VŠCHT PRAHA

FCHT

Sborník anotací

Studentská vědecká konference

19. 11. 2026

Ústav organické technologie

SPONZOŘI

ORLEN UNIPETROL

ZENTIVA

PENTO

Ranido

ŠKODA

Aroco s.r.o. výrobní skupina AROMA a.s.

euro support

MARS

sebia

SPOLCHEMIE

synthomer

NEVITECH S.R.O.

Kapaji

SHIMADZU Excellence in Science

PRO.MED.CS Praha a.s.

CHEMOPROJEKT

BorsodChem Chemistry for generations

Synthesia Chemistry for the future

Temperatior

SILON

LUMMUS TECHNOLOGY

SULTRADE INDUSTRIAL SOLUTIONS













































Formulace léčiv a farmaceutické technologie

MÍSTO: A81a

KOMISE

doc. Mgr. Jarmila Zbytovská, Dr. rer. nat. (předsedkyně)

Ing. Jan Patera, Ph.D. (tajemník)

Ing. Tereza Školáková, Ph.D.

Ing. Pavlína Komínová, Ph.D.

PROGRAM

09:00 **slavnostní zahájení v AI**

09:45 **zahájení soutěže v A81a**

Vanda Ballonová
Hodnocení kvality potahu účinných farmaceutických látek v závislosti na podmínkách suchého potahování
Barbora Zuzana Havelková
Vývoj techniky zkráceného disolučního testu pro indikaci disolučního profilu tablet s řízeným uvolňováním
Tereza Hudečková
Vliv třetí složky na vlastnosti pevných disperzí rivaroxabanu připravených metodou extruze z taveniny
Ema Kráčalová
Vliv procesních parametrů suchého potahování na chemickou degradaci API
Tereza Ratajová
Optimalizace složení lipidových nanotobolek pro enkapsulaci neurosteroidů
Emma Spišovská
Štúdium rôznych prístupov suchého poťahovania a ich vplyv na reologické vlastnosti práškových liečiv
Vojtěch Šír
Studium dose dumping efektu na rozpouštění pevných lékových forem na bázi polymerů
Anežka Watson-Jones
Vliv parametrů tabletování a složení tabletoviny na stabilitu účinné látky

vyhlášení výsledků

Hodnocení kvality potahu účinných farmaceutických látek v závislosti na podmínkách suchého potahování

Bc. Vanda Ballonová

Ročník studia: M1

Školitel: Ing. Jan Patera, Ph.D.

Pevné práškové systémy tvoria základ väčšiny farmaceutických prípravkov, pričom jemné prášky často vykazujú nežiaduce javy, ako sú zlá tokovosť a aglomerácia, ktoré komplikujú výrobu. Účinným a environmentálne priaznivým prístupom k úprave týchto vlastností je suché poťahovanie, ktoré prebieha bez použitia kvapalných médií prostredníctvom mechanického namáhania.

Táto práca sa zameriava na objasnenie vzťahov medzi procesnými parametrami suchého poťahovania (dobou spracovania a stupňom zaplnenia mlyna) a výslednou modifikáciou povrchových vlastností modelového systému tvoreného účinnou látkou candesartan cilexetil a polymérom Methocel E15. Pomocou IGC a SEM sa detailne hodnotia zmeny povrchovej energie, acidobázického charakteru a morfologickej nanodrsnosti častíc.

Výsledky potvrdzujú, že správanie systému určuje rovnováha medzi fragmentáciou častíc a ich následnou reorganizáciou. Práca poukazuje na kľúčový význam riadenia dodanej mechanickej energie pre dosiahnutie požadovanej funkcionalizácie povrchu. Pochopenie týchto mechanizmov na fázovom rozhraní vytvára teoretický základ pre cieľavedomú optimalizáciu nadväzujúcich priemyselných výrobných procesov, ako sú homogenizácia zmesi, zabezpečenie plynulosti toku či lisovanie tabliet v praxi.

Vývoj techniky zkráceného disolučního testu pro indikaci disolučního profilu tablet s řízeným uvolňováním

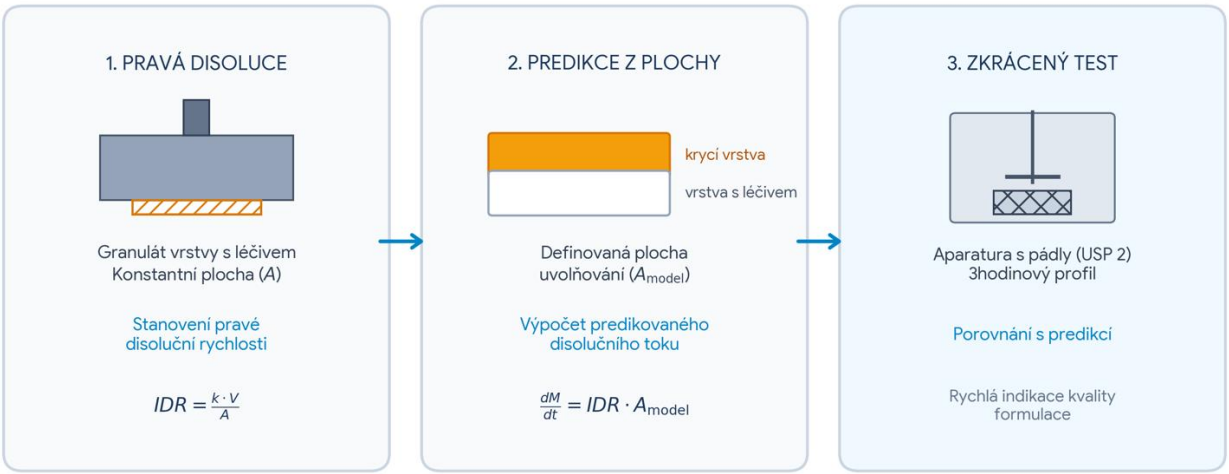
Bc. Barbora Zuzana Havelková

Ročník studia: M1

Školitel: prof. Ing. Petr Zámostný, Ph.D.

Pevné perorální lékové formy s řízeným uvolňováním, tedy tablety uvolňující léčivo postupně po mnoho hodin, představují standard moderní farmakoterapie. Vývoj a optimalizace jejich formulací se však opírají o časově náročné disoluční testování (sledování, jak rychle se léčivo uvolňuje z tablety do kapaliny), které u matricových systémů běžně přesahuje 24 hodin. Při screeningovém vývoji a úpravách složení tak dlouhé doby testování významně zpomalují celý proces. Předkládaný projekt se proto zabývá konceptem zkráceného disolučního testu, který by po vzoru zrychlených stabilitních studií umožnil včasnou predikci chování formulace za zlomek standardního času.

Navržený přístup propojuje experimentální stanovení pravé disoluční rychlosti s matematickým popisem geometrie tablety a transportu hmoty z definovaného smočeného povrchu. Projekt představuje základní koncept metody a srovnává teoretický predikční model s reálným uvolňováním léčiva z modelového vícevrstvého matricového systému v pádlovém aparátu. Přestože model zatím reálné uvolňování nadhodnocuje, což může souviset s bobtnáním krycí vrstvy či polohou tablety během měření, představuje první krok k rychlému screeningovému nástroji pro formulační vývoj v průmyslu.



Vliv třetí složky na vlastnosti pevných disperzí rivaroxabanu připravených metodou extruze z taveniny

Bc. Tereza Hudečková

Ročník studia: M2

Školitelka: Ing. Tereza Školáková, Ph.D.

Nízká rozpustnost léčivých látek ve vodném prostředí představuje zásadní překážku při vývoji perorálních léčivých přípravků, jelikož rychlost rozpouštění přímo limituje jejich následnou absorpci a biologickou dostupnost. Efektivním řešením je formulace amorfních pevných disperzí s polymerním nosičem. Při přípravě těchto systémů však mohou představovat výzvu léčivé látky, které vedle nízké rozpustnosti vykazují také vysokou teplotu tání. Jejich zpracování metodami založenými na tavení může vyžadovat vysoké teploty, což zvyšuje riziko tepelné degradace polymerních nosičů a představuje technologické omezení při přípravě amorfních pevných disperzí.

Tato práce se zaměřuje na přípravu ternárních pevných disperzí obsahujících modelovou léčivou látku rivaroxaban, polymerní nosič Kollidon® VA 64 a vybranou třetí složku metodou extruze z taveniny. Hlavním cílem práce je prostřednictvím stabilitních studií posoudit vliv přídavku třetí složky na disoluční chování a fyzikální stabilitu připravených systémů. Hodnocení je založeno na sledování časového vývoje zdánlivé pravé rychlosti rozpouštění (A)IDR a změn fyzikálního stavu pomocí rentgenové práškové difrakce (XRPD).

Vliv procesních parametrů suchého potahování na chemickou degradaci API

Bc. Ema Kráčalová

Ročník studia: M1

Školitel: Ing. Jan Patera, Ph.D.

Suché potahování představuje perspektivní metodu přípravy farmaceutických mikrokompozitů, která umožňuje upravovat vlastnosti účinných látek bez použití kapalných médií. Její využití však vyžaduje nalezení procesních podmínek, které zajistí účinnou ochranu léčiva bez jeho degradace vlivem mechanického namáhání. Pro optimalizaci technologie je proto zásadní porozumět vztahu mezi energetickou náročností procesu, tvorbou polymerního potahu a chemickou stabilitou účinné látky. Cílem práce bylo posoudit vliv procesních parametrů mechanofúze na chemickou stabilitu a morfologii binárních systémů candesartan cilexetilu s polymerem Methocel E15 a identifikovat podmínky umožňující omezit degradaci léčiva při tvorbě polymerního potahu. Vzorky byly hodnoceny pomocí HPLC a SEM a jejich stabilita byla sledována při stresových testech.

Výsledky potvrdily vliv navážky mlecích těles, technologického uspořádání a doby koprocesování na chemickou stabilitu účinné látky. Vhodné nastavení procesu umožnilo omezit tvorbu degradačních produktů a podpořit stabilizaci léčiva v polymerní matrici. Jako nejvhodnější se ukázala kombinace vyšší navážky mlecích těles a delší doby koprocesování.

Optimalizace složení lipidových nanotobolek pro enkapsulaci neurosteroidů

Bc. Tereza Ratajová

Ročník studia: M1

Školitel:ka doc. Mgr. Jarmila Zbytovská, Dr. rer. nat.

V dnešním světě plném shonu představují psychické poruchy stále významnější problém ovlivňující kvalitu života pacientů. Přestože standardní terapie spočívá v podání antidepresiv, neurosteroidy nabízejí slibnou alternativu díky svému rychlému nástupu účinku prostřednictvím přímé interakce s receptory CNS. Jejich klinické využití je limitováno nízkou biodostupností při perorálním podání pramenící z jejich nízké rozpustnosti. Jednou z možností, jak tato omezení překonat, je jejich transdermální aplikace. Avšak i tato alternativní cesta podání se potýká s existencí *stratum corneum* jakožto přirozené kožní bariéry, která brání v průniku cizorodých látek do těla. Naději na překonání tohoto problému přinesla enkapsulace neurosteroidů do lipidových nanotobolek (LNC), které představují slibný nosičový systém pro lipofilní látky. Připravené LNC sice vykazovaly dlouhodobou stabilitu a enkapsulační účinnost, permeační experimenty však nenaplnily svůj potenciál. Mohla by být řešením úprava jejich složení či funkcionalizace jejich povrchu? Právě na tuto otázku navazuje další výzkum zaměřený na optimalizaci kinetiky uvolňování neurosteroidů a rozšíření možností jejich využití LNC i pro intravenózní aplikaci.

Štúdium rôznych prístupov suchého poťahovania a ich vplyv na reologické vlastnosti práškových liečiv

Bc. Emma Spišovská

Ročník studia: M2

Školitelka: Ing. Pavlína Komínová, Ph.D.

Mnohé aktívne farmaceutické látky (API) sú jemné kohézne prášky so zlou sypkosťou, čo komplikuje ich spracovanie. Perspektívnym riešením je suché poťahovanie, pri ktorom sa jemné častice pomocnej látky nanášajú na povrch častíc API bez použitia rozpúšťadiel.

Cieľom práce bolo posúdiť vplyv suchého poťahovania modelovej aktívnej farmaceutickej substancie (API A) dvoma coatovacími látkami (Excipient A, Excipient B) na jej reologické vlastnosti v závislosti od koncentrácie excipientu, doby miešania (10 až 1000 min) a intenzity procesu (miešač Turbula T2F, vysokostrihové miešanie). Zmesi boli hodnotené na práškovom reometri FT4 (šmykový test, kompresibilita, permeabilita) a pomocou SEM analýzy.

SEM analýza ukázala, že namiesto cielenej súvislej vrstvy excipientu na povrchu API A vznikali za všetkých použitých podmienok agregáty excipientu pokryté časticami API A, teda prevládlo reverzné suché poťahovanie. Tieto poznatky z obrazovej analýzy objasňujú, prečo zmeny v reologickom správaní boli minimálne, a to ako z pohľadu zloženia zmesí, tak aj spôsobu ich prípravy. Výsledky rovnako naznačujú, že kľúčová je účinná deaglomerácia excipientu.

Studium dose dumping efektu na rozpouštění pevných lékových forem na bázi polymerů

Bc. Vojtěch Šír

Ročník studia: M1

Školitelka: Ing. Tereza Školáková, Ph.D.

Tato práce se zabývala rizikem náhlého uvolnění léčivé látky vyvolaného současnou konzumací alkoholu (tzv. dose dumping efekt). Cílem bylo vytipovat vhodné hydrofilní polymery schopné zajistit řízené uvolňování a zároveň odolnost vůči tomuto jevu. Jako modelová léčivá látka byl použit theofylin. Metodou přímého lisování byly připraveny matricové tablety, pro jejichž formulaci byly zvoleny tři polymerní nosiče, tj. amfifilní kopolymer Soluplus® a dva polymery na bázi polyvinylalkoholu (Parteck® SRP 80 a Parteck® MXP). U tablet byla hodnocena radiální pevnost a disoluční profily v kyselém disolučním médiu s různým obsahem ethanolu (0 %; 20 % a 40 %). Zkoušky ukázaly, že polymery na bázi polyvinylalkoholu poskytují mechanicky výrazně odolnější tablety. Disoluční testy následně potvrdily, že volba nosiče je pro prevenci dose dumpingu klíčová. Zatímco Soluplus® při 40% obsahu ethanolu uvolňování léčivé látky mírně urychloval, oba polymery na bázi polyvinylalkoholu prokázaly vysokou stabilitu a uvolňování naopak zpomalovaly. Práce experimentálně potvrdila, že testované polymery na bázi polyvinylalkoholu (především Parteck® SRP 80) představují spolehlivé a bezpečné excipienty pro přípravu matricových tablet rezistentních vůči interakci s alkoholem.

Vliv parametrů tabletování a složení tabletoviny na stabilitu účinné látky

Bc. Anežka Watson-Jones

Ročník studia: M1

Školitel: Ing. Jan Patera, Ph.D.

Chemická a fyzikální stabilita jsou důležitými předpoklady zachování kvality léčivých přípravků během výroby a skladování. Zatímco chemická stabilita souvisí se zachováním obsahu léčivé látky a omezením vzniku degradačních produktů, fyzikální stabilita ovlivňuje vlastnosti a kvalitu výsledné lékové formy. U tabletových přípravků je proto důležité sledovat oba aspekty současně, čímž lze komplexněji posoudit vliv podmínek skladování na celkovou kvalitu tablet.

Tato práce se zabývá studiem chemické a fyzikální stability atorvastatinu vápenatého a vlivem složení formulace na degradační procesy. Byla sledována citlivost léčivé látky vůči zvýšené teplotě, vlhkosti, pH a světlu, dále byl hodnocen vliv pomocných látek a teplotně-vlhkostních podmínek na stabilitu vybraných formulací. Chemická stabilita byla hodnocena metodou vysokoúčinné kapalinové chromatografie, fyzikální stabilita na základě změn rozměrů a pevnosti tablet.

Výsledky prokázaly vysokou chemickou stabilitu atorvastatinu vápenatého ve všech sledovaných formulacích. Dominantním faktorem ovlivňujícím rozsah degradace byla kombinace zvýšené teploty a relativní vlhkosti. Složení formulace ovlivňovalo především charakter vznikajících degradačních produktů a citlivost formulací vůči působení vlhkosti. Bylo potvrzeno, že samotný proces tabletace neměl významný vliv na chemickou stabilitu léčivé látky.

Biologicky aktivní látky, separace a analytické metody

MÍSTO: AS31a

KOMISE

doc. Ing. Pavel Čapek, CSc. (předseda)
Ing. Aneta Kalvodová, Ph.D. (tajemnice)
Ing. Lada Dolejšová Sekerová, Ph.D.
Ing. Kamila Syslová, Ph.D.
prof. Ing. Petr Zámostný, Ph.D.

PROGRAM

09:00 **slavnostní zahájení v AI**

09:45 **zahájení soutěže v AS31a**

Veronika Arnoštová
Zelenější MIPy: Cesta k udržitelnější separaci biologicky aktivních látek

Nikol Meissnerová
Vliv vybraných faktorů na adsorpci thymolu na molekulárně otištěné polymery

Aneta Nechutová
Metody stanovení a extrakce PFAS

Martin Sůva
Korelační metody identifikace a kvantifikace mikroplastů

Markéta Syrovátková
Paradox kyseliny olejové: Může penetrační akcelerant pomáhat obnovovat kožní bariéru?

Eliška Zdráhalová
Vliv podmínek emulzní polymerace na vlastnosti molekulárně otištěných polymerů

Kateryna Zinenko
Starý azol, nový rozměr: nanokrystaly flukonazolu a ekonazolu připravené mokrým mletím pro lokální terapii mykóz

vyhlášení výsledků

Zelenější MIPy: Cesta k udržitelnější separaci biologicky aktivních látek

Veronika Arnoštová

Ročník studia: B3

Školitel: Ing. Lada Dolejšová Sekerová, Ph.D.

Molekulárně otištěné polymery (MIP) představují vysoce selektivní sorbenty pro separaci látek přírodního původu. Standardní postupy jejich přípravy jsou však často energeticky náročné a spoléhají na velká množství toxických činidel. V současnosti je proto věnována stále větší pozornost vývoji udržitelnějších metod jejich přípravy. Tato práce na tento trend navazuje a zaměřuje se na návrh optimalizace přípravy MIPů s ohledem na zdraví i životní prostředí.

V první fázi této práce byl podle zavedeného postupu připraven referenční polymer. Environmentální zátěž této syntézy byla následně posouzena pomocí nástroje AGREEMIP, který umožňuje kvantitativní hodnocení syntézy MIPů na základě 12 kritérií. Mezi ně patří například množství a toxicita vstupních látek, objem rozpouštědel nebo energetická náročnost celého procesu. Získané skóre AGREEMIP sloužilo jako referenční hodnota pro další optimalizaci.

Optimalizace zahrnovala náhradu funkčního monomeru kyselinou itakonovou, využití ethanolu jako alternativního porogenu a udržitelnější metody odstranění templátu, například pomocí ultrazvuku. Cílem bylo zlepšit skóre AGREEMIP při zachování výtěžku a adsorpčních vlastností polymeru.

Vliv vybraných faktorů na adsorpci thymolu na molekulárně otištěné polymery

Bc. Nikol Meissnerová

Ročník studia: M1

Školitel: Ing. Lada Dolejšová Sekerová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Anna Šmídová

Molekulárně otištěné polymery (MIPy) jsou materiály schopné selektivního rozpoznání zvoleného templátu. Cílem této práce bylo zkoumání vlivu vybraných faktorů na adsorpci thymolu na MIP, který byl připraven blokovou polymerací. Vybranými parametry byly: hmotnost polymeru, podíl organického kosolventu ve vodě (acetonitril/methanol), pH roztoku, teplota, rychlost míchání a velikost částic polymeru.

Zpracována byla kinetická studie, pomocí které byla stanovena rovnovážná doba kontaktu 90 minut. Provedena byla také rovnovážná studie, přičemž pro otištěný polymer byla stanovena maximální adsorpční kapacita q_{max} 94 mg/g a Langmuirova konstanta K_L 21 ml/mg.

Výrazný vliv na adsorpci thymolu mělo množství organického kosolventu v roztoku, kdy s rostoucím podílem kosolventu klesala účinnost adsorpce. Vliv rychlosti míchání nebyl ve zvoleném rozsahu statisticky významný, zatímco hmotnost polymeru, pH, teplota a velikost částic ovlivňovaly adsorpci při krajních hodnotách zkoumaných parametrů. Na základě výsledků měření byly navrženy vhodné podmínky pro adsorpci thymolu na MIPy během vsádkové adsorpce: 25 mg polymeru, 1 % acetonitrilu jako kosolventu ve vodě, pH 7, 25 °C, 500 otáček/min, velikost částic <75 µm.

Metody stanovení a extrakce PFAS

Bc. Aneta Nechutová

Ročník studia: M2

Školitelka: prof. Ing. Eliška Vyskočilová, Ph.D.

Per- a polyfluorované alkylové látky (PFAS) patří mezi perzistentní organické polutanty, které se pro svou chemickou stabilitu, bioakumulaci a toxicitu dostávají do popředí zájmu environmentální analytiky i legislativy. Tato práce se zabývá optimalizací extrakčních postupů pro stanovení PFAS z pevné polymerní matrice fluoroelastomerových kroužků. Byla testována ultrazvukem asistovaná extrakce (UAE) methanolem, přičemž byl sestaven statistický plán a zkoumán vliv teploty (30–50 °C), času (15–45 min) a objemu rozpouštědla na účinnost procesu. Prvotní screening extraktů probíhal infračervenou spektroskopií (FTIR-ATR). Analýza potvrdila uvolňování technologických aditiv (silikonových separátorů a alifatických maziv). IČ spektra rovněž prokázala, že stopové koncentrace PFAS leží pod limitem detekce FTIR a samotný fluoropolymer nedegraduje. Zmapování podmínek a identifikace extrahovaných složek slouží jako základ pro vývoj citlivé metody LC-MS/MS, která umožní přesnou kvantifikaci uvolněných PFAS.

Korelační metody identifikace a kvantifikace mikroplastů

Bc. Martin Sůva

Ročník studia : M2

Školitel : Ing. Martin Veselý, Ph.D.

Práce se zabývá korelačními metodami identifikace a kvantifikace mikroplastů v pitné vodě. Cílem je propojení tří analytických přístupů: optické mikroskopie s obrazovou analýzou, rastrovací elektronové mikroskopie s energiově disperzní spektroskopií (SEM-EDS) a Ramanovy mikroskopie. Základem metodiky je zachycení mikroplastů na anodiskovém filtru, na kterém jsou poté laserem vytvořeny tři referenční body umožňující převod mezi souřadnicovými systémy a opakované nalezení analyzovaných částic. Obrazová analýza využívající skripty v prostředí MATLAB umožňuje automatickou detekci částic a určení jejich velikosti, tvaru, barvy a morfologického typu. Metoda SEM-EDS poskytuje informace o povrchové morfologii a prvkovém složení částic, zatímco Ramanova mikroskopie slouží k identifikaci jejich polymerního složení. V počáteční fázi jsou jednotlivé metody ověřovány na standardních vzorcích s definovanými typy mikroplastů. Získaná data budou využita k porovnání analytických metod a vytvoření podkladů pro budoucí automatizované vyhledávání, identifikaci a kvantifikaci mikroplastů v pitné vodě.

Paradox kyseliny olejové: Může penetrační akcelerant pomáhat obnovovat kožní bariéru?

Bc. Markéta Syrovátková

Ročník studia: M1

Školitelka: doc. Mgr. Jarmila Zbytovská, Dr. rer. nat.

Kyselina olejová (OA) je známá jako penetrační akcelerant, který může narušovat lipidové uspořádání *stratum corneum*. V cerozomech, systémech tvořených ceramidy (CER), cholesterolem a mastnými kyselinami (MK), však může plnit odlišnou úlohu. Dosavadní výzkum obnovy kožní bariéry cílil především na modifikaci CER profilu (subtypy CER a molární poměry), práce se proto zaměřila na optimalizaci složky MK, nahrazením části kyseliny stearové za OA. Jaký má tato strategie vliv na stabilitu a potenciál formulací obnovovat kožní bariéru?

Fyzikální stabilita formulací s různým podílem OA byla hodnocena pomocí DLS a mikroskopických metod. Následně byly vybrány formulace pro *ex vivo* testování tak, aby pokryly co nejširší koncentrační spektrum a poskytly ucelený obraz o vlivu OA. Klíčovými ukazateli byly TEWL, elektrická impedance a permeace modelového léčiva, doplněné také FTIR spektroskopií.

Navzdory narušujícímu účinku OA se ukázalo, že formulace s jejím nejnižším zastoupením nemají nejvýraznější regenerační efekt, nýbrž je klíčové vhodně zvolená lipidová rovnováha. Jako perspektivní se jevila formulace s 50% podílem OA.

Vliv podmínek emulzní polymerace na vlastnosti molekulárně otištěných polymerů

Bc. Eliška Zdráhalová

Ročník studia: M2

Školitelka: Ing. Lada Dolejšová Sekerová, Ph.D.

Konzultantka: Ing. Anna Šmídová

Molekulárně otištěné polymery (MIPy) jsou syntetické polymerní materiály se specifickými vazebnými místy pro selektivní rozpoznání templátové molekuly. Tato práce se zabývala optimalizací parametrů přípravy MIPů emulzní polymerací za použití thymolu jako templátové molekuly. Byl sledován vliv rychlosti dávkování organické fáze do vodné fáze a rychlosti míchání reakční směsi na morfologii, distribuci velikosti částic a adsorpční vlastnosti syntetizovaných MIPů.

Nízká rychlost dávkování (0,1 ml min^{-1}) vedla ke vzniku velkých agregátů částic nepravidelného tvaru, zatímco při dávkování 0,5 a 1 ml min^{-1} docházelo převážně ke vzniku izolovaných sférických částic. Nejvyššího výtěžku MIPu (94–95 %) bylo dosaženo při rychlosti dávkování 1 ml min^{-1}. Zvýšení rychlosti míchání vedlo k většímu zastoupení menších částic, avšak při 800 otáčkách min^{-1} byla pozorována vyšší míra aglomerace částic než při 500 otáčkách min^{-1}.

MIPy připravené při rychlosti dávkování 0,5 ml min^{-1} a rychlosti míchání 500 nebo 800 otáček min^{-1} vykazovaly nejvyšší rovnovážnou adsorpční kapacitu (42 resp. 48 mg g^{-1} při počáteční koncentraci thymolu 0,5 mg ml^{-1}). Z výsledků vyplývá, že vhodnou volbou parametrů syntézy lze ovlivnit nejen morfologii a velikost částic, ale také adsorpční vlastnosti připravovaných MIPů.

Starý azol, nový rozměr: nanokrystaly flukonazolu a ekonazolu připravené mokrým mletím pro lokální terapii mykóz

Bc. Kateryna Zinenko

Ročník studia: M2

Školitelka: doc. Mgr. Jarmila Zbytovská, Dr. rer. nat.

Mykotická onemocnění jsou celosvětově závažným a podceňovaným zdravotním problémem. Kandidémie a invazivní kandidózy postihují ročně přibližně 1,57 milionu pacientů a způsobují 995 000 úmrtí a kryptokoková meningitida si vyžádá 147 000 životů. Povrchovými mykózami trpí zhruba čtvrtina světové populace a vulvovaginální kandidózu prodělá 75 % žen.

Mezi jedna z nejčastěji používaných antimykotik patří azoly: flukonazol a ekonazol. Lokální podání flukonazolu omezuje slabá penetrace přes *stratum corneum*, u ekonazolu pak velmi nízká rozpustnost ve vodě. Systémové podání flukonazolu navíc inhibuje CYP2C19 a CYP3A4, a vyvolává tak lékové interakce i další nežádoucí účinky.

Perspektivním řešením jsou nanokrystaly. Zvyšují zdánlivou rozpustnost i rychlost rozpouštění léčiva a ve vlasových folikulech v kůži vytvářejí depot s prodlouženým uvolňováním. V místě infekce tak lze dosáhnout vyšší koncentrace léčiva bez systémové zátěže a bez rizika lékových interakcí.

V této práci byly metodou mokrého mletí připraveny nanokrystaly flukonazolu stabilizované polyvinylalkoholem, které si zachovaly stabilitu po dobu pěti měsíců. *Ex vivo* testy prokázaly nejméně dvojnásobný záchyt API v kůži oproti kontrole. Navazující studie optimalizuje formulaci ekonazolu z hlediska typu a množství stabilizátoru a doby mletí.

Heterogenní katalýza a syntéza speciálních chemikálií

MÍSTO: A01

KOMISE

prof. Ing. Eliška Vyskočilová, Ph.D. (předsedkyně)
doc. Ing. Iva Paterová, Ph.D. (tajemnice)
Ing. Martina Pitínová, Ph.D.
Ing. Tomáš Sommer, Ph.D.
Ing. Iryna Danylo, Ph.D.

PROGRAM

09:00 **slavnostní zahájení v AI**

09:45 **zahájení soutěže v A01**

Ihar Astanin
Rhodiové katalyzátory na nosičích MoS_2 a WS_2 pro hydroformylaci styrenu

Tereza Červenková
Heterogenní bifunkční katalyzátory pro one-pot procesy kombinující kyselou a bazickou katalýzu

Anna Barbora Kaňáková
Vývoj a studium Rh/h-BN katalyzátorů pro selektivní hydroformylaci styrenu

Jáchym Kučera
Oxidace benzylalkoholu pomocí měděných katalyzátorů využívající oxidy grafenu jako nosiče

Dominik Najzar
Příprava diolů z terpenických epoxidů

Lucie Růžičková
Selektivní epoxidace limonenu peroxidem vodíku na hydrotalcitových katalyzátorech

Eliška Vozdecká
Hydrotalcitové katalyzátory pro efektivní syntézu methyletheru raspberry ketonu s perspektivou one-pot procesu

vyhlášení výsledků

Rhodiové katalyzátory na nosičích MoS_2 a WS_2 pro hydroformylaci styrenu

Ihar Astanin

Ročník studia: M2

Školitelka: Ing. Martina Pitínová, Ph.D.

Hydroformylace je významná průmyslová reakce, při které se z alkenů a syntézního plynu získávají aldehydy. V průmyslu se používají homogenní rhodiové katalyzátory, jejichž nevýhodou je obtížné oddělení od reakční směsi a omezená znovupoužitelnost. Perspektivní alternativou jsou heterogenní katalyzátory, u nichž je rhodium ukotveno na pevném nosiči. Vhodnými nosiči jsou vrstevnaté dichalkogenidy přechodných kovů, jako jsou MoS_2 a WS_2, které lze exfoliovat na tenké vrstvy. Cílem práce byla příprava rhodiových katalyzátorů na těchto nosičích, jejich charakterizace a otestování v hydroformylaci styrenu. Nosiče byly exfoliovány vysokotlakou homogenizací a rhodium bylo naneseno mokrou impregnací nebo mletím v kulovém mlýně bez použití rozpouštědla. Katalyzátory byly charakterizovány pomocí XRF, XRD a fyzisorpce dusíku. Jejich aktivita a selektivita v hydroformylaci styrenu byla porovnána s rhodiovými katalyzátory na zeolitových nosičích.

Heterogenní bifunkční katalyzátory pro one-pot procesy kombinující kyselou a bazickou katalýzu

Bc. Tereza Červenková

Ročník studia: M2

Školitelka: doc. Ing. Iva Paterová, Ph.D.

Práce se zabývá využitím heterogenních bifunkčních katalyzátorů pro one-pot syntézy zahrnující reakční kroky katalyzované kyselými i bazickými centry. Takové procesy představují atraktivní cestu k intenzifikaci chemické výroby, neboť umožňují provedení více navazujících reakcí v jednom reaktoru bez izolace meziproduktů. Významnou výzvou však zůstává vzájemná kompatibilita kyselých a bazických funkčních míst v jednom katalytickém systému. Impulsem pro výzkum byla spolupráce s VŠB-TUO, v rámci níž byl připraven kompozitní materiál kombinující obě složky. Cílem práce bylo optimalizovat reakční podmínky pro následné využití bifunkčního kompozitního katalyzátoru.

Nejprve byly studovány modelové reakce umožňující ověřit průběh jednotlivých reakčních kroků a jejich potenciální propojení do one-pot syntézy. Zatímco první modelová reakce, zaměřená na syntézu ethylirononu z citralu a pentan-2-onu, nevedla za testovaných podmínek k požadované přeměně, další výzkum se zaměřil na izomeraci α-pinenoxidu katalyzovanou zeolitem USY a navazující aldolovou kondenzaci kamfolenického aldehydu s acetonem. Byly zkoumány vlivy reakčních podmínek na konverzi výchozí látky a selektivity k produktům. Použití původního kompozitu však nevedlo za testovaných podmínek k očekávaným výsledkům, nejspíše kvůli vysokému podílu zeolitu nebo přítomnosti Cu v hydrotalcitu. Proto byly připraveny kompozitní materiály tvořené hydrotalcity Mg/Al bez Cu a s různými poměry vůči zeolitu. Jejich následné testování představuje další směr výzkumu.

Vývoj a studium Rh/h-BN katalyzátorů pro selektivní hydroformylaci styrenu

Bc. Anna Barbora Kaňáková

Ročník studia: M1

Školitelka: Ing. Martina Pitínová, Ph.D.

Cílem tohoto výzkumu byl vývoj a charakterizace heterogenních katalyzátorů Rh/h-BN pro selektivní hydroformylaci styrenu. Tato reakce představuje klíčový krok pro syntézu aldehydů využívaných při výrobě léčiv, zejména nesteroidních protizánětlivých látek (např. ibuprofen či naproxen). Vývoj pevných katalyzátorů řeší problematickou separaci a absenci recyklace u homogenních systémů. Metodou mokré impregnace byla připravena série katalyzátorů s obsahem Rh (0,5–10 hm. %) a srovnávací řada Co/h-BN. Vzorky byly před i po kalcinaci charakterizovány pomocí N_2 fyzisorpce (BET), XRD, SEM, TEM a EDS. Katalytické testy prokázaly výrazně vyšší aktivitu rhodiových katalyzátorů oproti kobaltovým. Nejlepších výsledků dosáhl kalcinovaný 2 hm. % Rh/h-BN s konverzí styrenu 53,8 % při 100 % selektivitě k aldehydům. Kalcinace u všech Rh vzorků zvýšila konverzi na 1,5–2násobek původních hodnot. Měření potvrdila zachování struktury h-BN i vysokou disperzi kovových nanočástic bez aglomerace. Systém Rh/h-BN se tak ukázal jako perspektivní katalyzátor spojující vysokou selektivitu se snadnou separovatelností.

Oxidace benzylalkoholu pomocí měděných katalyzátorů využívající oxidy grafenu jako nosiče

Bc. Jáchym Kučera

Ročník studia: M1

Školitelka: Ing. Martina Pitínová, Ph.D.

Tato práce se zabývala přípravou měděných katalyzátorů nanesených na oxid grafenu (HUGO) a jejich využitím při oxidaci benzylalkoholu na benzaldehyd. Katalyzátory byly připraveny s různým obsahem mědi (1, 5 a 10 hm. %). Připravené katalyzátory byly charakterizovány pomocí rentgenové fluorescence, rentgenové difrakce a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou analýzou. Byl studován vliv reakčních podmínek, konkrétně teploty (50 a 80 °C) a použitého oxidačního činidla (peroxidu vodíku a *terc*-butylhydroperoxidu) na průběh oxidační reakce.

Benzylalkohol byl oxidován v přítomnosti všech připravených katalyzátorů a obou oxidačních činidel. Vedle požadovaného benzaldehydu však docházelo také ke vzniku vedlejších produktů, především kyseliny benzoové. Selektivita k benzaldehydu byla zpravidla nižší při vyšší reakční teplotě. Při použití *terc*-butylhydroperoxidu bylo obecně dosaženo vyšších konverzí benzylalkoholu i vyšších výtěžků benzaldehydu než při použití peroxidu vodíku.

Příprava diolů z terpenických epoxidů

Bc. Dominik Najzar

Ročník studia: M2

Školitelka: prof. Ing. Eliška Vyskočilová, Ph.D.

Hydratace terpenických epoxidů představuje perspektivní cestu k přípravě diolů, které mohou sloužit jako meziprodukty pro syntézu dalších organických látek s širokým využitím. Cílem práce bylo studium hydratace limonenoxidu a optimalizace reakčních podmínek s ohledem na dosaženou konverzi a selektivitu vůči limonen-1,2-diolu.

V rámci experimentální části byl nejprve proveden screening zeolitických katalyzátorů. Následně byl na vybraném zeolitu Beta 38 sledován vliv molárního poměru reaktantů, reakční teploty, množství katalyzátoru a intenzity míchání. Vzorky byly analyzovány plynovou chromatografií. Jako optimální reakční podmínky byla určena teplota 80 °C, molární poměr limonenoxid:voda 1:100 a množství katalyzátoru 10 hm. %. Za těchto podmínek bylo dosaženo konverze limonenoxidu přibližně 95 % po 60 min při selektivitě vůči limonen-1,2-diolu přibližně 90 %.

Tyto reakční podmínky jsou využívány pro další fáze výzkumu, které zahrnují modifikace jílových katalyzátorů a možnost přípravy pinendiolu.

Selektivní epoxidace limonenu peroxidem vodíku na hydrotalcitových katalyzátorech

Bc. Lucie Růžičková

Ročník studia: M2

Školitelka: doc. Ing. Iva Paterová, Ph.D.

Limonen je přírodní terpenická sloučenina, která se hojně vyskytuje v citrusových plodech, především v jejich kůře. Díky své charakteristické citrusové vůni se široce využívá jako vonná přísada v kosmetickém i potravinářském průmyslu.

Cílenou epoxidací tohoto terpenu se získává produkt limonen-1,2-epoxid (limonenoxid). Ten slouží jako klíčový meziprodukt v organické syntéze a nachází další uplatnění při výrobě kosmetických a potravinářských přípravků.

Tato práce se zabývá epoxidací limonenu pomocí peroxidu vodíku za katalýzy hydrotalcitů. Kombinace regenerovatelných heterogenních katalyzátorů a šetrného oxidačního činidla představuje environmentálně příznivou alternativu ke konvenčním oxidačním postupům. Cílem práce byla optimalizace reakčních podmínek vedoucích k co nejvyšší konverzi limonenu a selektivitě k limonenoxidu. Mezi studovanými parametry byl vliv reakční teploty, reakční doby, množství vody a poměru peroxidu vodíku vůči limonenu.

Získané výsledky přispívají k vývoji katalytických procesů umožňujících efektivní využití obnovitelných surovin pro přípravu produktů s vyšší přidanou hodnotou.

Hydrotalcitové katalyzátory pro efektivní syntézu methyletheru raspberry ketonu s perspektivou one-pot procesu

Bc. Eliška Vozdecká

Ročník studia: M2

Školitelka: doc. Ing. Iva Paterová, Ph.D.

Methylether raspberry keton (4-(4-methoxyfenyl)butan-2-on) se díky svému ovocnému aroma s tóny malin, fialek a vanilky uplatňuje jako aromatická látka v potravinářství, kosmetice a parfumářství. Lze jej připravit aldolovou kondenzací *p*-anisaldehydu s acetonem a následnou selektivní hydrogenací vzniklého *α,β*-nenasyceného ketonu. Práce se zabývá optimalizací aldolové kondenzace pomocí bazických heterogenních katalyzátorů na bázi hydrotalcitů jako alternativy ke konvenční homogenní katalýze hydroxidem sodným. Hydrotalcity lze snadno separovat z reakční směsi, regenerovat a opakovaně využít. Současně představují perspektivní základ pro vývoj bifunkčních katalyzátorů umožňujících propojení kondenzačního a hydrogenačního kroku v rámci one-pot syntézy. Studován byl vliv reakčních podmínek na konverzi *p*-anisaldehydu a selektivitu k požadovanému produktu. Jako nejvhodnější se ukázala kombinace methanolu jako rozpouštědla, hydrotalcitu s poměrem Mg:Al = 3 v množství 40 hm. % a molárního poměru *p*-anisaldehyd:aceton 1:5. Nejvyšší katalytické aktivity bylo dosaženo za refluxu s katalyzátorem aktivovaným kalcinací a následnou rehydratací směsného oxidu. Výsledky potvrzují potenciál hydrotalcitů pro udržitelnější syntézu methyletheru raspberry ketonu a pro budoucí aplikaci v one-pot procesu.

Chemické reakce, materiály a procesní inženýrství

MÍSTO: Zasedací místnost děkanátu FCHT (B2414)

KOMISE

doc. Ing. Jiří Trejbal, Ph.D. (předseda)
Ing. Adam Karaba, Ph.D. (tajemník)
Ing. Eva Zapletalová, Ph.D.
Ing. Martin Veselý, Ph.D.
Ing. Martin Zapletal, Ph.D.

PROGRAM

09:00 **slavnostní zahájení v AI**

09:45 **zahájení soutěže v B2414**

Lucia Gabošová
Štúdium vplyvu interkalácie lítia na vlastnosti CrSBr pomocou AFM

Filip Kmínek
Stanovení propustnosti vícevrstvé porézní látky pro plyny

Adam Nedvěd
Optimalizace dehydratace styrenglykolu na fenylacetaldehyd

Timea Orsághová
Prinsova reakce hexanalu s isoprenolem při přípravě vonných látek

Štěpán Ryba
Vakuová rektifikace pro odsíření obnovitelných biopaliv 2. generace

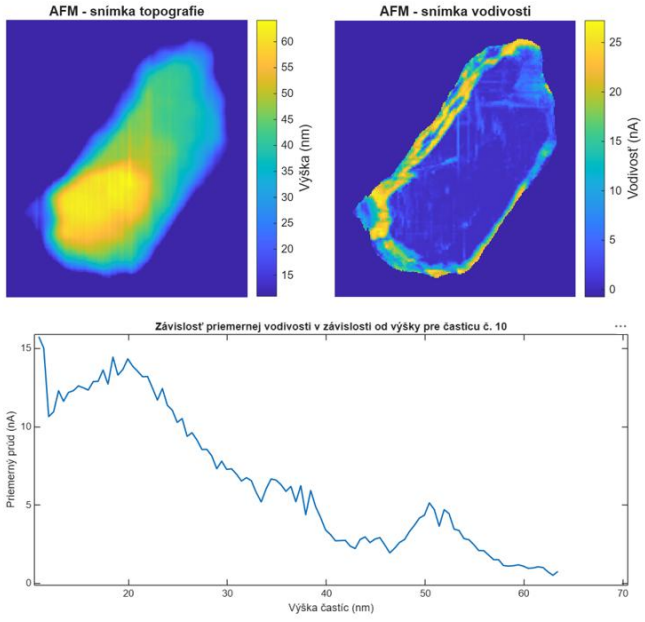
Sofiia Zadniprianska
Charakterizace měděných a kobaltových nanočástic na grafenoxidovém nosiči a studium povrchových procesů při hydrogenaci oxidu uhličitého metodou in-situ DRIFTS

vyhlášení výsledků

Štúdium vplyvu interkalácie lítia na vlastnosti CrSBr pomocou AFM

Bc. Lucia Gabošová
Ročník studia: M2
Školitel: Ing. Martin Veselý Ph.D.

Práca sa zaoberá vývojom metodiky korelatívnej spektroskopie pre analýzu vplyvu interkalácie lítia na van der Waalsov materiál bromosulfid chromitý CrSBr pomocou Atomic Force Microscopy (AFM) a Energy-Dispertive X-ray Spectroscopy (EDS). Doterajším cieľom práce bolo navrhnúť metodický postup umožňujúci spoľahlivé sledovanie zmien vyvolaných procesom interkalácie.
Interkalácia je difúzne zanášanie atómov do kryštalickej štruktúry bez jej narušenia, čo môže pozmeniť fyzikálne vlastnosti materiálu. Sledovaný materiál CrSBr disponuje elektrickou anizotropiou, čo znamená, že vodivosť závisí na pozorovanom smere v kryštalickej mriežke. Zaradenie medzi van der Waalsové materiály spôsobuje, že kryštalické vrstvy sú spojené slabými elektrostatickými silami a možno ich oddeliť exfoliáciou. To umožňuje skúmať správanie častíc o nízkej výške, často v desiatkach nanometrov.
Analýza vplyvu interkalácie je založená primárne na využití AFM k štúdiu topografie a vodivosti. Ďalej je analýza doplnená ďalšími analytickými metódami – SEM a EDS. Získané dáta je nevyhnutné navzájom zarovnať pred ďalším spracovaním. Zarovnanie a vyhodnocovanie prebieha pomocou programu Avízo a Matlab. To umožňuje analyzovať vzťah medzi lokálnou vodivosťou, výškou častíc a vzdialenosťou od okraja častíc. Získané výsledky potvrdili výraznú elektrickú anizotropiu materiálu a poukázali na súvislosť medzi vodivosťou a morfológiou povrchu. Vyvinutá metodika umožní ďalší výskum vzťahu medzi podmienkami interkalácie, ako napríklad voľba interkalačného média, a následnými zmenami vlastností materiálu.



Stanovení propustnosti vícevrstvé porézní látky pro plyny

Bc. Filip Kmínek

Ročník studia: M1

Školitel: doc. Ing. Pavel Čapek, CSc.

Velký vnitřní povrch porézních látek určuje jejich aplikace, mezi které patří separace tekutin a heterogenní katalýza. Společným jmenovatelem aplikací je tok tekutin skrze póry pevné látky. Velikost toku závisí na hnací síle proudění, viskozitě tekutiny a na permeabilitě porézního materiálu, která je určena strukturou pórů.

Cílem práce bylo určit propustnost (permeabilitu) dvouvrstvého porézního materiálu složeného z komerčně vyráběného nosiče katalyzátorů pro palivové články a nanesené katalytické vrstvy. Permeabilita vrstev byla určována v permeační cele za použití čtyř inertních plynů z relaxací rozdílů tlaků nad a pod porézním materiálem. Nejprve byla určena permeabilita samotného nosiče. Pak byly experimenty zopakovány pro nosič s katalytickou vrstvou. S užitím známé permeability nosiče byla určena permeabilita samostatné katalytické vrstvy, která sloužila pro ověření třírozměrného modelu struktury pórů katalytické vrstvy.

Optimalizace dehydratace styrenglykolu na fenylacetaldehyd

Bc. Adam Nedvěd

Ročník studia: M1

Školitelka: prof. Ing. Eliška Vyskočilová, Ph.D.

Tato práce se zabývala optimalizací podmínek pro kysele katalyzovanou dehydrataci 1-fenylethan-1,2-diolu (styrenglykolu) na fenylacetaldehyd prostřednictvím pinakolového přesmyku. Vzhledem k vysoké reaktivitě cílového aldehydu a jeho náchylnosti k degradačním reakcím, jako je aldolová kondenzace a polymerace, byla reakce realizována ve dvoufázovém systému organické rozpouštědlo/voda. Toto uspořádání umožňuje okamžitou *in-situ* extrakci vznikajícího produktu z reakčního prostředí, a tím ho účinně chrání před kyselým rozkladem.

V rámci studie byl zkoumán vliv teploty, druhu rozpouštědla, typu a koncentrace kyselého katalyzátoru (homogenní H_2SO_4, kyselina p-toluensulfonová a heterogenní jíl Fullcat 22), rychlosti míchání a fázového poměru na celkový výtěžek aldehydu. Nejlepšího kompromisu mezi reakční rychlostí a selektivitou bylo dosaženo při použití 200 mol% H_2SO_4 při teplotě 170 °C a reakční době 90 minut. Optimální objemový poměr vodné ku organické fázi byl stanoven na 1:1,5 při rychlosti míchání 500 rpm, přičemž jako nejúčinnější extrakční médium se díky svému vyššímu bodu varu osvědčil xylen. Byla rovněž prokázána vysoká stabilita tohoto systému a možnost opakovaného použití aktivní katalytické fáze pro několik reakčních cyklů. Dosažené výsledky tak představují spolehlivý technologický podklad pro budoucí scale-up procesu a návrh poloprovozních podmínek výroby.

Prinsova reakce hexanalu s isoprenolem při přípravě vonných látek

Bc. Timea Orsághová

Ročník studia: M2

Školitelka: Ing. Eva Zapletalová, Ph.D.

Prinsova reakce je kysele katalyzovaná reakce karbonylové sloučeniny s alkenem. Její cyklizační varianta umožňuje přípravu substituovaných tetrahydropyranolů, jejichž deriváty se uplatňují jako vonné látky a mohou mít využití v kosmetickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Při reakci hexanalu s isoprenolem vzniká hemiacetal, který může podléhat dalším reakcím. Po uzavření šestičlenného kruhu vzniká požadovaný 4-methyl-2-(1-pentyl)-tetrahydro-*2H*-pyran-4-ol (THPol). Konkurenční reakční cesty mohou vést ke vzniku acetalu a dehydratací také k tvorbě různých dihydropyranů.

Tato práce se zabývá Prinsovou cyklizací hexanalu s isoprenolem za použití jílových katalyzátorů na bázi bentonitu a montmorillonitu. Systematicky byl studován vliv typu a množství katalyzátoru, rozpouštědla, teploty, přídavku vody a reakční doby na konverzi hexanalu a selektivitu tvorby THPolu. Cílem práce je optimalizovat reakční podmínky a posoudit vliv vlastností použitých jílových materiálů na průběh reakce a tvorbu požadovaného produktu. Připravený THPol představuje výchozí látku pro následnou esterifikaci, při níž lze získat jeho estery (acetát, propionát a butyrát) s potenciálním využitím jako vonné látky.

Vakuová rektifikace pro odsíření obnovitelných biopaliv 2. generace

Bc. Štěpán Ryba

Ročník studia: M2

Školitel: Ing. Martin Zapletal, Ph.D.

Vedlejší produkty z rafinace rostlinných olejů, jako je soapstock (odpadní směs po neutralizaci olejů obsahující soli mastných kyselin), představují díky vysokému podílu volných mastných kyselin levný a perspektivní zdroj pro výrobu biopaliv 2. generace. Směs methylesterů mastných kyselin (FAME) získaná jejich esterifikací a transesterifikací však často obsahuje nežádoucí sirné látky. Jejich přítomnost omezuje průmyslové uplatnění produktu, a proto je nezbytné surovinu dále rafinovat. Jednou z efektivních metod separace těchto příměsí je vakuová rektifikace, umožňující tepelně šetrné dělení složek směsi.

Tato práce se zaměřuje na studium odsíření reálné průmyslové směsi FAME. Cílem je rozdělit tuto surovinu na jednotlivé frakce pomocí vakuové rektifikace, analyzovat chemické složení těchto frakcí a zmapovat distribuci síry.

Získaná experimentální data z laboratorního měření představují podklad pro návrh průmyslové rektifikační kolony. Výsledky práce tak přímo přispějí k realizaci nové firemní technologie umožňující udržitelnou produkci čistých, bezsirných biopaliv.

Charakterizace měděných a kobaltových nanočástic na grafenoxidovém nosiči a studium povrchových procesů při hydrogenaci oxidu uhličitého metodou *in-situ* DRIFTS

Bc. Sofiia Zadniprianska

Ročník studia: M1

Školitel: Ing. Martin Veselý, Ph.D.

Hydrogenace oxidu uhličitého (CO_2) představuje perspektivní přístup k jeho využití jako zdroje uhlíku pro výrobu cenných chemických surovin a paliv. Vzhledem k vysoké termodynamické stabilitě CO_2 je pro jeho účinnou přeměnu nezbytný vývoj vhodných katalyzátorů, které mají velký aktivní povrch a dobře dispergovaná aktivní místa. Tato práce se proto zaměřuje na měděné a kobaltové nanočástice deponované na grafenoxidovém (GO) nosiči, jehož kyslíkaté funkční skupiny a defektní místa mohou podporovat adsorpci CO_2 a stabilizaci nanočástic. Vhodným nástrojem pro simultánní sledovaní povrchových procesů na katalyzátorech a změn složení plynné fáze během reakce je metoda *in-situ* DRIFTS v kombinaci s hmotnostní spektrometrií (MS). Výsledky spektroskopické analýzy připravených katalyzátorů poukázaly na vznik povrchových karbonátových a formátových meziproduktů a na přítomnost signálů odpovídajících plynným produktům, jako jsou metan (CH_4), oxid uhelnatý (CO) a voda (H_2O). Míra defektů v grafenoxidovém nosiči, morfologie, velikost kovových částic a přítomné krystalické fáze byly analyzovány pomocí Ramanovy spektroskopie, elektronové mikroskopie (SEM/EDS) a rentgenové difrakce (XRD). Kombinace všech použitých metod umožňuje komplexně charakterizovat katalytické materiály a lépe porozumět jejich vlastnostem i povrchovým procesům probíhajícím během hydrogenace CO_2.