

Posudok

doktorskej dizertacnej práce

Názov práce:

Autor:

Školiteľ:

Recenzent:

Ovlivňovanie transesterifikácie repkového oleja

a následné separácie reakčnej zmesi

Ing. Jirí Kwiecien

Katedra fyzikálnej chémie

Fakulta chemicko-technologická

Univerzita Pardubice

Doc. Ing. František Skopal, CSc.

Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice

Doc. Ing. Ján Cvengroš, DrSc.

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie,

Slovenská technická univerzita, Bratislava

Doktorská dizertácia pána Ing. Jirího Kwieciena obsahuje 99 strán textu, 40 obrázkov, 15 tabuliek, zoznam použitej literatúry (141 záznamov) a prílohu v 10 častiach.

Text samotnej práce, rozvrhnutý do 8 kapitol, je dobre organizovaný a prehľadný.

Doktorand sa vo svojej práci zaoberá aktuálnou problematikou prípravy metylesterov vyšších mastných kyselín (FAME) alkalicky katalyzovanou transesterifikáciou repkového oleja metanolom (MeOH). Zameril sa najmä na stanovenie vplyvov vybraných procesných parametrov na vlastnosti finálneho produktu, pripraveného konkrétnym postupom jednostupňovej reakcie s miešaním reakčnej zmesi pri zvýšenej teplote a pri prebytku

MeOH s finálnou úpravou po blokování katalyzátora, pozostávajúcou z odparenia voľného MeOH z reakčnej zmesi za prítomnosti oboch fáz - esterovej (EV) aj glycerolovej (GV) a ich následnou sedimentáciou a separáciou. Takto bol okrem iného testovaný vplyv prítomnosti voľných mastných kyselín (FFA) na konverziu u a na výťažok EV a GV, vykonala sa podrobná analýza povodu a množstva mydiel v sústave. Odvodili sa bilančné rovnice pre hodnotenie vybraných reaktantov a produktov v GV podľa čísla kyslosti (CK)

východiskového oleja. Experimentálne hodnoty sú v dobrej korelácii s teoretickými bilančnými závislosťami. Zistilo sa, že napriek vysokej kyslosti oleja do 12 mg KOH/g sa síce dosiahne prakticky úplná konverzia acylglycerolov na FAME okolo 99 %, výťažnosť FAME, resp. EV však rapídne klesá najmä emulgáčnym účinkom mydiel a odchodom FAME do GV. Podiel GV tým narastá pri klesajúcom obsahu G. Táto situácia je prevádzkovo neúnosná a potvrdzuje nevyhnutnosť nízkej kyslosti východiskového oleja. Rovnako ako kyslosť má aj voda nepriaznivý vplyv na konverziu a výťažky EV, resp. na zníženie kvality GV. Aj v tomto prípade sú modelové štúdie v súlade s experimentálnymi zisteniami.

Podrobne bol tiež študovaný mechanizmus transesterifikácie a zmydelnenia. Z tohto štúdia vyplynuli významné závery, že transesterifikácia je rýchla reakcia a prebehne do vysokého stupňa počas niekoľko málo minút, že rýchlosť zmydelnenia acylglycerolov na mydlá ako

2

konkurenčnej reakcie voči transesterifikácii je asi 2 až 4 krát nižšia a že rýchlosť zmydelnenia FAME na mydlá ako ďalšej konkurenčnej reakcie je naopak pri daných podmienkach o dva rády nižšia. Tieto výsledky by si zaslúžili väčšiu pozornosť a diskusiu.

Ďalšia časť práce sa zaoberá neutralizáciou reakčnej zmesi po transesterifikácii, ktorá je pri zadanom postupe s odmetanolovaním za prítomnosti oboch fáz EV aj GV nevyhnutná.

V opačnom prípade s ohľadom na reakčnú schému transesterifikácie by pri nerozložení katalyzátora dochádzalo pri odcerpávaní reaktantu MeOH k posunu chemickej rovnováhy v smere opätovnej syntézy acylglycerolov z FAME. V iných technológiách sa tento problém obchádza oddelením GV od EV a odmetanolovaním každej fázy samostatne. V zadanom prípade je ale blokovanie alkalického katalyzátora nevyhnutné a riešenie s jeho prevedením na katalyticky neúčinný KHC03 je vtipné a akceptovateľné. Sofistikovanými analytickými postupmi sa zistilo, že katalyticky účinný draslík vo forme K₂C03 vzniká až počas odmetanolovania rozkladom KHC03 a vzhľadom na krátku dobu odmetanolovania sa nestihne uplatniť v širšom rozsahu.

Ďalšou časťou práce je štúdium procesov separácie EV a GV po odmetanolovaní. Boli postavené modely procesu, ktoré využívajú efektívne matematické operácie, ich efektívnosť však nie je presvedčivá. Cieľom tohto štúdia zrejme bolo stanoviť pre konkrétny systém také

podmienky separácie, pri ktorých by EV vyhovovala norme. Vzhľadom na nedostatočné, resp. nedostupné vstupné údaje majú odvodené závislosti iba obmedzenú platnosť. Prídavok vody výrazne skvalitňuje a urýchľuje separáciu fáz.

Predložená dizertačná práca je spracovaná na solídnej technickej úrovni, má primeraný rozsah, je prehľadná, s minimom preklepov, s dobrou kvalitou fotografií a grafov, závery sú logické. Výsledky sú prínosom pre oblasť alternatívnych palív typu FAME, prinášajú nové poznatky o procese transesterifikácie a otvárajú nové prístupy k problematike FAME. Ich originalitu a slušnú vedeckú úroveň dokumentujú publikácie doktoranda a tiež ostatných členov výskumnej skupiny v renomovaných vedeckých časopisoch. Dosažené výsledky sú využiteľné v technickej praxi.

K práci mám niekoľko pripomienok, resp. námetov do diskusie:

1. V dizertačnej práci chýba kapitola či odstavec, venovaný cieľom práce. Rovnako by som v kap. 8 - Záver privítal v bodoch explicitne formulované dosiahnuté výsledky. Pri kvalitnom experimentálnom materiáli, aký sa získal počas štúdia, to nemôže byť problémom. Boli by vítané aj krátke súhrny a komentáre na konci každej relatívne samostatnej kapitoly. Postrádam tiež zoznam publikácií doktoranda (časopisy, zborníky ...), vrátane zaslaných do tlače.
 2. V práci sa venovala pozornosť jednostupnovej reakcii. Aký je názor doktoranda na dvojstupnové usporiadanie reakcie, resp. čo je výhodou práve jediného reakčného stupňa?
 3. Pri príprave FAME a aj pri finálnej úprave sa využíva trvalé miešanie kvapalnej sústavy. Aké výhody sú s tým spojené? Nie je miešanie v istej etape reakcie už neproduktívne, či dokonca kontraproduktívne? Boli v tejto súvislosti vykonané nejaké merania, ktoré by zdôvodnili potrebu miešania počas celej reakcie? Podľa literatúry prevažná časť transesterifikačných postupov výhodne využíva aj kvapalnú etapu.
 4. V zadaní témy zrejme bolo definované štúdium procesu s finálnou úpravou kompletnej reakčnej zmesi bez predbežnej separácie fáz. Napriek tomu ako sa díva doktorand na separáciu neodmetanolovaných EV a GV a až na následné odstránenie MeOH z takto oddelenej EV? Opat prevažná väčšina známych technológií volí práve túto cestu.
 5. Vysoká konverzia acylglycerolov na FAME okolo 99 % aj v prípade vysokých kyslostí východiskového oleja je prekvapivá. Príprava FAME z takýchto kyslých olejov a tukov nie je reálna (nízky výťažok, vysoká spotreba KOH, problémová finálna úprava, nevhodná kvalita GV), navyše podľa mojich skúseností dosiahnutiu takejto konverzie bráni vysoká koncentrácia G v kvazihomogénnej reakčnej zmesi, udržiavaná emulgacným účinkom prítomných mydiel. Je spoľahlivo overené, či štandardná reakčná zmes pre analytické účely,³
- získaná pri laboratórnej teplote po niekoľkých hodinách reakcie pri vysokom prebytku MeOH a zrejme pri vysokom prebytku katalyzátora, neobsahuje ešte nezreagované acylglyceroly? V štandardnej vzorke sa odporúča zabezpečiť úplnú transesterifikáciu acylglycerolov s MeOH pomocou účinného metylacného činidla, napr. metanolátu Na. Vzorok pred stanovením konverzie by mali byť riedené vhodným rozpúšťadlom, napríklad MeOH. Na str. 50 sa hovorí, že konverzia oleja ostáva konštantná 98.8 % bez ohľadu na kyslosť oleja. Je nemennosť tejto hodnoty reálna, napríklad aj z hľadiska neistoty merania?
6. Miesto zaužívaných termínov triglyceridy, diglyceridy a monoglyceridy by sa mali používať správne názvy triacylglyceroly, di- a monoacylglyceroly.
 7. Str. 16 - palivá 2. generácie sa získavajú využitím a premenou lignocelulóзовých materiálov. Okrajovo je asi možné tu zaradiť aj opotrebované fritovacie oleje. Bavlníkový olej nie je nejedlý, napr. v Uzbekistane je používaný ako jediný jedlý olej.
 8. Str. 18 - v skupine procesov s urýchlenu separáciou fáz je potrebné spomenúť využitie koagulátorov, kde reakčná zmes prechádza priehradkou s vhodnými otvormi, pričom sa stabilizačné iónové atmosféry okolo mikrocastíc G ocesávajú až odstraňujú a takto ošetrený G už spontánne agreguje a sedimentuje.
 9. Str. 23 - finálna úprava surových FAME vákuovou destiláciou vo filmovej odparke predstavuje účinný postup pri vysokej kvalite finálnych FAME pri únosných ekonomických parametroch.

Záverom možno konštatovať, že autor zvládol tému na solídnej odbornej úrovni, má požadované teoretické vedomosti a praktické skúsenosti. V predloženej dizertácii prezentoval hodnotné výsledky, ktoré správne vyhodnotil a ktoré rozširujú stupeň poznania vo vednom obore s dopadom na technickú prax. Preukázal, že ovláda vedecké metódy výskumu, je schopný priniesť nové poznatky v obore a je schopný samostatne riešiť vedecký problém. Na základe uvedených skutočností konštatujem, že doktorská dizertácia pána Ing. Jirího Kwieciena splňuje podmienky stanovené v príslušnej vyhláske. Preto ju odporúčam predložiť

na obhajobu a po jej úspešnom obhájení navrhujem, aby pánovi Ing. Jirímu Kwiecienovi bola priznaná vedecko-akademická hodnosť PhD .
V Bratislave, 02.07.20 Io doc. In~;;; ' DrSc

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie
Ústav organickej chémie, katalýzy a petrochémie
Oddelenie technológie ropy a petrochémie

RECENZNÝ POSUDOK
na doktorskú dizertačnú prácu

Autor: **Ing. Kamil Jíša**
Názov: **N₂O decomposition over Me/Fe-zeolites**
Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Katedra fyzikálnej chémie
Ústav FCH J.Heyrovského, AV ČR, Oddelenie štruktúry a dynamiky v katalýze
Recenzent: **doc.Ing.Pavol Hudec, PhD.**
Slovenská technická univerzita v Bratislava, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Oddelenie technológie ropy a petrochémie

Témou dizertačnej práce Ing. Kamila Jíšu pod vedením školiteľa Doc. Ing. Zdenka Sobalíka, PhD., bol rozklad N₂O na zeolitoch na molekulový kyslík a dusík. Vzhľadom na súčasný trend znižovania emisií skleníkových plynov do atmosféry je téma vysoko aktuálna, zvlášť keď je zameraná na likvidáciu N₂O v reálnych podmienkach v odplynch z výroby kyseliny dusičnej.

Predkladaná dizertačná práca, písaná v anglickom jazyku, je štandardne členená na kapitoly Úvod, Cieľ práce, Experimentálnu časť, Výsledky a diskusiu, Sumarizáciu výsledkov a Záver. Literárna časť je spracovaná na základe 201 literárnych citácií, z ktorých časť predstavujú publikácie vlastné alebo publikácie školiaceho pracoviska zo študovanej problematiky; spracovanie literárnych podkladov spolu so skúsenosťami a experimentálnym vybavením školiaceho pracoviska dali dobré predpoklady na to, aby doktorand splnil ciele dizertačnej práce, ktorými bola príprava, charakterizácia a testovanie katalyzátorov na rozklad N₂O na molekulový kyslík a dusík na báze Fe-zeolitov (FER, MFI, BEA) modifikovaných vzácnyimi kovmi (Pt, Rh, Ru).

Štúdium vplyvu štruktúry zeolitu poukázalo jednoznačný výsledok – iba štruktúra FER sa vyznačuje prítomnosťou páru Al, ktorý sa ukázal ako nevyhnutný pre vysokú konverziu rozkladu N₂O na molekulový kyslík a dusík. Ako najvhodnejší katalyzátor, ktorý poskytoval vysokú konverziu N₂O aj za reálnych podmienok v odplynch z výroby kyseliny

dusičnej (prítomnosť NO, O₂ a vody), sa ukázal bimetalický katalyzátor Pt/Fe-FER po spracovaní pri 700 °C. Vysokú aktivitu autor dokázal aj pre katalyzátor Rh/Fe-FER, ale v reálnych podmienkach sa jeho aktivita výrazne znižovala.

Vplyv jednotlivých študovaných parametrov (obsah Fe, postup prípravy Me/Fe zeolitov, teplota kalcinácie, atď.) pri príprave katalyzátora pre rozklad N₂O na báze FER na jednotlivé charakteristiky (kyslosť, TPR, ...) a na výslednú katalytickú aktivitu je natoľko komplexný, že sa nedá tak jednoducho zhodnotiť, a pre nezúčastneného čitateľa by bolo treba dlhší čas na detailné preštudovanie a posúdenie jednotlivých javov. Autor však experimentálne potvrdil, že na výslednú katalytickú aktivitu majú podstatný pozitívny vplyv synergický efekt iónov železa viazaných medzi párom dvoch susedných atómov hliníka (teda štruktúrou ktorú má iba ferierit), nanočastice Pt, ktoré vznikajú iba pri iónovej výmene platiny pred nanášaním železa, a teplota spracovania 700 °C. Nebolo by však na škodu, keby sa vysoká aktivita rozkladu N₂O aj v simulovaných reálnych podmienkach odplynu z výroby HNO₃ (za prítomnosti NO, O₂ a vody) na danom type katalyzátora bola zvýraznila aj v záveroch.

Keďže jednotlivé kapitoly experimentálnej časti boli publikované v renomovaných odborných časopisoch v ktorých bol dizertant autor alebo spoluautor, a prešli serióznym recenzným konaním, ťažko sa v texte dajú nájsť chyby, ktoré by bolo treba pripomienkovať.

K práci mám iba niekoľko dopĺňujúcich otázok, prípadne otázok do diskusie:

1. V kapitole 3.1.2 sa spomína, že pri príprave Fe-zeolitov sa NH₄-zeolity najprv tabletovali a sitovali na frakciu 0,3-0,6 mm, ktorá bola impregnovaná potrebným roztokom. Z textu mi nie je jasné, či bola zmes zamiešaná iba na začiatku, alebo počas celých 12 hodín, ak celých 12 hodín, či sa pripravené zrná počas miešania nerozpadávajú a dali sa použiť pri charakterizácii, a aký bol vlastne účel tohoto tabletovania pred iónovou výmenou. Pri nanášaní kovov Pt, Rh a Ru takéto granulovanie nie je spomenuté – boli použité práškové vzorky?
2. Na obr.4-30 sú na TPR krivke vzorky Fe-BEA_{0,61} po oxidácii s N₂O pre oblasť B dve viditeľné maximá – odpovedá to dvom rôznym formám Fe-O zlúčenín?
3. Pri príprave tabletiiek na FTIR pred adsorpciou PY alebo acetonitrilu nie je spomenuté vákuum počas aktivácie.
4. Vplyv teploty – boli preskúmané iba dve teploty – 450°C a 700 °C. Akým spôsobom boli zvolené tieto dve teploty? Nepokúsil sa dizertant preštudovať aspoň na jednej vzorke podrobnejšie vplyv teploty v menších krokoch (napr. po 100 °C)?
5. Vzhľadom na možnú prítomnosť vodnej pary v spracovávanom reálnom odplyne nebola vyskúšaná aj kalcinácia pri 700 °C aj v prítomnosti vodnej pary (parciálna dealuminácia a vytváranie EFAL)?
6. V tabuľkách 4-7 až 4-9 sú niektoré hodnoty spotreby vodíka v TPR uvádzané na 4 platné číslice – je presnosť metódy naozaj taká vysoká?
7. Bol niektorý z najaktívnejších katalyzátorov odskúšaný aj na životnosť, prípadne aký bol najdlhší čas testovania katalyzátorov a zmena ich aktivity s časom – bol pozorovaný pokles aktivity?

Výsledky dizertačnej práce boli publikované v 5 CC časopisoch (z nich je dizertant 2x 1. autor), v 7 prednáškach (5x 1. autor) a v 26 posteroch (11x 1. autor) na medzinárodných konferenciách. Autor teda prejavil dostatočné schopnosti v systematickej experimentálnej práci ako aj pri spracovaní experimentálnych výsledkov a ich hodnotení na základe literárnych poznatkov.

Záverom sa dá skonštatovať, že autor splnil požiadavky kladené na doktorandskú dizertačnú prácu a doporučujem, aby bola práca prijatá na obhajobu, a po jej úspešnom priebehu mu navrhujem udeliť vedecko – akademickú hodnosť

„Philosophiae Doctor – PhD“

V Bratislave 3.9.2010

Doc.Ing.Pavol Hudec, CSc.

Oponentský posudek disertacní práce

Jméno doktoranda: Ing. Kamil Jíša

Název práce: N₂O decomposition over-Me/Fe-zeolites

Predložená disertacní práce se zabývá prímým rozkladem N₂O na dusík a kyslík. Prímý rozklad N₂O je jedním z možných způsobu likvidace emisí N₂O z chemického průmyslu. Daná problematika je atraktivní, jak z hlediska základního výzkumu, tak z hlediska průmyslové aplikace.

Ing. Jíša v rámci disertacní práce studoval aktivitu Fe-zeolitů v rozkladu N₂O. Pozornost byla zaměřena nejen na aktivitu Fe-zeolitů, ale cílem práce bylo jednak zhodnotit potenciál a vliv dopování Fe-zeolitu vzácnými kovy (Pt, Rh a Ru), jednak zhodnotit vliv přítomnosti NO, O₂ a H₂O na rozklad N₂O na Fe-zeolitech. Vedle výzkumu aktivity katalyzátoru na bázi Fezeolitu, byla významná část práce zaměřena na studium strukturních vlastností daných katalyzátoru s cílem diskuze aktivních center rozkladu N₂O. Zajímavá je především technologie současné likvidace NO a N₂O z výroby kyseliny dusičné.

V teoretické části práce je přehledně zpracována problematika likvidace N₂O a prímý rozklad N₂O na katalyzátorech na bázi přechodných kovů ukotvených v zeolitech. v experimentální části jsou uvedeny všechny potřebné informace o realizaci vlastních experimentů. Výsledky a diskuze uvedené autorem práce plně odpovídají požadavkům a zadání disertacní práce. Autor v jednotlivých pasážích diskutoval výsledky charakterizace Fe-a Fe/kov-zeolitu, aktivity katalyzátorů v prímém rozkladu N₂O a v prímém rozkladu N₂O za přítomnosti NO. Prezentované výsledky byly spojeny v kapitole zabývající se vysvětlením aktivity Fe-zeolitů, synergetickým efektem pozorovaným pro Fe-kov-katalyzátory a HTP způsobu opracování Fe-katalyzátorů. Na rozdíl od rady dalších studií se Ing. Jíša zabýval rovněž in-situ FTIR charakterizací Fe-katalyzátorů v prímém rozkladu N₂O.

K předložené disertacní práci mám několik drobných poznámek formálního charakteru.

1. Autor na str. 86 zmiňuje, že za nižšího GHSV vzrostla konverze N₂O ve srovnání s GHSV 90000 h⁻¹ (Obr. 4-35), ale toto není nikde dokumentováno v datech.
 2. Ačkoli se autor maximálně snažilo jednoznačnou a rychlou identifikaci katalyzátoru, autor se přesto nevyhnu I menší nejednoznačnosti při interpretaci katalytických testů. Obrázek 4-40 ukazuje aktivitu katalyzátoru za opracování označené jako LTP a HTP. Z dalších obrázků však není jednoznačně patrné o jaké materiály se jedná. Např. hned v následujícím obrázku je srovnána aktivita katalyzátoru kov-zeolit, ale není jednoznačně patrné zda jde o úpravu LTP a HTP. Z textu je toto srozumitelné, ale mělo by to, dle mého názoru, být uvedeno. v popisku obrázku.
 3. Kapitola 5 se nešťastně jmenuje "Main summary and discussion", Přitom jde o část, kde autor diskutuje spojitost mezi strukturou a aktivitou studovaných katalyzátorů. Souhrn jako takový by měl být použit jen v případě shrnutí již popsaných informací.
- K předložené disertacní práci mám následující poznámky, případně podněty k diskusi:
- I. V disertacní práci je aktivita katalyzátoru v rozkladu N₂O a v rozkladu N₂O v přítomnosti

NO prezentována pomocí konverze N₂O respektive konverze NO. Byl rovněž sledován výtežek N₂ a pokud ano, jaká byla shoda v bilanci N₂ u N-obsahujících reakčních složek a produktu.

2. Obrázek 4-38 ukazuje závislost konverze NO na teplotě pro Fe-FER-0.86. Jaký je příspěvek reakcí v plynné fázi, tj. jaké konverze NO bylo dosaženo v prázdném reaktoru a jaký je příspěvek samotné matrice k výsledné aktivitě Fe-zeolitu?

3. Obrázek 4-41 a obrázek 4-43 srovnává aktivitu katalyzátoru kov-zeolit. Proč byly pro srovnání vybrány katalyzátory s nhlým obsahem kovu? Autor napr. srovnává aktivitu Ru-FER-0.12 a Fe-FER-0.96. Avšak dle obrázku 4-40 je zřejmé, že aktivita Fe-FER je závislá na obsahu Fe. Jaká byla aktivita Fe-FER s nižším obsahem Fe, pokud autor práce tuto aktivitu studoval.

4. Jaký je případný příspěvek kyselých center k výsledné aktivitě Fe-zeolitu, případně Fe-kovzeolitu v přímém rozkladu N₂O a rozkladu N₂O v přítomnosti NO. Napr. v obrázku 4-45 je srovnána aktivita Fe-kov-zeolit katalyzátoru, přičemž nejvyšší aktivity dosahují katalyzátory s nižší sumou množství kovu. Do jaké míry mohla ke změně aktivity katalyzátoru vedle synergetického efektu Fe-kov přispět rovněž změna kyselosti katalyzátoru. Efekt kyselých center by rovněž mohl být zásadní v citlivosti katalyzátoru k přítomnosti vodní páry, jak je prezentováno v kapitole 4.5.4. Na straně 118 autor diskutuje chování duálních katalyzátorů v přímém rozkladu N₂O za přítomnosti NO. Změna zastoupení kyselých center zde však diskutována není, ačkoli v kapitole 4.1.6 je změna Bronsted a Lewis kyselých center zmíněna. Spojitost mezi Lewis centry a katalytickou aktivitou je napr. diskutována na str. 122 v případě vysvětlení LTP a HTP efektu opracování katalyzátoru.

5. Kapitola 5.1. diskutuje vztah mezi strukturou a aktivitou Fe-zeolitu v přímém rozkladu N₂O. Je zmíněna řada parametrů, avšak není zmíněn vliv Lewis a Bronsted center na aktivitu jednotlivých Fe-zeolitů, ačkoli v případě HTP opracování je vliv kyselých center na aktivitu Fe-zeolitu zdůrazněn (kapitola 5.3). Jaký je případný vliv kyselých center na aktivitu Fe-zeolitu?

Shrnutí

Výsledky prezentované doktorandem jsou zpracovány a diskutovány v logicky navazujících pasážích. Autor práce prokázal schopnost řešit vědecké téma. Ing. Jíša ve své práci dokázal přehledně zpracovat a využít informace získané z mezinárodní odborné literatury. Rozsah práce plně odpovídá zadání disertační práce. Všechny body uložené v zadání disertační práce jsou splněny v plném rozsahu. Disertační práce Ing. Jíši je na vysoké odborné úrovni. Výsledky získané v rámci disertační práce byly navíc publikovány v řadě mezinárodních časopisů. **Práci doporučuji k obhajobě a hodnotím záporně.**

V Pardubicích dne I. září 2010.
doc. Ing. Libor Capek, Ph.D.
Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Katedra fyzikální chemie
Studentská 573
532 10 Pardubice