

Biologická rozložitelnost polymerních systémů obsahujících PVP a syntetické zeolity

Ing. Ludmila Vaňharová, Ph.D.

Teze disertační práce



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Biologická rozložitelnost polymerních systémů obsahujících PVP a syntetické zeolity

Biodegradation of polymer systems containing PVP and synthetic zeolites

Teze disertační práce

Autor: Ing. Ludmila Vaňharová, Ph.D.
Studijní program: Chemie a technologie materiálů (P2808)
Studijní obor: Technologie makromolekulárních látek (2808V006)
Školitel: doc. Ing. Markéta Julinová, Ph.D.
Oponenti: prof. Ing. Pavel Mokrejš, Ph.D.
doc. Ing. Tomáš Weidlich, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová

Zlín, leden 2022

© Ludmila Vaňharová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
Publikace byla vydána v roce 2022.

Klíčová slova: *polyvinylpyrrolidon, syntetický zeolit, biochar, lignosulfonát vápenatý, biologická rozložitelnost, Pleurotus ostreatus*

Key words: *polyvinylpyrrolidone, synthetic zeolite, biochar, calcium lignosulphonate, biodegradation, Pleurotus ostreatus*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-062-0

Abstrakt

Disertační práce se zabývá studiem biologické rozložitelnosti polymerních systémů obsahujících polyvinylpyrrolidon (PVP), syntetický zeolit a další plniva z řady obnovitelných zdrojů. PVP je v současnosti hojně využívaným polymerem v mnoha oblastech, nicméně již několik prací upozornilo na jeho rezistenci vůči biologickému rozkladu a tudíž i na možnou hrozbu jeho kumulace v životním prostředí. Součástí práce je studie zabývající se hledáním potenciálních degradérů sledovaného polymeru v rozličných prostředích. Pro studium biologického rozkladu bylo využito laboratorních respirometrů umožňujících stanovení produkce CO₂ nebo spotřeby biologického kyslíku. V rámci této části práce bylo dosaženo výsledků, které ukázaly možnost vlivu mycelia houby *Pleurotus ostreatus* na narušení struktury PVP. Bylo zjištěno, že důležitým faktorem je přítomnost dalšího substrátu, kterým mohl být lignin nebo lignocelulóza, které mohly iniciovat tvorbu potřebných enzymů. Hlavním předmětem práce byla příprava polymerních systémů na bázi PVP s použitím vhodného změkčovadla a plniv ve snaze podpořit biologickou rozložitelnost výchozího materiálu. Sledován byl také vliv přítomnosti Fe³⁺ iontů v polymerním systému na jejich fotooxidaci a následnou biodegradaci. Na základě výsledků experimentů první části disertace byly mimo jiné jako plniva voleny ekonomicky dostupné zdroje lignocelulózy a lignosulfonát vápenatý. Vzhledem k poznatkům z literární rešerše bylo sledováno i působení plniva typu biochar. Biologická rozložitelnost materiálů byla sledována taktéž pomocí laboratorních respirometrů. Připravené polymerní systémy byly podrobeny několika analýzám (infračervená spektroskopie, optická mikroskopie, diferenční skenovací kalorimetrie, tahové zkoušky, navlhavost, rozpustnost) pro základní charakterizaci jejich vlastností. Získány byly polymerní systémy s uspokojivými vlastnostmi pro praktické využití. Co se týká biodegradace polymerních systémů, bylo zjištěno, že plniva mohou mít mírně pozitivní vliv. Sledováno bylo také působení polymerních systémů na růst semínek rostliny *Sinapis alba*, pro případ jejich potenciálního využití v odvětví agrochemie. Nejzajímavějšími vlastnostmi disponovaly materiály, které obsahovaly jako plnivo biochar. V rámci růstových experimentů se ukázalo, že PVP matrice nemá negativní dopad na růst rostliny v její rané fázi, a že zvolená plniva mohou podpořit její růst.

Abstract

This thesis deals with the biodegradability of polymer systems containing polyvinylpyrrolidone (PVP), synthetic zeolite and fillers from renewable sources. PVP is a widely used polymer in many areas. However, several studies have already highlighted the possibility of its resistance to microbial biodegradation and thus the potential threat of its accumulation in the environment. First, potential degraders of PVP from various environments were studied. To monitor biodegradation experiments laboratory respirometers were used. In this part of study, obtained results pointed at the possibility of the disruption of PVP structure by *Pleurotus ostreatus* mycelia. However, the important factor was the presence of another substrate, which could be lignin or lignocellulose, initiating the formation of necessary enzymes. The main subject of this study was to prepare PVP-based polymer systems using suitable plasticizer and fillers in an effort to promote the biodegradability of the materials. The influence of the presence of Fe^{3+} ions in the polymer system on their photooxidation and subsequent biodegradation was also studied. Based on the results of the experiments of the first part of the dissertations, economically available sources of lignocellulose and calcium lignosulphonate were chosen as fillers. According to the literature review, the effect of biochar as filler was also studied. Biodegradation of prepared materials was also observed using the laboratory respirometers. The prepared polymer systems were also subjected to several analyzes (FTIR, optical microscopy, DSC, tensile tests, water absorption, solubility) for a basic characterization of their properties. Polymer systems with satisfactory properties for practical use have been obtained. The final experiment monitored the influence of polymer composites on the growth of *Sinapis alba* seeds during their potential usage in the agrochemical industry. It was found that the materials with biochar content as the filler had the best mechanical properties. Regarding the biodegradation of polymer systems, it has been found that fillers can have a slightly positive effect. However, it has been shown that polymer systems have no negative effect on plant growth and the selected fillers can promote plant growth.

OBSAH

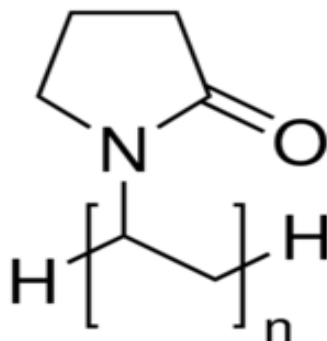
OBSAH.....	5
1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	6
1.1 Polyvinylpyrrolidon	6
1.2 Aktuální zhodnocení chování PVP v jednotlivých složkách životního prostředí	7
1.3 Možnosti snížení emisí a odstranění PVP v životním prostředí.....	8
1.3.1 Adsorpce	8
1.3.2 Fotooxidační procesy	8
1.3.3 Biodegradace.....	9
1.3.4 Biologicky rozložitelné kompozity a mísení polymerů	9
1.4 Přehled využívaných aditiv pro přípravu materiálů s PVP	10
1.4.1 Plastifikátory používané pro přípravu materiálů na bázi PVP.....	10
1.4.2 Polymery a plniva používaná pro přípravu polymerních směsí a kompozitů z PVP	10
1.5 Zeolity	11
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	13
3. METODIKA ŘEŠENÍ.....	14
3.1 Sledování biologické rozložitelnosti PVP v různých typech prostředí.....	14
3.2 Sledování vlivu přítomnosti Fe^{3+} iontů na abiotickou degradaci a následnou biodegradaci polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zp.....	15
3.3 Příprava polymerních systémů na bázi PVP s obsahem syntetického zeolitu a organických plniv, sledování jejich biodegradace a vlivu na růst rostliny <i>Sinapis alba</i>	16
4. VÝSLEDKY A DISKUZE.....	19
4.1 Sledování biodegradace samotného PVP pomocí různých typů degradérů	19
4.2 Fotooxidace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zp a Fe^{3+} iontů.....	23
4.3 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv	25
4.3.1 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs	25
4.3.2 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a odpadní biomasy	29
4.3.3 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a L	38
5. ZÁVĚR.....	44
6. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	50
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	51
PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA	52
CURRICULUM VITAE.....	53

1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současnosti jsou polymerní materiály nedílnou součástí každodenního života a dostávají se v poměrně významném množství do životního prostředí. Mnoho z těchto materiálů nepodléhá přirozenému biologickému rozkladu a v prostředí se začíná hromadit. Je tedy nezbytné zabývat se touto problematikou a hledat možnosti, jak mikrobiální degradaci takových materiálů podpořit či jak jejich průnik do životního prostředí eliminovat. Mezi takové polymery lze zařadit i polyvinylpyrrolidon, který je předmětem předkládané práce.

1.1 Polyvinylpyrrolidon

Polyvinylpyrrolidon, (PVP), je amorfní polymer rozpustný ve vodě, ethanolu a dalších polárních rozpouštědlech. Chemická struktura PVP je znázorněna na *Obrázku 1.1*. Poprvé byl syntetizován ve 30. letech 19. století profesorem Reppem a jeho týmem (Parambath *et al.*, 2018). PVP se zpravidla připravuje radikálovou polymerací N-vinylpyrrolidonu. Jeho molekulová hmotnost (M_w) se může pohybovat v rozmezí 10 000 – 2 200 000 g.mol⁻¹. Má lineární strukturu a je snadno síťovatelný, kompatibilní s velkým množstvím pryskyřic a elektrolytů. Není však vhodný pro běžné termoplastické zpracování (Lahuta, 2013). Podrobnější informace o charakteristických vlastnostech PVP jsou uvedené například v Handbook of polymers (Wypych, 2016).



Obrázek 1.1 Struktura PVP

Díky vynikajícím fyzikálním a chemickým vlastnostem se tento polymer stal nepostradatelným v mnoha odvětvích. Jeho využití zahrnuje oblasti jako jsou chemický průmysl, potravinářství či zemědělství (Grumezescu, 2017; Chen *et al.*, 2018). Obrovský význam má ve farmaceutickém průmyslu (Franco a De Marco, 2020; Luo *et al.*, 2021) a biomedicíně (Parambath *et al.* 2018; Soroory *et al.*, 2012). Používá se pro výrobu kosmetických prostředků, lepicích pásek či tavných lepidel (Wypych, 2016) a obalových materiálů (Roy *et al.*, 2012; Nešić *et al.*, 2013). Často se využívá i pro přípravu membrán, případně senzorů a obvodových desek (Chalkias *et al.*, 2018; Lu *et al.*, 2021). Lze tedy předpokládat, že PVP se v důsledku neustále rostoucí spotřeby dostává ve značném množství do složek životního prostředí, a to v závislosti na formě jeho využití.

1.2 Aktuální zhodnocení chování PVP v jednotlivých složkách životního prostředí

O osudu PVP v životním prostředí není dosud známo mnoho informací, neboť mu není věnována pozornost, zřejmě kvůli jeho nízké toxicitě. Další příčinou může být právě rozpustnost polymeru ve vodě a fakt, že například ve srovnání s plastovými obaly jím způsobené znečištění není okem viditelné (Hassouna *et al.*, 2011). Nicméně PVP disponuje významnými komplexotvornými vlastnostmi a také stabilitou, která může komplikovat jeho přirozenou biologickou odbouratelnost.

Do systému kanalizací a následně do čistírny odpadních vod se PVP dostává přímo z domácností, kde je spotřebováván ve formě produktů denní potřeby. Trimpin *et al.* (2001) provedl studii, v níž testoval možnost biologického rozkladu PVP v simulovaných podmínkách čistírny odpadních vod. Bylo zjištěno, že po 30 dnech experimentu nedošlo ani k oxidaci koncových skupin řetězců natož k nějakému významnějšímu rozkladu.

Pokud PVP projde systémem čistíren odpadních vod beze změn, dostává se dále do recipientu. Na možnost, že se PVP do přírodních vod opravdu dostává, poukázala práce Antiće *et al.* (2011). Ti ve své práci naměřili v odpadních vodách z čistíren odpadních vod PVP v koncentracích mezi $0,9 \text{ mg.l}^{-1}$ a 7 mg.l^{-1} . V říčních vodách, které byly ovlivněny emisemi z komunálních odpadních vod pak byly naměřeny koncentrace PVP kolem $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$. Říční vody už nemají tak bohaté mikrobiální oživení jako je v aktivovaném kalu a dá se předpokládat, že rozklad v takovém prostředí bude obtížnější.

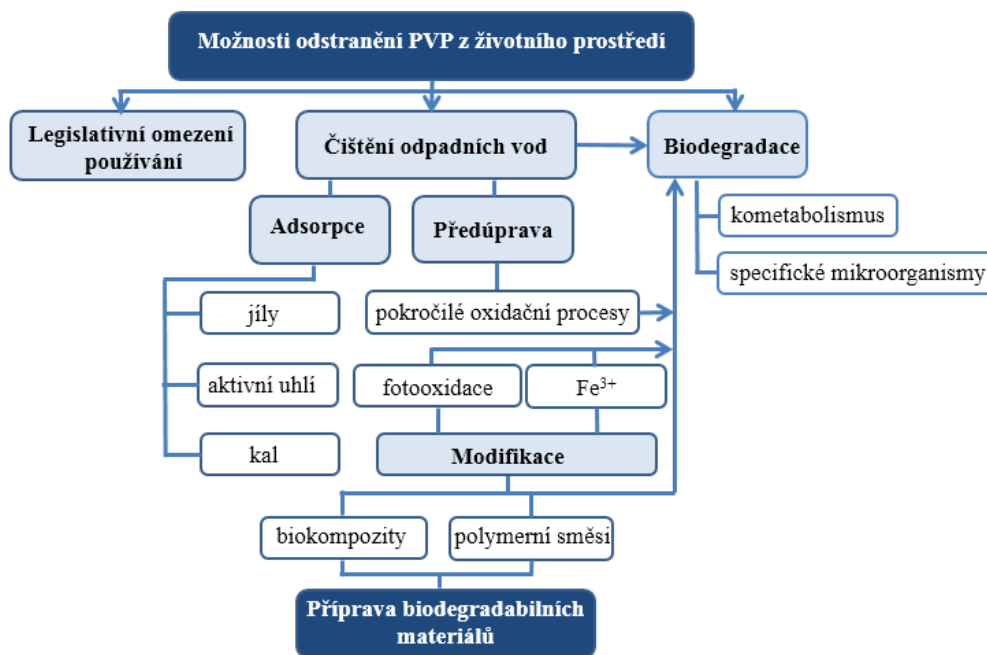
PVP se může také dostávat do ovzduší ať už z důvodu prašnosti samotného polymeru, buď v oblasti jeho výroby, nebo při jeho využití pro výrobu jiných materiálů. O přítomnost a stanovení PVP v ovzduší se zajímal podrobněji ve své studii z roku 1965 Larkin *et al.* (1965).

Do půdních složek se PVP může dostávat z přímé aplikace produktů například v zemědělství. Studie zabývající se možností biodegradace PVP v půdním prostředí poukazují na rezistenci polymeru vůči mikrobiálnímu působení (Abd El-Mohdy *et al.*, 2009).

Proces biodegradace PVP v žádné ze složek životního prostředí dosud nebyl detailně popsán ani potvrzen. (Julinová *et al.*, 2018). K tomuto závěru víceméně směřuje i série několika studentských prací provedených na Ústavu inženýrství ochrany životního prostředí v letech 2009-2018, v nichž byla sledována možnost biologické rozložitelnosti PVP v prostředí mikroorganismů z aktivovaného či vyhnílého kalu, dále v prostředí půdním i za přítomnosti specifických mikrobiálních kultur.

1.3 Možnosti snížení emisí a odstranění PVP v životním prostředí

Ze studií uvedených v předchozí kapitole (Antiće *et al.*, 2011) je zřejmé, že PVP se do složek životního prostředí skutečně dostává. Zřejmě nejradikálnějším avšak nejefektivnějším způsobem jak eliminovat přítomnost PVP v životním prostředí by bylo legislativně omezit jeho používání a nahradit jej jinou přijatelnější látkou. Což na druhou stranu není akceptovatelné pro aplikace, které využívají velmi specifických vlastností tohoto polymeru např. biomedicína (Teodorescu a Bercea, 2015). Přehled potenciálních možností odstranění PVP z životního prostředí je schématicky znázorněn na *obrázku 1.2*.



Obrázek 1.2 Možnosti snížení emisí a odstranění PVP z životního prostředí

1.3.1 Adsorpce

Odstranění vodou rozpustných polymerů v procesu čištění odpadních vod je možné pouze vysrážením nebo adsorpcí na biomasu či pevné adsorbenty. V případně vysrážení se jedná o velice nákladný proces o který v praxi není zájem (Albertsson and Huang, 1995). Adsorpcí vodou rozpustných polymerů, mezi nimiž byl i PVP, se zabývali Teepakakorn *et al.* (2018). Sorpční experimenty poukázaly na silnou afinitu mezi kyselým jílem a PVP. V rámci studie Julinové *et al.* (2012) byla sledována sorpce PVP na aktivní uhlí. Z těchto experimentů lze usoudit, že k adsorpci PVP docházelo především při nízkých koncentracích polymeru.

1.3.2 Fotooxidační procesy

Vzhledem k rezistenci PVP vůči biodegradaci, se začaly novodobější studie zabývat možnostmi abiotické degradace vzorků PVP (Hassouna *et al.*, 2009; Bernal-Ballen *et al.*, 2018), které by finální biodegradaci usnadnily. Jeden z mála účinných procesů představuje fotooxidace materiálu.

Byl sledován i vliv přítomnosti soli Fe^{3+} . Bylo zjištěno, že přítomnost železa ve vodě, může mít vliv na degradaci PVP, přičemž je velmi důležitá jeho koncentrace, pH i množství PVP. Může totiž docházet jak ke štěpení řetězce, tak i k jeho síťování. Vyšší koncentrace Fe^{3+} pak zvyšuje pravděpodobnost přítomnosti makroradikálů (Hassouna *et al.*, 2011).

Výše zmíněné postupy jsou sice zatím jedny z mála možností, které by reálně mohly napomáhat odbourávání polymeru v čistírnách odpadních vod, nicméně by se v některých případech jednalo o ekonomicky nákladnější způsob řešení.

1.3.3 Biodegradace

Dochází-li k nahromadění nežádoucího xenobiotika ve vodním či půdním prostředí, lze využít cílené aplikace mikroorganismů či jejich enzymů, které jsou schopny látku odstranit nebo stimulovat růst stávajících degradérů přidáním makronutrientů. Tento proces se nazývá bioremediace. Pokud mikroorganismům k jejich růstu xenobiotikum nevyhovuje, je možné indukovat tvorbu požadovaného enzymatického vybavení přítomností jiného, snadno využitelného substrátu. V tomto případě se jedná o kometabolickou bioremediaci (Julinová *et al.*, 2012, Li *et al.*, 2021).

Poměrně vysokou úspěšnost při hledání degradérů polutantů mají ligninolytické houby. Konkrétně druh *Pleurotus ostreatus* je schopen rozkladu polyaromatických uhlovodíků, aflatoxinů, pentachlorofenolu, barviv, polychlorovaných bifenyly, linadnu i DDT (Deshmukh *et al.*, 2016).

Bioremediace s využitím bazidiomycet je ekologická a levná. Výhodou je také odolnost hub vůči vyšším koncentracím polutantů ve srovnání s bakteriemi. Ligninolytické houby využívají k degradaci především extracelulární ligninolytické enzymy. Jejich oxidačně-redukční potenciál je významně vyšší než u běžných peroxidáz, což umožňuje i degradaci polymerních substrátů (Salek a Rahman, 2016; da Luz *et al.*, 2013).

Mai *et al.* (2004) se zabývali degradací akrylových kopolymerů vlivem ligninolytických hub. Bylo zjištěno, že za 48 dní došlo u většiny sledovaných kopolymerů k významnému poklesu molekulové hmotnosti M_w . Jako další příklad lze uvést práci Milstein *et al.* (1992), kteří připravovali přímo graft-kopolymery polystyrenu (PS) s různými koncentracemi ligninu a sledovali vliv přítomnosti ligninu na rozklad připraveného materiálu. Zjistili, že připravené materiály jsou na rozdíl od samotného PS vlivem ligninolytických hub zcela odbourávány. Účinnost degradace se pak zvyšovala s rostoucí koncentrací ligninu.

1.3.4 Biologicky rozložitelné kompozity a mísení polymerů

Mísení polymerů je užitečná cesta jak připravit materiály. Výhodou pro komerční sféru je využití existujících polymerů pro přípravu nových materiálů, což snižuje náklady na jejich rozvoj. Narůstající množství odpadů

pak vede k zaměření na přípravu recyklovatelných a biodegradovatelných materiálů, v nichž odpadní materiály mohou být použity jako aditiva.

Mísením PVP s jinou látkou může dojít ve finálním produktu k jeho procentuálnímu úbytku nahrazeném přídatkem plniva či jiného polymeru. Obecně však procento plnění či poměr mísení výrazně mění mechanické a tepelné vlastnosti materiálu. Je tedy nutné tento vliv zohlednit, aby nedocházelo k znehodnocení požadovaných vlastností pro danou aplikaci.

Přidaný polymer v polymerní směsi či plnivo, může ovlivňovat degradaci či biologickou rozložitelnost finálního materiálu. V případě PVP by bylo žádoucí najít takovou kombinaci, která by mohla podpořit rozklad např. na principu kometabolismu, což znamená, že by byl polymer degradován enzymem nebo kofaktorem produkovaným během mikrobiálního metabolismu jiné sloučeniny. Příprava směsných materiálů na bázi PVP je předmětem následující kapitoly.

1.4 Přehled využívaných aditiv pro přípravu materiálů s PVP

Obecně se v čisté formě polymery pro praktické využití používají jen zřídka. K dosažení potřebných vlastností materiálů se docílí přídatkem nejrůznějších přísad (Běhálek, 2016).

1.4.1 Plastifikátory používané pro přípravu materiálů na bázi PVP

Pro přípravu materiálů na bázi PVP bývají používány nejčastěji polyethylenglykol či glycerol. Účinek změkčovadla na PVP je takový, že dochází ke zvýšení jeho hydrofilicity vlivem přítomných –OH skupin interagujících ať už s vodou či polárními skupinami polymeru, v tomto případě s amidovou skupinou PVP, skrze vodíkové můstky. Podobný účinek má i voda, která je polárním rozpouštědlem ale i přirozeným plastifikátorem řady polymerů. Plastifikátory jsou zakomponovány mezi polymerní řetězce, zlepšují jejich rozpletení a zvyšují jejich intermolekulární vzdálenost, snižují jejich vzájemnou interakci a usnadňují mobilitu makromolekul. (Alcantara *et al.*, 2011).

Je známo, že filmy odlévané z PVP jsou velmi křehké a tak bývá použití plastifikátorů nevyhnutelné (Wypych, 2016). Jako modifikátory, kterými lze také upravovat např. křehkost PVP, jeho hygroskopicitu nebo lepivost, lze uvést arabskou gumu, acetát celulózy či karboxymethylcelulózu (Roy *et al.*, 2012).

1.4.2 Polymery a plniva používaná pro přípravu polymerních směsí a kompozitů z PVP

Polymerní směsi mohou být definovány jako fyzikální směsi nejméně dvou strukturálně odlišných polymerů, které jsou soudržné bez kovalentních vazeb mezi nimi, jinak se jedná o kopolymery. Pokud je jeden z polymerů zastoupen ve směsi v minoritním podílu, lze o něm hovořit jako o aditivu (Avramova, 1998).

Kompozity jsou nazývány materiály složené ze spojitě fáze matrice a nespojitě fáze v ní dispergované (Halip *et al.*, 2021). Plniva mohou být organického či anorganického původu a mohou být ve formě částic nebo vláken (Běhálek, 2016).

Mohanty *et al.* (2014) se zabýval přípravou kompozitních materiálů na bázi PVP a jako plnivo využíval lignocelulózových vláken. Bylo zjištěno, že přítomnost vláken zlepšuje mechanické vlastnosti ve srovnání se vzorkem pouze z PVP. Pozitivní vliv plniva byl zaznamenán také u tepelných vlastností.

Práce Chena *et al.* (2018), který použil jako plnivo směsného polymerního materiálu z PVA/PVP biochar už studii biodegradace uvádí. Zmíněná studie se zabývala přípravou a charakterizací materiálu pro enkapsulaci hnojiva s postupným uvolňováním. Biodegradace materiálu hodnocená úbytkem hmotnosti dosahovala po 120 dnech 33 %, což se dá považovat za velice zajímavý výsledek, vzhledem k faktu, že PVA i PVP jsou v půdním prostředí obtížně rozložitelné (Julinová *et al.*, 2018).

Velice zajímavou studii provedli také Silva *et al.* (2005), kteří se zabývali směšováním PVP a ligninu. Zjistili, že lignin snižuje tepelnou stabilitu materiálu, ale naopak zvyšuje jeho fotostabilitu. Studiem biodegradace materiálu se bohužel Silva nezabývá. V tomto případě by však mohlo být zajímavé sledovat vliv enzymatického aparátu, schopného degradovat složitou strukturu ligninu, na polymerní strukturu PVP.

Z literární rešerše také vyplývá, že kombinací polymeru s plnivou lze dosáhnout velmi specifických vlastností materiálu. V tomto směru jsou v dnešní době skloňovány také zeolity, kterým je věnována další kapitola.

1.5 Zeolity

Zeolity jsou krystalické mikroporézní aluminosilikáty, které je možno najít v přírodě, ale mohou být připraveny i synteticky (Kattauer, 2015).

Primárně jsou zeolity využívány jako adsorbenty (Hayashi *et al.*, 2017) a pro separace na principu molekulových sít. Dále jako katalyzátory či iontoměniče. Iontové výměnné vlastnosti jsou velice užitečné pro čištění odpadních vod a pro změkčování vody. Za tímto účelem jsou přidávány do pracích prostředků (Auerbach *et al.*, 2003).

Alvera *et al.* (2014) se zabýval přípravou kompozitů připravovaných z chitosanu v kombinaci s PVP, plněných zeolitem za účelem využití jako adsorbentu pro čištění vod. Pozitivně hodnotil použití zeolitů, které materiálu dodávají specifické fyzikálně-chemické vlastnosti. Kombinace PVP a zeolitu zlepšila výsledné vlastnosti materiálu, především tepelnou stabilitu a mechanické vlastnosti.

SHRnutí LITERÁRNÍ REŠERŠE

Shrneme-li poznatky uvedené v literární rešerši, je nutné zdůraznit, že o osudu PVP v životním prostředí toho stále mnoho nevíme. Není mu ani příliš věnována pozornost, přestože je na základě uvedených studií v přírodních podmínkách patrně rezistentní vůči mikrobiálnímu rozkladu, a tudíž může docházet k jeho hromadění v prostředí. Je proto důležité dále hledat možnosti odstranění PVP z prostředí a případné degradéry tohoto polymeru. Vzhledem k výsledkům získaných při studiích účinku ligninolytických hub na degradaci polymerů, by se pozornost mohla ubírat tímto směrem.

Studie zabývající se přípravou nových materiálů mnohdy opomíjí testování jejich skutečné biologické rozložitelnosti. S možnostmi dnešní doby se díky použití nejrůznějších aditiv či přípravy polymerních směsí, dají vlastnosti materiálu upravovat dle požadavků na výrobky, což se dotýká i možnosti jejich biologické rozložitelnosti. V současné době je pozornost hojně věnována taktéž využívání obnovitelných zdrojů a hledání nového využití pro odpadní materiály. Cílem by tak mělo být nalezení kompromisu mezi ekologickou přijatelností materiálu, ekonomickou stránkou věci a samozřejmě zachováním uživatelských vlastností materiálu.

Jako velmi zajímavá aditiva pro materiály na bázi PVP se na základě literární rešerše jeví zeolity, které mohou mít pozitivní význam pro jejich mechanické vlastnosti. Dále se nabízí možnost využití přítomnosti Fe^{3+} iontů, které by teoreticky mohly podpořit abiotickou degradaci polymerního systému, a následně tak napomáhat degradaci biologické. A v neposlední řadě lignin a jeho deriváty, ty by mohly být díky své složité struktuře zajímavým kosubstrátem pro mikroorganismy při biodegradaci sledovaného polymeru.

Na základě literární rešerše byly stanoveny cíle disertační práce uvedené v následující kapitole.

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem práce je podpořit biologickou rozložitelnost polymerních systémů obsahujících PVP.

Dílčí cíle práce jsou následující:

- Prvním cílem je hledání prostředí s mikrobiálním oživením potenciálně schopným rozkladu samotného PVP. Na základě dosavadních výsledků budou pro experimenty zvoleny doposud netestované environmentální vzorky, jako zdroje potenciálních degradérů.
- Příprava systémů na bázi PVP s obsahem zeolitu,
 - návrh postupu přípravy,
 - výběr vhodného změkčovadla,
 - volba aditiva do systémů za účelem podpoření biologického odbourávání použitého polymeru.
- Sledování vlivu přítomnosti použitých složek na biodegradaci připravených systémů a charakterizace jejich vlastností s využitím dostupných metod:
 - stanovení biologického rozkladu ve vodném a půdním prostředí,
 - infračervená spektroskopie (FTIR),
 - skenovací elektronová mikroskopie (SEM) a optická mikroskopie,
 - navlhavost a rozpustnost,
 - diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC),
 - mechanické vlastnosti.

3. METODIKA ŘEŠENÍ

Pro řešení stanovených cílů disertační práce byly zvoleny metody, z nichž vybrané jsou stručně popsány v následujících podkapitolách členěných dle zaměření jednotlivých cílů práce.

3.1 Sledování biologické rozložitelnosti PVP v různých typech prostředí

Pro experimenty sledující biologickou rozložitelnost polymeru v různých prostředích byly použity dva typy PVP o různých molekulových hmotnostech: PVP K 15 ($M_w=10\ 000\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) a PVP K 30 ($M_w=40\ 000\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) (Alchimica, Panreac) o čistotě p.a. Jako zdroj mikrobiálního oživení byly aplikovány: přírodní směsná kultura řas ze zahradního jezírka (Zlín), specifická biocenóza získaná z agroodpadu (chlévká mrva od krav – ZDV Fryšták). Dále bylo pracováno s houbovým myceliem *Pleurotus ostreatus* od firmy Jánoš s.r.o. (Slovensko).

Stanovení biodegradace PVP v prostředí řas

Pro realizaci těchto experimentů byly zvoleny Zahn-Wellensovy testy dle normy ČSN EN ISO 9888. Měřítkem biologického rozkladu bylo stanovení úbytku rozpuštěného organického uhlíku ve vzorcích vodné suspenze odebíraných v pravidelných intervalech. Pro tuto analýzu byl použit automatický analyzátor TOC 5000A (Shimadzu corp., Japonsko). Pro zjištění, zda nedochází během testu k úbytku PVP z důvodu sorpce, byly paralelně provedeny testy za abiotických podmínek s přidavkem azidu sodného (koncentrace v reakční suspenzi $1\ \text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Stanovení biodegradace PVP v aerobním prostředí biocenózy přítomné v agroodpadu

Biodegradční testy sledující rozklad PVP K 15 v prostředí biocenózy získané z agroodpadu byly prováděny v biometrických lahvích o objemu 500 ml, do kterých bylo dávkováno 100 ml biomédia pro aerobní podmínky zaočkovaného inokulem agroodpadu, tak aby obsah nerozpuštěných látek byl $500\ \text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Navažováno bylo 0,1 g PVP K 15. Experiment trval 116 dní za kontinuálního promíchávání při teplotě $25\pm 1^\circ\text{C}$. Mineralizace polymeru byla hodnocena na základě stanovení CO_2 pomocí plynového chromatografu Agilent 7890 (Agilent Technologies, USA). Podmínky nastavení parametrů analýzy a stanovení jednobodové kalibrace pro CO_2 jsou podrobněji popsány např. v disertační práci Šeré (2018).

Stanovení biodegradace PVP v anaerobním prostředí biocenózy přítomné v agroodpadu

Biodegradace v anaerobních podmínkách byla sledována v biometrických lahvích o objemu 250 ml. Ty byly vystripovány dusíkem a naplněny 100 ml suspenze připravené z biomédia pro anaerobní podmínky a inokula agroodpadu, tak aby obsah nerozpuštěných látek byl $2,2\ \text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Navažováno bylo

0,1 g PVP K 15. Experiment probíhal 60 dní. Biologický rozklad PVP byl hodnocen na základě produkce CH₄ a CO₂ stanovené pomocí GC/TCD a stanoveného IC obsaženého v kapalně fázi (analyzátor TOC 5000A, Shimadzu, Japonsko). Podmínky nastavení parametrů analýzy a stanovení jednobodové kalibrace pro CO₂ a CH₄ jsou podrobně uvedeny např. v disertační práci Pekařové (2018).

Stanovení biologické rozložitelnosti PVP v přítomnosti houby *Pleurotus ostreatus*

Pro studium biologického rozkladu PVP v přítomnosti houby *Pleurotus ostreatus* (hlíva ústříčná) byl využit laboratorní elektrochemický respirometr BI 2000 (Bioscience Inc., USA). Do 1 l lahví bylo nadávkováno 200 ml připravené směsi houbového mycelia zaočkovaného na nosiči. Tato směs byla připravena vždy z 1 kg houbové kultury zaočkované na pšeničném zrní smícháním s 1 kg sterilního nosiče. Takto připravené lahve byly ponechány inkubovat po dobu 3 dnů při 25 °C, aby se mycelium *Pleurotus ostreatus* adaptovalo a mírně rozrostlo. Poté bylo aplikováno do série respiračních lahví pro slepé stanovení 50 ml demineralizované vody. Do druhé série respiračních lahví bylo přidáno 50 ml roztoku PVP K 15 nebo PVP K 30 o koncentraci 20 g.l⁻¹. Testovaná koncentrace PVP v respirační lahvi byla 1 g. Experimenty probíhaly po dobu min. 40 dnů.

3.2 Sledování vlivu přítomnosti Fe³⁺ iontů na abiotickou degradaci a následnou biodegradaci polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zp

Pro přípravu polymerních systémů byly použity následující materiály o čistotě p.a.: PVP K 15 M_w=10 000 g.mol⁻¹ (Alchimica) jako matrice a změkčovač glycerol (Penta). Jelikož se jednalo v podstatě o vedlejší experiment, byl pro zhotovení těchto systémů jako plnivo použit dostupnější zeolit přírodního původu (Zp) s označením Microlite od společnosti Zeopol, který má strukturu clinoptilolitu. Polymerní systémy byly připravovány metodou odlévání do formy.

Fotooxidace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Fe³⁺ a Zp

Studium působení světelného záření na polymerní systémy bylo realizováno v souladu s ISO 4892-2: 2013. K provedení experimentu byla použita Q-sun xenonová testovací komora simulující expozici slunečnímu záření v celém jeho spektru vlnových délek (Q-Lab, USA). K měření spekter filmů před a po fotooxidaci byl použit model FTIR spektrometr Nicolet iS 10 (Thermo Scientific; USA) s ATR nástavcem s diamantovým krystalem.

Testování biologické rozložitelnosti systémů na bázi PVP s obsahem Fe³⁺ iontů a Zp ve vodném prostředí za aerobních podmínek před a po vystavení fotooxidaci

Měření biologického rozkladu vzorků ve vodném prostředí probíhalo v uzavřeném respirometru Micro-Oxymax O₂/CO₂ (Columbus Instruments, USA),

v souladu s normou ČSN EN ISO 9888. Hodnotícím kritériem biologického rozkladu byla produkce CO₂ vznikajícího při biologickém rozkladu organických látek. Do 100 ml respiračních lahví byla umístěna navážka vzorku 0,010 g, tak aby koncentrace testovaného vzorku v reakční suspenzi byla 200 mg.l⁻¹, poté bylo do lahve pipetováno 45 ml biomédia pro aerobní podmínky a 5 ml inokula aktivovaného kalu (ČOV Malenovice) o sušině 5 g.l⁻¹. Takto připravené lahve byly umístěny na patřičné pozice respirometru, utěsněny a zašroubovány. Měření probíhalo 28 dní.

3.3 Příprava polymerních systémů na bázi PVP s obsahem syntetického zeolitu a organických plniv, sledování jejich biodegradace a vlivu na růst rostliny *Sinapis alba*

Pro přípravu matrice polymerních systémů byly použity následující materiály o čistotě p.a.: PVP K 15 M_w=10 000 g.mol⁻¹ (Alchimica), změkčovadlo glycerol (Penta) a arabská guma (Lachema).

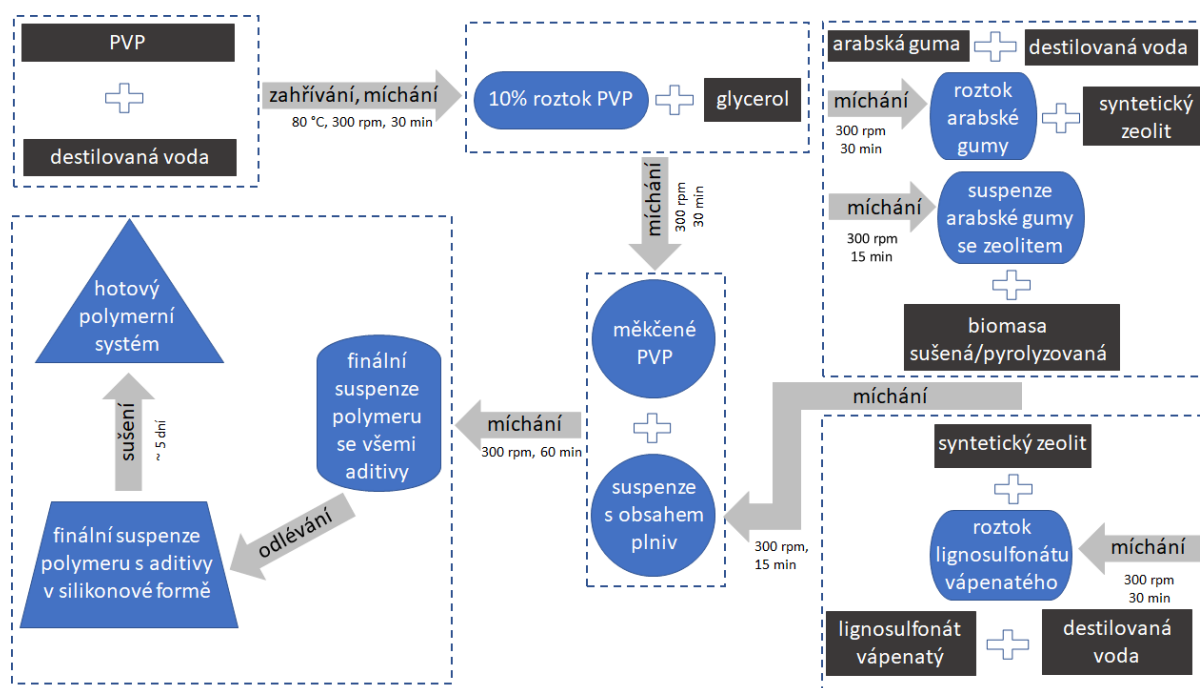
Syntetický zeolit byl připraven v laboratoři v rámci diplomové práce Ing. Kattauera (2015) z odpadního kaolinu od společnosti Sklopísek Střeleč, a.s.

Zemědělský odpad živočišného původu (dále odpadní biomasa) byl použit pro přípravu polymerních systémů ve formě sušené (DC) a pyrolyzované (BCh). Pořízen byl od ZDV Fryšták, jeho pyrolyzovaná forma byla připravena v pyrolyzní jednotce v Ostravě.

Lignin Borrement CA 120 (L) poskytla Slovenská akademie věd. Jedná se o fermentovaný vápenatý lignosulfonát vyrobený ze sulfitového výluhu smrkového dřeva.

Příprava polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv

Na základě literární rešerše byly polymerní systémy připravovány metodou odlévání roztoku do formy (Kumar *et al.*, 2015). Jako změkčovadlo se nejvíce osvědčil glycerol (GLY) případně jeho kombinace s arabskou gumou (AG), která sloužila jako modifikátor (Mohamed *et al.*, 2017). Základní schéma přípravy polymerních systémů je uvedeno na *obrázku 3.1*.



Obrázek 3.1 Obecné schéma přípravy polymerních systémů s obsahem Zs a odpadní biomasy (DC, BCh) nebo s obsahem Zs a L

Testování biologické rozložitelnosti systémů na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv ve vodném a půdním prostředí

Aerobní aktivovaný kal pořízený z městské ČOV Malenovice byl zbaven hrubých nečistot přelitím přes síto a následně před použitím intenzivně provzdušňován po dobu 24 hodin v děličce. Pro úpravu sušiny kalu na požadovanou hodnotu bylo jeho adekvátní množství odstředěno při 3 000 rpm po dobu 10 min. Po slití supernatantu byla usazená biomasa suspendována v odpovídajícím objemu biomédia pro aerobní podmínky.

Pro přípravu půdního prostředí byla odebrána zemědělská půda jílového typu v oblasti Rackové (okres Zlín, ČR). Před použitím byla půda zvlhčena pomocí biomédia pro aerobní podmínky. Připravená půda byla aklimatizována za laboratorní teploty v uzavřené nádobě po dobu 5 dnů, aby došlo k pomnožení přítomné mikroflóry.

Měření biologického rozkladu vzorků ve vodném prostředí probíhalo v souladu s normou ČSN EN ISO 9408 v uzavřeném respirometru Micro-Oxymax O₂/CO₂ (Columbus Instruments, USA). Hodnotícím kritériem biologického rozkladu byla produkce CO₂. Do 100 ml respiračních lahví byla umístěna navážka vzorku 0,010 g, tak aby koncentrace testovaného polymerního systému v reakční suspenzi byla 200 mg.l⁻¹, poté bylo do respirační lahve pipetováno 45 ml biomédia pro aerobní podmínky a 5 ml inokula aktivovaného kalu o sušině 5 g.l⁻¹. Aktuální koncentrace aktivovaného kalu v reakční suspenzi byla 500 mg.l⁻¹. Měření probíhalo na základě výše zmíněné normy po dobu 28 dní.

Měření biodegradace vzorků ve vodném prostředí bylo u vzorků s obsahem Zs a L z kapacitních důvodů prováděno s použitím manometrického respiračního přístroje OxiTop®Control (WTW, Německo). Hodnotícím kritériem biologického rozkladu byla biologická spotřeba kyslíku. Do respiračních lahví o objemu 250 ml byla umístěna navážka vzorku 0,010 g, tak aby koncentrace v reakční suspenzi byla 200 mg.l^{-1} , poté bylo do respirační lahve pipetováno 45 ml biomédia pro aerobní podmínky a 5 ml inokula aktivovaného kalu o sušině 5 g.l^{-1} . Aktuální koncentrace aktivovaného kalu v respiračních lahvích byla 500 mg.l^{-1} .

Biodegradace materiálů v půdním prostředí byla studována s použitím manometrického respiračního přístroje OxiTop®Control. Hodnotícím kritériem biologického rozkladu byla biologická spotřeba kyslíku. Do respiračních lahví o objemu 250 ml bylo naváženo $50 \pm 0,1 \text{ g}$ aklimatizované zemědělské půdy a přibližně $0,080 \text{ g}$ testovaného vzorku. Stupeň biologického rozkladu byl hodnocen na základě poměru $\text{BSK/CHSK}_{\text{Cr}}$.

Dále bylo hodnoceno jak biodegradace probíhala ve srovnání s pravidlem aditivity. Což znamená, že konečný stupeň biodegradace v daném čase byl vyjádřen jednoduchým součtem biodegradací jednotlivých složek. (Julinová *et al.*, 2010).

Sledování vlivu polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv na růst semínek *Sinapis alba* (screeningový test)

Pro sledování účinku připravených polymerních systémů na růst semínek byly připraveny jako zkušební tělíska tzv. „secí kapsle“, do kterých byla aplikována semínka *Sinapis alba*. Ty byly umístěny do pěstebních nádob se zemědělskou půdou smíchanou s perlitem v poměru 3:1.

Rychlost růstu rostlin byla hodnocena pomocí dvou parametrů. V průběhu kultivace byla ve 24 hodinových intervalech měřena výška celé rostliny, která byla pak použita k výpočtu relativní rychlosti klíčení (RGR_{ger}) a na konci testu byla vyhodnocena rychlost růstu rostlin na základě nabrané hmotnosti rostlinné biomasy RGR_{FW} (Tripathi, 2020).

Vyhodnocení akumulace prvků obsažených v plnivech při růstu *Sinapis alba* pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS)

Před analýzou byly vzorky rostlin (cca $0,2 \text{ g}$) mineralizovány v $2,5 \text{ ml}$ kyseliny dusičné a $0,5 \text{ ml}$ peroxidu vodíku po dobu 21 minut v mikrovlnném systému Milestone Ethos One (Soriso, Italy) při $200 \text{ }^\circ\text{C}$ a 1500 W . Obsah vybraných prvků v mineralizátu byl stanoven atomovým absorpčním spektrometrem Analytik Jena AG - contrAA 800 (Jena, Německo).

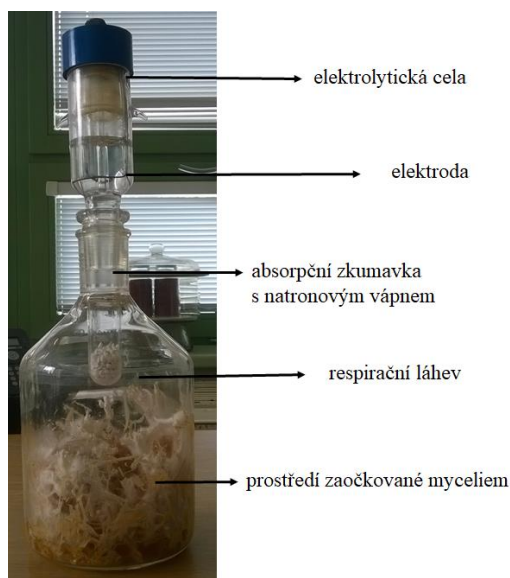
4. VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci této kapitoly jsou prezentovány nejzajímavější dosažené výsledky, které jsou rozčleněny dle zaměření do tří hlavních podkapitol. První z nich se věnuje sledování biodegradace PVP v různých prostředích a analýzou vlivu vybraného prostředí na strukturu sledovaného polymeru. Zbývající kapitoly jsou věnovány polymerním systémům na bázi PVP s obsahem zeolitu a dalších plniv. V prvním případě byl pozorován vliv přítomnosti Fe^{3+} iontů v polymerním systému na jeho fotooxidaci a následnou biodegradaci. U další série polymerních systémů byl kladen důraz na použití plniv z řady obnovitelných zdrojů, které by teoreticky mohly podpořit biodegradaci polymerního systému a zároveň měly pozitivní vliv na růst rostliny při případném využití polymerního systému v oblasti agrochemie.

4.1 Sledování biodegradace samotného PVP pomocí různých typů degradérů

Otestována byla například směsná kultura řas. V rámci tohoto experimentu bylo zjištěno, že sice dochází k jistému úbytku uhlíku, nicméně nikoliv kvůli biologickým procesům, ale z důvodu částečné sorpce PVP na biomasu řas. Dále bylo otestováno prostředí biocenózy získané z agroodpadu za aerobních i anaerobních podmínek. Za přítomnosti kyslíku bylo po 116 dnech experimentu dosaženo mineralizace uhlíku $14 \pm 5 \%$, míra zaznamenaného rozkladu v anaerobních podmínkách se po 60 dnech testování pohybovala kolem $24 \pm 8 \%$, což potvrdilo jistou aktivitu methanogenních organismů v tomto prostředí. Ovšem ze všech testovaných prostředí bylo nejzajímavějších výsledků dosaženo při experimentech s houbou *Pleurotus ostreatus*.

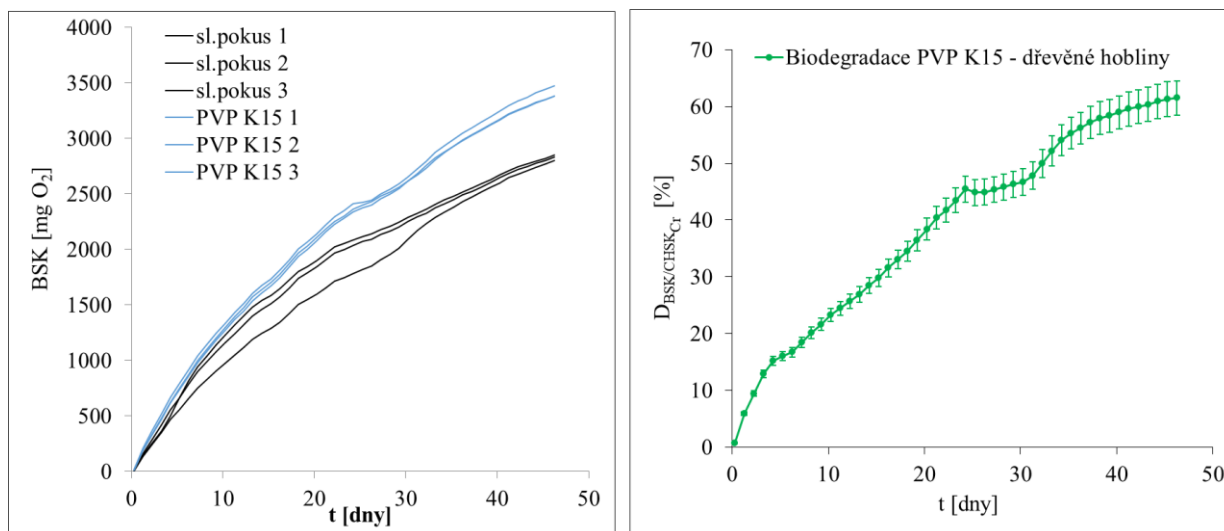
Před zahájením experimentů sledujících účinek houbového mycelia *Pleurotus ostreatus* na PVP bylo nutné nejprve optimalizovat metodu. Experimenty byly prováděny v laboratorním respirometru BI 2000, který zajišťuje aerobní podmínky v průběhu celého testu a odstranění vyprodukovaného CO_2 . Celý systém je navíc uzavřený, a tak nedochází k riziku kontaminace prostředí (*Obrázek 4.1*).



Obrázek 4.1 Respirační láhev s prostředím zaočkovaným myceliem houby *Pleurotus ostreatus*

Pozorován byl rozklad čistého PVP K 15 ($M_w=10\ 000\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) a PVP K 30 ($M_w=40\ 000\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) v prostředí mycelia *Pleurotus ostreatus*, které bylo zaočkováno na dřevěných hoblinách.

Experiment sledující biodegradaci PVP K 15 účinkem mycelia *Pleurotus ostreatus* v přítomnosti hoblin poukazuje na značný nárůst respirace, vyhodnocení procenta biodegradace dle $\text{BSK}/\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ bylo po 47 dnech měření $62 \pm 5\%$ (Obrázek 4.2). Vyšší produkce enzymů v prostředí hoblin je očividně daná vyšší aktivitou dřevokazné houby, která ke svému růstu potřebuje především zdroj ligninu, kterého je ve slámě ve formě lignocelulózy nižší množství.



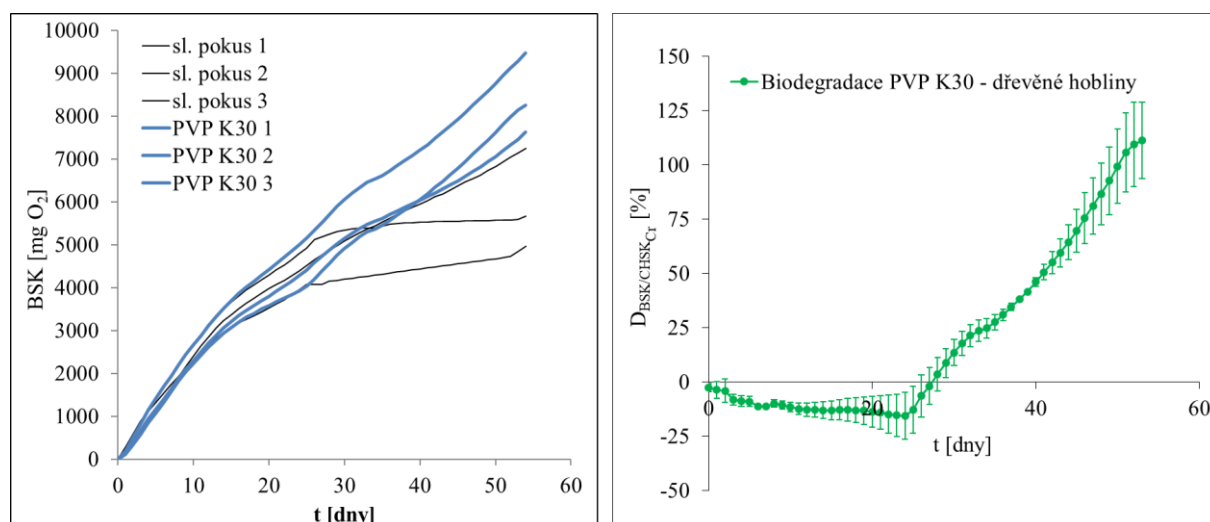
Obrázek 4.2 Vyhodnocení biodegradace PVP K15 v prostředí dřevěných hoblin ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)

V případě vzorku PVP K 30 byla zaznamenána přibližně 22 dnů trvající lagová fáze patrně z důvodu vyšší molekulové hmotnosti polymeru. Vyhodnocení

biodegradace dle $BSK/CHSK_{Cr}$ po 50 dnech přineslo o něco vyšší hodnoty, nicméně výsledky tohoto experimentu jsou v jeho závěru zatíženy poměrně velkou chybou, což nebylo vzhledem k povaze růstu houbového mycelia až tak překvapující (Obrázek 4.3).

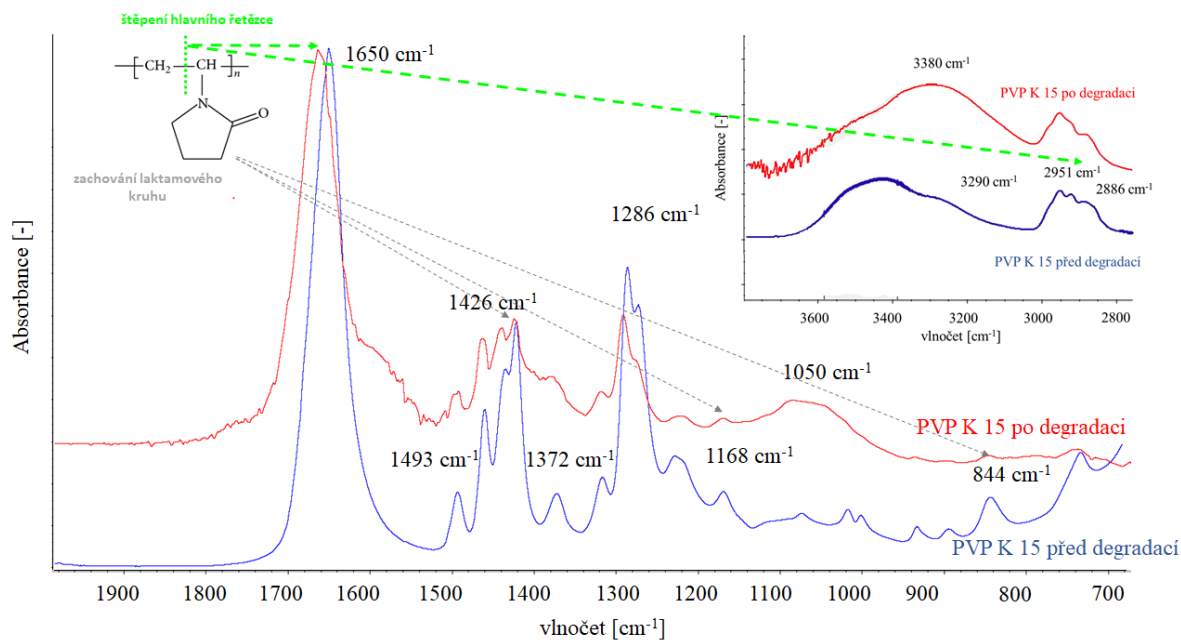
Z tvarů křivek znázorňujících průběhy všech pokusů s houbovým myceliem lze předpokládat, že mohlo docházet ke stupňovitému rozkladu substrátu. Získané výsledky také potvrzují důležitost přítomnosti druhého substrátu. K podobnému závěru došla ve své práci taktéž Hassinger (2018).

Po ukončení experimentů proto byla provedena extrakce PVP a případných degradačních produktů z mycelia do vodné fáze a získané extrakty byly podrobeny dalším analýzám.

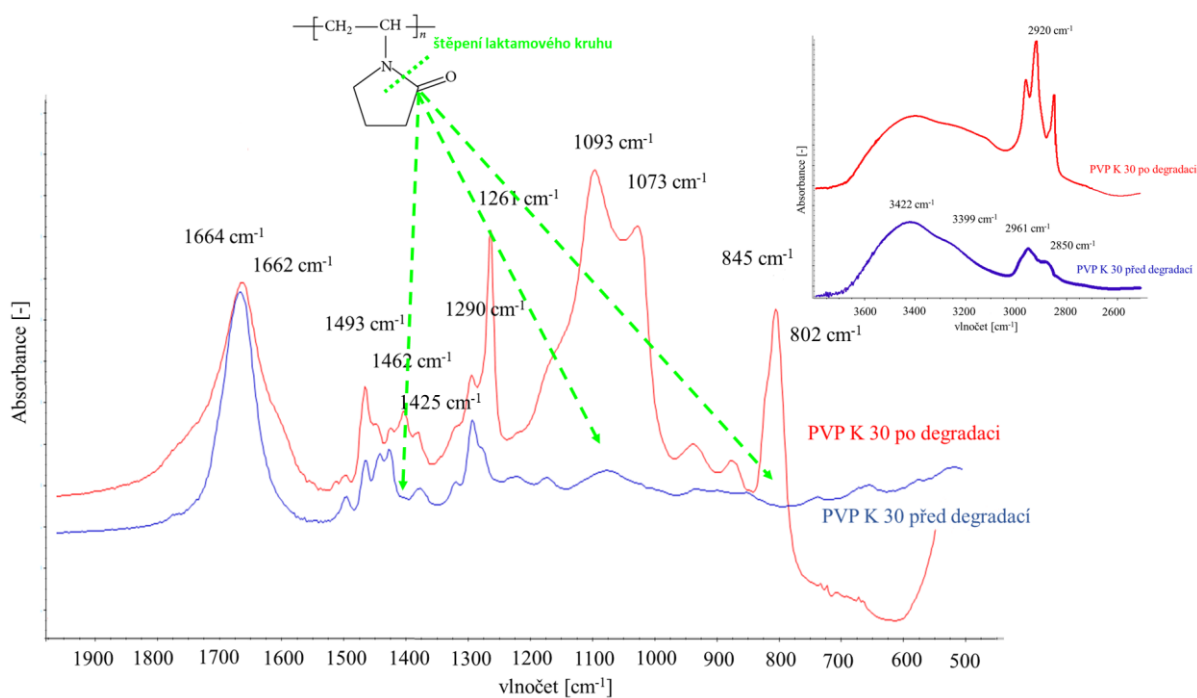


Obrázek 4.3 Vyhodnocení biodegradace PVP K30 v prostředí dřevěných hoblin ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)

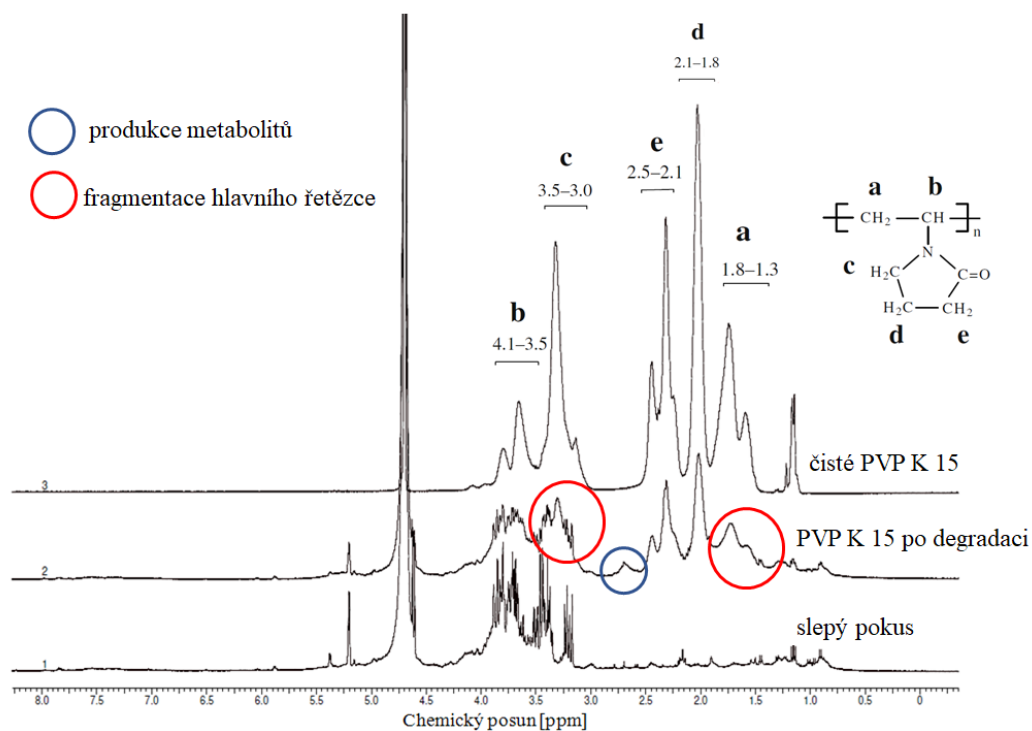
Následné analýzy, především FTIR (Obrázek 4.4 a 4.5) a NMR (Obrázek 4.6), pak poukázaly na možnost, že působením mycelia houby patrně dochází k narušení původní struktury polymeru. Což by teoreticky mohly způsobovat ligninolytické enzymy, které mají silnější oxidačně-redukční potenciál ve srovnání s bakteriálními enzymy. Principiálně se nabízí možnost, že u nízkomolekulárního PVP mohlo docházet k naštípnutí řetězců a u vysokomolekulárního PVP mohlo teoreticky docházet k odštěpování laktamových kruhů řetězce a ke vzniku různých meziproduktů, které byly dále biologicky rozložitelné směsnou mikrobiální kulturou v podobě aktivovaného kalu z ČOV. Aby se toto tvrzení potvrdilo, bylo by nutné provést mnoho dalších analýz. Výsledky této práce tak mohou sloužit především jako předmět dalších experimentů.



Obrázek 4.4 Rozdílové FTIR spektrum extraktu z biodegradace PVP K 15 *Pleurotus ostreatus* ve srovnání se spektrem čistého PVP K 15 (KBr technika)



Obrázek 4.5 Rozdílové FTIR spektrum extraktu z biodegradace PVP K 30 *Pleurotus ostreatus* ve srovnání se spektrem čistého PVP K 30 (KBr technika)



Obrázek 4.6 Pořízená ^1H NMR spektra degračního prostředí (1), polymeru PVP K 15 po degračním experimentu (2) a spektrum původního polymeru PVP K 15(3)

Shrnutí výsledků získaných v rámci této části disertační práce poukazuje na možnost, že houba *Pleurotus ostreatus* by mohla narušovat polymerní strukturu PVP k čemuž nasvědčují informace získané z analýzy FTIR a NMR spekter. Přičemž je velmi pravděpodobné, že substrát v podobě polymeru pak může být vlivem houby degradován i na více metabolitů (Luz *et al.*, 2015; Purnomo *et al.*, 2013).

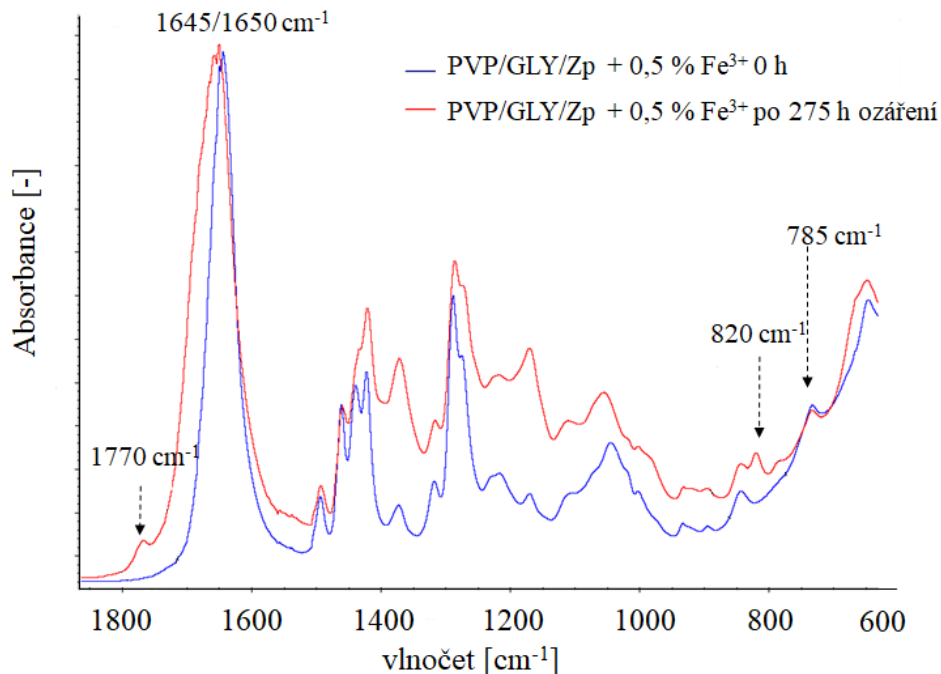
Nicméně pro získání podrobnějších informací ohledně mechanismu biodegradace PVP houbou a případných degračních produktech je důležité provést ještě celou řadu analýz.

4.2 Fotooxidace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zp a Fe^{3+} iontů

V další části práce byla věnována pozornost přípravě polymerních systémů s obsahem Fe^{3+} iontů (0,5, 1 a 5 hm. %) pro podporu abiotické degradace v průběhu jejich expozice simulovanému slunečnímu ozáření ve zvolených intervalech a následné biodegradaci. Změny ve struktuře způsobené ozářením byly sledovány pomocí FTIR analýzy. K významnějším změnám došlo pouze u systému s obsahem plnění 0,5 hm.% Fe^{3+} u ostatních systémů nebyly změny pozorovány.

Na Obrázku 4.7 jsou znázorněny pozorované změny ve FTIR spektru pro již zmíněný vzorek s obsahem plnění 0,5 hm. % Fe^{3+} . Je na něm přiblížena

spektrální oblast v rozsahu $1800 - 600 \text{ cm}^{-1}$. Zde je možno pozorovat, že v oblastech 1770 cm^{-1} a 820 cm^{-1} byly identifikovány nové absorpční pásy. Ty mohou dle práce Hassouny *et al.* (2011) značit, že v důsledku degradace polymeru dochází k tvorbě sukciimidových kruhů, které mají právě v uvedených oblastech svou charakteristickou odezvu.



Obrázek 4.7 FTIR spektrum polymerního systému PVP/GLY/Zp + 0,5 % Fe^{3+} před a po UV degradaci pro oblast $1800 - 600 \text{ cm}^{-1}$ (ATR-Di technika)

Bohužel u těchto polymerních systémů nedošlo přidavkem Fe^{3+} ani po jejich vystavení fotooxidaci k výraznému podpoření následné biodegradace. Bylo zjištěno, že po 55 dnech experimentu bylo u neozářených vzorků dosaženo nejvyšší míry biodegradace $8,6 \pm 0,7 \%$ pro polymerní systémy s obsahem 2,5 hm. % Zp a 5 hm. % Fe^{3+} . Výsledky biodegradačních testů korespondovaly s FTIR analýzou, nejvyšší míra biodegradace $8,2 \pm 0,6 \%$ byla zaznamenána u vzorku s obsahem 2,5 hm. % Zp a 0,5 hm. % Fe^{3+} , u kterého byly zaznamenány jisté strukturální změny (Obrázek 4.7) vedoucí k mírnému nárůstu biodegradace cca o 2 % ve srovnání s neozářeným vzorkem. U polymerního systému s obsahem 2,5 hm. % Zp a 1 % Fe^{3+} se zjištěné hodnoty biodegradace před a po ozáření pohybovaly v rámci chyby stanovení. Nicméně u systému s obsahem 2,5 hm. % Zp a 5 hm. % Fe^{3+} bylo zaznamenáno mírné snížení hodnot z $8,6 \pm 0,7 \%$ na $6,9 \pm 0,1 \%$, což dle Hassouny *et al.* (2011) naznačuje, že by mohlo docházet v důsledku přítomnosti vysokých koncentrací Fe^{3+} a současné fotooxidace k polykondenzaci makromolekulárních řetězců. Nicméně je nutné zohlednit, že v práci Hassouny *et al.* (2011) bylo pracováno za odlišných podmínek.

4.3 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv

Hlavním předmětem disertační práce byla příprava polymerních systémů s obsahem syntetického zeolitu a dalších plniv volených za účelem podpoření biodegradace výchozích materiálů.

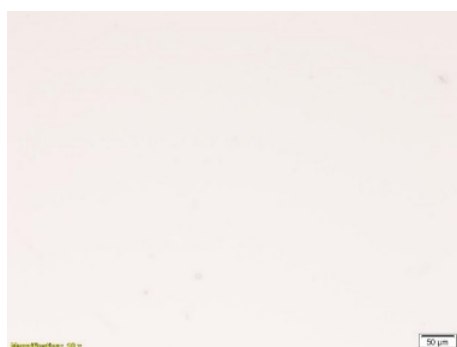
4.3.1 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs

Jako první jsou uvedeny nejzajímavější výsledky týkající se polymerních systémů, které obsahovaly jako plnivo pouze syntetický zeolit.

Optická mikroskopie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

Distribuce částic zeolitu v matrici byla sledována pomocí optické mikroskopie u vzorku s obsahem 2,5 % Zs, který byl nejperspektivnější pro další práci (Obrázek 4.8). U vzorku, který představuje pouze měkkčený polymerní systém bez přidavku plniva, nejsou, dle předpokladu, vidět žádné částice (A). U vzorku s obsahem plniva (B) je už možné pozorovat, že velikost částic Zs v polymerním systému se pohybovala v rozmezí 1-50 μm a jejich distribuce byla vcelku homogenní.

A) PVP/GLY



B) PVP/GLY + 2,5 % Zs



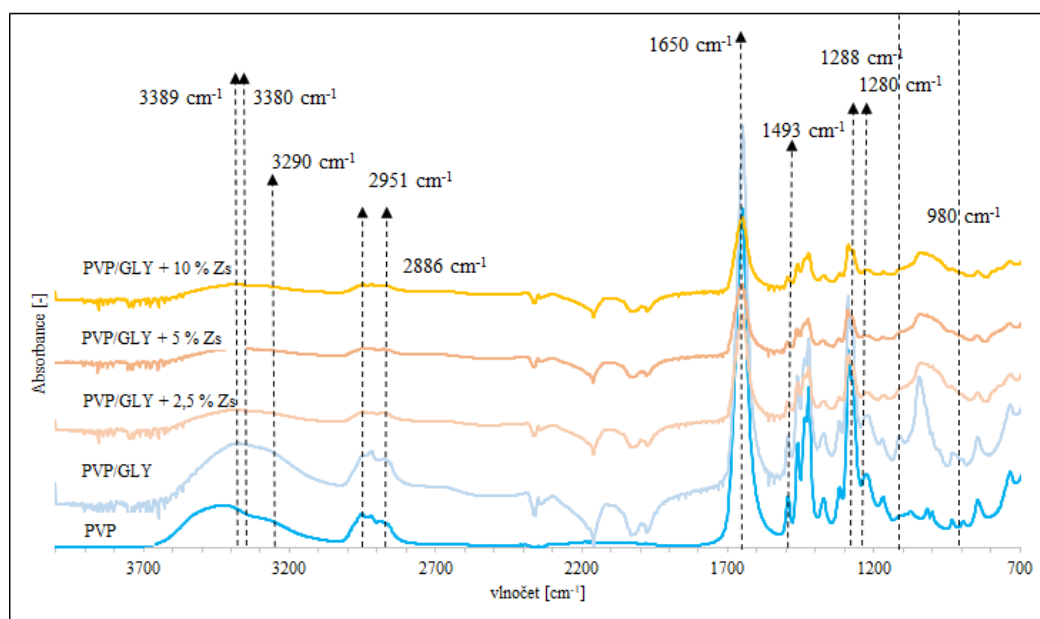
Obrázek 4.8 Fotografie z optické mikroskopie PVP s 2,5% obsahem Zs

FTIR analýza polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

FTIR spektra všech připravených polymerních systémů s obsahem Zs jsou uvedena na Obrázku 4.9. Nejprve je možné zmínit charakteristické píky pro samotné PVP, například hydroxylovou skupinu $-\text{OH}$ můžeme vidět na vlnočtu 3350 cm^{-1} . Potom typickou karbonylovou skupinu $\text{C}=\text{O}$ z laktamové části polymeru na vlnočtu přibližně 1666 cm^{-1} a amidovou $-\text{CN}$ vazbu na vlnočtu 1286 cm^{-1} . (Chouk *et al.*, 2018, Mounir *et al.*, 2013). Absorpční pásy viditelné v oblasti 1493 , 1469 a 1426 cm^{-1} se dají přisuzovat vibracím pyrrolidonového kruhu a dva pásy viditelné na 2951 a 2886 cm^{-1} mohou být způsobeny přítomností asymetrických a symetrických vibrací alifatických $-\text{CH}_2$ vazeb. Zaznamenána byla například změna na absorpčním pásu charakteristickém pro $\text{C}=\text{O}$ skupinu

PVP, která se po přidání změkčovadla posunula z vlnočtu 1667 cm^{-1} na 1650 cm^{-1} , což bylo zřejmě způsobeno tvorbou vodíkových můstků.

Co se týká zeolitu, tak dle práce Liu *et al.* (2018) jsou typu P1 přisuzovány absorpční pásy v oblasti 1635 a 3382 cm^{-1} , které způsobují vibrace hydroxylových skupin nebo hydrátové vody v pevné fázi v zeolitových pórech. Široký absorpční pás pozorovaný na vlnočtu 3382 cm^{-1} poukazuje na valenční vibrace hydroxylových skupin a pás při 1635 cm^{-1} je přisuzován přítomnosti deformačních vibrací vazeb H–O–H. Široký pás v oblasti kolem 980 cm^{-1} odpovídá přítomnosti tetraedrů TO_4 ($T = \text{Si}$ nebo Al).



Obrázek 4.9 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP a Zs o různých koncentracích (ATR-Di technika)

DSC polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

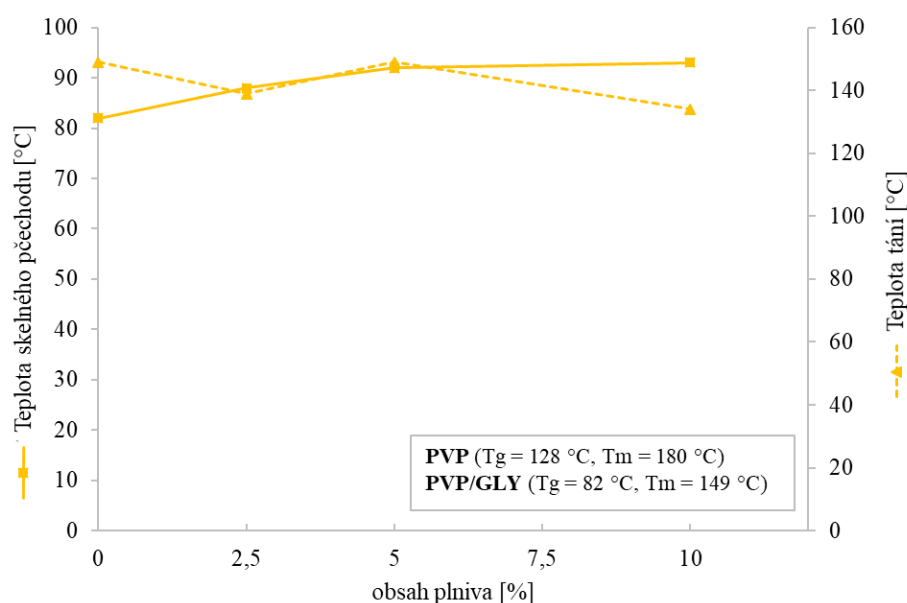
Jako další byla provedena DSC analýza polymerních systémů, pro stanovení jejich charakteristických teplot. Na úvod je potřeba zdůraznit, že PVP je amorfní polymer (Wypych, 2016), takže během analýzy nebyly identifikovány žádné krystalizační píky. Vyhodnocení teploty tání (T_m) a teploty skelného přechodu (T_g) z naměřených DSC křivek ukázalo, že přítomnost změkčovadla i plniv má pro tepelné vlastnosti jistý význam. Výsledky závislosti zmíněných charakteristických teplot na obsahu Zs v polymerních systémech jsou uvedeny na Obrázku 4.10.

Přítomností změkčovadla v materiálu obecně dochází k poklesu T_m a T_g , v důsledku zvyšování pohyblivosti a ohebnosti polymerních řetězců. Tento jev byl výsledky DSC analýzy potvrzen, přítomnost změkčovadla snížila T_g ze 128 °C na 82 °C a T_m ze 180 °C na 149 °C .

Dále bylo zjištěno, že přítomnost Zs v materiálu má pak za následek opětovný nárůst T_g , která se s rostoucí koncentrací plniva zvyšovala až na 93 °C pro plnění

10 hm. % Zs. Zvýšení T_g materiálu z důvodu přítomnosti Zs bylo pozorováno podobně v Zaharri a Othmanově studii (2010).

Při sledování vlivu obsahu Zs v polymerní matrici na T_m materiálu bylo zjištěno, že s rostoucí koncentrací Zs její hodnoty klesají. Nedá se proto hovořit o jasné tendenci nicméně při pohledu na trend pozorovaný při měření T_g , je pravděpodobné, že při měření vzorku s obsahem 5 hm. % Zs mohlo dojít k chybě způsobené možnou nehomogenitou polymerního systému z důvodu vysokého plnění.



Obrázek 4.10 Vliv různých koncentrací Zs jako plniva na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP

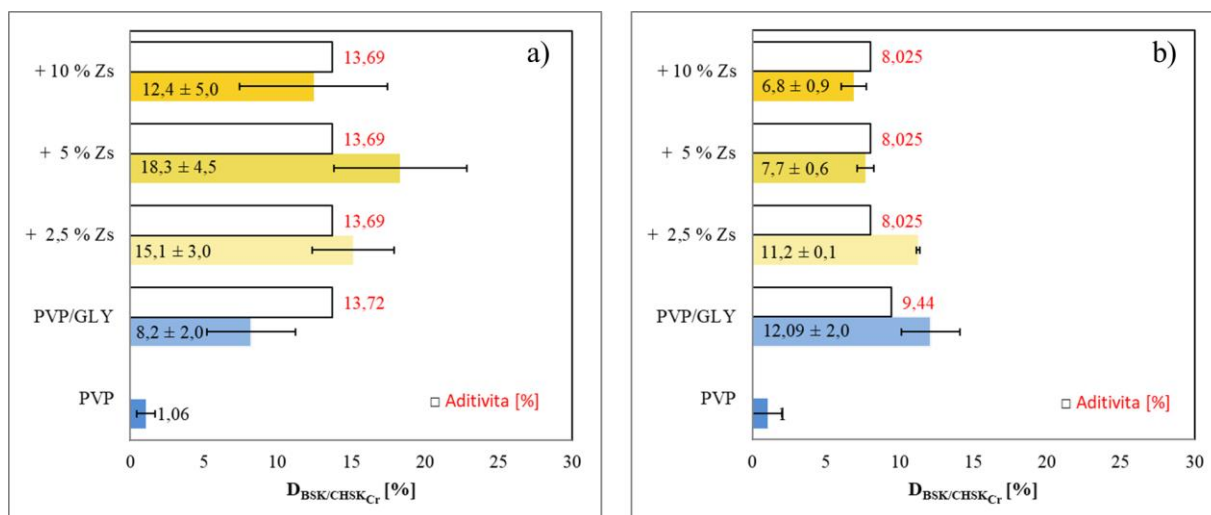
Biologická rozložitelnost polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

Všechny připravené systémy byly podrobeny biodegradčním experimentům zabývajících se jejich rozkladem ve vodném prostředí zaočkovaném aktivovaným kalem a v prostředí půdním.

Výsledky experimentu sledujícím biodegradaci polymerních systémů ve vodném prostředí s inokulem aktivovaného kalu, který byl prováděn v souladu s normou ČSN EN ISO 9408 po dobu 30 dnů, jsou uvedené na Obrázku 4.11, a). Ukázalo se, že přítomnost Zs zvýšila procento biodegradace dle BSK/CHSK_{Cr} polymerního systému ve srovnání s polymerní matricí, která obsahovala pouze podíl snadno odbouratelného změkčovadla o 7 %. Nejvyšší míry biodegradace $18,3 \pm 4,5$ % bylo dosaženo u systémů s plněním 5 hm. % Zs. Nicméně s dalším zvýšením koncentrace Zs došlo k opětovnému poklesu. Nedá se však tvrdit, že by byl pozorován jasný trend nárůstu míry biodegradace s rostoucí koncentrací Zs v systému. Srovnáme-li výsledky skutečné naměřené biodegradace s teoretickou, kterou vyjadřuje aditivita, můžeme vidět, že jsou výsledky odpovídající. Komplikaci biodegradace polymerních systémů, mimo samotnou

rezistenci PVP vůči mikrobiálnímu působení, by v tomto případě mohly působit vodíkové vazby mezi jednotlivými složkami systému či difúze polymerních řetězců do pórů zeolitu.

Experiment sledující možnost biodegradace těchto polymerních systémů v půdním prostředí přinesl ve srovnání s předchozím experimentem odlišné výsledky (Obrázek 4.11, b). V půdním prostředí biodegradace hodnocená na základě poměru $D_{BSK}/CHSK_{Cr}$ sledovaných polymerních systémů s rostoucí koncentrací Zs mírně klesala, což mohlo být způsobeno i případnou interakcí PVP matrice se zeolitem či s jílovými částicemi obsaženými v půdním prostředí. Nejvyššího stupně biodegradace $12,1 \pm 2,0$ % tak dosáhla při tomto experimentu po 30 dnech měření polymerní matrice pouze s obsahem změkčovadla. Srovnáme-li opět vyhodnocené výsledky s aditivitou, vidíme, že byl stupeň biodegradace nižší. Nižší míru biodegradace v půdním prostředí ve srovnání s vodným prostředím mohla způsobit horší dostupnost substrátu ve formě polymerního systému z důvodu jeho pomalejšího rozpouštění.



Obrázek 4.11 Biodegradace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ve vodném prostředí zaočkovaném inokulem aktivovaného kalu a) a v půdě b) ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)

Biodegradace čistého PVP se v obou testovaných prostředích pohybovala kolem 1 %. Zastoupením biologicky snadno odbouratelného změkčovadla vzrostla procentuálně možnost biodegradace výchozího materiálu, což z jistého úhlu pohledu přináší určité zlepšení, nicméně neřeší problém s rezistencí polymeru vůči mikrobiálnímu působení.

Zs v půdním prostředí v tomto směru nepřináší řešení zvýšením stupně biologického rozkladu, ale zároveň nemá ani zásadní negativní dopad. A bylo tudíž nezbytné hledat další cesty, jak biologickou rozložitelnost polymerních systémů podpořit. S ohledem na výsledky předchozí části práce zabývající se rozkladem PVP v prostředí kosubstrátu jsme se zaměřili na možnost použití plniv se složitou ligninovou strukturou.

4.3.2 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a odpadní biomasy

Na základě výsledků předcházejících testů byly připraveny polymerní systémy s obsahem Zs a odpadní biomasy, která je v současnosti poměrně atraktivním plnivem. Materiály s obsahem odpadní biomasy rozličného původu, byly popsány například v literární studii Väisänen *et al.*, (2016).

Na základě informací získaných z literárních zdrojů (Yusefi *et al.*, 2018) byla ve vlastní práci použita konkrétně zpracovaná odpadní biomasa chlévské mrvy od krav ve formě sušené (DC) a pyrolyzované (BCh) s obsahem plnění 0–5 hm. %.

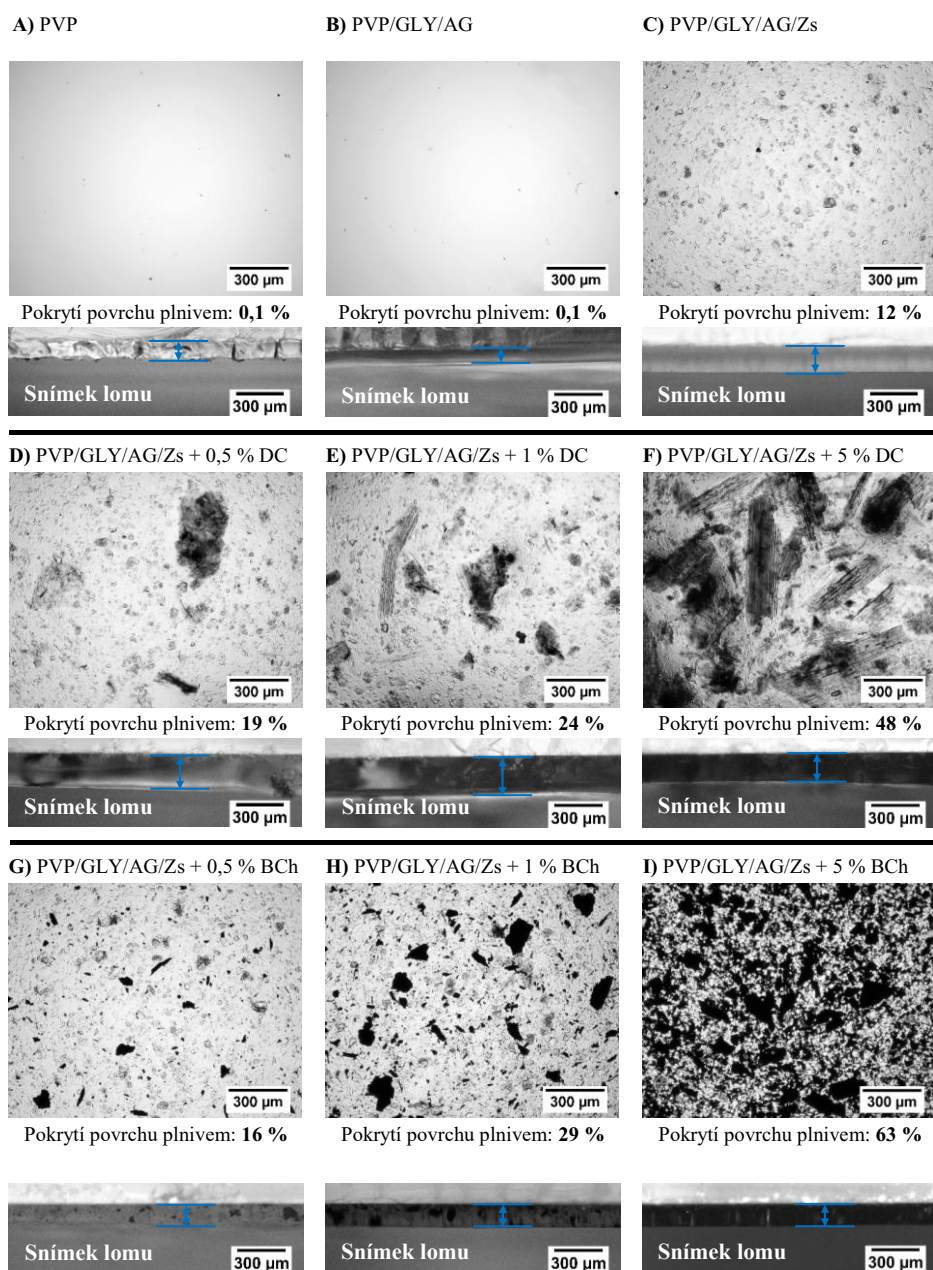
Optická mikroskopie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a odpadní biomasy

Výsledky tohoto pozorování jsou uvedeny na *Obrázku 4.12*, jako první byly podrobeny analýze vzorky čistého PVP (*A*) a PVP s obsahem změkčovadla (*B*). U těchto vzorků nebyly, až na stopy drobných nečistot, pozorovány žádné obsažené částice, tudíž pokrytí povrchu plnivem dosahovalo hodnot 0,1 %.

U PVP filmu s obsahem Zs (*C*) byla pozorována vcelku homogenní distribuce plniva pravidelných částic kulovitěho charakteru, tu potvrdila i analýza distribuce plniva na lomu. Pokrytí povrchu plnivem bylo 19 %.

Snímky pořízené pro vzorky s obsahem DC ukázaly, že při použití tohoto typu plniva není dosaženo uspokojivé homogenní distribuce. Dá se proto očekávat, že bude docházet při namáhání materiálu ke zhoršenému přenosu napětí vedoucímu k horším mechanickým vlastnostem. S rostoucí mírou plnění logicky rostlo i pokrytí povrchu plnivem. U vzorků s obsahem 0,5 hm. % DC bylo zjištěno pokrytí 14 % (*D*), u vzorků s plněním 1 hm. % DC to bylo 24 % (*E*) a pro nejvyšší míru plnění bylo zaznamenáno pokrytí plnivem v míře 48 % (*F*).

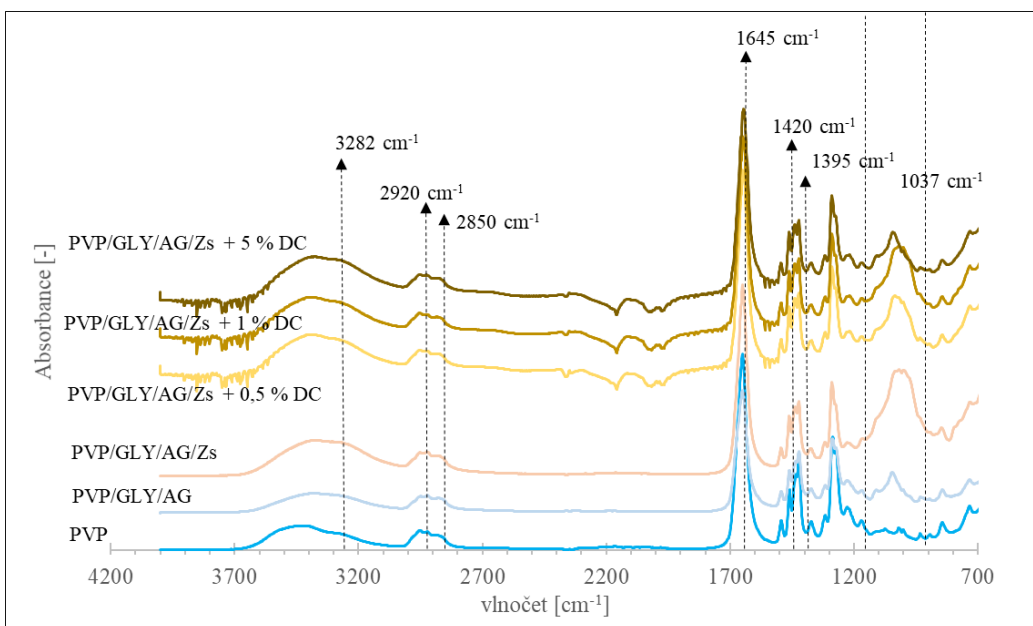
Co se týče distribuce plniva ve formě BCh, ta se dá již považovat za vcelku homogenní. Částice měly pravidelný tvar a byla pozorována tvorba rovnoměrných „sítí“ (Nagarajan *et al.*, 2016). Pokrytí povrchu plnivem bylo vyhodnoceno u polymerního systému s obsahem plnění 0,5 hm.% BCh jako 16 % (*G*), vzorek s plněním 1 hm. % BCh mělo pokrytí povrchu plnivem v míře 29 % (*H*) a při plnění 5 hm. % BCh byla vyhodnocena míra pokrytí povrchu plnivem jako 63 % (*I*).



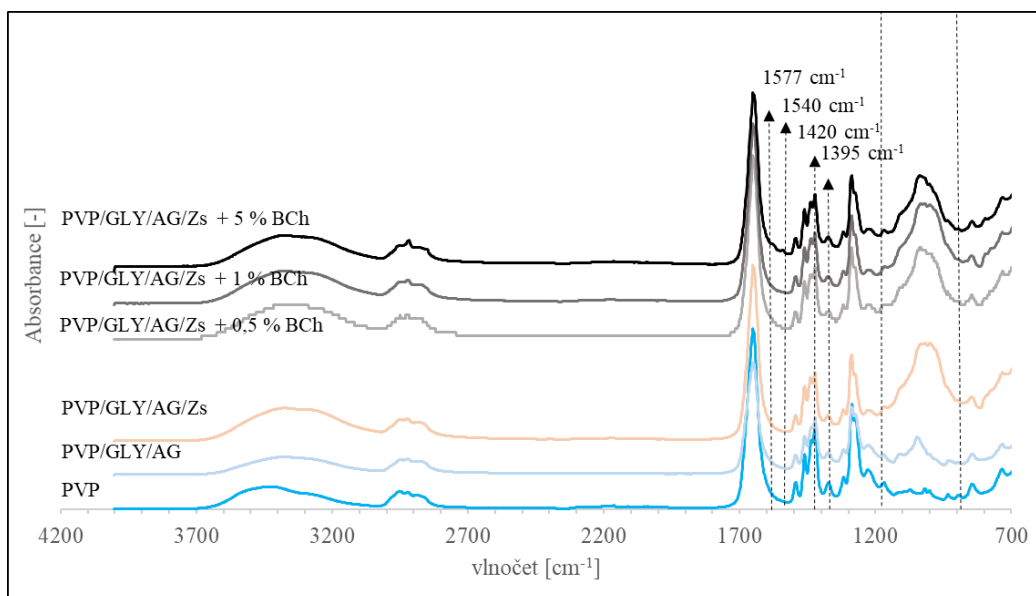
Obrázek 4.12 Fotografie z optické mikroskopie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a DC či BCh o různých koncentracích

FTIR analýza polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a odpadní biomasy

U polymerních systémů s obsahem DC a BCh (Obrázek 4.13, Obrázek 4.14) byly detekovány stejné charakteristické pásy jako pro měkčené PVP a PVP plněné Zs. Jak je patrné z FTIR spekter, mezi polohami absorpčních pásů pro systémy plněné DC nebo BCh nebyly zaznamenány významné změny oproti PVP a měkčeného PVP plněnému jen Zs. Pouze v případě plnění BCh se na vlnočtu 1577 cm^{-1} a 1540 cm^{-1} objevují malé absorpční pásy charakterizující zřejmě valenční vibrace dusíkatých složek –NH přítomných v BCh.



Obrázek 4.13 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a DC o různých koncentracích (ATR-Di technika)



Obrázek 4.14 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a BCh o různých koncentracích (ATR-Di technika)

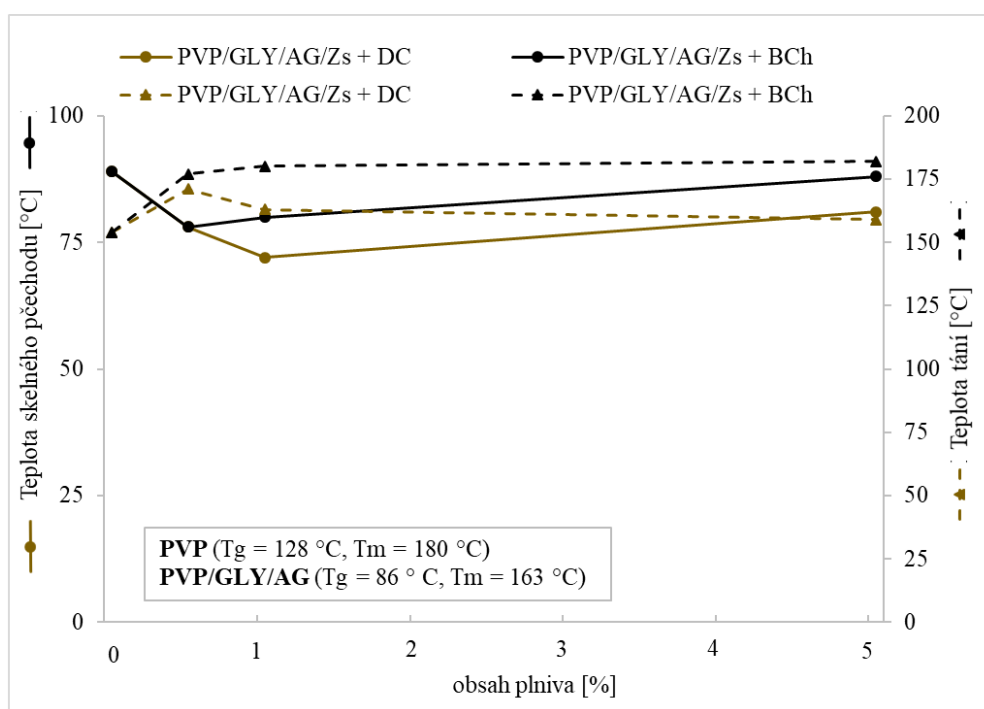
Co se týká účinku rostoucích koncentrací plniva na chemickou strukturu polymerních systémů, tak nebyly pozorovány žádné významné rozdíly jak u typu s obsahem DC tak pro materiály s obsahem BCh. Z výsledků tohoto měření se dá usuzovat, že biomasa ať už ve formě sušené (DC) či pyrolyzované (BCh) měla na konečnou chemickou povahu směsi pouze aditivní účinek.

DSC polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a biomasy

V dalším kroku byly polymerní systémy podrobeny termické analýze pomocí DSC a byl sledován účinek obsaženého plniva na teplotu skelného přechodu (T_g) a teplotu tání (T_m). Výsledky této analýzy jsou uvedeny na *Obrázku 4.15*.

Co se týče T_g , vlivem přítomnosti DC v polymerním systému, při srovnání jen s měkčenou polymerní matricí bez obsahu plniva a systému s obsahem Zs, došlo k mírnému poklesu. V případě vzorku s obsahem 1 hm. % DC klesla T_g na hodnotu 72 °C. Nedá se ale tvrdit, že by kvůli rostoucí koncentraci plniva byl zaznamenán nějaký zásadní trend.

Přítomnost BCh v polymerním systému neměla na T_g významný dopad, její hodnoty se pro systém s obsahem 5 hm. % BCh byly srovnatelné s hodnotou naměřenou pro polymerní systém měkčené matrice s obsahem Zs.



Obrázek 4.15 Vliv vybraných koncentrací biomasy jako plniva na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

Při sledování působení přídatku DC na T_m , se ukázalo, že přítomnost 0,5 hm. % DC zvýšila T_m polymerního systému ve srovnání s měkčenou matricí. Nicméně s rostoucí koncentrací plniva postupně docházelo k jejímu opětovnému snížení a polymerní systém s obsahem 5 hm. % DC měl T_m už jen 159 °C.

Naopak v případě vzorků s obsahem BCh byla naměřená T_m ve srovnání s DC poměrně vysoká a pohybovala se opět kolem 182 °C, jako tomu bylo u čistého PVP. To může být přisuzováno skutečnosti, že plnivo typu BCh zvyšuje tepelnou stabilitu materiálů (Zhang *et al.*, 2020).

Tahové zkoušky polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a biomasy

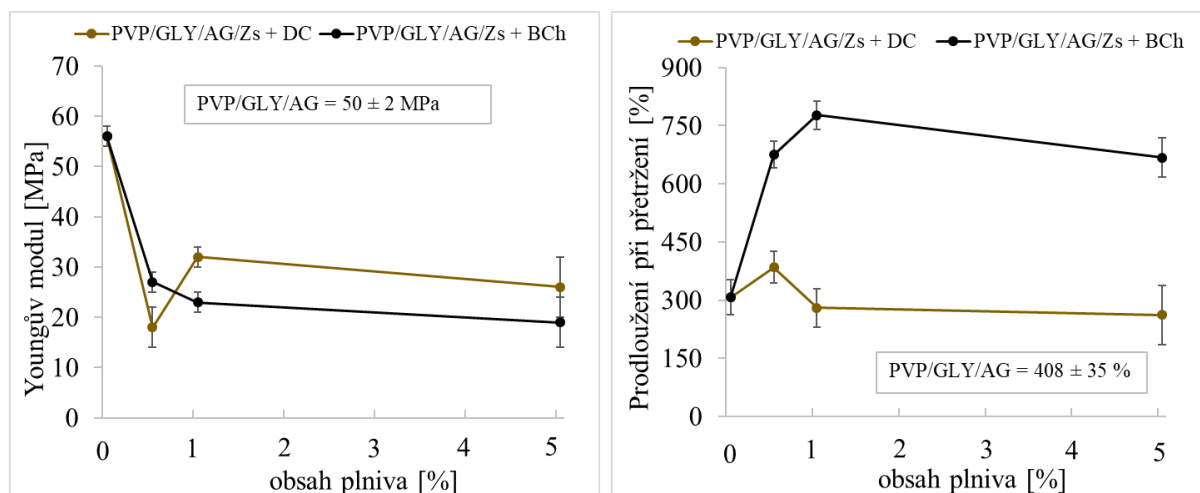
Na *Obrázku 4.16* jsou uvedeny výsledky měření tahových zkoušek připravených polymerních systémů v závislosti na obsahu aditiv v polymerních systémech. Vyhodnoceny byly jako hlavní charakteristické hodnoty Youngův modul a prodloužení při přetržení. V textu nejsou uvedeny hodnoty pro materiál z čistého PVP, a to z důvodu jeho přílišné křehkosti a nemožnosti z něj připravit zkušební tělíska, proto jako referenční vzorek slouží materiál s obsahem plastifikátorů, jehož Youngův modul byl vyhodnocen jako 50 ± 2 MPa a prodloužení při přetržení 408 ± 35 %.

Bylo zjištěno, že přidavkem Zs k měkčené matici došlo k nepatrnému zvýšení Youngova modulu, z čehož se dá předpokládat jisté zlepšení pevnosti polymerního systému. Na druhou stranu došlo vlivem přítomnosti Zs v systému k poklesu jeho prodloužení při přetržení.

Přidavkem DC došlo u vzorku s obsahem 0,5 hm. % DC k razantnímu snížení pevnosti polymerního systému, zřejmě z důvodu již zmíněné nepravidelnosti tvaru částic plniva. Prodloužení při přetržení polymerních systémů s obsahem DC s jeho rostoucí koncentrací víceméně klesalo.

Částice BCh měly na vlastnosti polymerních systémů zcela odlišný účinek, sice u nich také docházelo k prudkému poklesu Youngova modulu. Na druhou stranu přítomnost BCh radikálně zvýšila elasticitu materiálu, což se dá připsat na rozdíl od DC pravidelnému tvaru částic BCh. Díky přítomnosti BCh v systému došlo ke zlepšení mechanických vlastností a tepelné stability. Výsledky těchto experimentů jsou v souladu s prací Ogunsona *et al.* (2017), kteří se rovněž zabývali přípravou polymerních kompozitů s obsahem BCh.

Při srovnání jednotlivých polymerních systémů bylo zjištěno, že zajímavějších vlastností skutečně dosahovaly ty s přidavkem BCh. Konkrétně pak materiál s obsahem plnění 5 hm. %



Obrázek 4.16 Vliv vybraných koncentrací biomasy jako plniva na Youngův modul a prodloužení při přetržení polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ($n=5$, průměr \pm směrodatná odchylka)

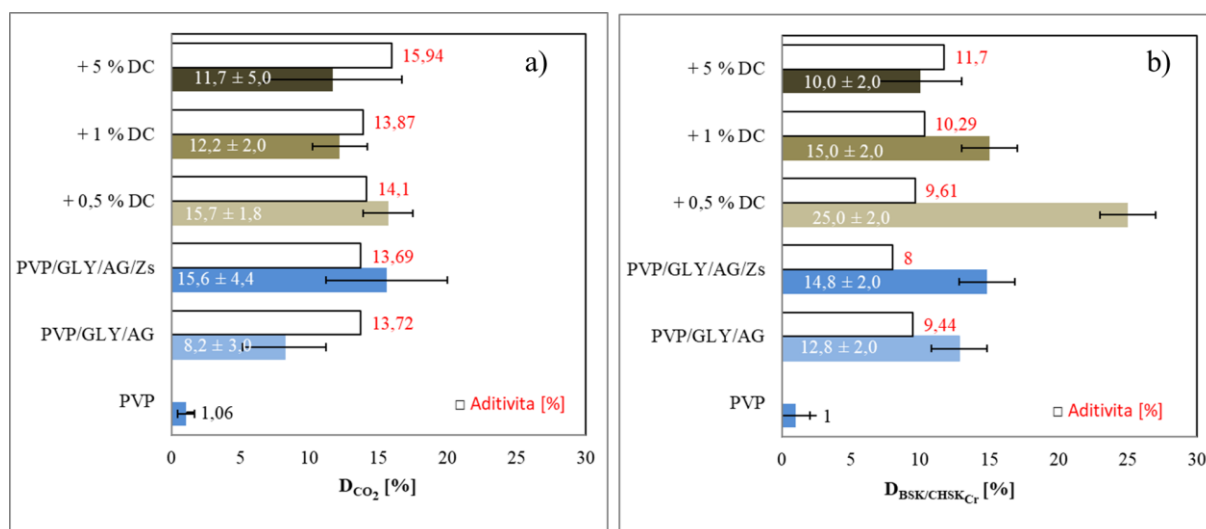
Biologická rozložitelnost polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a biomasy

Hlavním předmětem disertační práce bylo sledování účinku použitých plniv na biodegradaci připravených polymerních systémů. Na *Obrázku 4.17, a)* jsou prezentovány výsledky experimentu zabývajícího se pozorováním možnosti biologického rozkladu ve vodném prostředí zaočkovaném inokulem z aktivovaného kalu, který trval 29 dní. Lze vidět, že nejvyššího stupně biologického rozkladu v tomto prostředí bylo dosaženo pro polymerní systém s obsahem Zs. Co se týká přínosu DC na biodegradaci polymerních systémů, ten potvrzen nebyl. Naopak se zvyšující koncentrací plniva se biologické odbourávání polymerních systémů stávalo pro mikroorganismy aktivovaného kalu obtížnějším. Srovnáme-li naměřené výsledky s teoreticky předpokládanou biodegradací dle pravidla aditivity, můžeme vidět, že při zohlednění chyby měření jsou výsledky víceméně v souladu.

Výsledky biodegradace polymerních systémů s obsahem DC v půdním prostředí byly vyhodnoceny dle BSK/CHSK_{Cr} a jsou uvedeny na *Obrázku 4.17, b)*. Nejvyšší dosažené míry biodegradace bylo dosaženo u polymerního systému s obsahem 0,5 hm. % DC. V půdním prostředí je přítomna větší biodiverzita mikroorganismů, přičemž u některých z nich lze očekávat schopnost tvorby enzymatického aparátu schopného biodegradace ligninu či lignocelulózy, která mohla vést k zahájení primární degradace polymerní matrice, což se mohlo projevit vyššími hodnotami respirace, tj. BSK. A při srovnání naměřených hodnot s hodnotami aditivity (Julinová *et al.*, 2010), můžeme vidět, že reálné výsledky tyto předpokládané teoretické hodnoty značně předčily.

Na závěr si lze povšimnout jistého klesajícího trendu, kdy se s rostoucí koncentrací plniva snižuje procento biologického rozkladu (*Obrázek 4.17*).

Dalo by se předpokládat, že některé z látek obsažených v DC mohou mít na rozklad polymerního systému při vyšším obsahu DC negativní vliv, jednat by se mohlo teoreticky o veterinární prostředky a jejich metabolity, které se mohou v tomto typu agroodpadu nacházet (Quaik *et al.*, 2020). Aktivovaný kal je vůči těmto xenobiotikům relativně odolný, neboť přichází do kontaktu s humánními léčivy a jejich metabolity přítomnými ve splaškových odpadních vodách, proto v jeho prostředí tento klesající trend není tak výrazný. Avšak půdní mikroorganismy nejsou běžně vystavovány těmto látkám a tak mohou být významně citlivější na jejich přítomnost.



Obrázek 4.17 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a DC ve vodném prostředí s inokulem aktivovaného kalu a) a půdě b) ($n=3$, průměr ± směrodatná odchylka)

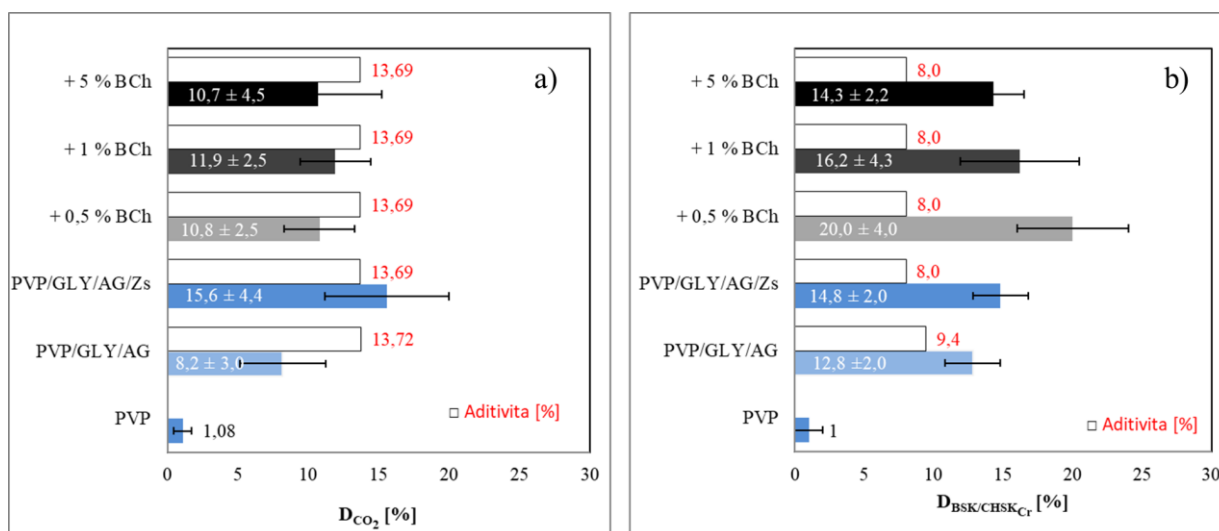
Souběžně byly provedeny biodegradční experimenty, které se zabývaly možností podpoření míry biologického stupně rozkladu vlivem přítomnosti BCh jako plniva. Skutečnost, že by mohla přítomnost biocharu podpořit biodegradaci materiálu s obsahem PVP byl prezentován v práci Chena *et al.* (2018).

Výsledky experimentů zabývající se biodegradací polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a BCh ve vodném prostředí zaočkovaném inokulem aktivovaného kalu jsou uvedeny na Obrázku 4.18, a). Bylo zjištěno, že vyššího stupně biologického rozkladu, než u polymerních systémů s obsahem BCh, bylo dosaženo u systémů s obsahem Zs. Z výsledků jinak není patrný význam BCh na nárůst míry biodegradace, jeho hodnoty se u všech vzorků pohybují kolem 10 %. Při srovnání naměřených hodnot s teoretickými hodnotami, je vidět, že reálné hodnoty byly o cca 3 % nižší než předpokládané.

V půdním prostředí bylo dosaženo nejvyšší míry biodegradace pro systém s plněním 0,5 hm. % BCh (Obrázek 4.18, b). S rostoucí koncentrací plniva, míra biodegradace klesala, tak jako tomu bylo i v případě polymerních systémů s obsahem DC. U biocharu se ovšem nedal předpokládat stejný princip účinku jako

tomu bylo u polymerních systémů s obsahem DC. V případě BCh by se dal očekávat pozitivní účinek spíše v případě, kdyby se plnivo stalo zdrojem makro či mikrobiogenních prvků pro metabolismus mikroorganismů, což by ve výsledku mohlo podpořit jejich množení a růst. Výsledky tohoto měření jsou v souladu s tvrzením Chena *et al.* (2018), který poukazuje na vyšší stupeň biologického rozkladu vlivem přítomnosti BCh. Při srovnání dosažených výsledků s teoretickými hodnotami aditivity, je opět zřejmé, že reálná biodegradace byla vyšší než předpokládaná, tudíž lze konstatovat, že mohla být enzymaticky narušena i polymerní matrice.

Nicméně, s rostoucí koncentrací plniva míra biodegradace klesala, tak jako tomu bylo i v případě polymerních systémů s obsahem DC. V tomto případě se dá předpokládat, že by na biologický rozklad polymerních systémů mohla mít negativní vliv případná přítomnost vedlejších produktů pyrolýzy, jejichž složení a kvantita je dána typem použité pyrolyzní technologie a spalovací teplotou, jednat by se mohlo např. o aromatické sloučeniny a různé deriváty pyranu a furanu (Sotoudehnia *et al.*, 2020).



Obrázek 4.18 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a BCh ve vodném prostředí s inokulem aktivovaného kalu a) a půdě b) ($n=3$, průměr ± směrodatná odchylka)

Vliv polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a biomasy na růst *Sinapis alba*

Jako poslední experiment bylo provedeno otestování působení polymerních systémů na růst semenek *Sinapis alba*, při jeho případném využití jako nosiče těchto semen při setí. Zde je nutno podotknout, že tyto testy probíhaly souběžně s testy biologického rozkladu. Zvoleny tak byly polymerní systémy s vyšším plněním DC a BCh za předpokladu vyššího přítomného obsahu látek prospěšných pro rostliny.

Takto připravená semena „enkapsulovaná“ do polymerních systémů byla umístěna do půdy a po dobu 12 dnů byl sledován jejich růst. V pravidelných intervalech byla měřena délka rostlinek a na konci experimentu byl sledován i vzniklý kořenový systém rostliny. Z naměřených dat byla vyhodnocena rychlost klíčení rostliny (RGR_{ger}) i jejího růstu vztaženého k nárůstu její hmotnosti (RGR_{FW}). Prvním pozitivním zjištěním byla již skutečnost, že vyklíčilo všech 10 semínek z 10 zasazených.

Nejmenšího vzrůstu $6,0 \pm 1,1$ cm byly rostliny z kontrolního stanovení. Průměrná délka jejich kořenového systému $3,7 \pm 2,5$ cm u nich byla sice větší než u rostlin, které rostly v přítomnosti samotného Zs, který měl kořenový systém o průměrné délce $1,5 \pm 0,3$ cm či v přítomnosti DC s hodnotou $2,4 \pm 0,9$ cm. Na druhou stranu měly rostliny kontrolního stanovení kořenový systém kratší než rostliny rostoucí v přítomnosti BCh, jejichž kořenový systém měl délku v průměru $4,3 \pm 2,3$ cm.

Nejvyššího vzrůstu v průměru $7,4 \pm 1,0$ cm dosáhly rostlinky rostoucí v přítomnosti DC, u kterých byl logicky zaznamenán i nejvyšší výtěžek $155,6 \pm 26,1$ mg biomasy. Rovněž měly nejvyšší RGR_{FW} $0,419 \pm 0,014$ $mg \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$. RGR_{ger} u těchto vzorků byla taktéž poměrně vysoká $3,36 \pm 0,46$ $cm \cdot cm^{-1} \cdot d^{-1}$, ve srovnání s kontrolou, u které byla zjištěna RGR_{ger} pouhých $0,55 \pm 0,27$ $cm \cdot cm^{-1} \cdot d^{-1}$. To lze přisuzovat pravděpodobně rychlejšímu uvolňování obsažených makro i mikrobiogenních prvků z polymerního systému.

Rostlinky rostoucí v přítomnosti systémů s obsahem BCh měly průměrnou délku stonku $6,7 \pm 1,0$ cm, tedy nižší než v přítomnosti DC. I zaznamenaná RGR_{ger} $2,05 \pm 0,76$ $cm \cdot cm^{-1} \cdot d^{-1}$ a RGR_{FW} $0,394 \pm 0,032$ $mg \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$ dosahovaly o něco nižších hodnot než v případě DC, přesto ale byly vyšší ve srovnání s rostlinami, které rostly v přítomnosti Zs či kontroly.

Zásadním a pozitivním zjištěním tohoto experimentu bylo, že RGR_{FW} stanovená na základě přírůstu biomasy po ukončení experimentu u jednotlivých polymerních systémů ve srovnání s kontrolou neklesala. Závěrem se tak dá konstatovat, že PVP neovlivňoval negativním způsobem růst rostlin *Sinapis alba*.

Jak již bylo dříve několikrát naznačeno, plniva materiálu mohla sloužit jako potenciální zdroj důležitých makro a mikrobiogenních prvků pro růst rostlin, které by byly uvolněny do prostředí po rozpuštění polymerního systému v němž bylo semínko umístěno. Schopnost akumulace prvků obsažených v plnivech do biomasy rostlin byla studována pomocí AAS.

Jako srovnání sloužila opět kontrola, tedy rostlinky, které byly zasazeny do půdy bez přítomnosti polymerních systémů, u kterých se předpokládala akumulace prvků pouze z půdního prostředí.

Velice zajímavý byl pozorovaný pokles většiny z měřených prvků v rostlinách, které rostly v přítomnosti materiálu obsahujícího pouze Zs, zatímco obsah Na a K

v porovnání s kontrolou vzrostl. Pravděpodobně mohlo docházet k iontové výměně způsobené přítomností Zs v půdním prostředí.

U rostlinek, které byly pěstovány v přítomnosti polymerních systémů s obsahem BCh, bylo zjištěno, že došlo ke zvýšení kumulativního obsahu Zn a Fe. Tyto prvky se podílejí při metabolismu rostliny např. na syntéze chlorofylu a na fotosyntetickém transportu elektronů (Zhao, 2018). Ve snaze podpořit růst rostlin se zdál BCh vhodnější než DC, jelikož prvky obsažené v biocharu byly pravděpodobně pro kořenový systém snadněji a rychleji dostupné.

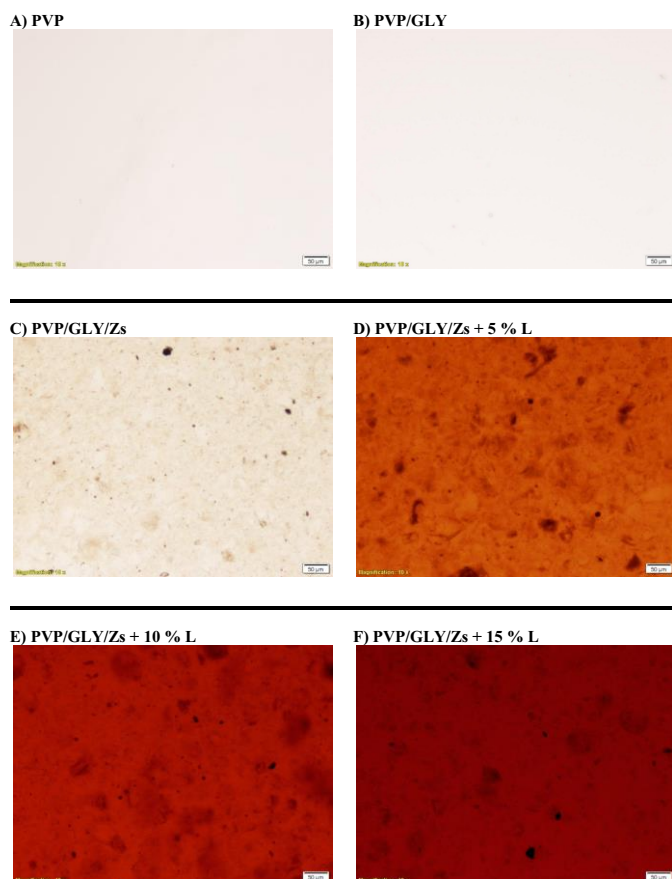
Závěrem může být konstatováno, že plniva mají pozitivní účinek na růst *Sinapis alba* v rané fázi a zároveň jak již bylo zmíněno polymerní matrice filmu nemá negativní dopad na její růst.

4.3.3 Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a L

Jako poslední připravené systémy v rámci této práce byly polymerní směsi s obsahem Zs a L. L byl zvolen na základě literární rešerše (Mai *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2005) a výsledků studie zabývající se biodegradací PVP v prostředí ligninolytické houby, kdy se ukázalo, že by mohla jeho přítomnost mít význam pro následné odbourávání materiálu na bázi sledovaného polymeru. Jeho výhodou je mimo jiné skutečnost, že se jedná o obnovitelný zdroj.

Optická mikroskopie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L

U připravených polymerních systémů byla také sledována distribuce plniva pomocí optické mikroskopie, hodnocena byla i mísitelnost PVP a L. Výsledky analýzy jsou uvedeny na *Obrázku 4.19*. U vzorku PVP (*A*) a jeho měkčené formy (*B*) nebyly dle očekávání viditelné žádné částice plniva. U vzorku s Zs (*C*) byla pozorovatelná uspokojivá distribuce plniva. Materiály s přídavkem L (*D*, *E*, *F*) získaly charakteristické zbarvení, jehož stupeň se zvyšoval s rostoucí koncentrací L od světle hnědočervené až po tmavou hnědočervenou barvu. U všech vzorků je pozorovatelná vcelku homogenní distribuce plniva ve formě Zs. Co se týče mísitelnosti PVP a L na snímcích vzorků nejsou pozorovatelná žádná mezifázová rozhraní, která by nasvědčovala tomu, že by tyto dvě komponenty nebyly kompatibilní.



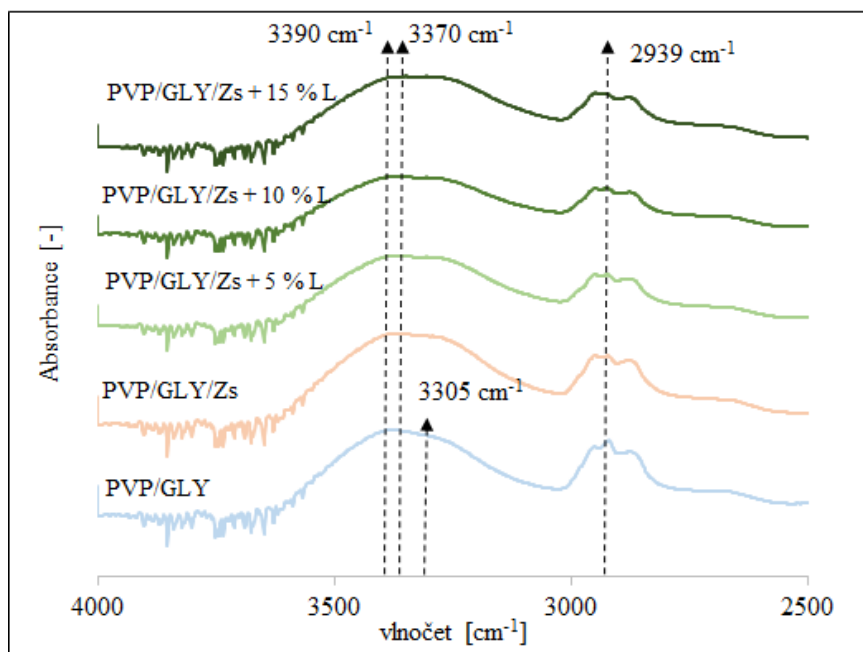
Obrázek 4.19 Fotografie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích z optické mikroskopie

FTIR polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L

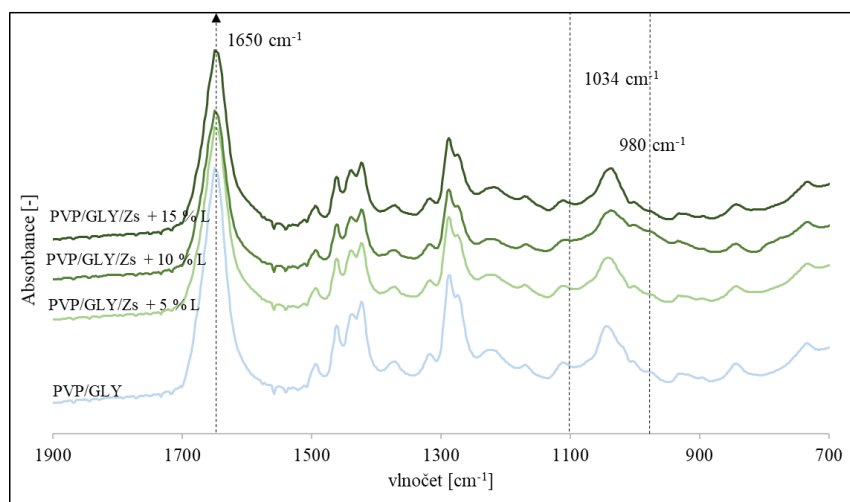
Pořízená FTIR spektra ukázala stejně jako v předchozích případech charakteristické pásy pro PVP viz kapitola 4.3.1.

Co se týká přítomnosti L v polymerním systému, byly ve FTIR spektrech (*Obrázek 4.20*) zaznamenány charakteristické absorpční pásy v oblasti $3500 - 3100 \text{ cm}^{-1}$, které odpovídají přítomnosti alkoholových a fenolových hydroxylových skupin $-\text{OH}$. Absorpční pás s vrcholem na vlnočtu 2939 cm^{-1} pak odpovídá vibracím $-\text{C}-\text{H}$ methoxylových skupin. Srovnáme-li spektra pouze měkčené matrice a polymerní směsi s obsahem L, vidíme změny v oblasti $3390-3370 \text{ cm}^{-1}$. Ty se dají teoreticky přisuzovat tvorbě intramolekulárních vodíkových vazeb mezi polymerní maticí a lignosulfonátovými hydroxylovými skupinami.

Začlenění Zs a L do matrice PVP způsobilo vznik širokého pásu v oblasti $1038 - 880 \text{ cm}^{-1}$ (*Obrázek 4.21*). Dále je možno pozorovat absorpční pás v oblasti $1597 - 1511 \text{ cm}^{-1}$ charakteristický pro vibrace $\text{C}-\text{C}$ vazeb u aromatických kruhů přítomných v L a v neposlední řadě vibrace $-\text{OH}$ primárních alkoholů na vlnočtu 1034 cm^{-1} a sekundárních alkoholů v oblasti 1157 cm^{-1} (Kubačková *et al.*, 2013).



Obrázek 4.20 FTIR spektra polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích v rozsahu $4000\text{ cm}^{-1} - 2500\text{ cm}^{-1}$, (ATR-Di technika)



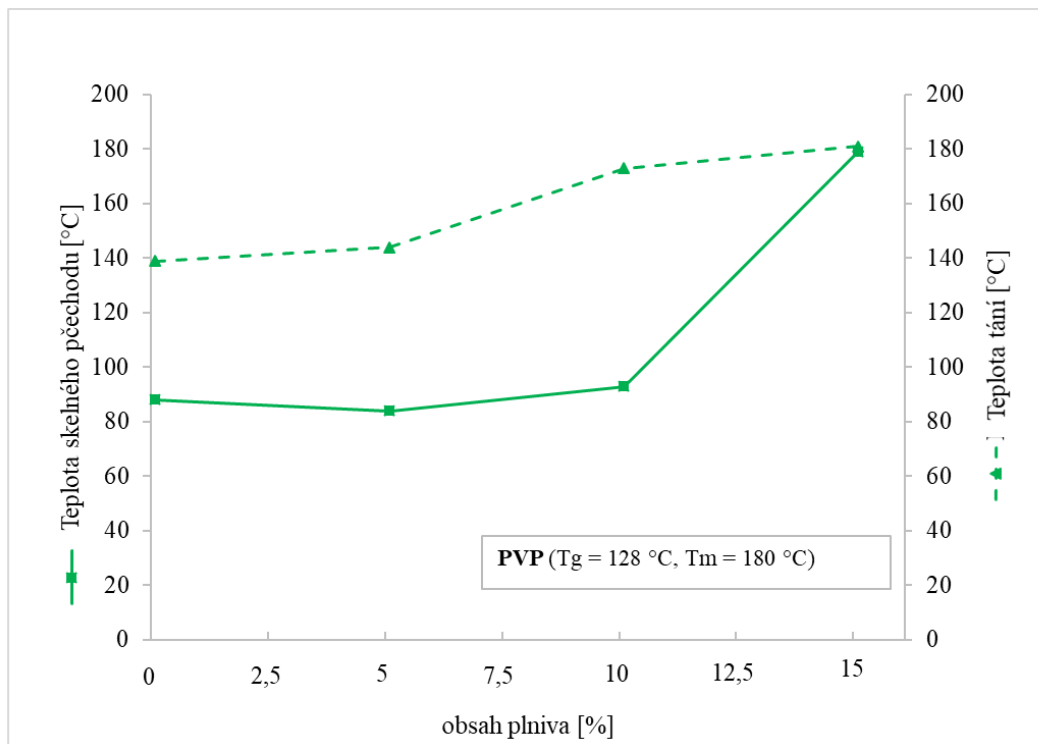
Obrázek 4.21 FTIR spektra polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích v rozsahu $1900\text{ cm}^{-1} - 700\text{ cm}^{-1}$ (ATR-Di technika)

DSC polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L

I u této série byla provedena termická analýza sledující charakteristické teploty (T_g , T_m) polymerních systémů v závislosti na obsahu L. Výsledky měření jsou uvedeny na Obrázku 4.22. Při obsahu 5 hm. % L nebyl pozorován významný vliv, u vzorku s obsahem 10 hm. % L došlo k nepatrnému nárůstu T_g . Nicméně pro vzorek s obsahem 15 hm. % L byl pozorován skokový nárůst T_g až na $179\text{ }^\circ\text{C}$. S takovou mírou obsahu L již polymerní řetězce nebyly dostatečně pružné. Pokles

T_g mohl být způsoben vodíkovými vazbami vznikajícími mezi hydroxylovými skupinami lignosulfonátu a PVP.

Vliv rostoucí koncentrace L v polymerním systému na T_m měl podobný průběh. Závěrem se dá shrnout, že s rostoucí koncentrací L se sice zlepšuje tepelná odolnost materiálu nicméně na úkor jeho mechanických vlastností.

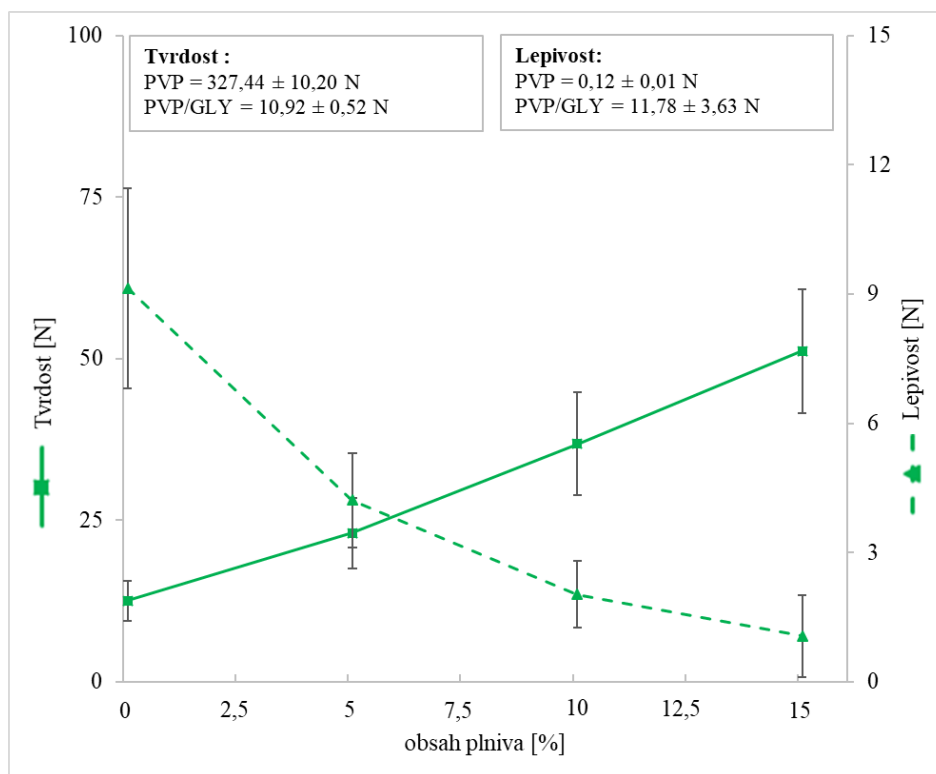


Obrázek 4.22 Vliv vybraných koncentrací L na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs

Analýza profilu textury polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L

Analýza profilu textury přinesla informace ohledně tvrdosti a lepivosti v závislosti na obsahu L v polymerních systémech. Získaná data jsou prezentována na Obrázku 4.23. U vzorku čistého PVP byla zjištěna tvrdost $327,44 \pm 10,20$ N. Po přidavku změkčovadla došlo k jejímu razantnímu snížení až na $10,92 \pm 0,52$ N. Přídavek Zs pak hodnoty významně neovlivnil. Nicméně po zavedení L do systému došlo k výraznějším změnám vlastností. Bylo zjištěno, že přídavek 5 hm. % L zvýšil tvrdost vzorků, která se dále s rostoucím obsahem L zvyšovala až na $51,19 \pm 9,57$ N.

Další velice zajímavé výsledky přineslo stanovení vlivu L na lepivost polymerních systémů. Bylo zjištěno, že s pomocí L je možno modifikovat lepivost polymerních systémů na bázi PVP (Obrázek 4.23). Snížení lepivosti polymerních systémů zavedením ligninové struktury do systémů je popsáno také v práci Faruka a Saina (2016). Jako optimální se jevil přídavek 5 hm. % L, u kterého byla lepivost snížena na polovinu při zachování přijatelné tvrdosti polymerního systému.

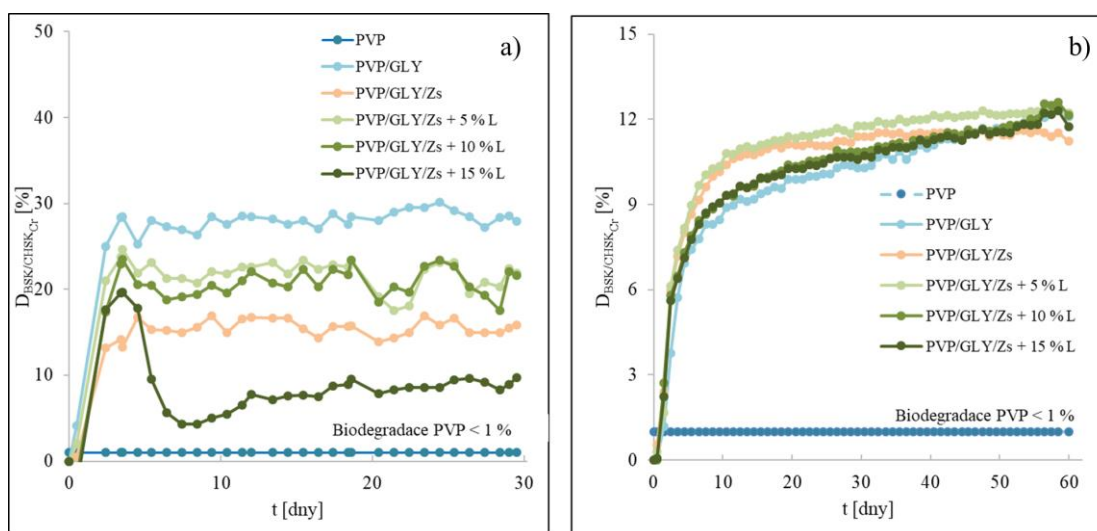


Obrázek 4.23 Vliv vybraných koncentrací L na teplotu lepivost a tvrdost polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)

Biologická rozložitelnost polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L

Výsledná data z měření biodegradace polymerních systémů s obsahem L ve vodném prostředí zaočkovaném aktivovaným kalem jsou uvedeny na *Obrázku 4.24, a)*. Z vyhodnocení je patrné, že kolem 4. dne docházelo k prudkému poklesu respirace, který se s rostoucí koncentrací L zvyšoval. To mohl způsobit účinek oxidačního stresu z reaktivních forem kyslíku, na přítomné mikrobiální kultury v aktivovaném kalu. Po 30 dnech experimentu bylo dosaženo biodegradace u vzorků s obsahem 5 hm. % L $21,20 \pm 1,31$ %, pro vzorek s obsahem 10 hm. % L $20,38 \pm 2,96$ % a pro 15 hm. % L to bylo $10,36 \pm 3,67$ %. I přes relativně nepříznivé výsledky, pokud srovnáme biodegradaci polymerních systémů s biodegradací samotného PVP, která je nižší než 1 %, pak tyto systémy nepředstavují pro vodné prostředí zásadní riziko.

Výsledky testů sledující biodegradaci polymerních směsí z PVP a L s obsahem Zs po dobu 60 dnů v půdním prostředí jsou uvedeny na *Obrázku 4.24 b)*. Zjištěná biodegradace pro vzorek měkčené matrice PVP byla $12,1 \pm 0,4$ %, pro polymerní systémy s obsahem L se pak pohybovala kolem 12 %. Z výsledku je patrné, že systémy s obsahem L dosahovaly nepatrně vyšší biodegradace než systémy pouze s obsahem Zs. Přítomnost L tak může mít pozitivní dopad na biodegradaci polymerní směsi, nicméně očekávaný efekt nebyl tak výrazný.



Obrázek 4.24 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a L ve a) vodném prostředí zaočkovaném inokulem aktivovaného kalu a b) půdním prostředí ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)

Vliv polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L na růst *Sinapis alba*

Stejně jako v předchozí kapitole byl proveden screeningový růstový test na rostlinách druhu *Sinapis alba*. Pozitivním zjištěním byla skutečnost, že vyklíčilo všech 10 semínek z 10 testovaných. Na konci experimentu byla stanovena hmotnost nevysušené biomasy, délka stonků a délka kořínků. Hmotnost nevysušené biomasy byla u kontrolního vzorku $108,5 \pm 27,6$ mg, u rostlin rostoucích v přítomnosti pouze Zs $105,7 \pm 22,5$ mg a u rostlin, které rostly v přítomnosti L $109,1 \pm 20,1$ mg.

Polymerní systémy s obsahem L dosáhly ze všech testovaných vzorků v rámci práce i nejvyšší RGR_{ger} $3,59 \pm 0,30$ $cm \cdot cm^{-1} \cdot d^{-1}$. Zjištěná délka stonků byla u kontrolního vzorku $6,0 \pm 1,0$ cm, u rostlin rostoucích v přítomnosti pouze Zs $7,2 \pm 0,8$ cm a u rostlin rostoucích v přítomnosti L bylo naměřeno $6,3 \pm 1,0$ cm.

Nejzajímavější výsledky byly pozorovány u parametru délky kořínků. Pro kontrolní vzorek bylo naměřeno $3,7 \pm 2,5$ cm, pro rostliny rostoucí v přítomnosti pouze Zs $1,5 \pm 0,3$ cm a pro rostliny rostoucí v přítomnosti L $5,3 \pm 1,8$ cm. Byl tak cca o 250 % delší oproti rostlinám jejichž semena byla enkapsulována v polymerním systému plněném pouze Zs.

Ve srovnání se vzorky uvedených v předchozí kapitole, měly rostlinky rostoucí v přítomnosti L delší kořenový systém. To mohlo být způsobeno přítomností síry, která je právě pro tvorbu kořenového systému důležitým prvkem či přítomností huminových látek uvolněných do prostředí v důsledku biodegradace L.

Nicméně, je nutno vzít v úvahu, že se jednalo o screeningové testy a bylo by nezbytné provést podrobnější výzkum. Závěrem je možno konstatovat, že L nemá negativní dopad na růst *Sinapis alba* v rané fázi a je možným zdrojem Fe a S, které mohou být pro růst rostliny přínosné.

5. ZÁVĚR

PVP je v současnosti hojně využívaným polymerem, bohužel většina dosud provedených studií ho považuje za rezistentní vůči mikrobiálnímu působení. Z toho důvodu hrozí, že by mohlo docházet k jeho hromadění v životním prostředí. To že se PVP v současnosti v životním prostředí skutečně nachází (např. v řekách) potvrzuje literární rešerše. Disertační práce byla zaměřena na hledání případných degradérů sledovaného polymeru a snaze podpořit abiotickou či biotickou degradaci polymerních systémů na bázi PVP – lze ji tak rozdělit do tří základních okruhů.

Nejprve byla věnována pozornost studiu možností biodegradace PVP v různých prostředích. Otestována byla například směsná kulturní řas, dále biocenóza získaná z chlévské mrvy a v neposlední řadě prostředí mycelia ligninolytické houby *Pleurotus ostreatus*. Ze všech testovaných prostředí bylo nejzajímavějších výsledků dosaženo při experimentech s houbou. Ukázalo se, že v prostředí houby dochází k nárůstu respirační aktivity ve srovnání s jinými testovanými prostředími. Následné analýzy, především FTIR a NMR, pak poukázaly na možnost, že působením mycelia houby patrně dochází k narušení původní struktury polymeru. Což by teoreticky mohly způsobovat ligninolytické enzymy, které mají silnější oxidačně-redukční potenciál ve srovnání s bakteriálními enzymy. Principiálně se nabízí možnost, že u nízkomolekulárního PVP mohlo docházet k naštípnutí řetězců a u vysokomolekulárního PVP mohlo teoreticky docházet k odštěpování laktamových kruhů řetězce a ke vzniku různých meziproductů, které byly dále biologicky rozložitelné směsnou mikrobiální kulturou v podobě aktivovaného kalu z ČOV. Aby se toto tvrzení potvrdilo, bylo by nutné provést mnoho dalších analýz. Výsledky této práce tak mohou sloužit především jako předmět dalších experimentů.

V další části práce byla věnována pozornost přípravě polymerních systémů s obsahem Fe^{3+} iontů pro podporu abiotické degradace. FTIR analýza ukázala, že přítomnost Fe^{3+} sice při plnění 0,5 hm. % v polymerním systému napomáhá jisté míře fotooxidace, nicméně následná biodegradace těchto ozářených polymerních systémů v prostředí mikrobiální kultury v podobě aktivovaného kalu dosahovala hodnot $8,2 \pm 0,6$ % a nebyla nikterak významná. Navíc se ukázalo, že vyšší koncentrace Fe^{3+} v polymerním systému může jejich biodegradaci po ozáření naopak znesnadňovat.

Jako hlavní předmět disertační práce byla příprava polymerních systémů s obsahem syntetického zeolitu. Výsledky testování ukázaly, že syntetický zeolit může mít při vhodně zvolené koncentraci plnění (2,5 hm. % vztaženo na navážku PVP) pozitivní význam pro vlastnosti polymerních systémů na bázi PVP a také mírně pozitivní účinek na biodegradaci polymerních systémů ve vodném prostředí aktivovaného kalu, v půdním prostředí ale naopak docházelo k mírnému zhoršení biologického stupně rozkladu.

Dále byla proto sledována možnost podpořit biologickou rozložitelnost polymerních systémů na bázi PVP s ohledem na výsledky experimentů s ligninolytickou houbou a provedenou literární studii. Jako plniva do polymerních systému tak byla zakomponována lignocelulóza z biomasy, biochar či lignosulfonát vápenatý.

Při stanovení základních charakteristik, testování tepelných a mechanických vlastností připravených polymerních systémů na bázi PVP s obsahem syntetického zeolitu a organických plniv se ukázalo, že přidaná plniva do systému mají na sledované vlastnosti značný vliv. FTIR analýza potvrdila, že mezi jednotlivými komponentami dochází k interakcím, především k tvorbě vodíkových můstků. Optická mikroskopie ukázala, že částice plniva byly až na odpadní biomasu v sušené formě rovnoměrně distribuovány a v případě biocharu v polymerní matici tvořily náhodné „sítě“, které se s rostoucí koncentrací plniva stávaly kompaktnějšími. Mechanické vlastnosti polymerních systémů byly přijatelné, po této stránce bylo dosaženo nejlepších vlastností s použitím biocharu. Rozpustnost ve vodě a navlhavost polymerních systémů byly uspokojivé z hlediska manipulace a dalšího případného využití. Výsledky respirometrických testů ukázaly příznivý účinek přídavku odpadní biomasy, především v zastoupení 0,5 hm. %, ať už ve formě sušené či pyrolyzované. U polymerních systémů s obsahem lignosulfonátu vápenatého to bylo zastoupení 5 hm. %. Závěrem se dá konstatovat, že navržená kombinace plniv z kategorie obnovitelných zdrojů měla pozitivní účinek na růst *Sinapis alba* v počátečním stádiu a polymerní matrice neinhibovala vývoj rostliny v rané fázi.

Co se týká praktického využití připravených polymerních systémů, tak by bylo samozřejmě nezbytné dále optimalizovat technologický postup jejich přípravy pro reálné podmínky, které jsou od těch laboratorních poněkud odlišné. Nicméně se dá shrnout, že všechna použitá plniva (syntetický zeolit, biomasa, lignosulfonát) mají pro přípravu polymerních systémů značný potenciál, což ostatně potvrzuje i literární rešerše.

6. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

V současnosti, kdy je životní prostředí zahlcené plastovými odpady je hledání potenciálních degradérů polymerů a plastů, které v přírodě nepodléhají přirozenému rozkladu bezesporu důležité. Jedním z těchto obtížně rozložitelných vodou rozpustných polymerů je i polyvinylpyrrolidon (PVP), který je frekventovaně využíván v mnoha různých odvětvích a jeho osud v životním prostředí nebyl dosud popsán. V rámci této práce byla sledována biodegradace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem syntetického zeolitu a dalších plniv. Součástí byla také studie zabývající se hledáním potenciálních degradérů sledovaného polymeru v čisté formě. Přínos této práce se dá shrnout v následujících bodech:

- **Sledování biologické rozložitelnosti PVP v různých typech prostředí**

V rámci této části byly vůbec jako první provedeny studie zabývající se biodegradací PVP v prostředí směsné kultury řas, v prostředí specifické biocenózy získané z agroodpadu, a především ligninolytické houby *Pleurotus ostreatus*. Hlavním přínosem je zjištění, že zmíněná houba má jistý vliv na strukturu polymeru, který je zřejmě schopna degradovat za vzniku různých metabolitů.

- **Fotooxidace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zp a Fe³⁺**

V další části studie bylo zjištěno, že plnění 0,5 hm. % Fe³⁺ v polymerních systémech po jejich ozáření napomáhá jisté míře fotooxidace. Aditiva obsahující Fe³⁺ tak mají potenciál částečně přispět k abiotické degradaci PVP.

- **Polymerní systémy na bázi PVP s obsahem Zs a organických plniv**

Bylo zjištěno, že zvolená plniva z kategorie obnovitelných zdrojů (biomasa, lignosulfonát vápenatý) do polymerních systémů na bázi PVP mohou zlepšit jejich vlastnosti a patrně mohou i mírně napomáhat jejich biodegradaci. Výhodou zvolených plniv do polymerních systémů s potenciálním využitím v oblasti agrochemie je především pozitivní význam zastoupených makro a mikronutrientů v plnivech pro růstu rostlin. Pozitivním zjištěním je i skutečnost, že polymerní matrice neinhibuje vývoj rostliny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ABD EL-MOHDY, H.L. and GHANEM, S., 2009. Biodegradability, Antimicrobial Activity and Properties of PVA/PVP Hydrogels Prepared by γ -irradiation. *Journal of Polymer Research*. **16**(1). DOI: 10.1007/s10965-008-9196-0. ISBN 1022-9760.
- ALBERTSSON, A-CH and S.J. HUANG, 1995. *Degradable polymers, recycling and plastic waste management*. 1. New York·Basel·Hong Kong: M.Dekker. ISBN:0-8247-9668-3.
- ALVER, E., METIN, A.Ü. and H. ÇIFTÇI, 2014. Synthesis and Characterization of Chitosan/Polyvinylpyrrolidone/Zelite Composite by Solution Blending Method. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. **24**(6), 1048-1054. DOI: 10.1007/s10904-014-0087-z.
- ANTIĆ, V.V., et al., 2011. Quantitative Determination of Poly(vinylpyrrolidone) by Continuous-flow Off-line Pyrolysis-GC/MS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **90**(2), 93-99. DOI: 10.1016/j.jaap.2010.10.011.
- AVRAMOVA, N., 1998. *Polymer additives: the miscibility of blends*. Springer Dordrecht. **1**, 513-518. DOI: 10.1007/978-94-011-5862-6_56. ISBN 978-94-010-6477-4.
- BĚHÁLEK, L., 2016. *Polymery*. ISBN 978-80-88058-68-7.
- BERNAL-BALLEN, A., et al., 2018. Poly(vinyl pyrrolidone) Solutions Irradiated with Microwaves: Study and Analysis of their Possible Degradation. *Biointerface research in applied chemistry*. **8**(3), 3273-3277.
- ČSN EN ISO 9408: *Jakost vod - Hodnocení úplné aerobní biologické rozložitelnosti organických látek ve vodním prostředí stanovením spotřeby kyslíku v uzavřeném respirometru*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 20 s.
- ČSN EN ISO 9888 *Jakost vod - Hodnocení aerobní biologické rozložitelnosti organických látek ve vodním prostředí - Statická zkouška (Zahn-Wellensova metoda)*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 16 s.
- DESHMUKH, K.S., et al., 2016. *Fungi: Applications and Management Strategies*. CRC Press. ISBN 9781498724913
- Elastomery J.* **17**, 21–27.
- FRANCO, P and I. De MARCO, 2020. The Use of Poly(N-vinyl pyrrolidone) in the Delivery of Drugs: A Review. *Polymers*. **12**(5)1114. DOI:10.3390/polym12051114.
- GRUMEZESCU, A., 2017. *New Pesticides and Soil Sensors*. 1. Bukurešť. ISBN 9780128043707.
- HALIP, J.A., et al., 2021. A Review: Chemical Treatments of Rice Husk for Polymer Composites. *Bio-interface Research in Applied Chemistry*. **11**(4), 12425-12433. DOI:10.33263/BRIAC1141242512433.
- HASSINGER, D.A., 2018. Utilizing natural Components to Combat Antropogenic effect: Biodegradation of Single-use Plastics by White-rot Fungi. Camden. Master Thesis. Rutgers, the State University of New Jersey.
- HASSOUNA, F., et al., 2011. Influence of Iron Salts on the Photooxidation of Poly(N-vinylpyrrolidone) in Aqueous Solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. **218**(2-3), 239-246. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2011.01.007.
- HASSOUNA, F., et al., 2009. Photooxidation of Poly(N-vinylpyrrolidone) (PVP) in the Solid State and in Aqueous Solution. *Polymer Degradation and Stability*. **94**(12), 2257-2266. DOI: 10.1016/j.polym-degradstab.2009.08.007.
- HAYASHI, S., ONUMA, T. and F. KAGAYA, 2017. Fixing of Electrophoretically Deposited Natural Zeolite Particles by Geopolymer Reaction for Heavy Metal Ion Adsorbents. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. **125**(12), 894-898.
- CHALKIAS, D.A. et al., 2018. Preparation of Polyvinylpyrrolidone-based Polymer Electrolytes and their Application by In-situ Gelation in Dye-sensitized Solar Cells. *Electrochimica Acta*. **271**, 632-640. DOI: 10.1016/j.electacta.2018.03.194.
- CHEN, S., et al., 2018. Preparation and Characterization of Slow-release Fertilizer Encapsulated by Biochar-based Waterborne Copolymers. *Science of The Total Environment*. **615**, 431-437. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.209.
- JERMAKKA, J., MERTA, E., MROUEH, U., ARKKOLA, H., 2015. *Solutions for control of nitrogen discharges at mines and quarries*. Finland:Julkaisija Utgivare Publisher. ISBN: 978-951-38-8319-5.

- JULINOVÁ, M. et al., 2017. Utilization of Waste Lignin and Hydrolysate From Chromium Tanned Waste in Blends of Hot-Melt Extruded PVA-Starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 1-14.
- JULINOVÁ, M. et al., 2010. Lignin and starch as potential inductors for biodegradation of films based on poly(vinyl alcohol) and protein hydrolysate. *Polymer Degradation and Stability*. **95**(2)225-233. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2009.10.008.
- JULINOVÁ, M., et al., 2012. Removal of Polyvinylpyrrolidone from Wastewater Using Different Methods. *Water Environment Research*. **84**(12), 2123-2132. DOI: 10.2175/106143012X13373575830999.
- JULINOVÁ, M., VAŇHAROVÁ, L. and M. JURČA, 2018. Water-soluble Polymeric Xenobiotics – Polyvinyl alcohol and Polyvinylpyrrolidone – And Potential Solutions to Environmental Issues: A brief review. *Journal of Environmental Management*. **228**, 213-222.
- KATTAUER, J., 2015. *Příprava a charakterizace zeolitů z odpadních kaolínů*. Zlín, Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- KUBAČKOVÁ, J. et al., 2013. Antioxidant properties of lignin in rubber blends.
- KUMAR, K.N., RAO, J.L. and Y.C. Ratnakaram, 2015. Optical, Magnetic and Electrical Properties of Multifunctional Cr³⁺: Polyethylene oxide (PEO) + Polyvinylpyrrolidone (PVP) Polymer Composites. *Journal of Molecular Structure*. **1100**, 546-554. DOI:10.1016/j.molstruc.2015.07.066.
- LAHUTA, R., 2013. *Antibakteriální folie na bázi vodou rozpustných polymerů*. Zlín, Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- LARKIN, R.L. and R.E. KUPEL, 1965. Quantitative Analysis of Polyvinylpyrrolidone in Atmosphere Samples and Biological Tissues. *American Industrial Hygiene Association Journal*. **26**(6), 558-561. DOI: 10.1080/00028896509342773.
- LIU, Y., et al., 2018. Synthesis of zeolite P1 from fly ash under solvent-free conditions for ammonium removal from water. *Journal of Cleaner Production*. **202**, 11-22. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.08.128.
- LU, W.J., et al., 2021. Advanced poly(vinyl pyrrolidone) decorated chlorinated polyvinylchloride membrane with low area resistance for vanadium flow battery. *Journal of Membrane Science*. **620**(2021)118947. DOI:10/2016/j.memsci.2020.118947.
- LUO, Y., et al., 2021. Multifunctional Role of Polyvinylpyrrolidone in Pharmaceutical Formulations. *AAPS PharmSciTech*, **22**(1)34. DOI: 10.1208/S12249-020-01909-4.
- da LUZ, J.M.R., et al., 2013. Degradation of Oxo-biodegradable Plastic by *Pleurotus ostreatus*. *Plos one*. 2013, 1-17. DOI: 10.1371/journal.pone.0069386.
- MAI, C., et al., 2004. Degradation of Acrylic Copolymers by White-rot Fungi. *Applied microbiology and biotechnology*, **65**(4), 479-487. DOI: 10.1007/s00253-004-1668-5.
- MILSTEIN, O. et al., 1992. Fungal Biodegradation of Lignopolystyrene Graft Copolymers. *Applied and Environmental Microbiology*. **58**(10), 3225-3232.
- MOHAMED, A.M., et al., 2017. Permeability and Tensile Strength of Concrete with Arabic Gum Biopolymer. *Advances in Civil Engineering*. 1-7. DOI: 10.1155/2017/4703841.
- MOHANTY, J.R., et al., 2014. Effect of Chemically Modified Date Palm Leaf Fiber on Mechanical, Thermal and Rheological Properties of Polyvinylpyrrolidone. *Fibers and Polymers*. **15**(5), 1062-1070. DOI: 10.1007/s12221-014-1062-6.
- NAGARAJAN, V., et al., 2016. Biocomposites with size-fractionated biocarbon: Influence of the microstructure on macroscopic properties. *ACS omega*, 1(4), 636-647.
- NASKAR, M.K., et al., 2011. Influence of PVP buffer layer on the formation of NaA zeolite membrane. *Journal of Porous Materials*, **18**(3), 319-327. DOI: 10.1007/s10934-010-9381-5.
- NEŠIĆ, A., et al., 2017. Pectin-Polyvinylpyrrolidone Films: A Sustainable Approach to the Development of Biobased Packaging Materials. *Composites Part B: Engineering*. **110**, 56-61. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.11.016.
- OGUNSONA, E. O., et al., 2017. Sustainable biocomposites from biobased polyamide 6, 10 and biocarbon from pyrolyzed miscanthus fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, **134**(4). DOI:10.1002/app.44221.
- PARAMBATH, A., 2018. *Engineering of biomaterials for Drug Delivery Systems: beyond Polyethylene glycol*. 1. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier. Woodhead Publishing series in biomaterials. ISBN 978-008-1017-517.

- PEKAŘOVÁ, S., 2018. *Využití stanovení plynných produktů pomocí plynové chromatografie ke sledování biodegradčních procesů s přihlédnutím k materiálovým vlastnostem makromolekulárních substrátů*. Zlín, Disertační práce. UTB ve Zlíně.
- PURNOMO, G., et al., 2018. *Zeolite-based biomaterials for biomedical application: A review*. DOI: 10.1063/1.5042933.
- QUAIK, S., et al., 2020. Veterinary antibiotics in animal manure and manure la-den soil: Scenario and challenges in Asian countries. *Journal of King Saud University – Science*. 32(2), 1300-1305. DOI: 10.1016/j.jksus.2019.11.015.
- ROY, N., et al., 2012. Biodegradation of PVP–CMC hydrogel Film: A Useful Food Packaging Material. *Carbohydrate Polymers*. 89(2), 346-353. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.03.008.
- SILVA, M.F., et al, 2005. Thermal and FTIR study of Polyvinylpyrrolidone/Lignin Blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 79, 367-370. DOI:10.1007/s10973-005-0066-2.
- SOROORY, H., MASHAK, A. a A. RAHIMI, 2013. Application of PDMS-based Coating in Drug Delivery Systems Using PVP as Channeling Agent. *Iranian Polymer Journal*. 22(11), 791-797. DOI: 10.1007/s13726-013-0178-7.
- SOTOUDEHNIA, F., et al., 2020. Characterization of bio-oil and biochar from pyrolysis of waste corrugated cardboard. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 145, 104722. DOI: 10.1016/j.jaap.2019.104722.
- ŠERÁ, J., 2018. *Studium biotické a abiotické degradace polyesterů s využitím molekulárně biologických metod*. Zlín, Disertační práce. UTB ve Zlíně.
- TARLETON, S, 2015. *Progress in Filtration and Separation*. London:Academic Press. ISBN: 978-0-12-384746-1.
- TEEPAKAKORN, A., et al., 2018. Removal of Water-soluble Polymers from an aqueous Solution by Adsorption onto an Acidic Clay. *Clays and Clay minerals*. 66(2), 96-103. DOI: 10.1346/CCMN.2018.064079.
- TEODORESCU, M. and M. BERCEA, 2015. Poly(vinylpyrrolidone) – A Versatile Polymer for Biomedical and Beyond Medical Applications. *Polymer-PlasticTechnology and Engineering*. 54, 923-943. DOI:10.1080/03600255.2014.979 506.
- TRIMPIN, S., et al., 2001. Recalcitrance of Poly(vinylpyrrolidone): Evidence through Matrix-Assisted Laser Desorption-Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 938(1-2), 67-77.
- TRIPATHI, S., et al., 2020. Effects of light availability on leaf attributes and seedling growth of four tree species in tropical dry forest. *Ecological Processes*, 9(1), 1-16.
- VÄISÄNEN, T. et al., 2016. Utilization of Agricultural and Forest Industry Waste and Residues in Natural Fiber Polymer Composites: A review. *Waste management*. 54, 62-73. DOI:10_1016/j.wasman.2016.
- WASHBURN, N.R., 2019. Research - Lignin. *Carnegie Mellon Univesity* [online]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University [cit. 2019-07-24]. Dostupné z: <http://www.chem.cmu.edu/groups/washburn/res-lignin.html>.
- WYPYCH, G., 2016. *Handbook of polymers*. 2nd edition. Toronto: ChemTec Publishing, ISBN 18-951-9892-5.
- YUSEFI, M., et al., 2018. Performance of Cow Dung Reinforced Biodegradable Poly(Lactic Acid) Biocomposites for Structural Applications. *Journal of Polymer and the Environment*. 26, 474-486. DOI:10.1007/s10924-017-0963-2.
- ZAHARRI, N. and N. OTHMAN, 2010. Optimization of Zeolite as Filler in Polypropylene Composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 29 (14), 2211-2226. DOI:10.1177/0731684409347593.
- ZHANG, Q, et al., 2020. Biocomposites from Organic Solid Wastes Derived Biochars: A Review. *Materials*. 13(18), 3923. DOI: 10.3390/ma13183923.
- ZHAO, G., et al., 2018. In situ Microbial Remediation of Crude oil-soaked Marine Sediments Using Zeolite Carrier with a Polymer Coating. *Marine Pollution Bulletin*. 129(1), 172-178. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.02.030.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Struktura PVP	6
Obrázek 1.2 Možnosti snížení emisí a odstranění PVP z životního prostředí	8
Obrázek 3.1 Obecné schéma přípravy polymerních systémů s obsahem Zs a odpadní biomasy (DC, BCh) nebo s obsahem Zs a L	17
Obrázek 4.1 Respirační láhev s prostředím zaočkovaným myceliem houby <i>Pleurotus ostreatus</i>	20
Obrázek 4.2 Vyhodnocení biodegradace PVP K15 v prostředí hoblin ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	20
Obrázek 4.3 Vyhodnocení biodegradace PVP K30 v prostředí hoblin ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	21
Obrázek 4.4 Rozdílové FTIR spektrum extraktu z biodegradace PVP K 15 <i>Pleurotus ostreatus</i> ve srovnání se spektrem čistého PVP K 15 (KBr technika)	22
Obrázek 4.5 Rozdílové FTIR spektrum extraktu z biodegradace PVP K 30 <i>Pleurotus ostreatus</i> ve srovnání se spektrem čistého PVP K 30 (KBr technika)	22
Obrázek 4.6 Pořízená ^1H NMR spektra degradačního prostředí (1), polymeru PVP K 15 po degradačním experimentu (2) a spektrum původního polymeru PVP K 15(3).....	23
Obrázek 4.7 FTIR spektrum polymerního systému PVP/GLY/Zp + 0,5 % Fe^{3+} před a po UV degradaci pro oblast $1800 - 600 \text{ cm}^{-1}$ (ATR-Di technika)	24
Obrázek 4.8 Fotografie z optické mikroskopie PVP s 2,5% obsahem Zs.....	25
Obrázek 4.9 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP a Zs o různých koncentracích (ATR-Di technika)	26
Obrázek 4.10 Vliv různých koncentrací Zs jako plniva na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP	27
Obrázek 4.11 Biodegradace polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ve vodném prostředí zaočkovaném inokulem aktivovaného kalu a) a v půdě b) ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	28
Obrázek 4.12 Fotografie z optické mikroskopie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a DC či BCh o různých koncentracích.....	30
Obrázek 4.13 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a DC o různých koncentracích (ATR-Di technika)	31
Obrázek 4.14 FTIR spektra polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a BCh o různých koncentracích (ATR-Di technika)	31
Obrázek 4.15 Vliv vybraných koncentrací biomasy jako plniva na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs.....	32
Obrázek 4.16 Vliv vybraných koncentrací biomasy jako plniva na Youngův modul a prodloužení při přetržení polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ($n=5$, průměr \pm směrodatná odchylka)	34
Obrázek 4.17 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a DC ve vodném prostředí s inokulem aktivovaného kalu a) a půdě b) ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	35
Obrázek 4.18 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a BCh ve vodném prostředí s inokulem aktivovaného kalu a) a půdě b) ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	36
Obrázek 4.19 Fotografie polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích z optické mikroskopie	39
Obrázek 4.20 FTIR spektra polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích v rozsahu $4000 \text{ cm}^{-1} - 2500 \text{ cm}^{-1}$, (ATR-Di technika)	40
Obrázek 4.21 FTIR spektra polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs a L o různých koncentracích v rozsahu $1900 \text{ cm}^{-1} - 700 \text{ cm}^{-1}$ (ATR-Di technika)	40
Obrázek 4.22 Vliv vybraných koncentrací L na teplotu skelného přechodu a teplotu tání polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs	41
Obrázek 4.23 Vliv vybraných koncentrací L na teplotu lepivost a tvrdost polymerních systémů na bázi PVP s obsahem Zs ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka).....	42
Obrázek 4.24 Biodegradace polymerních systémů s obsahem PVP, Zs a L ve a) vodném prostředí zaočkovaném inokulem aktivovaného kalu a b) půdním prostředí ($n=3$, průměr \pm směrodatná odchylka)	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AG	arabská guma
BCh	biochar
BSK	biologická spotřeba kyslíku
DC	sušená biomasa
DSC	diferenciální skenovací kalorimetrie
FTIR	infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací
GC/MS	plynová chromatografie s hmotnostním spektrometrem
GC/TCD	plynová chromatografie s teplotně-vodivostní detekcí
GLY	glycerol
GPC	gelová permeační chromatografie
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku (dichromanová metoda)
L	lignosulfonát vápenatý
M _w	molekulová hmotnost
NMR	nukleární magnetická rezonance
PE	polyethylen
PEG	polyethylenglykol
PVA	polyvinylalkohol
PVP	polyvinylpyrrolidon
SEM	skenovací elektronová mikroskopie
T _g	teplota skelného přechodu
T _m	teplota tání
TPA	analýza profilu textury
Z	zeolit
Z _p	zeolit přírodní
Z _s	zeolit syntetický

PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA

Příspěvky v mezinárodních časopisech s impakt faktorem (WoS)

VAŇHAROVÁ, L., JULINOVÁ, M. and R. SLAVÍK. PVP based Materials: Biodegradation in Different Environments. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2017, vol. 24, no. 2, p. 299–309. DOI:10.1515/eces-2017-0021.

Journal Impact factor: 1.467

VAŇHAROVÁ, L., JULINOVÁ, M., JURČA, M., MINAŘÍK, A. VINTER, Š., ŠAŠINKOVÁ, D. and E. WRZECIONKO. Environmentally-friendly Polymeric Films based on Biocarbon, Synthetic Zeolite and PVP for Agricultural Chemistry. *Polymer Bulletin*, 2021, vol.78, no. 7. DOI: 10.1007/s00289-021-03765-z.

Journal Impact factor: 2.87

JULINOVÁ, M., VAŇHAROVÁ, L. and M. JURČA. Water-soluble Polymeric Xenobiotics – Polyvinyl alcohol and Polyvinylpyrrolidon – and Potential Solutions to Environmental Issues: A brief review. *Journal of Environmental Management*, 2018, no.228, p.213-222. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.010.

Journal Impact factor: 4.865

JULINOVÁ, M., VAŇHAROVÁ, L., JURČA, M., MINAŘÍK, A., DUCHEK, P., KAVEČKOVÁ, J. and D. ROUCHALOVÁ. Effect of Clays, Waste Cellulose and Bamboo Fibre on the Biodegradation Rate of Thermoplastic Starch in Different Environments. *Journal of Polymers and the Environment*. DOI: 10.1007/S10924-019-01624-7.

Journal Impact factor: 2.765

Příspěvky v časopisech uvedených v databázi Scopus

DVOŘÁČKOVÁ, M.; BARTUŇKOVÁ, M.; KOUTNÝ, M. a L. VAŇHAROVÁ. Biodegradace směsí PLA/PHB ve vodném termofilním anaerobním prostředí. *Waste forum*, 2017, no. 3, p. 209–217. ISSN: 1804-0195.

Příspěvky ve sbornících z konferencí

VAŇHAROVÁ, L., JULINOVÁ, M. a R. SLAVÍK. Využití odpadních surovin biologického původu na přípravu materiálů na bázi polyvinylpyrrolidonu. In *Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí*. 2017. ISBN:978-80-85990-30-0.

VAŇHAROVÁ, L., JULINOVÁ, M. a J. KATTAUER. Příprava a charakterizace materiálu: Polyvinylpyrrolidon/syntetický zeolit/lignin. In *Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí*. 2018. ISBN:978-80-85990-12-6.

VAŇHAROVÁ, L. a M. JULINOVÁ. Biodegradability of materials based on poly(vinylpyrrolidone)/Fe³⁺ after UV irradiation. In *Polymery*. 2018. ISBN:978-80-85009-92-7.

JULINOVÁ, M., VAŇHAROVÁ, L., JURČA, M. a P. DUCHEK. Biologický rozklad směsných materiálů na bázi termoplastifikovaného škrobu určených pro zemědělské aplikace. In *Czech Chemical Society: Symposium Series 5*. 2018. ISSN:2336-7202.

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Ludmila Vaňharová

Titul: Ing.

Datum narození: 20.3.1991

Kontaktní adresa: Racková 14, 760 01 Zlín

Email: vanharovaludmila@seznam.cz

Vzdělání

2015 – 2022 *Doktorské studium*

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Obor: Technologie makromolekulárních látek

2013 – 2015 *Navazující magisterské studium*

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Obor: Inženýrství ochrany životního prostředí

Získaný titul: Ing.

2010 – 2013 *Bakalářské studium*

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Obor: Inženýrství ochrany životního prostředí

Získaný titul: Bc.

Zaměstnání

10/2019 – 4/2021

Fatra, a.s.

Zahraniční stáže

červen – červenec 2018

Odborná stáž Slovinsko

National Institute of Chemistry Ljubljana

Znalosti

Jazykové znalosti: Anglický jazyk – pokročilý, Německý jazyk - začátečník

Počítačové znalosti: MS Windows, Internet, MS Office – pokročilý uživatel, SAP, IBM Notes

Účast na grantových projektech

IGA/FT/2016/012 Výzkum procesů ovlivňujících kvalitu potravin a stav životního prostředí

IGA/FT/2017/003 Možnosti snížení výskytu nežádoucích látek v potravinách a v životním prostředí

IGA/FT/2018/009 Rozvoj dosavadních poznatků v oblasti snižování nežádoucích látek v životním prostředí a v potravinářství

IGA/FT/2019/011 Nežádoucí látky v potravinách a v životním prostředí a možnosti jejich snížení
Inovační vouchер (registrační č.p. CZ.01.1.02/0.0/0.0/17 115/0011226) Projekt Ecoluxin 2. TRAD-
DELIN s.r.o., 20017/2018.

Ing. Ludmila Vaňharová, Ph.D.

**Biologická rozložitelnost polymerních systémů obsahujících PVP a
syntetické zeolity**

Biodegradation of polymer systems containing PVP and synthetic zeolites

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2022

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-062-0

