

Oponentský posudek disertační práce Ing. Jana Kinčla na téma „Mikrofiltrace na dutých vláknech kombinovaná s iontovou výměnou na zeolitech“

Předložená disertační práce Ing. Jana Kinčla je zaměřena na aktuální chemicko-inženýrskou problematiku spadající do oboru separačních procesů.

Zabývá se studiem a popisem hybridního procesu, kombinujícího jednak membránový separační proces realizovaný mikrofiltrací na dutých vláknech v dead-end uspořádání, jednak iontový separační proces realizovaný výměnou iontů na práškovém iontoměniči.

Vhodně zvolený modelový systém, založený na odstranění vápenatých a hořečnatých iontů z vody pomocí zeolitu, dává naději na využití a rozšíření získaných poznatků jak v dalším studiu kombinovaných separačních procesů, tak i v technologické praxi související s úpravami, čištěním a změkčováním vody pro průmyslové i uživatelské účely.

V teoretické části disertant shrnul přehlednou formou základní teoretické znalosti související s experimentálním studiem mikrofiltrace disperzí dutým vláknem a moduly s dutými vlákny. Odpovídající pozornost věnoval autor rovněž základním poznatkům z oboru iontové výměnných separačních procesů, zejména teoretickým a empirickým matematickým popisům rovnováhy a kinetiky iontové výměny.

V rešeršní části bych přivítal uvedení více informací o současném stavu odborných znalostí či praktických zkušeností spojeného procesu mikrofiltrace a iontové výměny.

Vysoce hodnotím zpracování kapitoly Formulace problému. Hluboké odborné znalosti obou separačních procesů umožnily autorovi předložit srozumitelný věcný a následně i matematický popis iontové výměny při mikrofiltraci.

Cíle disertační práce vycházejí z pochopení složitosti studované problematiky a vedle vlastních experimentálních měření zahrnují numerické zpracování naměřených experimentálních dat.

S tímto vědomím byl navržen i relativně jednoduchý modelový systém, včetně experimentálního zařízení pro studium kombinovaného separačního procesu.

Z experimentální části disertační práce je zřejmé, že disertantem navržený modelový systém umožňuje současné studium jak hydrodynamických aspektů, tak i parametrů iontové výměny. Experimentální práce sestávala z širokého komplexu čistě inženýrských a analytických měření a stanovení. Veškeré

činnosti související se studovanou problematikou zvládl autor práce na požadované odborné úrovni.

Experimentálně naměřená data byla autorem navrženým matematickým aparátem zpracována na vysoké odborné úrovni a dosažené výsledky umožnily autorovi učinit komentáře a kvalitativní závěry.

Při prezentaci výsledků je správně kladen důraz na grafické vyjádření naměřených a s výpočty porovnávaných závislostí, dokumentujících průběh iontové výměny spojené s mikrofiltrací na modulu s dutými vlákny.

Pozitivně hodnotím poctivé zpracování souhrnu rozsáhlé odborné literatury vztahující se ke studované problematice.

Celkově práce působí velmi dobrým dojmem. Přepisy a drobné formální nedostatky (např. str. 2, 10, 25, 32, 40, 49, 83, 85, 90) nepovažuji za podstatné.

V seznamu symbolů by bylo vhodné u specifikace veličin uvádět odkaz na číslo rovnice, ve které se veličina vyskytuje.

Některá označení veličin používaná v textu a v rovnicích nejsou uvedena v seznamu symbolů (např. rovnice (44) – (46), (47), (54), (56), (64) a další).

Na straně 26 v kapitole Iontová výměna je výčet příkladů iontoměníčů. Jsou všechny uvedené příklady správné?

Na straně 28 je veličina $\Theta = n_s / A$. Jaký má rozměr?

Na straně 36 je zmíněn potenciál kombinované mikrofiltrace s iontovou výměnou pro nahrazení klasických způsobů změkčování vody. Jaké to jsou?

Jaká jsou měřítka v obrázcích Obr. 13, Obr. 30, Obr. 33?

Na straně 56 je zmíněn zpětný proplach membrány. Jak a jak často byla ověřována připravenost modulu k novému pokusu?

Jaký jev dokumentují fotografie „mereni\marta\fotky\P1010011.jpg až P1010013.jpg“ na přiloženém nosiči dat?

Jaké pokusy značí označení „křemelina“ a „titanka“ uváděné v některých souborech na přiloženém CD nosiči ?

V práci oceňuji kritické posouzení vhodnosti používaných matematických modelů jak pro popis hydrodynamiky procesu, tak pro popis iontové výměny.

Celkové hodnocení modelů pro stanovení hydrodynamických charakteristik systému mikrofiltrace s iontovou výměnou ukazuje na užitečnost použití odporu membrány stanoveného na „stabilizované“ membráně. Lze předpovědět životnost membrány pro studovaný systém co do stability jejího odporu?

Nové poznatky, uvedené v práci spolu s vyvinutým modelem pro iontovou výměnu vápníku za sodík na zeolitu v kombinaci s mikrofiltrací, jsou kvalitním základem pro další výzkum.

Na závěr lze konstatovat, že předložená disertační práce má vysokou odbornou úroveň a je kvalifikovaným příspěvkem k objasnění složitého procesu mikrofiltrace ve spojení s iontovou výměnou.

Autor prokázal schopnost samostatné vědecké činnosti.

Doporučuji přijmout disertační práci Ing. Jana Kinčla k obhajobě.

V Pardubicích 21. 11. 2013


Ing. Miroslav Balcar, CSc.

Oponentský posudek disertační práce Ing. Jana Kinčla "Mikrofiltrace na dutých vláknách kombinovaná s iontovou výměnou na zeolitech"

V disertační práci Ing. Jana Kinčla je zpracováno téma dynamického chování kombinovaného filtračního membránového separátoru se současnou iontovou výměnou v zeolitu v mezivláknovém prostoru s cílem studovat možnosti odstraňování některých kationtů z vodných roztoků. Zaměření práce je aktuální nejen z pohledu potenciálních aplikací, ale i z hlediska použitých experimentálních technik a modelování dynamického chování komplexního separačního systému. Výsledky práce byly publikovány v odborných časopisech a na konferencích.

Předložená disertační práce je rozdělena do 6 kapitol. V prvních dvou kapitolách disertant uvádí přehled dosavadních poznatků o studované problematice a formuluje matematický model membránového mikrofiltračního separátoru s dutými vlákny se současnou iontovou výměnou v částicích zeolitu lokalizovaného v mezivláknovém prostoru. Ve třetí kapitole jsou popsány použité experimentální metody použité ke studiu rovnováhy a kinetiky iontové výměny v částicích zeolitu, charakterizaci texturních vlastností částic zeolitu a vlastností dutých vláken membránového separátoru. Ve čtvrté kapitole práce jsou prezentovány experimentální výsledky práce a jejich diskuze. V páté kapitole je na základě vyvinutého matematického modelu provedena simulace procesu a je studován vliv některých provozních a strukturních parametrů na stupeň odstranění zvoleného iontu a vývoj tlakové ztráty ve filtračním modulu. V poslední šesté kapitole jsou stručně shrnuty výsledky práce.

Disertační práce Ing. Jana Kinčla představuje poměrně rozsáhlý soubor experimentálních dat ze studia rovnováhy a kinetiky iontové výměny vápenatých iontů, jejich podrobnou interpretaci a vyhodnocení jednotlivých modelů těchto dějů, dále relevantní dynamický model výměnné sorpce iontů v zeolitu a permeace ve vláknovém membránové modulu.

Poznámky k předložené práci dělím na formální a na náměty k diskuzi.

Po formální stránce text obsahuje některé nepřesnosti a chyby:

1. Považuji za nezbytné doplnit seznam symbolů o chybějící vysvětlivky významu proměnných a indexů. Čtení rovnic (např. str. 43) je někdy obtížné.
2. V rovnici (93) chybí lomítko, dále mi není jasný rozdíl mezi Δz_z a Δz_p v rovnicích (93) a (94) na str. 46, dále věta na konci této strany není dokončena.
3. Text obsahuje některé neobratné formulace a chyby, např. v seznamu symbolů „ n_s ... látkové množství adsorbentu na povrchu adsorbátu“, na str. 27 „Adsorpční rovnováha je založena na rovnováze chemických potenciálů mezi dvěma fázemi ...“.
4. Z rovnic (2) a (3) na str. 19 vypadl symbol pro plochu příčného průřezu filtračního koláče.

Následující připomínky necht' slouží jako podklad k diskuzi :

1. Rovnice (79) na str. 42 platí za předpokladu $m_{zf} = \text{konst.}$, což je v rozporu s rovnicemi (73) a (74) na předchozí straně.
2. Doba zdržení kapalné fáze ve filtračním koláči by měla být definována jako (mezerovitost filtračního koláče) x (objem filtračního koláče) / průtok, rovnice (84) na str. 43 bude poskytovat vyšší hodnoty doby zdržení.
3. Považuji za vhodné osvětlit význam členů v rovnici (85) na str. 43, neboť se mi nepodařilo najít popis všech proměnných a indexů použitých v této rovnici.
4. Rovnice (87) platí za předpokladu ideálního míchání kapalné fáze ve filtračním koláči, nebo a_{cact} má význam střední integrální hodnoty koncentrace vápníku v zeolitu. Je předpoklad dokonalého míchání kapalné fáze ve filtračním koláči oprávněný?
5. Jak vysvětlit systematicky nižší hodnoty pro rovnovážná adsorbovaná množství vápníku při vyšších koncentracích roztoku (Obr. 18 na str. 58)?
6. Na str. 59 je uvedeno, že dobré výsledky poskytuje model homogenní difuze (Petersonova aproximace). Domnívám se na rozdíl od autora práce, že lze v tomto modelu dát do relace okamžitou rychlost sorpce a sorbované množství.
7. Autor práce vyslovuje na str. 60 domněnku, že rychlost transportu iontů při průtoku vrstvou filtračního koláče je určena difuzí v mezní vrstvě nebo v makropórech. Jak je možné tuto hypotézu zdůvodnit?
8. Na Obr. 45 a 46 na str. 76 a 77 jsou uvedeny křivky označené jako „data“. Jak byly tyto údaje získány? Jak vysvětlit, že tato data překračují rovnovážné množství vápníku v zeolitu, které správně počítá model?

Závěr

Doktorská disertační práce Ing. Jana Kinčla představuje originální příspěvek k tematice dynamického chování kombinovaného filtračního membránového separátoru se současnou iontovou výměnou a je příkladem výzkumu vedeného ve více směrech v laboratorním měřítku s použitím matematického modelování s cílem získat podklady pro návrh pokročilé technologie. Výše uvedené poznámky a připomínky nesnižují celkovou kvalitu předložené práce. **Doporučuji proto přijmout předloženou disertační práci Ing. Jana Kinčla k obhajobě v oboru Chemické inženýrství (studijní program P2837).**

V Praze 15. listopadu 2013



Doc. Ing. Bohumil Bernauer, CSc.

Oponentský posudok dizertačnej práce

Autor práce: Ing. Jan Kinčl

Názov práce: Mikrofiltrácie na dutých vláknech kombinovaná s iontovou výmenou na zeolitech

Pracovisko: Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice

Oponent: doc. Ing. Tomáš Bakalár, PhD.

Práca Ing. Jana Kinčla je zameraná na hybridný proces iónovej výmeny na zeolitoch v kombinácii s mikrofiltráciou na dutých vláknach. Kombinovaná metóda membránovej filtrácie a adsorpcie je v súčasnosti jednou z moderných spôsobov odstraňovania iónov z vôd. V práci je dôraz kladený na odstraňovanie stálej tvrdosti vody, najmä vápenatých katiónov. Membránové procesy, najmä tie, ktorých hnacou silou je rozdiel tlaku, sú v súčasnosti bežne používané všade tam, kde rozmer separovaných častíc je veľmi malý, rádovo pod cca 10^{-5} m. Tieto procesy sú s výhodou využívané v rôznych, najmä priemyselných procesoch, ale aj napríklad v domácnostiach, pri rôznych procesoch separácie tuhých častíc ako aj iónov z vôd. Spojenie tohto procesu s adsorpciou, resp. iónovou výmenou, ktorá v prípade zeolitu, v závislosti od typu zeolitu a jeho vlastností, najmä zrnitosti, je spojená aj s fyzikálnou sorpciou, ako aj chemisorpciou, poskytuje výhodu efektívnejšieho odstraňovania najmä iónov z vôd o nízkych koncentráciách. Samozrejme spojenie týchto procesov prináša aj určité „problémy,“ ako je napríklad zanášanie membrány a následný pokles toku permeátu. Preto hľadanie optimálneho usporiadania týchto procesov je veľmi dôležité.

V práci oceňujem využívanie matematického modelovania pri štúdiu procesov a diskusii výsledkov. Práca obsahuje podrobný výklad všetkých dotknutých tém, vrátane najdôležitejších pojmov a používaných matematických vzťahov (modelov). Čitateľ tak získava prehľad o šírke problematiky, aktuálnych témach, používaných metódach štúdia a modeloch adsorpcie (iónovej výmeny) a mikrofiltrácie. Spojenie matematického modelovania, resp. doplnenie matematického aparátu o reálne získané výsledky z experimentov uskutočnených dôsledným plánovaním poskytuje výhodu a možnosť usmernenia jednak matematických výpočtov, ale aj experimentov, do oblasti záujmu danej aplikácie.

Autorom vytýčený cieľ práce, t.j. návrh zariadenia hybridného procesu mikrofiltrácie na dutých vláknoch a iónovej výmeny vápenatých kationov a vytvorenie matematického modelu na predpoveď priebehu tlakovej straty a výstupnej koncentrácie solí, bol splnený.

Nakoľko český jazyk nie je mojim rodným jazykom, hodnotenie jazykovej stránky práce ponechávam na ďalších oponentov. Dizertačná práca je po formálnej stránke vypracovaná na dobrej úrovni. V práci však po záverečnej úprave ostali niektoré preklepy a nejednoznačné formulácie, ktoré uvádzam nižšie a zároveň dopĺňam o otázky do diskusie:

Prečo ste zvolili syntetický zeolit ZP-4A od firmy Silkem d.o.o.?

Členenie podkapitol považujem za zbytočne podrobné. Podkapitoly piatej a šiestej úrovne často pozostávajú z jedného odseku alebo jednej alebo dvoch viet (vid'. napríklad podkapitoly 1.3.1.1.1 – 1.3.2.1.9, 1.3.1.2.5.1 – 1.3.1.2.5.6).

Na stranách 27 – 29 sú uvedené teoretické poznatky o iónovej výmene (resp. adsorpcii a adsorpcných izotermách). V podkapitolách 1.3.1.1.1.a 1.3.1.1.2 nie sú uvedené žiadne literárne zdroje. Odkiaľ ste čerpali podklady pre Gibbsovu izotermu a Henryho zákon? Pri ostatných izotermách sú ako zdroj uvedené súborné práce [99 – 101], za vhodnejšie by som považoval citovať a konzultovať pôvodné práce autorov použitých izoterm, ako ste to urobili aj v kapitole 1.3.1.1.10 (Sipsova, Tothova, Radke-Prausnitzova, Redlich-Petersonova a Honig-Reyersonova izoterma). Aký matematický aparát, resp. počítačový program ste použili pri vyhodnotení trojparametrových izoterm? V rovniciach (28) – (33) je použitý symbol bp , prosím o jeho vysvetlenie, nakoľko v zozname použitých symbolov nie je. Takisto prosím o interpretáciu izoterm, ktoré boli použité pri vyhodnotení rovnovážnych údajov, keďže rovnice (24) – (35) sú pre vodné roztoky nepoužiteľné (týkajú sa adsorpcie plynov na tuhom medzifázovom rozhraní), nakoľko pri vyhodnotení výsledkov na strane 58 sa na tieto rovnice odvoláivate.

Obrázok 5 na strane 34 je posunutý mimo priestoru vyhradeného pre text a zároveň prekrýva číslo strany.

Na obrázok 6 na strane 38 chýba odkaz v texte.

V podkapitole 2.1 na stranách 38 – 40 sú použité symboly \hat{R}_m a \hat{R}_c , ktoré nie sú uvedené v zozname použitých symbolov. Zároveň prosím o vysvetlenie symbolu \hat{R}_c , ktoré v práci chýba.

Na obrázok 7 na strane 40 chýba odkaz v texte.

V podkapitole 2.2.2 je uvedený kinetický model iónovej výmeny pri filtrácii, avšak v celej kapitole nie je uvedený ani jeden literárny odkaz. Jedná sa o Vaše výpočty? Ak áno, aké sú východiská pre tieto výpočty?

V podkapitole 3.1.5.2 je uvedený postup na stanovenie prietoku vápenatých iónov vrstvou častíc. Prečo ste pri tretej filtrácii použili roztok chloridu vápenatého o koncentrácii vápenatého kationu práve $872,6 \text{ mg.l}^{-1}$? Aké sú parametre plochého membránového filtru, ktorý ste použili pri týchto experimentoch?

Na obrázkoch 10 a 12 sú prezentované miešané filtračné cely, ktoré boli natlakované. Ako bolo zabezpečené miešanie suspenzie po uzatvorení a natlakovaní systému?

Na strane 59 v druhom odseku zhora je uvedené, že z obrázku 17 vyplýva, že údaje pre koncentrácie zeolitu 1 a 5 g.l^{-1} sú si veľmi podobné a preto postačuje jedna izoterma pre obidve koncentrácie zeolitu. Je to štatisticky overené? Dovoľujem si vysloviť pochybnosť nad tvrdením, že na základe obrázku je možné spojiť izotermy pre rôzne koncentrácie zeolitov do jednej výslednej izotermy.

V tabuľke 3 na strane 59 je uvedená skratka HSDM. Jej vysvetlenie v texte chýba.

V texte chýbajú odkazy na obrázky 21 – 24 a tabuľku 4.

Na strane 69 v prvom odseku zhora sú uvedené distribučné funkcie a k nim odkazy [152 – 161], ktoré sú v Bibliografii uvedené ako odkazy na Wikipédiu. Wikipédia je „slobodná encyklopédia,“ ako ju tvorcovia označujú a podľa môjho názoru nie je vhodným zdrojom pre citovanie.

Na strane 69 je použitá skratka CDF, kde je označená ako kumulatívna distribučná funkcia logaritmického logistického rozdelenia. Ten istý symbol je použitý na strane 73, kde je označený ako priebeh zníženia aktívnej plochy. V zozname použitých symbolov sa nenachádza. Prosím o vysvetlenie tohto symbolu. Skutočne sa jedná o kumulatívnu funkciu? Aký priebeh má logaritmické logistické rozdelenie?

Obrázky 34 – 38 na stranách 70 – 71 a obrázok 42 na strane 74 sú zle čitateľné.

Na strane 76 na obrázku 44 je na osi y uvedená veličina m_z [g], ktorá ale nie je uvedená v zozname použitých symbolov a ani vysvetlená. Prosím, vysvetlite ju.

Na strane 78 sú uvedené symboly N , \hat{R}_m , \dot{V}_E , V_0 , Δp_{max} , ktoré nie sú uvedené v zozname použitých symbolov, symbol l je v zozname použitej literatúry uvedený ako dĺžka membrány.

Na obrázkoch 48, 51 a 55 je použitá na popis osi y veličina $\Delta p/\Delta p_0$. Prosím o jej vysvetlenie.

Oponentský posudok dizertačnej práce Ing. Jana Kinčla

Tabuľka 12 na strane 85 je rozdelená na dve strany.

Vedeli by ste stručne prezentovať Váš pohľad na ekonomickú stránku daného procesu?

Vyššie uvedené pripomienky neznižujú celkovú kvalitu predkladanej práce. Celkovo je možné konštatovať, že práca spĺňa podmienky kladené na dizertačnú prácu. Preto prácu odporúčam prijať k obhajobe.

V Košiciach, 31.10.2013



doc. Ing. Tomáš Bakalár, PhD

Fakulta baníctva, ekológie,
riadenia a geotechnológií,
Technická univerzita v Košiciach

Letná 9

042 00 Košice