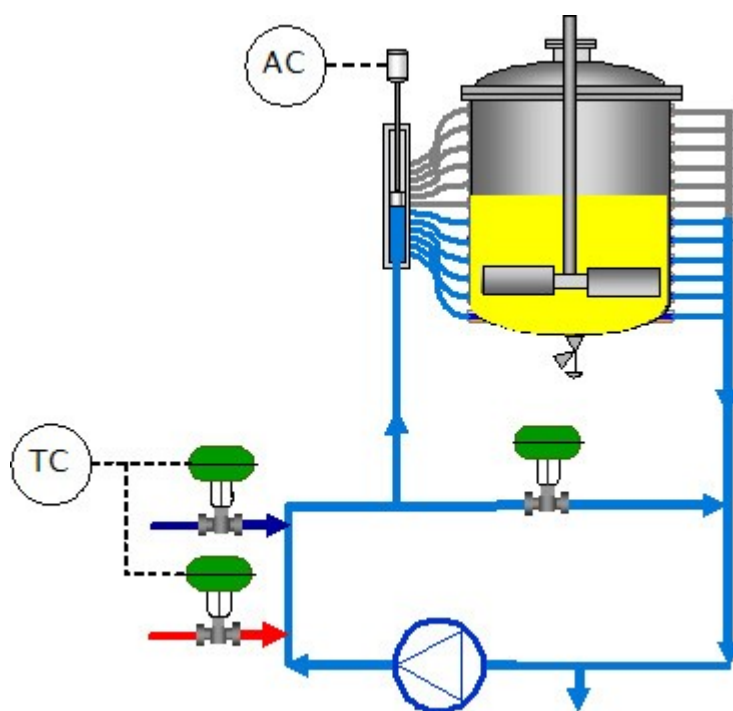
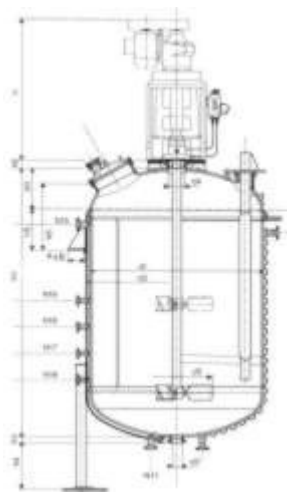
Skripta

Typy výměníků

- duplikace reaktorů
- výměníky –

- trubkové
- deskové

Příklady:

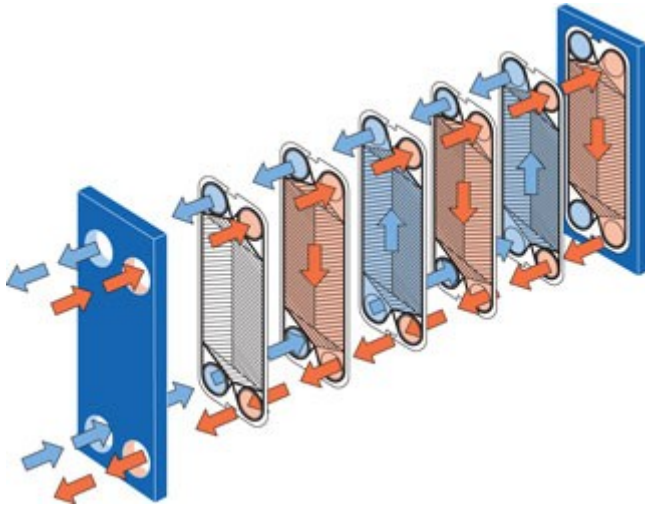


Poznámka: systém na obr. vlevo představuje patentovaný systém COFLUX umožňující plynulou regulaci vyhřívání/chlazení v systémech s duplikací pomocí změny teplosměnné plochy.

Obecný princip funkce deskových výměníků tepla

Deskové tepelné výměníky sestávají ze souboru desek lisovaných z různých materiálů v závislosti na požadavcích aplikace. Mezi deskami - díky jejich profilovanému povrchu - vznikají oddělené kanály pro ohřívání a chlazené médium.

Každá deska je obtékána primárním médiem z jedné strany a sekundárním médiem ze strany druhé. **Mezi jednotlivými médii dochází přes stěnu (materiál) desky k prostupu tepla.**



*Princip funkce deskového výměníku tepla
(na obrázku je rozebíratelný deskový výměník tepla)*

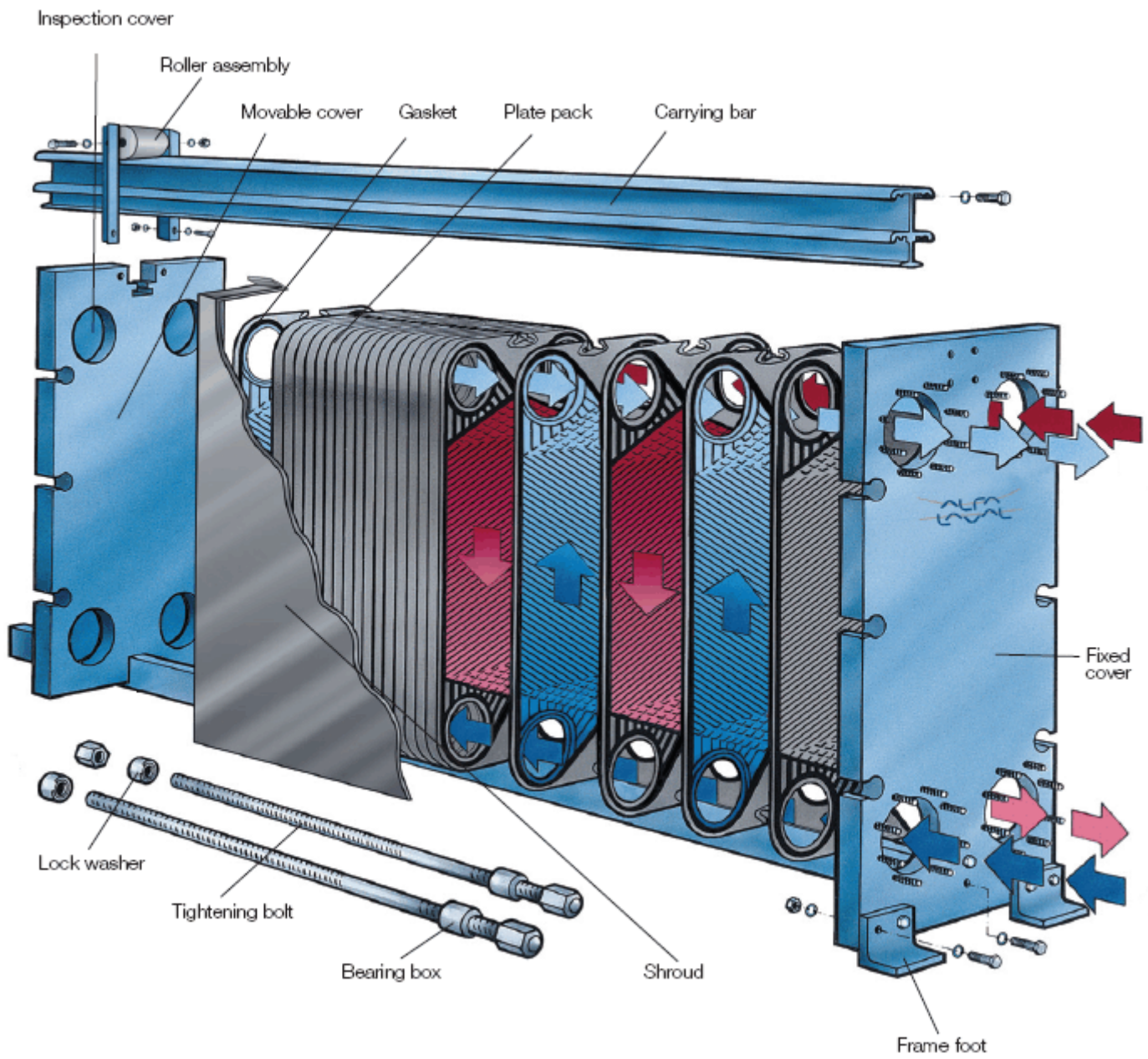
konstrukce desky – prolisy (zvýšení turbulence = intenzivnější prostup tepla), někdy leštěný povrch – snížení tvorby usazenin

rozebíratelné - skládané výměníky, těsnění desek

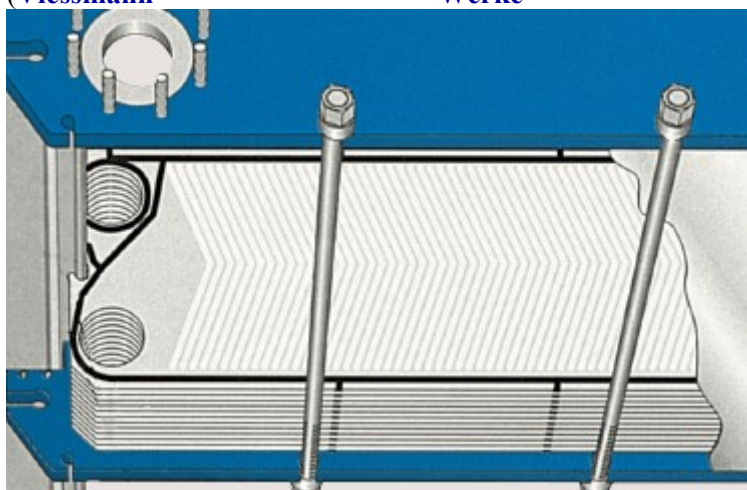
výhody, nevýhody

nerozebíratelné – svařované/pájené výměníky

Princip deskového výměníku (Alfa Laval, SE):



Vlevo: detail desky s těsněním (**Alfa Laval, SE**), vpravo: komerčně dodávaný deskový výměník (**Viessmann Werke GmbH, D**)



Nabídka deskových výměníků společnosti **Alfa Laval, SE**



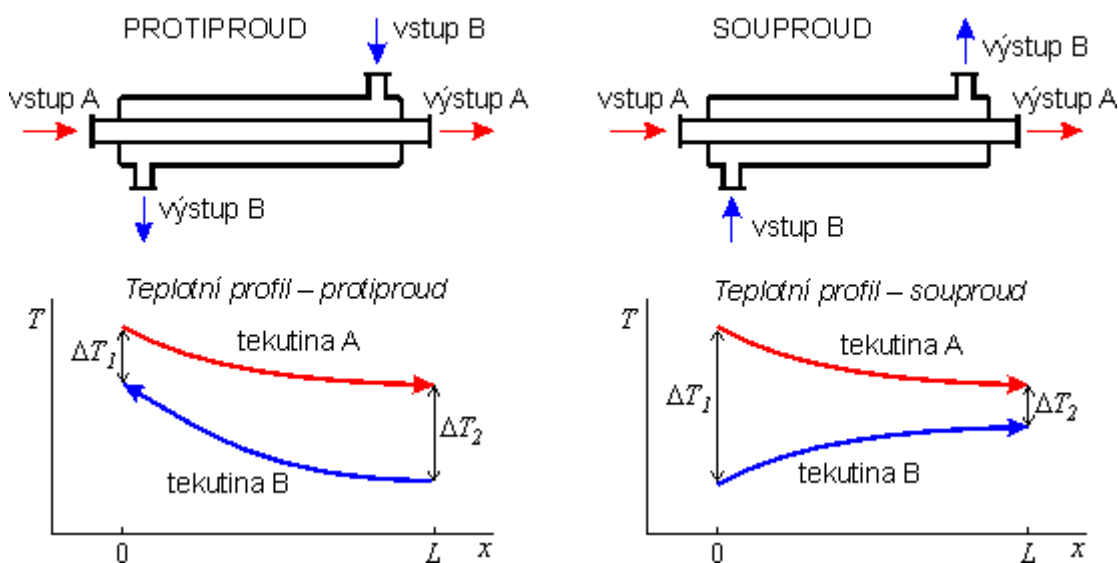
Trubkové výměníky tepla

Mezi trubkové výměníky řadíme výměník trubka v trubce, svazkový výměník, nebo trubkový had.

Trubka v trubce

Konstrukčně nejjednodušší typ výměníku se skládá z vnitřní trubky a pláště. Jedna tekutina proudí vnitřní trubkou, druhá mezitrubkovým prostorem v plášti, teplo se sdílí skrze stěnu vnitřní trubky. Tento výměník může být provozován jako souprůdný nebo protiprůdný.

VÝMĚNÍK TEPLA TRUBKA V TRUBCE – SOUPROUD A PROTIPROUD



Příklad průmyslové realizace výměníku trubka v trubce (E. J. Bowman Ltd., UK)

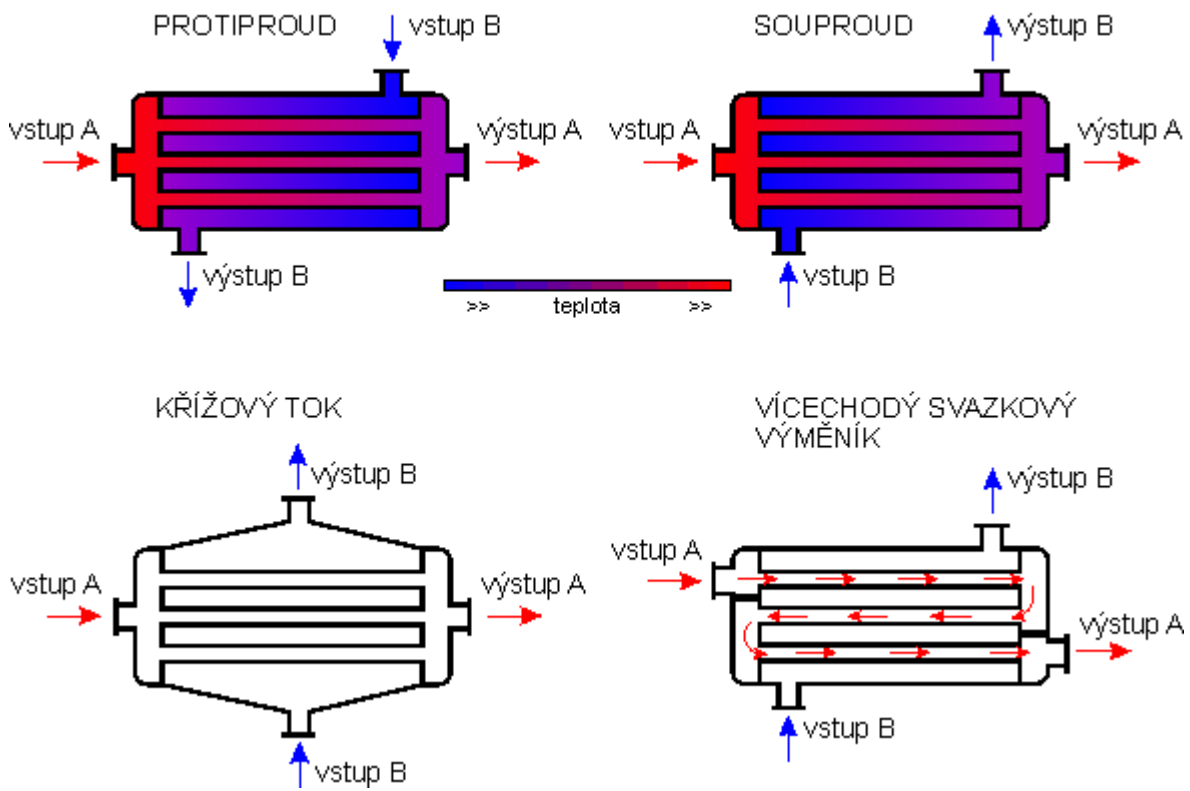


Svazkový výměník

Je-li v plášti umístěno více trubek, hovoříme o svazkovém výměníku tepla. Jedna tekutina je vedena v trubkách, druhá protéká mezitrubkovým prostorem. Tento výměník také může být provozován jako

souproudý nebo protiproudý, umožňuje však i složitější uspořádání, například křížový tok nebo smíšené uspořádání proudů u vícechodých výměníků.

svazkový výměník tepla



Příklad průmyslové realizace svazkového výměníku (MICo, s.r.o., CZ)



Hotový

výměník

(MICo,

s.r.o.,

CZ)



Trubkový had

Obvykle spirálová trubice, již proudí chladicí (nebo ohřívací) médium, používá se často i v laboratorním měřítku např. v termostatech či zpětných chladičích. V průmyslovém měřítku se používá hlavně k zabudování do aparatur (např. reaktoru).

Nerezový

trubkový

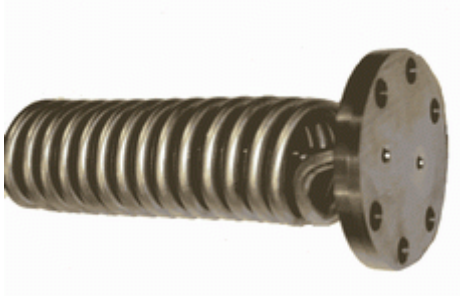
had

(Sentry

Equipment

Corp.,

WI/USA)



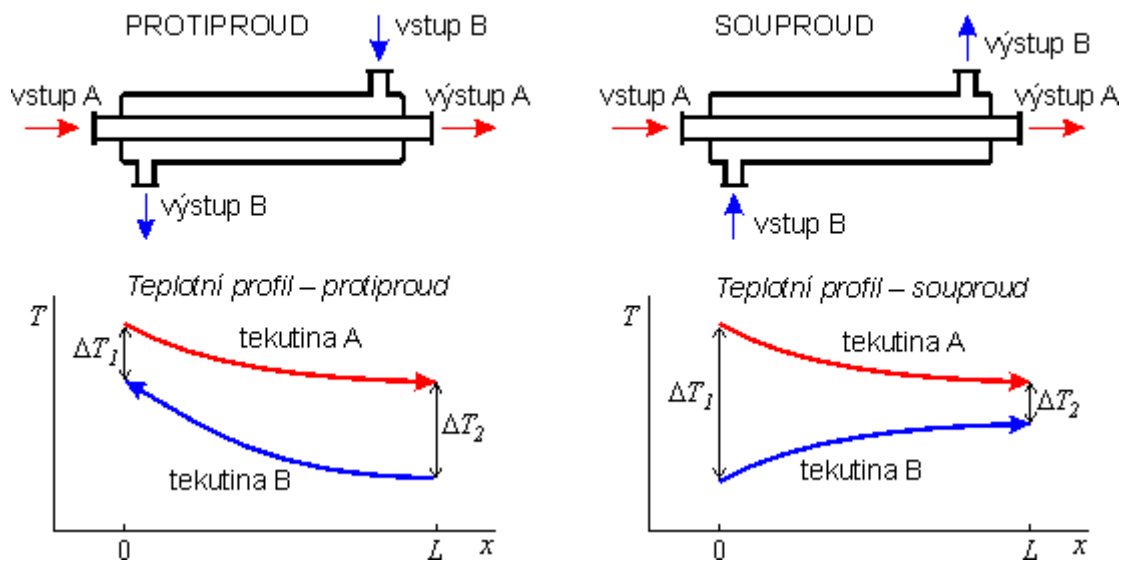
Trubkové výměníky tepla

Mezi trubkové výměníky řadíme výměník trubka v trubce, svazkový výměník, nebo trubkový had.

Trubka v trubce

Konstrukčně nejjednodušší typ výměníku se skládá z vnitřní trubky a pláště. Jedna tekutina proudí vnitřní trubkou, druhá mezitrubkovým prostorem v plášti, teplo se sdílí skrze stěnu vnitřní trubky. Tento výměník může být provozován jako souprůdný nebo protiprůdný.

VÝMĚNÍK TEPLA TRUBKA V TRUBCE – SOUPROUD A PROTIPROUD



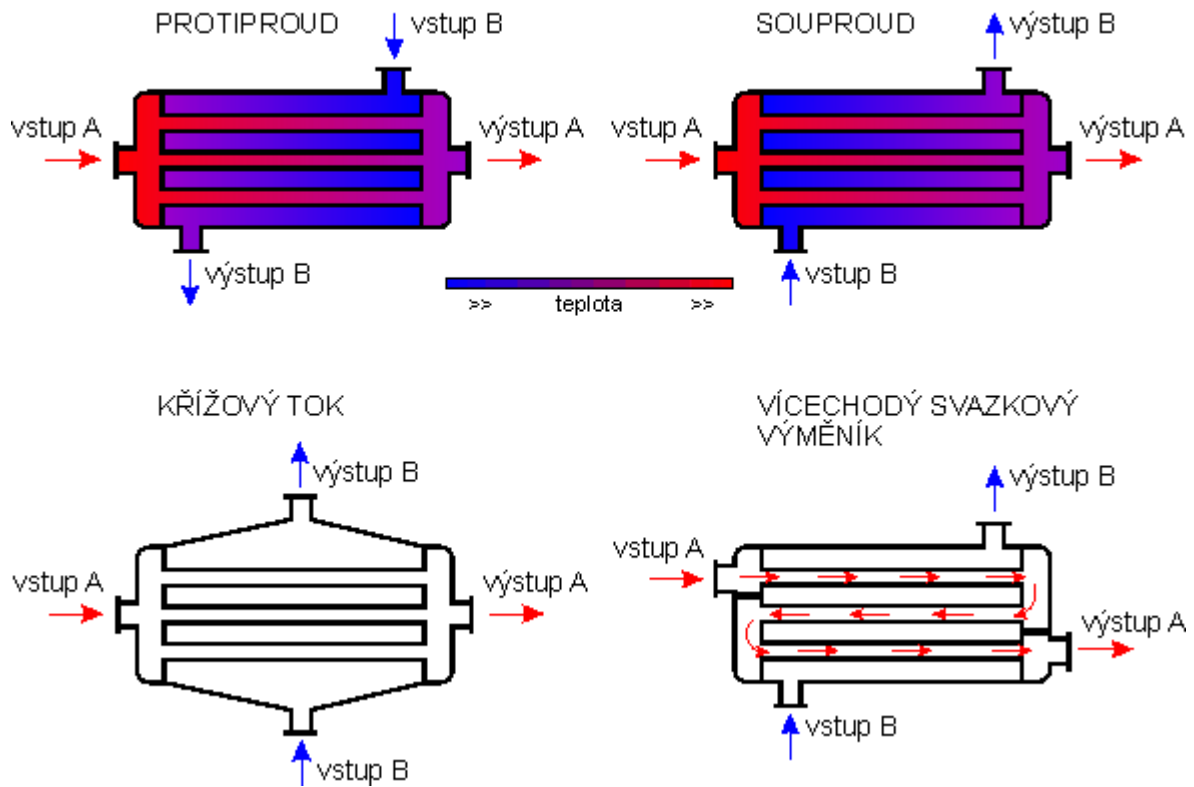
Příklad průmyslové realizace výměníku trubka v trubce (E. J. Bowman Ltd., UK)



Svazkový výměník

Je-li v plášti umístěno více trubek, hovoříme o svazkovém výměníku tepla. Jedna tekutina je vedena v trubkách, druhá protéká mezitrubkovým prostorem. Tento výměník také může být provozován jako souproutý nebo protiproutý, umožňuje však i složitější uspořádání, například křížový tok nebo smíšené uspořádání proudů u vícechodých výměníků.

svazkový výměník tepla



Příklad průmyslové realizace svazkového výměníku (MICo, s.r.o., CZ)



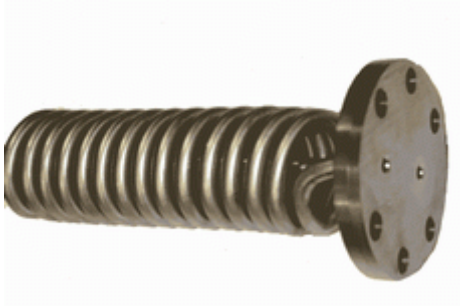
Hotový výměník (MICo, s.r.o., CZ)



Trubkový had

Obvykle spirálová trubice, již proudí chladicí (nebo ohřívací) médium, používá se často i v laboratorním měřítku např. v termostatech či zpětných chladičích. V průmyslovém měřítku se používá hlavně k zabudování do aparatur (např. reaktoru).

Nerezový trubkový had (Sentry Equipment Corp., WI/USA)



Příklady výpočtů – text, skripta

Dva typy výpočtů – konstrukční (rozměry výměníku)
- kontrolní (výstupní teploty)

7. Destilace a rektifikace

Destilace je základní separační proces pro látky v kapalně a parní fázi. Principem destilace je výměna látek mezi kapalnou a parní fází, při stejné teplotě obou fází.

Rektifikace je proces opakované destilace, která probíhá ve vertikální koloně, kde při stupňovitém (patrové kolony) nebo spojitým kontaktu (plněné kolony) dochází k postupnému obohacování parní fáze o těkavější složku.

Zde se budeme zabývat pro jednoduchost dvousložkovými směsmi, složky označujeme **A** resp. **B**, složka **A** je těkavější. Platí tedy $T_{bA} < T_{bB}$.

Třídění destilačních procesů z pohledu provedení:

DESTILACE		
	kontinuální	periodická
Jednostupňová	rovnovážná destilace	(diferenciální), vsádková destilace
Vícetupňová	rektifikace	periodická rektifikace

Rovnováha kapalina pára:

Opakování z fyzikální chemie:

- dvousložkové soustavy, ideální chování
- platí Raoultův zákon,

$$y_A p = p_A^\circ(T) x_A$$

$$y_B p = p_B^\circ(T) x_B$$

kde p je tlak a $p_A^\circ(T)$ resp. $p_B^\circ(T)$ je tlak par čisté složky při teplotě T – jinak *tenze par*.

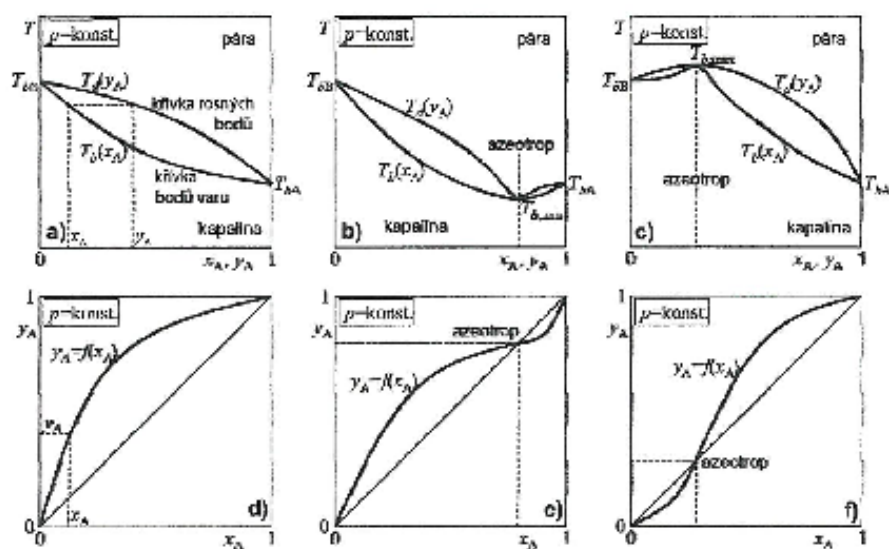
Dále platí:

$$x_B = 1 - x_A \quad \text{a} \quad y_B = 1 - y_A$$

- relativní těkavost složky **A** k složce **B**

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A / x_A}{y_B / x_B}$$

- azeotropická směs - relativní těkavost je jen v určitém rozsahu koncentrací větší než 1. Směs, pro kterou je rovnovážné složení v kapalně a parní fázi stejné se nazývá azeotrop.



V praxi se vyskytují **VÍCE** reálné systémy, vícesložkové – speciální oblasti fyzikální chemie. Existují složité empirické vztahy a experimentálně naměřené hodnoty konstant pro počítačové zpracování. Používá se v programech pro výpočet rektifikačních kolon.

Jednotlivé typy destilačních pochodů:

Pr07. difuze

Mžiková destilace, diferenciální destilace, rektifikace

Molekulová destilace:

- oddělování cenných těkavých složek, malá koncentrace ve směsi,
- získávání látek s vysokým stupněm čistoty

Snížení tlaku – zvýší se volná dráha molekul

Zmenšení vzdálenosti výparná plocha – kondenzátor, méně srážek molekul, do kapaliny se vrací méně odpařených molekul

Pojmy:

Rovnovážná/mžiková/flash destilace

Rektifikace

Obohacovací část

Ochudňovací část

Zpětný tok/reflex

Názorný obrázek RK – ozřejmit pojmy

Bilance, výpočty příklady, texty

Texty str.267 – mžiková destilace

Kontinuální rektifikace

- grafická metoda, McCabeova – Thielova rovnovážná křivka, pracovní přímka (obohacovací část, ochudňovací část), q – přímka, charakterizuje enalpický stav nástřiku

příklad konstrukce McCabe_Thielovy metody

texty str. 272,
Náplňové kolony – H_{ETP} , výška výplně ekvivalentní teoretickému stupni

Vsádková rektifikace
Kvalita destilátu – uměna zpětného toku
Kontrola pomocí teploty na hlavě
Základní vztahy
Zařízení:

Pr07.difuze

Kotlová destilace,
Rektifikační kolony
Vsádková rektifikace

Příklady: firemní literatura, prospekty

Kapitola 8: Extrakce. Sušení

EXTRAKCE

Extrakce je separační metoda založená na předpokladu, že jedna nebo více kapalných nebo pevných látek, které chceme separovat, se rozpouští v kapalině, která se s původní směsí nemísí, nebo se mísí jen omezeně. Používá se v chemickém, petrochemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu.

Studenti si jistě dokáží představit řadu příkladů z jednotlivých průmyslových odvětví.

V poslední době se často používá tzv. superkritická extrakce, kdy se místo kapalného extrakčního činidla používá plyn v nadkritickém stavu.

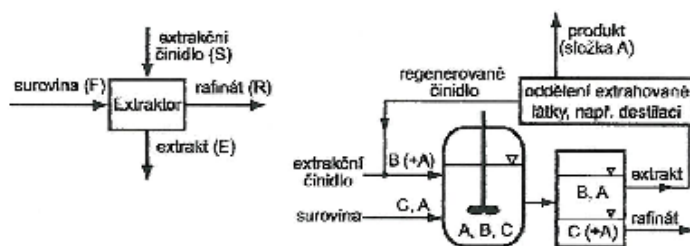
Proces, při kterém se extrahuje pevná látka kapalinou se označuje jako *vyluhování*. Typickým příkladem použití je extrakce léčivých látek z rostlin ve farmaceutickém průmyslu.

Pojmy:

- extrahovaná látka
- rozpouštědlo ve kterém je extrahovaná látka rozpuštěná (v případě extrakce z tuhé fáze je to inertní součást tuhé fáze)
- extrakční činidlo
- extrakt, rafinát

Označíme:

- A – extrahovaná složka (ta, kterou chceme separovat z původní směsi)
- C – původní rozpouštědlo (v případě extrakce z pevné fáze inert)
- F – surovina (obsahuje A a C)
- S – extrakční činidlo
- B – přidávané rozpouštědlo, tvoří složku S (v případě, že používáme regenerované rozpouštědlo je v S obsažena i složka A)
- E – extrakt (převážně přidávané rozpouštědlo B a extrahovaná složka A)
- R – rafinát, převážně původní rozpouštědlo C (resp. inert pevné fáze)



Obr. 13.1: Princip kapalínové extrakce

Extrakce kapalina – kapalina s dokonale nemísitelnými rozpouštědly:
předpoklady

- vsádkový proces, dvě varianty
 - o jednostupňový
 - o vícestupňový s opakovaným přívodem čerstvého rozpouštědla
- obě fáze jsou po skončení procesu vzájemně v rovnováze

- obě fáze jsou po skončení procesu dokonale separovány
- základní komponenty obou fází - rozpouštědlo a extrakční činidlo nemohou přecházet do druhé fáze

Surovina F a extrakční činidlo se smíchají v extraktoru. Po předepsané době kontaktu se oddělí extrakt E od rafinátu R.

Z extraktu se separovaná složka A získá např. destilací.

Fázová rovnováha sloužící k popisu procesu extrakce udává vzájemnou rozpustnost všech tří složek A, B, C. Předpokládáme vzájemnou nerozpustnost složek B a C, rovnováha určuje rozdělení extrahované složky A mezi původní rozpouštědlo C a přidávané rozpouštědlo (extrakční činidlo) B.

Rovnovážná data se dají nalézt v odborné literatuře, nebo se dají naměřit experimentálně.

Způsob vyjádření fázové rovnováhy:

- y = molární (u - hmotnostní) zlomek extrahované složky v extraktu (obsahuje extrakční činidlo a extrahovanou složku)
- x = molární (w - hmotnostní) zlomek extrahované složky v rafinátu (obsahuje původní rozpouštědlo resp. inertní (nerozpustnou) tuhou fázi)

Naměřená rovnovážná data přepočítáváme na funkční závislost

$$y = f(x)$$

v nejjednodušším případě lineární závislost:

$$y = Kx, \text{ kde } K \text{ je rozdělovací koeficient}$$

Bilance:

- *předpoklad* extrakční činidlo neobsahuje extrahovanou složku A ($y_{S1}=0$)

extrahované složky A

$$n_F x_F = n_{E1} y_1 + n_{R1} x_1$$

extrakčního činidla B

$$n_{S1} = n_{B1} = n_{E1} (1 - y_1)$$

rozpouštědla C

$$n_F (1 - x_F) = n_{R1} (1 - x_1) = n_C$$

Zadáno:

- množství a složení nástřiku n_F, x_F
- množství extrakčního činidla n_{S1}

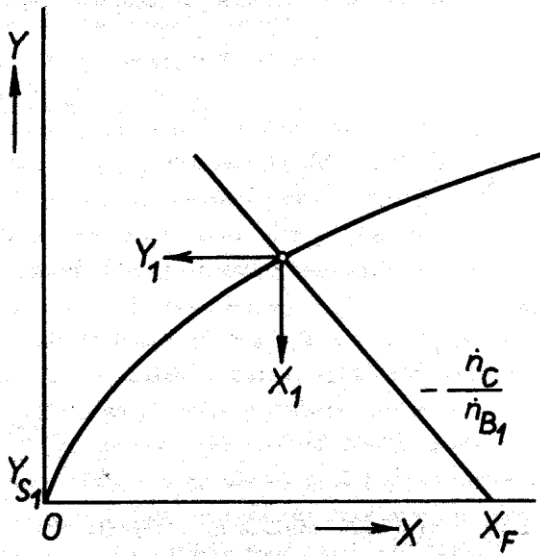
zbývají čtyři neznámé, máme tři rovnice.

Dodatečný vztah – rovnováha $y=F(x)$

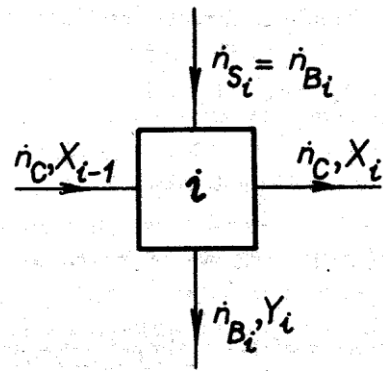
Úpravami (vyjádření pomocí relativních zlomků) dostaneme

$$Y_1 = X_1 + (n_C/n_{B1}) X_F$$

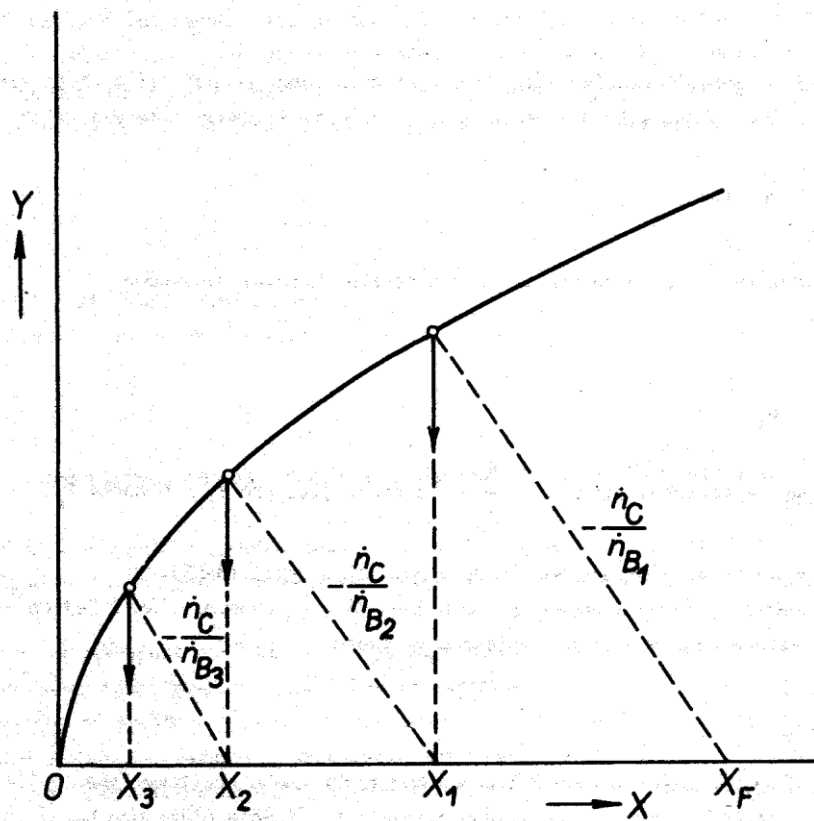
Rovnice přímky, směrnice $-(n_C/n_{B1})$, pro $Y_1=0$ prochází bodem X_F



Obr. 3-15 Grafické řešení jednostupňové extrakce s nemísitelnými rozpouštědly



Obr. 3-16 Opakovaná extrakce - 1-tý člen



Obr. 3-17 Grafické řešení opakované extrakce

Rovnovážný stupeň – nerovnovážný stupeň – účinnost stupně

Protiproudá extrakce: obr.13.11, str.217

Extrakce z tuhé fáze / vyluhování:

- neplatí předpoklad dokonalé nemísitelnosti
- tuhá fáze porézní, nelze dokonale oddělit tuhou a kapalnou fází.

Do bilancí se zavádí parametr ε = kg extrakčního činidla/kg inerty tuhé fáze.

Farmacie, léčivé rostliny, živočišné tkáně

Potravinářství

Historie - barvářství

Extrahovaná látka – součást stavby rostlinné/živočišné tkáně

Transport na povrch – extrakce do rozpouštědla

Intenzifikace –

- mechanické narušení – mletí, řezání
- vlhčení / bobtnání (narušení buněčných stěn)

Způsoby provedení:

- macerace
- digesce (za tepla)
- perkolace

Superkritická extrakce:

http://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=10146521&xcid=x3105&locale=en_CZ

Plyny v nadkritické oblasti,

Farmacie – nejen jako izolace, ale technologie využívající SCF's i pro získávání látek se specifickou distribucí velikosti částic.

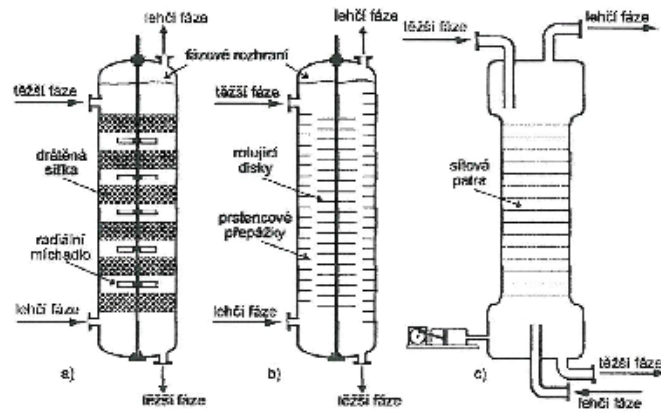
Potravinářství:

- různé technologie od... (káva bez kofeinu, sušený žloutek bez cholesterolu, ...),
- extrakty z koření
- chmelový extrakt – (velký byznys)

(globalizovaný svět – nepřevážíme velké objemy chmele, koření, ... ale malé objemy extraktů)

Zařízení:

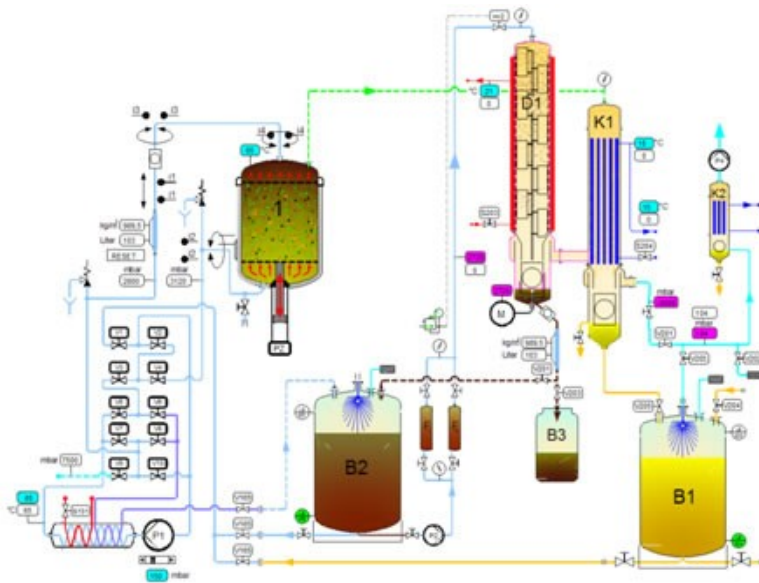
- kapalina – kapalina
 - o vsádkové
 - o kontinuální

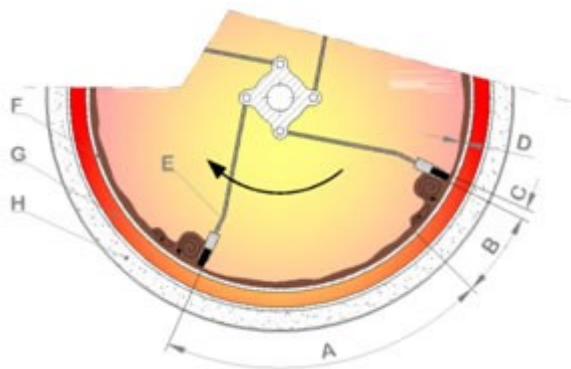
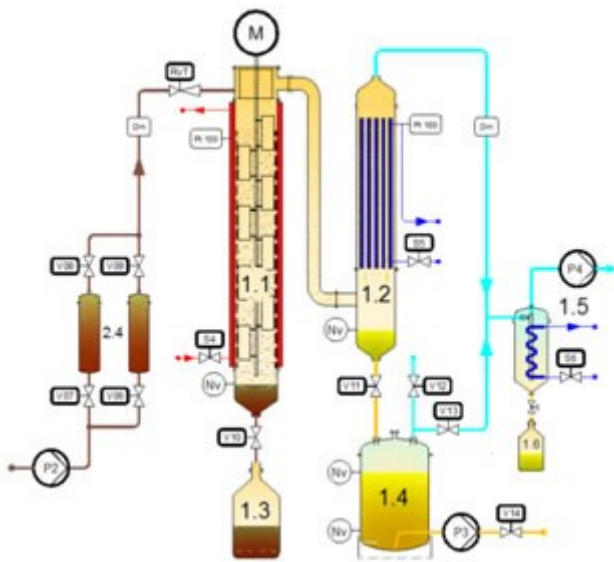


Obr. 13.3: Kolonové extraktory; a) Scheibel, b) RDC, c) pulsující

- tuhá látka kapalina
 - o vsádkové
 - o kontinuální

Příklad: Zařízení fy Samtech Extraktionstechnik GmbH
www.samtech.at/en/index.php







SUŠENÍ

- obecně děj, při kterém se odstraňuje kapalina obsažená v materiálu
- odstraňovaná kapalina = vlhkost, materiál který sušíme = vlhký materiál

možnosti:

- mechanický: filtrace, odstředování, lisování
- fyzikálně – chemický: extrakce, absorpce
- tepelný: odpařování, kondenzace

k odpaření kapaliny z pevného materiálu je nutné dodat energii, podle toho

- kontaktní
- mikrovlnné
- radiační
- konvekční

Vsádkové sušárny

Kontinuální sušárny

Sušný materiál je buď v klidu nebo promíchávaný.

značení: A - odpařovaná kapalina, vlhkost

B - suchý plyn

C - suchá tuhá látkatuhá látka

Vlastnosti vlhkého vzduchu, vlhký teploměr

Teorie sušení rozpracovaná na systémy odpařovaná kapalina = voda, sušící plyn = vzduch

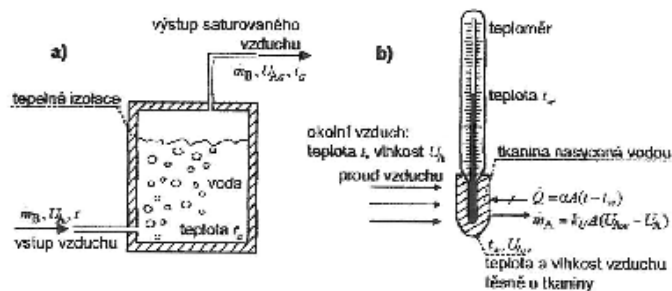
Pojmy: teplota adiabatického nasycení,

Teplota vlhkého teploměru

Vlhkost vzduchu: $U_A = m_A / m_B$

15.1. VLASTNOSTI VLNKÉHO VZDUCHU

243



Obr. 15.1: Ilustrace: a) teploty adiabatického nasycení, b) teploty vlhkého teploměru.

Vlastnosti sušeného materiálu:

vlhkost materiálu

$$W_A = m_A / m_C$$

Různá kritéria dělení vlhkosti:

- nevázaná: jen energii na odpaření,
- vázaná: kapilární efekt, adsorpce, chemicky. Navíc energie na porušení vazby
- volná: lze za daných podmínek odstranit

- rovnovážná: při daných podmínkách v materiálu zůstává, je závislá na vlastnostech sušícího vzduchu a sušeného materiálu

Popis průběhu sušení

Obrázek: podklady z firemní literatura

Druhy sušáren:

V oblasti kvalifikované chemie – čisté chemikálie, farmaceutické účinné látky:

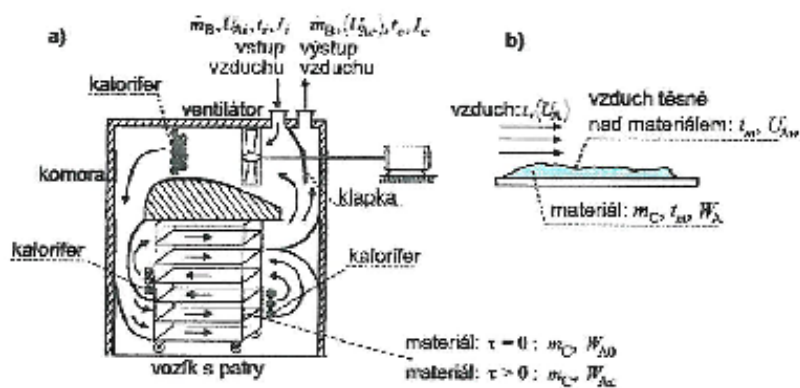
- podle způsobu ohřevu:
 - kontaktní (vakuové)
 - konvekční
- podle režimu provozu
 - vsádkové (převážně)
 - kontinuální

Periodická konvekční sušárna:

Sušený materiál – vsádkově
Sušící vzduch - kontinuálně

15.4. VSÁDKOVÁ (PERIODICKÁ) KONVEKČNÍ SUŠÁRNA

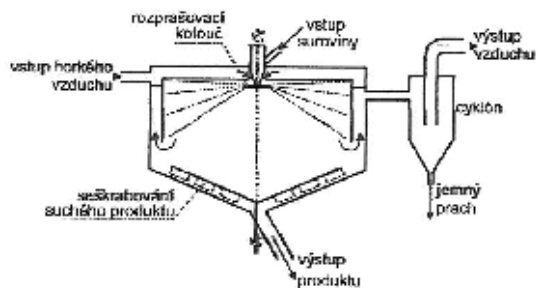
349



Obr. 15.6: a) Komorová vsádková sušárna. b) Schéma sušení materiálu ve vsádkové sušárně.

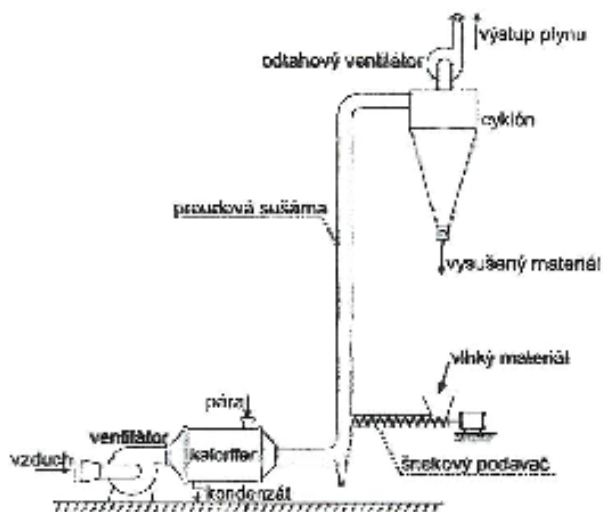
Rozprašovací sušárna

- kontinuální



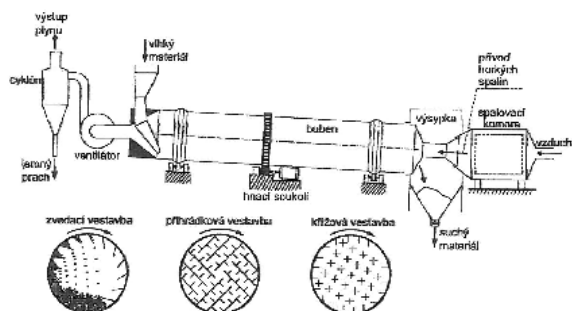
Obr. 15.13: Rozprašovací sušárna.

Proudová sušárna:



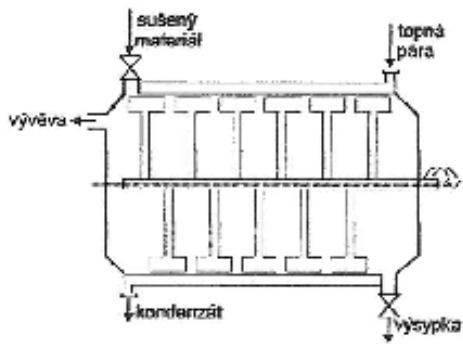
Obr. 15.14: Proudová pneumatická sušárna.

Rotální bubnová sušárna:



Obr. 15.12: Rotální bubnová sušárna a tři ukázkové vestavby bubnu.

Lopátková sušárna:



Obr. 15.15: Lopatková sušárna.

Další ukázky sušáren:
 Prospekty výrobců

Typy sušáren používané při výrobě API:

- zařízení omezující manipulaci obsluhy s produktem, sušící fítr, sušící odstředivka
 SULTRADE, WALDNER – nádoba sušárny jako kontejner
- vakuové sušárny:
 - o skříňové,
 EUROVENT (Každá police zvlášť)
 ITALVACUUM
 - PINK, kombinace teplovzdušná vakuová,
 - o míchané
 ROSENMUND
 ITALVACUUM, planetární systém
- teplovzdušné
 PINK, uzavřený okruh, snížení VOC

Doplnit obrázky z firemní literatury

10. Membránové procesy

PŘEPRACOVAT !!! – doplnit, obrázky

Obsáhlá, různorodá problematika, široké uplatnění v praxi (výroba pitné vody – odsolení mořské vody, příprava čisté vody ve farmaceutickém průmyslu, membránové sušení plynů, dělení azeotropických směsí pervaporací, dialyzační procesy, ...)

Na tomto místě jenom základní poznatky.

Pojmy: permeát, retentát

Princip a třídění membránových separačních procesů:

- do membrány vstupují a membránou procházejí všechny složky dělené směsi,
- do membrány vstupují a membránou procházejí některé složky, ostatní jsou úplně zadrženy

obrázek – firemní literatura

Závisí od složení dělené směsi a vlastností membrány.

Membrána porézní
Membrána neporézní

Hybné síly:

Tlakový resp. koncentrační rozdíl

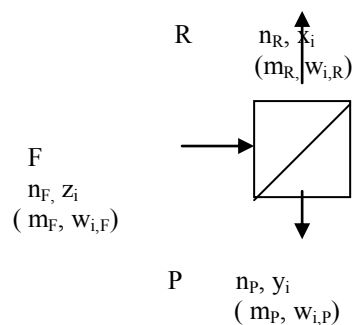
Typy membrán:

Obrázky – firemní literatura

Kapalné membrány

Obrázek – typy, firemní literatura

Materiáloví bilance:

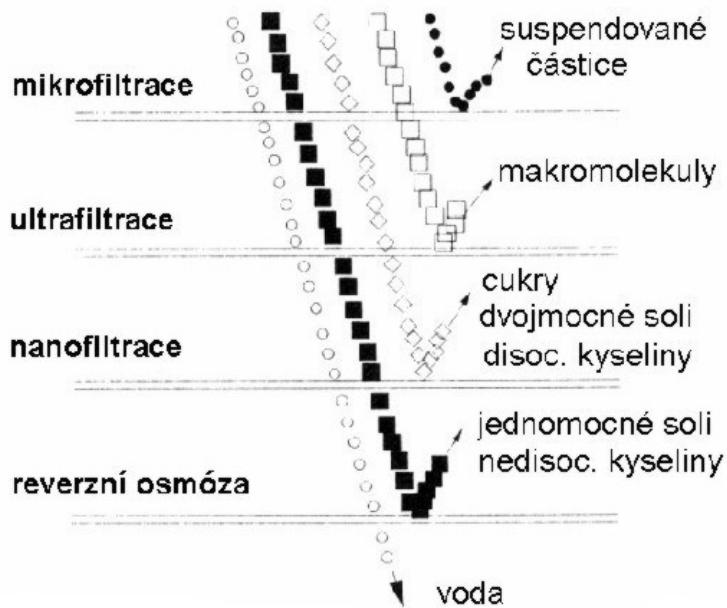


Mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace:

Hybná síla – tlakový rozdíl

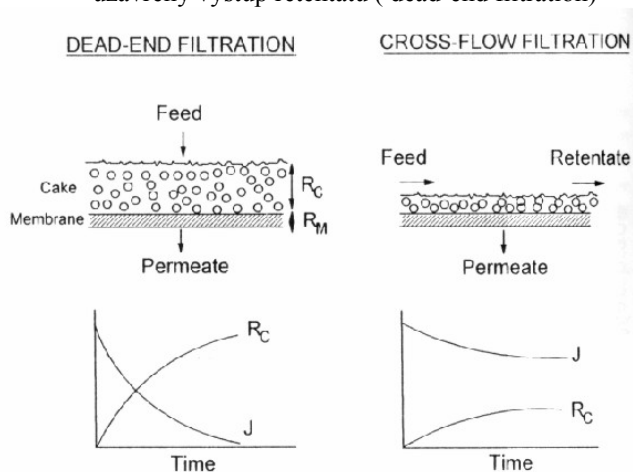
Makrofiltrace – oddělují se částice 0,01 – 10 mikronů,

Ultrafiltrace – dělení směsi rozpuštěných makromolekulárních látek, na základě rozdílných velikostí molekul
 Nanofiltrace – pevné částice 1 – 10 nm. Dají zachytit vícemocné kationy od jednomocných – změkčování vody.



Uspořádání:

- podélný, tangenciální tok retentátového proudu
- uzavřený výstup retentátu (dead-end filtration)



Pervaporace:

Hnací síla – rozdíl koncentrace

Obrázek – firemní literatura

Dělená kapalná směs se na vstupu zahřeje k bodu varu směsi (při daném tlaku), přivede se na retentátovou stranu membrány. Složky směsi se rozpouštějí a difundují skrz membránu, na permeátové straně se odpařují (odpařování je podporováno snížením tlaku – zdroj vakua, kondenzace par)

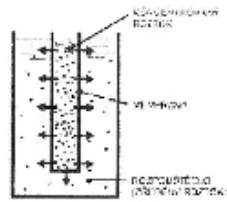
Reverzní osmóza:

Odděluje se rozpouštědlo od roztoku nízkomolekulárních látek (solí).
 Odsolování mořské vody, příprava čištěné vody (PW)

Obdoba ultrafiltrace, nanofiltrace, vysoké tlakové rozdily.

Dialýza:

Neporézní membrána, propustná pro nízkomolekulární rozpuštěné látky.
Hybná síla – koncentrační gradient



Obr. 18.12: Uspořádání vso ledviny dialýzy.

Umělá ledvina

Firemní literatura

10. Chemické reaktory

DOPLNIT, zjednodušené matematické popisy

1. Klasické reaktory

Klasické zařízení pro provedení chemické reakce je chemický reaktor.

Podle průběhu chemické reakce dělíme reaktory na:

- vsádkové: míchaný vsádkový reaktor
- průtočné: dále dělíme na
 - o míchaný průtočný reaktor
 - o kaskáda míchaných průtočných reaktorů
 - o trubkový reaktor, reaktor s pístovým tokem
- kombinované: „loop“ reaktory

S prvním typem, míchaným vsádkovým reaktorem jsme se mohli setkat při exkurzi ve výrobním závodě a v kapitole o míchání a přestupu tepla (míchaný reaktor s duplikací).

Pro popis průběhu chemické reakce jsou potřebné základy reakční kinetiky – viz příslušné statě ve skriptech.

Pro chemicko-inženýrský popis se využívají idealizované (zjednodušené) modely:

- ideálně míchaný vsádkový reaktor
- ideálně míchaný průtočný reaktor
- reaktor s pístovým tokem

Pro tento předmět není studium chemických reaktorů do této hloubky podstatné. Zájemci naleznou informace v odborné literatuře, např. viz příslušné kapitoly ve skriptech

Doplnit zjednodušené matematické modely

Příklady:

- *klasický vsádkový reaktor, různé materiállové provedení*
- *pro speciální použití skleněné kotlíky, kombinované reaktory sklo-smalt*

obrázky – firemní literatura

2. Mikroreaktory

V poslední době se vývoj chemických reaktorů ubírá i alternativním směrem, který spočívá v uplatnění kontinuálního uspořádání a pracuje s mikroobjemy. Tento směr je taky označován jako „*flow chemistry*“.

Jednotliví výrobci používají různé konstrukce. Z hlediska širokého spektra zpracovávaných materiálů v oblasti kvalifikované chemie je výhodný směr, který používá jako materiál sklo, skleněné desky rozměru cca formátu A6, vlastní reaktor je vytvořen tak, že do dvou desek se vytvoří vlastní kanálky reaktoru (směšovače, temperanční zóny, reakční zóny, ...), zrcadlově, do každé desky polovina profilu a deska se spojí při vysoké teplotě.

Více např. na <http://www.ltf-gmbh.com/ltf/company.html>, stránky výrobce skleněných mikroreaktorů LTF (Little Things Faktory).

Výhody mikroreaktorů:

- intenzivní míchání
- pracuje se s malými objemy reaktantů – zvýšení bezpečnosti
- intenzivnější přestup tepla – u mikroreaktorů je výhodnější poměr objemu temperované kapaliny a teplosměnné plochy
- průběh reakce se lépe kontroluje – to přináší vyšší kvalitu produktu, nižší podíl vedlejších produktů,

Další výhodou je v rozdílném postupu zavádění do výrobního měřítka:

Klasický: laboratorní výzkum, pilot plant, výroba

Mikroreaktory: laboratorní výzkum, produkční měřítka se dosáhne znásobením počtu mikroreaktorů. Tento postup znamená zkrácení (= *zlevnění*) předvýrobní etapy.

Více v kopii článku z časopisu *Pharmaceutical Engineering* „*Mikroreaktor Technology: Innovations in Production Processes*“.

*Doplnit: z firemní literatury – porovnání klasickýXmikroreaktor
„FlowChemistry“ -*

11.Mechanické operace:

PŘEPRACOVAT, doplnit – firemní literatura, sítování, ...

Mletí je proces, při němž se částice pevných surovin zmenšují na potřebnou velikost, která je nejvhodnější pro účelnou aplikaci.

Ve farmaceutickém průmyslu je velikost částic účinné látky důležitá jednak pro vlastní technologický proces výroby lékové formy jednak pro hodnotu tzv. biologické dostupnosti = využitelnosti účinné látky např. v tabletě léku.

Mletí může být nezbytné pro následné ovlivnění vlastností surovin při výrobě lékové formy.

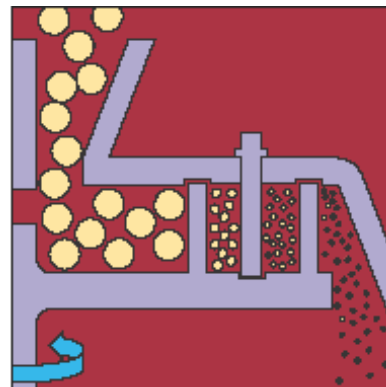
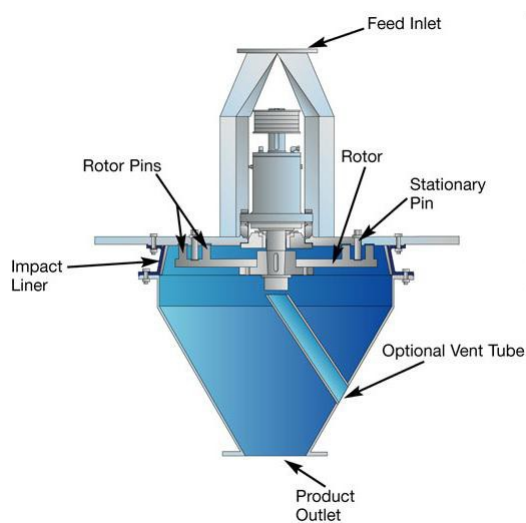
Při výrobě účinných látek se uplatňuje kategorie jemné **jemné mletí**. Podle výrobce mlecích zařízení (firma Hosokawa Alpine) se podle velikostí částic mletého produktu rozlišuje:

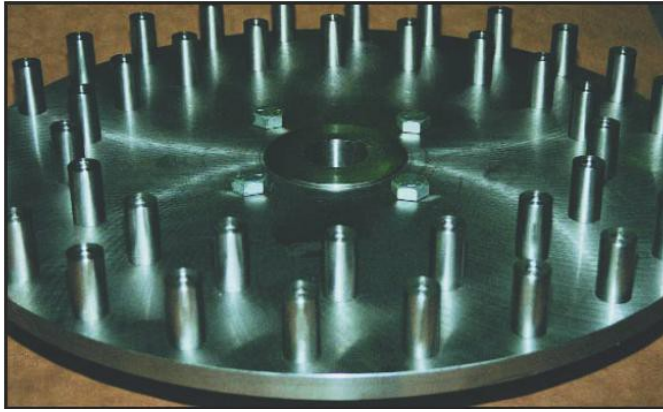
Středně jemné	500 - 1000 μm
Jemné	150 - 500 μm
Jemnější	50 - 150 μm
Superjemné	10 - 50 μm
Ultrajemné	2 - 10 μm

Pro první čtyři skupiny se používají úderové mlýny (*impact mills*). K rozměňování mletého materiálu dochází kontaktem částic mletého materiálu s rotorem mlýna. U některých typů se na rozměňování podílí i statická část mlecí komory – stator má pak rýhovaný povrch.

Rotor může být s kyvnými lopatkami, pevnými lopatkami, kolíky, ...

Na následujících obrázcích je schéma a princip činnosti kolíkového mlýnu (typ s rotorem i storem opatřeným kolíky) a fotografie disku s kolíky.





Poslední kategorie, ultrajemné mletí se označuje také jako **mikronizace** a používají se tryskové mlýny (*jet mills*).

K rozměňování částic mletého materiálu dochází nárazem jednotlivých částic mezi sebou. Potřebná energie je částicím dodávána prostřednictvím stlačeného mlecího plynu. Používá se vzduch, v případě potřeby ochrany produktu před oxidací se používá dusík.

Na následujících obrázcích je schéma tryskového mlýna a princip rozměňování následkem vzájemných kolizí částic.

