

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze

**Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách smrku  
ztepilého a jedle bělokoré**

**Bakalářská práce**

Autor: Jitka Staňová

Vedoucí práce: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jitka Staňová

Lesnictví

Lesnictví

Název práce

**Potenciál rozkladu celulózy v horizontech F+H a Ah v porostu smrku ztepilého a jedle bělokoré na vybraném stanovišti**

Název anglicky

**Potential of Cellulose Decomposition in the F+H and Ah Horizons of the Norway Spruce and White Fir Stand at Selected Site**

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnocení rozdílů v celulolytické aktivitě humusových forem tvořených opadem jedle bělokoré a smrku ztepilého. Šetření se soustředí na nadložní humus (vrstva F+H) a organominerální horizont (Ah). Výsledkem by mělo být posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na části rozkladných procesů v opadu jednotlivých dřevin.

### Metodika

- zpracování rešerše s problematikou tvorby humusových forem a meliorační funkce jedle bělokoré v lesních porostech (termín 12/2020),
- založení pokusu s rozkladem celulózy – pásků filtračního papíru (termín 7/2020),
- substrát bude odebrán v porostní části s dominantním vlivem jedle a smrku na tvorbu opadu (termín 7/2020),
- substrát (F+H, Ah horizonty) bude v laboratorních podmínkách kultivován v nádobách, při stálé vlhkosti a laboratorní teplotě termín 7/2020),
- na povrchu substrátu budou uloženy pásky filtračního papíru (celulóza) o definovaném povrchu (termín 7/2020),
- v pravidelných intervalech bude hodnocen stupeň a míra rozkladu celulózy (termín 7-10/2020),
- vyhodnocení pokusu (termín 1/2021),
- celkové zhodnocení a příprava rukopisu (termín 3/2021).

## Doporučený rozsah práce

min. 40 s. odborného textu

## Klíčová slova

Jedle, meliorační funkce, opad, humusové formy, rozklad celulózy, mikrobiální aktivita

---

## Doporučené zdroje informací

- AUGUSTO L., RANGER J., BINKLEY D., ROTHE A 2002: Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annales of Forest Science*, 59: 233–253.
- FURST, Ch., VACIK, H., LORZ, C., MAKESHIN, F., PODRAZSKY, V., JANECEK, V. 2007: Meeting the challenges of process-oriented forest management. *Forest Ecology and Management*, 248, Special issue 1 – 2: 1 – 5.
- HATLAPATKOVÁ L., PODRÁZSKÝ V. 2011. Obnova vrstev nadložního humusu na zalesněných zemědělských půdách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56: 228 – 234.
- KACÁLEK D., NOVÁK J., ŠPULÁK O., ČERNOHOUS V., BARTOŠ J. 2007. Přeměna půdního prostředí zalesněných zemědělských pozemků na půdní prostředí lesního ekosystému – přehled poznatků. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52: 334-340.
- NOVÁK J., SLODIČÁK M. 2006. Opad a dekompozice biomasy ve smrkových porostech na bývalých zemědělských půdách. In: Neuhöferová, P. (ed): *Zalesňování zemědělských půd – výzva pro lesnický sektor*. Kostelec n.Č.l., 17.1.2006, ČZU: 155-162.
- PODRÁZSKÝ V. 2006: Effects of thinning regime on the humus form state. *Ekológia (Brat.)*. 25: 298 – 305.
- TŘEŠTÍK, M., PODRÁZSKÝ, V. (2017): Meliorační funkce jedle bělokoré: případová studie. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62 (3): 182 – 188.
- 

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

## Vedoucí práce

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 23. 10. 2020

**doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2021

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách smrku ztepilého a jedle bělokoré vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Viléma Podrázského, CSc. a použila jsem jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 18.04.2021

Jitka Staňová

.....

## **Poděkování**

Především bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce prof. Ing. Vilémovi Podrázskému, CSc. za jeho ochotu, trpělivost a čas, který mi věnoval a za poskytnutí odborných rad. Za pomoc se statistickými programy bych ráda poděkovala také prof. Ing. Ivo Kupkovi, CSc. Dále děkuji svým nejbližším a kolegyním za veškerou podporu při psaní bakalářské práce a v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení rozdílů v celulólytické aktivitě humusových forem tvořených opadem jedle bělokoré a smrku ztepilého. Šetření se soustředilo na nadložní humus (vrstva F+H) a organominerální horizont (Ah). Vzorky byly odebrány v porostu na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy nad rybníkem Švejcar v Jevanech na jedné z trvalých zkusných ploch ČZU a poté se od července do prosince 2020 v laboratoři na Výzkumné stanici Truba pozorovala intenzita rozkladu celulózových papírků. Byly sledovány horizonty F+H a Ah v porostních částech s dominancí smrku a jedle. Odebraný substrát se rozprostřel v plastových boxech a s vložením celulózových papírků na povrch se ve dvoutýdenních cyklech sledoval postup barevných změn a postupný rozklad těchto papírových proužků. Výsledkem bylo posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na části rozkladných procesů v opadu jednotlivých dřevin. Výsledky neprokázaly výrazný rozdíl mezi sledovanými dřevinami. Barevné změny nastávaly dříve u jedlových substrátů, rozklad v holorganickém horizontu postupoval rychleji v substrátu porostu smrku. Rozkladné procesy u substrátů minerálních horizontů během sledování nenastaly.

Výsledky tak nepotvrdily výraznější celulólytickou aktivitu v případě humusových forem vytvářených jedlí bělokorou ve srovnání se smrkem ztepilým. To je podobné zjištění jako v případě analýzy pedochemických charakteristik v půdách pod porosty obou dřevin.

Klíčová slova: Jedle bělokorá, smrk ztepilý, meliorační funkce, opad, humusové formy, rozklad celulózy, mikrobiální aktivita

## **Abstract**

The aim of the presented bachelor thesis is the evaluation of differences in cellulolytic activity of humus forms originated from the litter of silver fir and Norway spruce. The evaluation focused on the surface humus layers (horizon F+H) and organo-mineral horizon (Ah). Sampling was performed in a stand at the territory of the School Forest Enterprise in Kostelec and Černými lesy, close to Švejcar fishpond at one of research plots of ČZU. They were subsequently analysed in the school laboratory at the Truba Research Station. The cellulolytic activity was evaluated from July to December 2020. Horizons L+H and Ah from stand parts with dominance spruce and fir were analysed. The sampled material was spread in plastic boxes, and with the addition of cellulose papers to the surface, the progress of colour changes and the gradual decomposition of these paper strips was monitored in 14-day intervals. Results were evaluated on the decomposition potential of microbial communities supported by the waste from particular tree species. Findings of the research did not support the hypothesis of great differences between the tree species. The colour changes were observed sooner under fir, but the decomposition of paper strips was more prominent under spruce. The total decomposition processes in the mineral horizons did not start under both species during the observation period.

Results did not confirm larger cellulolytic activity in humus forms dominated by silver fir compared to Norway spruce. This finding is supported by soil chemical analyses performed by other authors.

Key words: Silver fir, Norway spruce, soil improving role, humus forms, cellulose decomposition, microbial activity

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
1.1	CÍLE PRÁCE.....	4
<b>2</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>5</b>
2.1	LESNÍ EKOSYSTÉM .....	5
2.2	SMRK ZTEPILÝ ( <i>PICEA ABIES</i> /L./ KARST.) A JEHO VÝZNAM.....	7
2.2.1	Charakteristika.....	9
2.2.2	Charakteristika.....	7
2.2.3	Ekologické nároky .....	7
2.2.4	Areál výskytu.....	7
2.2.5	Meliorační funkce .....	8
2.2.6	Význam a upotřebení.....	9
2.3	JEDLE BĚLOKORÁ ( <i>ABIES ALBA</i> MILL.) A JEJÍ VÝZNAM .....	9
2.3.1	Ekologické nároky .....	10
2.3.2	Areál výskytu.....	10
2.3.3	Meliorační funkce .....	11
2.3.4	Význam a upotřebení.....	11
2.4	PŮDA A LESNICKÁ PEDOLOGIE .....	12
2.4.1	Základní pojmy.....	12
2.4.2	Půdní horizonty.....	14
2.4.3	Humifikace .....	17
2.4.4	Půdní edafon .....	18
2.5	BUNĚČNÁ STĚNA.....	21
2.5.1	Celulóza.....	22
<b>3</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>23</b>
3.1	LOKALITA .....	23
3.2	ZALOŽENÍ A POPIS EXPERIMENTU.....	24
3.3	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....	27
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY.....</b>	<b>29</b>
4.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY OBOU HORIZONTŮ A DŘEVIN .....	29
4.2	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZBARVENÍ A ROZKLADU CELULÓZOVÝCH PROUŽKŮ .....	32
4.3	VYHODNOCENÍ .....	35
<b>5</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>40</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ:

<b>OBR.1: PŮDNÍ HORIZONTY (ZDROJ: <a href="https://www.chml.cz">HTTPS://WWW.CHML.CZ</a>).....</b>	<b>15</b>
<b>OBR.2: STRUKTURÁLNÍ MODEL CELULÓZY (ZDROJ: <a href="http://web2.mendelu.cz">HTTP://WEB2.MENDELU.CZ</a>).....</b>	<b>22</b>
<b>OBR.3: POROST JEDLE BĚLOKORÉ (ZDROJ: VLASTNÍ) .....</b>	<b>23</b>
<b>OBR.4: POROST SMRKU ZTEPILÉHO (ZDROJ: VLASTNÍ) .....</b>	<b>23</b>
<b>OBR.5: PŮDNÍ HORIZONT F+H (ZDROJ: VLASTNÍ) .....</b>	<b>24</b>
<b>OBR.6: PŮDNÍ HORIZONT AH (ZDROJ: VLASTNÍ).....</b>	<b>24</b>
<b>OBR. 7: USPOŘÁDÁNÍ POKUSU: SM VS. JD (ZDROJ: VLASTNÍ) .....</b>	<b>26</b>
<b>OBR. 8: OBSAH TOTOŽNÉHO BOXU BĚHEM EXPERIMENTU (ZDROJ: VLASTNÍ) .....</b>	<b>26</b>

## SEZNAM TABULEK:

<b>TAB. 1: PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZBARVENÍ PROUŽKŮ ZJIŠTĚNÝCH BĚHEM 8 TERMÍNŮ MĚŘENÍ .....</b>	<b>29</b>
<b>TAB. 2: VÝSLEDKY T-TESTU PRO ÚDAJE O ZBARVENÍ PAPIROVÝCH PROUŽKŮ PRO DŘEVINY SMRK A JEDLI V ODPOVÍDAJÍCÍCH HORIZONTECH PRO TERMÍNY MĚŘENÍ 1-5.....</b>	<b>30</b>
<b>TAB. 3: PRŮMĚRNÉ HODNOTY ROZKLADU PROUŽKŮ ZJIŠTĚNÝCH BĚHEM 8 TERMÍNŮ MĚŘENÍ.....</b>	<b>31</b>
<b>TAB. 4: VÝSLEDKY T-TESTU PRO ÚDAJE O ROZKLADU PAPIROVÝCH PROUŽKŮ PRO DŘEVINY SMRK A JEDLI V HORIZONTU F+H. ....</b>	<b>31</b>
<b>TAB. 5: VÝSLEDKY HODNOCENÍ ROZDÍLŮ MEZI SMRKEM A JEDLÍ POMOCÍ METODY ANOVA. ....</b>	<b>31</b>
<b>TAB. 6: HODNOCENÍ VÝZNAMNOSTI ROZDÍLŮ ZMĚN BAREV PAPIROVÝCH PROUŽKŮ PRO TERMÍNY 1-5 TESTEM KRUSKAL-WALLIS .....</b>	<b>34</b>
<b>TAB. 7: HODNOCENÍ HODNOCENÍ VÝZNAMNOSTI ROZDÍLŮ V ROZPADU PAPIROVÝCH PROUŽKŮ KRUSKAL-WALLIS .....</b>	<b>35</b>

## SEZNAM GRAFŮ:

<b>GRAF 1: POROVNÁNÍ DRUHOVÉ SKLADBY LESNÍCH DŘEVIN V LETECH 2009 A 2019 (ZDROJ DAT: <a href="http://uhul.cz">UHUL.CZ</a>) .....</b>	<b>6</b>
<b>GRAF 2: PRŮBĚH VÝVOJE BAREVNÝCH ZMĚN NA PAPIROVÝCH PROUŽCÍCH PRO SM A JD V OBOU ZKOUMANÝCH HORIZONTECH VČETNĚ LINEÁRNÍ REGRESE.....</b>	<b>32</b>
<b>GRAF 3: VÝVOJ ZBARVENÍ PAPIROVÝCH PROUŽKŮ V HUMÓZNÍM HORIZONTU (F+H) POD SMRKEM A JEDLÍ .....</b>	<b>32</b>
<b>GRAF 4: VÝVOJ ZBARVENÍ PAPIROVÝCH PROUŽKŮ V ORGANOMINERÁLNÍM HORIZONTU AH POD SMRKEM A JEDLÍ.....</b>	<b>33</b>
<b>GRAF 5: VÝVOJ ROZKLADU PAPIROVÝCH PROUŽKŮ V OBOU SLEDOVANÝCH HORIZONTECH POD SMRKEM A JEDLÍ.....</b>	<b>33</b>
<b>GRAF 6: VÝVOJ ROZKLADU PAPIROVÝCH PROUŽKŮ V HORIZONTU (F+H) POD SMRKEM A JEDLÍ.....</b>	<b>34</b>

# 1 Úvod

Lesní půdy jsou jednou ze základních složek lesních ekosystémů. Kromě substrátu, v němž lesní dřeviny koření, představují zásadní zdroj vody a živin pro růst a vývoj lesních porostů. K základním procesům, ke kterým v půdách lesů dochází, patří rozklad a transformace opadu a obecně organické hmoty (Podrázský 2014). Bližší porozumění celého fungování lesního ekosystému je pro nás, studenty Lesnické fakulty, pramenem poznání všech jednotlivých problematik tohoto oboru. Již od dob středověku až do 18.století jsou lesní porosty v celé Evropě systematicky přeměňovány na hospodářskou plochu (Wohlleben 2018). V souvislosti s tímto trendem se nevyhnutelně měnil i celý ráz druhové skladby lesů. Přírozená skladba listnatých stromů na většině našeho území byla postupně nahrazována smrkovými a borovými monokulturami a s tím byla spojena i ztráta vitality lesních porostů v důsledku zhoršení celého půdního fondu. Ten byl po generace narušován jak těžbou, tak i řízeným zalesňováním (Slodičák et al.2017). Aby byla zachována určitá stabilita lesního ekosystému a zároveň i produkční a mimoprodukční funkce lesa, byla pro majitelé lesů uzákoněna povinnost výsadeb minimálního podílu tzv. melioračních a zpevňujících dřevin (Vyhláška č.298/2018 Sb.). Tento krok má zabránit degradaci lesních půd, jejichž svrchní vrstvy jsou zčásti utvářeny hlavně opadem a rozkladem asimilačních orgánů jednotlivých dřevin (Kacálek a kol. 2017).

Jedle bělokora (*Abies alba* Mill.) představuje přirozeně nejrozšířenější jehličnan našich původních lesů. Během historické doby byla z velké části nahrazena smrkem ztepilým (*Picea abies* /L./ Karst), nyní nejrozšířenější dřevinou lesů hospodářských. V nejrůznějších publikacích přibližujících problematiku melioračních funkcí dřevin se setkáváme s údaji o nekvalitních vlastnostech opadu smrku ztepilého díky souvislosti s acidifikací půdy, a na druhé straně je argumentováno zlepšováním půdních vlastností opadem jedle bělokora, ať už chemických, tak i fyzikálních, kvůli jejímu specifickému způsobu prokořenění. Proto bylo rozhodnuto založit pokus, který má exaktně doložit rozdíl mikrobiologické aktivity pod jednotlivými dřevinami se zaměřením na potenciál rozkladu celulózy. Ta je jedním z nejdůležitějších syntetizovaných polysacharidů, stavebním kamenem veškerých buněčných stěn rostlin a zároveň také zaujímá prvenství v zastoupení všech organických látek na Zemi (Tomášková, Kubásek 2017). Mikrobiologická aktivita při rozkladu této látky v humusovém nadložním horizontu smrku a jedle nebyla nikdy prokázána výzkumem a daty.

## 1.1 Cíle práce

Cílem předkládané bakalářské práce je zhodnocení rozdílů v celulolytické aktivitě humusových forem tvořených opadem jedle bělokoré a smrku ztepilého a přispět tak k dalšímu výzkumu problematiky všeobecně ustálené teorie o lepších melioračních vlastnostech jedle bělokoré. Šetření se soustředilo na nadložní humus (vrstva F+H) a organominerální horizont (Ah). Experiment je zaměřen na posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na části rozkladných procesů v opadu jednotlivých studovaných dřevin, konkrétně smrku ztepilého a jedle bělokoré.

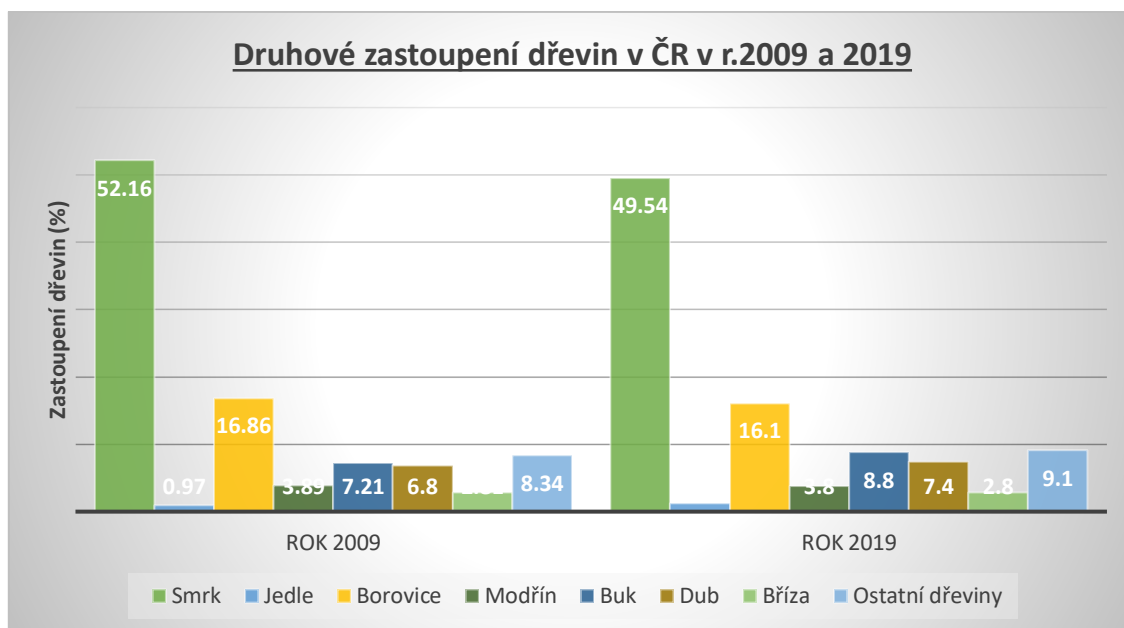
## 2 Literární rešerše

### 2.1 Lesní ekosystém

Pojem ekosystém jako takový je vysvětlován nejrůznějšími definicemi a může být pojat z více úhlů pohledů. V nejstarším významu byl popsán jako soubor organismů a jejich prostředí, kde nehraje roli jakákoli hierarchická úroveň. V jiném pojetí je výraz ekosystém vymezen časovou a prostorovou hranicí, v níž se odehrává celý proces koloběhu fungování všech živých organismů s jejich abiotickým prostředím. V současnosti se snažíme definicí obsáhnout veškeré složitosti celého systému, který popisujeme jako termodynamicky otevřený, ve kterém se odehrává koloběh živin a tok energie mezi veškerými živými organismy a jejich fyzikálním okolím (Podrázský 2014).

Na druhé straně je třeba doplnit chápání samotného lesa jako takového. Lesnický naučný slovník (1994) vysvětluje les jako ekosystém, respektive biocenózu, geobiocenózu či fytocenózu, kterou spojuje stejný determinující prvek a to ten, že základní edifikátorovou složkou jsou dřeviny stromového vzrůstu (Vlková, Poleno 1994). Les je součástí systému celé planety a ohniskem biodiverzity. Svou jedinečnou přírodní technologií umožňuje to nejúčinnější odčerpávání uhlíku na Zemi a čím více je rozmanitější tím efektnější v této činnosti je.

Lidé si uvědomili, že je třeba toto společenství ochránit a utvořit kompromis mezi jednotlivými ekonomickými a ekologickými nároky. Bylo třeba změnit chápání lesa jako celku a zavést pojem lesní ekosystém. Růst populace a antropogenní vliv způsobují, že lesy na celé planetě jsou značně stresované a tím je narušena i celá stabilita, která nepřímo souvisí s prostředím a podmínkami, ve kterých žijeme. Jedná se o systematické odlesňování za účelem zvětšení plochy zemědělské půdy a veškerou výstavbou ať už průmyslovou, aglomerační nebo dopravní. V rámci zachování trvalé udržitelnosti lesa je naší povinností hledat co nejvhodnější podmínky pro fungování celého systému a s tím jde ruku v ruce také dřevinná skladba porostů. Již dlouhodobým trendem našich lesů je nesprávná druhová skladba (Suchomel et al.2015).



*Graf 1: Porovnání druhové skladby lesních dřevin v letech 2009 a 2019 (Zdroj dat: uhul.cz)*

Budeme se soustředit na smrk ztepilý a jedle bělokorou. V Zelené zprávě za rok 2019, která je přístupna na internetových stránkách ÚHUL (Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů), je procentuální zastoupení smrku 49,54 % a jedle 1,2 %. Pokud tyto hodnoty srovnáme s daty ze Zelené zprávy za rok 2009, kdy zastoupení smrku bylo 52,16 % a jedle 0,97 %, posun za uplynulých 10 let je minimální (Graf 1). Doporučená skladba smrkového porostu v našich lesích je však 36,5 % a jedlového 4,4 %. Velice mírný nárůst jedlového porostu je určitě spjat i s vyhláškou Ministerstva zemědělství 84/1996 Sb., ve které se jedle objevuje v tabulkách minimálního podílu bezmála u každého lesního typu jako meliorační a zpevňující dřevina (MZD) pro zařazení do obnovy lesního hospodářského plánu a také v tabulkách v příloze č.6 platné vyhlášky 139/2004 Sb., které uvádí minimální počty jedinců jednotlivých druhů dřevin na jeden hektar pozemku při obnově lesa a zalesňování (Třeštík, Podrázský 2017; Slodičák et al.2017). Přestože u jedle zaznamenáváme značný pokles, jsou lokality v Evropě, konkrétně ve francouzských Vogézách, kde si získala, při svém zastoupení i přes 60%, status hlavní dřeviny (Jankovský 2005).

## **2.2 Smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst.) a jeho význam**

### **2.2.1 Charakteristika**

Smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst) představuje hospodářsky nejvýznamnější dřevinu Evropy, patří ke klimaxovým dřevinám lesů studeného až mírného pásu s velikou morfológickou rozmanitostí. Vzrůstem mohutný strom dosahuje výšky až 65 m. Nejčastěji se však setkáme s výškou kolem 30 m, což je dáno především produkční dobou našich lesů, která je výrazně kratší ve srovnání s fyzickou životností lesních dřevin. V neposlední řadě výška závisí také na oblasti výskytu a optimu okolních podmínek. Korunu má pyramidálně špičkovitou vyskytující se v několika varietách, užší i širší. Jehlice obrůstají větévku po celém jejím obvodu a na svrchní straně směřují dopředu. Kmen je válcovitý se silnou kořenovou povrchovou základnou, jejíž náběhy jsou často viditelné. Právě povrchový kořenový systém je příčinou častých větrolamů nebo vývrátů. Zaleží zde na stavu půd, kde se smrkový porost vyvíjí, je-li spíše zamrzlá či podmáčená. Kůra není silná, světle hnědé až šedé barvy, šupinaté struktury (Musil, Hamerník 2007).

### **2.2.2 Ekologické nároky**

Je to polostinná dřevina, která snáší zejména v mladém věku značný zástín. Náročný je na vlhkost. Je citlivý na suchá období, naopak se mu daří na čerstvých až podmáčených stanovištích, proto mu vyhovují spíše krátká a vlhká léta. Nicméně pokud není ohroženo zásobením vodou, nevadí smrku vyšší teplota, lépe ale reaguje spíše na nízké. Produkční optimum smrku se v ČR pohybuje od 560 do 1 000 m. n. m. Ve vyšších polohách a na horách je smrk přirozenou dřevinou, těžišť se dokonce uvádí i v polohách nad 1 000 m. n. m. V dnešní době však smrčiny nahradily přirozené smíšené porosty nižších poloh a podhůří (400-700 m. n. m). Udává se, že v ČR tvoří smrkové porosty 53 % skladby lesa, což je stále o 16,5 % více, než je doporučeno. Co se týče nároků na půdu, ty po chemické stránce nejsou nikterak veliké, zato ale smrk klade značný důraz na již zmíněnou půdní vodu (Musil, Hamerník 2007).

### **2.2.3 Areál výskytu**

Vzhledem k rozšířenému habitatu smrku ztepilého v celé Evropě se areál rozděluje na dvě základní větve, na střeoevropsko-balkánskou oblast a na severoevropskou oblast. Ze samotného názvu vyplývá poloha jednotlivých oblastí, přičemž první oblast se dle vývoje

dále rozděluje na 4 podoblasti: hercynsko-karpatská (naše území), dinárská, alpská a rodopská. Severoevropská oblast se odlišuje především vertikální polohou výskytu. Ve Skandinávii a v ruské části zaznamenáme pouze pahorkatiny a nížinné roviny. Severní hranice výskytu je dána délkou vegetačního období 2-2,5 měsíce, což je i hraniční pro rozmnožování a vegetativní fungování. Přirozená hranice rozšíření smrku je poloha nad 1000 m. n. m. V ČR je optimum jeho přirozené obnovy od 700 m. n. m., kde dříve doplňoval smíšené jedlo-bukové lesy (Musil, Hamerník 2007).

#### **2.2.4 Meliorační funkce**

Smrkové monokultury jsou náchylné k abiotickým i biotickým škodlivým vlivům. Bohužel tento fakt ještě zhoršuje samotná meliorační funkce dřeviny (Slodičák et al.2017). Již výzkum Binkleyho a Valetina (1991) prokázal, že pod zkoumanými porosty jasanu, borovice a smrku byly v nadložních horizontech v půdě pod smrkem naměřeny až dvakrát menší hodnoty bazických kationtů  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{K}^+$  a zvýšené hodnoty kyselých kationtů  $\text{Al}^{3+}$ , což podporuje teorii acidifikačního působení smrku a skutečnost, kterou je smrk řazen jako dřevina, která má obecně horší meliorační vlastnosti (Binkley, Valentine 1991). Na druhou stranu je třeba zmínit, že pH půdy je dané i propustností půd, srážkami a biologickým vlivem (Slodičák et al.2017). Vliv má i historie půd z hlediska zalesnění, jde-li o zalesněnou zemědělskou půdu nebo trvalou lesní plochu. Výzkum z roku 2009 na území školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy prokázal vyšší výskyt přístupných živin a půdní aktivitu v souvislosti s nasycením bázemi v porostech na bývalé zemědělské půdě bez ohledu na druh dřeviny (Podrázský et al.2009).

Při zkoumání rašelinišť a antropogenních půd je právě opad stromů tím určujícím faktorem, který ovlivnil vlastnosti a vývoj půdy (Kacálek et al.2010). Studie Augusta et al. (2002) se okrajově dotýká i problematiky působení dřevin na zvětrávání minerálů. Smrk ztepilý se zde v této souvislosti ukázal jako 2x až 3x aktivnější činitel ve srovnání s porosty buku, dubu a břízy. Co se týče mikrobiologické půdní aktivity, zdá se, že dominantní dřevina v porostu má na tyto děje neopominutelný podíl a důkazem jsou výsledky, které potvrzují, že se půdní mikroflóra daří více pod bukem než pod smrkem. To stejné bychom mohli říct i o různých druzích mykorhiz, kdy se dané houby váží pouze na určitý druh. I tak je však velmi složité přesně a s jistotou stanovit rozsah vztahu jednotlivých druhů stromů a půdní mikroflóry. (Augusto et al.2002).

Ve výzkumu popsaného Duškem a kol. (2020) přicházíme na zjištění obsahu živin ve dvou nejmladších ročnících jehlic smrku ztepilého a jedle bělokoré. Výzkum byl prováděn na lokalitě v nadmořské výšce kolem 630 m. n. m. a jednalo se o přirozenou obnovu. Kromě zjištění vyšší koncentrace draslíku a nižší koncentrace vápníku u jedle a vyšší koncentrace hořčíku pod smrkem, byla popsána i vyšší koncentrace dusíku pod smrkem (Dušek et al.2020). Což by se mohlo stavět do souvislosti s prosakováním a vyluhováním živin v půdě pod porostem smrku. Byl zde zjištěn 2x až 3x větší úbytek než pod bukem. Částečně to může být dané i atmosférickým spadem, který je dán hlavně mobilními anionty jako je právě dusičnan. Nicméně tento jev pozorujeme i v neznečištěných oblastech (Augusto et al. 2002).

Z výše zmíněných skutečností tak nelze jednoznačně tvrdit, že smrk patří k dřevinám, které způsobují degradaci pH lesních porostů. Navzdory současné kůrovcové kalamitě a klesající popularitě této dřeviny je třeba smrk řadit i nadále do druhové skladby našich lesů, a to nejen z důvodů produkčních. Je více než vhodné se však vyhnout stejnověkým monokulturám a snažit se co nejvíce se přiblížit jeho přirozenému výskytu. Tím rozumíme osazovat hlavně 5. až 8.vegetační stupeň, 1. a 2.se úplně vyhnout a vyvarovat se i pro smrk rizikovému 3. a 4.vegetačnímu stupni s výjimkou roklín a atypických oblastí nižších poloh, jakými jsou podmáčené lokality a soutěsky (Kacálek a kol.2017; silvarium.cz)

### **2.2.5 Význam a upotřebení**

Smrk patří jednoznačně k nevyužívanějším dřevinám dřevozpracujícího průmyslu. Když pomineme jeho veliký podíl ve stavebnictví, truhlářství a v papírenském průmyslu, je také znám pro své rezonanční vlastnosti. V tomto případě je dřevo pečlivě vybíráno a často jsou to mohutní a zdraví jedinci horských oblastí. Využívá se však i pryskyřice (kalafuny, terpentýny), klest (zahradnictví) a svou úlohu plní i při získávání okrasného klestu (Musil, Hamerník 2007).

## **2.3 Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) a její význam**

### **2.3.1 Charakteristika**

Rod *Abies*, jedle, zahrnuje statné vždyzelené jehličnany. Na rozdíl od smrku však jejich dřevo není ceněno tak vysoko, i proto je jejich zastoupení početně nižší. Strom je vysoký



30-50 m. Koruna je kuželovitá až válcovitá s pravidelným větvením. Jehlice jsou proměnlivé podle množství zástínu. Na svrchní straně však nasedají hřebenitě dvoustraně. Kmen je opět válcovitý a u vzrostlých jedlí dává z našich jehličnanů největší objem dřeva, je nejméně sbíhavý. Borka je světlejší než u smrku, hladká, šupinatá, bělošedé barvy. Kořenový systém je kůlový až srdčitý v závislosti na typu půd, s hlubokým ukotvením a množstvím postranních kořenů, které sahají až na hranici mezi humusovou vrstvou a minerální půdou. Proto je jedle považována za dřevinu s dobrou upevňující funkcí a stabilitou (Musil, Hamerník 2007).

### **2.3.2 Ekologické nároky**

Jedle bělokorá je stinná dřevina, velmi tolerantní k zástínu. Klade si vysoké nároky na vzdušnou vlhkost a vláhu. To potvrzuje i Mauer, Vaněk (2014), kteří shrnují do rovnosti míru příznivých podmínek dané lokality s nutností světelného ozáření – čím lepší jsou podmínky, tím méně nároku na světlo jedle vyžaduje (Mauer, Vaněk 2014). Jedle je citlivá na obnovu a zmlazování, respektive na ekologické podmínky v rámci tohoto procesu. Nesnáší razantní zásahy a holoseče, většinou pak odumírá. Také proto zaznamenala v posledních dvou stoletích značný početní pokles. Na vině je jak znečištění ovzduší (Jankovský 2005) a její vyšší nároky na stanoviště, které holosečnou těžbu nebyly schopné akceptovat, tak i likvidace korovnicí kavkazskou (*Dreyfusia nordmanniana*). Lépe se obnovuje v podrostech břízy, borovice i jedlo-smrkových než v podrostech samotné jedle. Ráda roste vmísena v bučinách a smrčinách, každopádně miluje víceetážové struktury. Na rozdíl od smrku jedle trpí na prudší chladné počasí i na podzimní mrazy. Mírné zimy jí vyhovují. Vždy však musí být zachována dostatečná vlhkost (Musil, Hamerník 2007).

### **2.3.3 Areál výskytu**

Její rozšíření je soustředěno na jih a střed Evropy. Často tyto hranice určují pohoří. Na jihu představují hranice rozšíření Korsika, na západě Pyreneje, na severu potom od pohoří SZ Německa, přes Krušné Hory a Krkonoše až po východní hranici, kde končí svou působnost na východním bloku Východních Karpat. Vyhovují jí také vyšší nadmořské výšky podobně jako je tomu u smrku, tzn. okolo 1 000 m. n. m. V oblasti Pyrenejí dosahuje až horní hranice lesa kolem 1 800 m. n. m. Oproti smrku však snese i nižší polohy, pahorkatiny, výjimečně i nížiny (Hřensko) (Musil, Hamerník 2007). Hlavní těžiště výskytu (ekologické optimum) jedle bělokoré v ČR leží mezi 4. (bukovým) a 6. (smrkobukovým) lesním vegetačním stupněm (LVS), především však v LVS 5 (jedlobukovém) (Buriánek et al. 2014).

#### **2.3.4 Meliorační funkce**

Jak již bylo výše konstatováno, pozorujeme mírný nárůst výsadeb jedle bělokoré v našich lesích. Tabulka druhového složení našich lesů ze Zelené zprávy z roku 2016 (ÚHUL) mluví o 0,9 % zastoupení jedle v roce 2000 a 1,2 % zastoupení v roce 2019. Vidíme zde stoupající tendenci. Jedním z důvodů je zařazení jedle mezi vyhláškou stanovené meliorační a zpevňující dřeviny (Třeštík, Podrázský 2017). Toto postavení si získala hlavně pro svůj specifický způsob zakořenění, který podporuje stabilitu oglejených půd a jako jedna z mála prospívá i na vodou ovlivněných stanovištích a na uléhavých půdách. V současnosti za tuto dřevinu ve spojitosti s její zpevňující funkcí není rovnocenná náhrada (Šindelář, Frýdl 2004). Výhody spatřujeme i v jejím uplatnění jako vhodné dřeviny pro růst v široké škále výškových stupňů od nižších poloh borových lesů až po horská stanoviště (Slodičák et al. 2017). Meliorační funkce je chápána jako schopnost zlepšování půdních podmínek opadem asimilačních orgánů, které svým složením ovlivňují obsah živin ve svrchních nadložních horizontech. Vzhledem k obecně nízkému zastoupení jedle jsou výzkumy pedochemických charakteristik značně lokálně determinovány a srovnávány s porosty smrku, a i když akumulace nadložního humusu jedle je v porovnání se smrkem mnohem nižší, významné pedochemické rozdíly zjištěny nebyly. Vzhledem ke zvýšenému obsahu dusíku v holorganických a svrchních minerálních vrstvách a vyšší nasycení sorpčního komplexu bázemi konstatujeme, že opad jedle příznivě působí na mineralizační aktivitu nitrifikace, s čímž souvisí i rychlejší dekompozice. Rozdíly nalézáme i v samotném půdním profilu, kdy v opadu byla celková koncentrace vápníku pod jedlí nižší než pod smrkem, což se shoduje i se studií Duška a kol. (2020) (Dušek et al. 2020). Hluběji však byly naměřeny nevýrazně vyšší hodnoty, což je přikládáno právě prokořeňování jedle půdním profilem (Kacálek a kol. 2017). Při výzkumu Třeštika, Podrázského (2017) byly naměřeny vyšší obsahy přístupných živin, konkrétně draslíku a fosforu, na rozdíl od nižších hodnot obsahů hořčíku. S tímto trendem se setkáváme i v jiných studiích, nicméně všechny se shodují na její celkově nevýznamné meliorační funkci a doporučuje se spíše jako doprovodná dřevina dubových porostů (Třeštík, Podrázský 2017).

#### **2.3.5 Význam a upotřebení**

Jedlové dříví se od toho smrkového příliš neliší. Nedosahuje však takového lesku, je naředlé barvy a snadno podléhá světlým odstínům. Používá se především ve stavebnictví, a to i vodním. Za dob důlních staveb se jedlové dřevo používalo do nosných tunelů, protože při

nadměrné zátěži vydávalo specifické alarmující praskání. Nesmíme opominout také její velkou roli při využití jedle jako vysoce ceněného vánočního stromku (Musil, Hamerník 2007).

## **2.4 Půda a lesnická pedologie**

Půda (z řec. pedon – země) je jednou z hlavních neživých složek prostředí, ve kterém žijeme a již od pradávna se jí prisuzovala moc nás přesahující, podobně jako tomu bylo u atmosféry. Částečně teologicky může být brána jako pramen života, ze kterého čerpáme veškerou naši energii. Můžeme na ni nahlížet i z pohledu geografického, jakožto na svrchní obal zemské kůry vytvářející se z půdotvorných geochemických a geofyzikálních procesů (Lesnický slovník naučný 1995) nebo jako horizontální pokryv země, který nabízí prostředí vhodné pro růst vegetace (Rejšek 1999). Znění zákona vysvětluje půdu jako přírodní útvar vzniklý na hranici mezi litosférou, atmosférou a hydrosférou v součinnosti s jejím pedogenetickým vývojem (dle zákona, podle ČSN 75014). Může být brána i jako prostředí, ve kterém koluje neustálá výměna látek a energie mezi okolními sférami (Pavlů 2018) či z čistě zemědělského pohledu jako na substrát, který lze obdělávat a pěstovat zde zemědělské plodiny. A našli bychom další definice více či méně přesné, ale ani jedna z nich svým obsahem neuspokojí všechny strany. Tak či onak, půda v sobě skrývá všechny abiotické faktory, jakými jsou vzduch i voda a její součástí je i živá složka, čili nejrůznější organizmy a zbytky odumřelých těl a už jen z tohoto důvodu stojí za podrobnější zkoumání a ochranu.

Pedologie je potom vědní obor, zabývající se studiem všech procesů v půdě, od jejího vzniku, přes vývoj až po stále trvající a současné změny. Skýtá také několik různých podoborů, z nichž jmenujme půdní geomorfologii, chemii, mineralogii, genetiku, systematiku, dokonce i archeologie může být součástí pedologie. V neposlední řadě je to právě lesnická pedologie, která se zabývá vývojem a genezí lesních půd, kde nesmíme zapomenout ani na studium antropogenního vlivu na jejich stav a vlastnosti (Lesnický slovník 1995).

### **2.4.1 Základní pojmy**

Matečná hornina – je to celistvá hornina nedotčena zvětrávacími pochody. Vedle vegetace, organismů, klimatu a lidské činnosti je matečná hornina jedním ze základních půdotvorných faktorů. Geologie rozděluje matečnou horninu dle její pedogeneze na vyvřelou, sedimentární

nebo metamorfovanou. Pro pedologii je však určující samotná minerální struktura jednotlivých hornin a jejich pedofyzikální a chemické vlastnosti. Dle toho můžeme dále určit její prostorové uspořádání a s tím související veškeré přenosové aktivity a také chemismus udávající živnost půdy. Zda je kyselá, neutrální či bazická.

Půdní koloidy – jedná se o nejmenší půdní částice, jejich definice je vymezena jejich velikostí, která se pohybuje od 1 nm do 1  $\mu\text{m}$ , nikoli jejich chemickém složení. Mohou být minerální i organické. Dle jejich stavu rozptýlení je řadíme na hydrofilní soly (pohyblivé, rozptýlené v prostoru), kdy má koloid kolem sebe velký hydratační obal a tím pádem se více pohybuje a nemá tendenci se vysrážet a na gely (koagulované ve shluky), které jsou hydrofobní, hydratovaný obal je malý a zvyšuje se tím možnost spojování a shlukování. Půdní koloidy mají elektropozitivní náboj a poutají k sobě anionty nebo v opačném případě jsou to koloidy s elektronegativním nábojem a ty potom poutají kationty. Protože půdní roztok neustále vyrovnává hladinu náboje a snaží se udržovat v půdě neutrální prostředí, utváří se v okolí koloidů tzv. Sternova (kompenzační) dvojvrstva, kde její difúzní vrstva spolu s nepohyblivou vrstvou přilehlou ke koloidu vyrovnává náboj k pozvolnému přechodu k neutrálnímu rovnovážnému roztoku (biom.cz; Pavlů 2018).

Nasycení půdního komplexu bázemi – půdní prostředí vytváří prostor pro chemické a fyzikální procesy. Je to schopnost poutat látky a mluvíme zde o půdním sorpčním komplexu. Sorpce může být mechanická, fyzikální, chemická nebo biologická. Nejčastěji se však setkáme s fyzikálně chemickou (výměnnou), která je postavena na výše zmíněné vlastnosti látek mít v půdě elektrický náboj. Mimo schopnosti půdního roztoku poutat kationty, tzv. KVK kationtové výměnné kapacity a k ní polární aniontové výměnné kapacity, je zde další charakteristika a tou je právě nasycení půdního komplexu bázemi. Stupeň nasycení udává podíl bazických iontů na celkové KVK. Jedná se o schopnost vázat živinově důležité látky jakými jsou Ca, K, Mg a dále Na a ty jsou do roztoku přijímány ve formě bazických kationtů. Na anionty ale mohou být navázány i kyselé kationty  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{H}^+$ . Obsah těchto kyselých kationtů je potom ukazatelem koncentrace vodíkových iontů v roztoku, ukazatel pH půdy, podle něhož určíme, zdali je půda kyselá (vysoký obsah kyselých iontů), neutrální či bazická (biom.cz; Pavlů 2018).

Klima – další z faktorů ovlivňujících vývoj půdy, a to působením atmosférických procesů a faktorů, vedle větrů hlavně srážek a teplot. Teplotní výkyvy jsou znatelné už celým

koloběhem proudění atmosféry a mění se od rovníku směrem k jižní a severní polokouli. Tak rozpoznáváme několik typů klimatických pásem Země a od nich se odvíjí i tzv. zonalita půd. Tropické, suché, mírné, kontinentální nebo polární. Existují ale i azonální (pedogeneticky mladé půdy) a intrazonální (vázané na extrémní substrát), které klima neovlivní (Pavlů 2018).

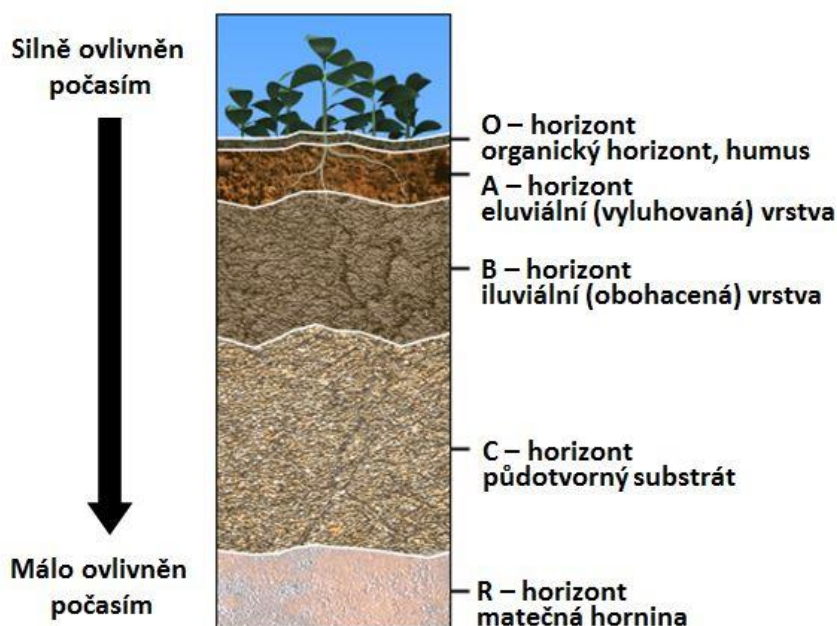
*Biogenní faktor* – jedná se o veškeré organismy buď žijící celým tělem (edafon) nebo jeho částí spojené s půdou (veškeré vyšší rostliny). Ovlivňují svou přítomností strukturu půdy, její chemické složení i fyzikální vlastnosti. Ať už se jedná o kořinky prorůstající celým profilem a utvářející tak pórovitost a propustnost či edafon působící svým pohybem na provzdušnění nebo působení výkalů a rozklad odumřelých těl na kvalitu a složení půdy.

*Reliéf* – reliéf krajiny je určujícím faktorem zásobení vodou a energií. Svou roli sehrává už jen v poloze směrem ke světovým stranám, kde pozorujeme vyšší či nižší sluneční ozáření a setkáme se zde s návětrnou stranou, která je bohatá na srážkové úhrny, a naopak závětrnou stranou, kde jsme často svědky tzv. srážkového stínu. Sklon terénu je také důležitý vzhledem k vsaku dopadající vody a erozi. Samozřejmě sem patří i nadmořská výška.

*Lidská činnost* – tento jev je bohužel čím dál zásadnější. Veliká část souše je přeměňována na zemědělskou půdu a přirozeného pokryvu, který lze pro tyto účely využít, exponencionálně ubývá. Hnojení, pastva, obdělávání, to vše vede k devastaci půd a ztrátám jejich přirozené stability a vitality (Pavlů 2018).

#### **2.4.2 Půdní horizonty**

Půda zasahuje hluboko pod povrch země. Protože se vytváří zvětráváním matečné horniny, půdotvornými procesy, vrstvením a působením organického materiálu, je zřejmé, že různorodost vrstev a morfologická variabilita při průřezu profilem je rozeznatelná již pouhým okem. Liší se jak fyzikálními, tak chemickými vlastnostmi. Proto se stanovily základní diagnostické horizonty, dle kterých tyto vrstvy můžeme rozlišit (Pavlů 2018).



Obr.1: Půdní horizonty (zdroj: <https://www.chmi.cz>)

### 1) Nadložní organické horizonty

- Jak už název naznačuje, jedná se o svrchní vrstvu půdního profilu, která je do značné míry determinována biologickým faktorem. Obsahuje více než 30 % organických látek. Pokud nejsvrchnější vrstva není ovlivněna hladinou podzemní vody a půda je propustná, mluvíme o tzv. *anhydrogenním* horizontu a označujeme ho písmenem **O**. Ten dále členíme na:

Horizont opadanky L - rozeznáváme asimilační opad a nedošlo zde k výraznějšímu rozkladu

Horizont fermentační F (drti) – rozklad je viditelný, stejně tak jako drobné fragmenty původního L horizontu, dochází k přeměně na humus

Humifikační horizont H (měli) – proces rozložení je znatelný, substrát je jemný a humifikovaný, tmavé barvy, organické zbytky jsou již nerozeznatelné s výjimkou zbytků kořenů

- Organické horizonty mohou být i *hydrogenní*, které vznikají na půdách ovlivněných podzemní vodou, kde hladina často sahá až k povrchu a jejich

vrstvy jsou v různých fázích rozkladu. V souvislosti s těmito fázemi rozdělujeme tento horizont na Of – hydrogenní fibrický, kde rozeznáváme původ jednotlivých částí (mechy, trávy). Om – mesický hydrogenní horizont, kde je rozklad znatelnější a tvoří přechodovou fázi mezi Of a posledním hydrogenním horizontem humusovým Oh. Zde již nerozložená vlákna tvoří min 10 % a materiál je více či méně homogenní. Souhrnně můžeme tuto vrstvu označit jako **Ot** (Pavlů 2018).

- Dalším suborganickým typem horizontu je tzv. *rašelinný* horizont **T**. Vyznačuje se podmíněnou přítomností vody a neustálým zamokřením při němž organické zbytky rašeliní. Opět i zde můžeme dle fází rozkladu rozdělit na: rašelinný horizont fibrický Tf – obsahuje > nerozložených organických látek, mesický Tm – ½ až ⅔ nerozložených organických látek, saprický Ts – obsahuje < ⅔ nerozložených organických látek, humolitový rašelinný horizont Th – setkáváme se zde s větším obsahem minerálních částic (klasifikace.pedologie.czu.cz)

## 2) Organominerální povrchové horizonty

- Tento povrchový horizont je již z části ovlivněn minerálním substrátem. Stále však i zde nalezneme organickou složku hmoty, a to v poměru méně než 20-30 %. Jsou to tzv. humózní horizonty označované písmenem **A**. Podíl nerozložených organických látek se uvádí menší než 5 %.

Dělí se na další tři třídy: *anhydromorfní*, *hydrogenní* a *kulturní*. Anhydromorfní se vyznačuje nízkým podílem humusu a nesou název a zkratky většinou dle stanovišť a dle působení minerálních látek. Zde bych zdůraznila hlavně horizont Ah – lesní humózní, protože s ním jsme v našem pokusu pracovali. Mocnost je většinou do 0,1 m a s jeho hloubkou klesá podíl humusu. Klesne-li po 0,1 m, pak je procento humusu menší než 1 %. Je světlejšího zbarvení. Hydrogenní se jako v předchozím rozdělení vyvinuly u podmáčených půd, jsou mocnější s vyšším obsahem humusu. Kulturní je pak do značné míry ovlivněn antropogenní činností.

### 3) Podpovrchové horizonty

- Na tyto horizonty již nemá vliv biologická složka a procesy související s jejím obsahem. V našem pokusu jsme již s tímto horizontem nepracovali, proto zmíním celou klasifikaci velmi stručně. Součástí jsou vysvětlené, ochuzené horizonty **E**. Rozsáhlý horizont metamorfický (kambický) značíme **B** a má nespočet variant dle podílu minerálních látek a půdotvorných procesů. Také ho označujeme jako obohacený.
- Klesáme-li dál, nalézáme další obohacený čili iluviální horizont **C** a nazývá se vlastním půdotvorným substrátem
- V nejspodnější a poslední vrstvě již leží samotná mateční hornina a značí se **R** (Pavlů 2018)

#### 2.4.3 Humifikace

Je to jeden z půdotvorných procesů. Vedle něj existuje ještě dlouhá řada dalších chemické nebo fyzikální povahy, jako je např. vymývání, podzolizace, mineralizace, braunifikace, dekarbonizace, ulmifikace aj. Humifikaci bych ráda přiblížila detailněji, protože v mém výzkumu hraje roli v utváření nadložních horizontů, se kterými pracuji a je jedním ze zásadních procesů celé pedogeneze (Pavlů 2018). Zrod celého procesu vzniká rozkladem organických složek půdy, kdy mineralizací se z odumřelých těl uvolňují základní minerální látky typu amoniaku, síranů, vápenatých iontů, oxidu uhličitého, vody atd. Ty podléhají koloběhu přijímání rostlinami nebo vyplavením. Za přítomnosti vzdušného kyslíku však z takových sloučenin a prvků mohou vznikat stabilní molekuly, půdní koloidy hnědé barvy a celý proces tak dává za vznik tzv. humusu (Vavříček, Kučera 2015).

Dle obsahu humusu se dělí půdy na:

- slabě humózní (pod 1% půdy minerální)
- mírně humózní (1-2% půdy minerální)
- středně humózní (2-3% půdy humózní)
- silně humózní (3–4% půdy humózní)
- velmi silně humózní (nad 4% půdy humózní) (biom.cz)

Humusové látky tvoří komplexy s minerálními složkami půdy a nepodléhají tak lehce organickému rozkladu, a proto zde mluvíme o desítkách až stovkách let vývoje.



Humifikace se odehrává za aerobních i anaerobních podmínek a zahrnuje v sobě rozkladné i syntetické pochody. Při rozkladu ligninu vznikají látky fenolické (aromatické) povahy – k benzenovému jádru náleží uhlíkové řetězce, které jsou zakončené OH skupinou (Tomášková, Kubásek 2016). Při humifikaci dochází k jejich spojování a vznikají tak huminové látky. Patří sem huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy. Všechny spojuje vysoký obsah uhlíku a poutané energie. Liší se v podílu aromatické a alifatické (nearomatické) části řetězce.

Huminové kyseliny – tmavšího zbarvení, jsou hydrofobní, a proto jsou příznivější pro půdní stabilitu a přítomnost živin, které nemají tendenci vyplavovat, a naopak je v půdě poutají.

Fulvokyseliny – jsou světlejší a mají větší podíl alifatické části. To také určuje jejich hydrofilní charakter a s tím spojenou vlastnost transportu živin do nižších vrstev půdního profilu.

Procentuální zastoupení jednotlivých humusových látek značí bonitu půdy.

Samostatným oddílem je potom typ humusových látek zvané huminy. Jsou atypické svou silnou vazbou na minerální podíl, která lze odbourat pouze jejím rozpouštěním. Nejsou tedy rozpustné ve vodě. Protože obsahují bezmála 62 % uhlíku, jejich barva je černá (Pavlu 2018).

#### **2.4.4 Půdní edafon**

Cílem této práce je porovnat mikrobiologickou aktivitu v nadložním humusovém a svrchním organominerálním půdním horizontu. Živá složka v půdě má tedy stěžejní význam v tomto výzkumu. Její prostředí k životu ovlivňuje hlavně voda v půdě a s ní spojený přísun živin a také vzduch, který půdní organismy využívají k dýchání stejně jako organismy žijící na povrchu. Abychom celý koncept fungování půdních organismů pochopili, je třeba blíže se s nimi seznámit.

Pokud některý organismus žije v půdě celým svým tělem, mluvíme o tzv. půdním edafonu. Ten je aktérem mnohých půdních chemických rozkladných i syntetických reakcí, ať už jde o výše zmíněnou přeměnu organické odumřelé hmoty na humus nebo odbourávání nebezpečných látek, např. ropných derivátů. Zásadně tedy ovlivňují chemismus povrchových půdních horizontů. Na fyzikální vlastnosti a strukturu potom mají vliv metabolity edafonu a jeho pohyb samotný. Edafon členíme dle velikosti jejich těl (Pavlu 2018)

- **Mikroedafon:** velikost těl nepřekročí hranici 0,2 mm a podílí se především na rozkladných dějích organického materiálu. Patří sem zástupci rostlinné a živočišné říše.

Bakterie – jejich tělo je tvořeno prokaryotickou buňkou, tzv. prokaryota. V půdě jich existuje tisíce druhů. Auto a heterotrofní, žijící za přístupu vzduchu a také anaerobní, které k životu kyslík nepotřebují. Je to skupina nejdůležitějších rozkladačů, ať už se jedná o rhizobia, hlízkové bakterie, které poutají vzdušný dusík nebo aktinomyceety a aktinobakterie, které vytváří jednobuněčná mycelia a jsou tak schopné rozkládat i složitější látky fenolické povahy a chitin. Musíme zde zmínit i nitrofilní bakterie, které jsou další nedílnou součástí koloběhu dusíku v přírodě a jsou schopné oxidací rozkládat amonné soli na dusitany. Jsou to zástupci rodů *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*. Jejich úloha je tedy jasná. Mimo to, že přeměňují organické látky na rostlinám přístupné anorganické a fixují vzdušný dusík, také slouží jako potrava pro další skupiny edafonu.

Houby – těla jsou již složitější stavby, patří mezi eukaryota (eukaryotické buňky), vytváří také vláknité útvary jako bakterie, zvaná mycelia, ale s tím rozdílem, že jsou mnohobuněčné. V lesních půdách jsou mimořádně důležité, umí totiž rozkládat jak jednoduché látky, tak i složité komplexní jakými jsou celulóza a lignin. Jako významnou roli hrají houby v symbióze s kořeny rostlin. Jedná se o tzv. mykorhizu. Využívají asimilační aktivity rostlin a na oplátku dávají rostlině větší kořenovou plochu (až 10x). Protože mykorhizní houby jsou schopné snést i sucho, tento výměnný obchod je pro rostliny velmi výhodný. Dle způsobu symbiózy dělíme způsob spojení na ektomykorhizu a endomykorhizu. U prvního případu houba napadá kořenové špičky, vegetuje v mezibuněčných prostorech, a stimuluje jejich růst a u druhého případu přímo vrůstá do buněk kořene.

Sinice a řasy – protože se jedná o autotrofní organismy, které potřebují světlo k tvorbě fotosyntézy, nalezneme je v nejsvrchnějších a prosvětlených vrstvách půdy. Houbám i řasám se více daří v půdách s nižším pH, na rozdíl od sinic, které vyhledávají spíše alkalické prostředí. Řasy a sinice hrají roli ve strukturách a vývoji půd. Také tvoří organický materiál pro další rozklad.

Prvoci – jednobuněčné organismy, obývající povrchovou vrstvu. Jsou predátoři mikroedafonu živící se bakteriemi. Pomáhají rozkládat celulózu a půdu obohacují organickou složkou v podobě svých odumřelých těl (Pavlu 2018).

- **Mezoedafon:** velikost těl se pohybuje mezi 0,2-80 mm. V půdě mají význam nejen u rozkladných procesů, ale také sem zatahují rostlinné zbytky a zlepšují půdní strukturu

Hlístice – patří sem mnozí parazité jako háďátka, roupi, svalovci. Živí se organickou hmotou, ale mohou parazitovat i na zemědělských plodinách.

Roztoči – hojně zastoupeni právě v lesních půdách, dekompozitoři a součást koloběhu živin

Chvostoskoci – opět jsou součástí detritového potravního řetězce, jsou citlivější na změnu prostředí, takže jsou využíváni jako ukazatelé ekologických výzkumů.

- **Makroedafon:** patří sem živočichové velikostí 2-20 mm, zástupci této skupiny mají v půdě hlavně význam jejího provzdušnění a celkové zlepšení struktury. Ve svém pokusu jsem se v pokročilém stadiu rozkladu vzorků setkala s pavoukovci i stonožkami, které se postupem času vyvíjeli a jejich expanze byla pozorovatelná každých 14 dní

Pavoukovci – jsou většinou masožraví a na půdu mají vliv spíše mechanický, ačkoli jsou samozřejmě i součástí koloběhu látek (Pavlů 2018).

Mnohonožky a stonožky – nalezneme je nejčastěji v nadložních humusových horizontech, mnohonožky jsou býložravci a živí se opadem rostlinných těl, na rozdíl od stonožek řadící se mezi dravé masožravce (web2.mendelu.cz).

Žížaly – již od počátku časů jsou žížaly známými dělníky v oblasti zkvalitňování půd, ať už zlepšováním fyzikálních vlastností (provzdušněním, mísením) tak ve schopnosti zlepšit kvalitu složení svými výměšky zvanými koprolity. Rozlišujeme více druhů dle jejich prostředí výskytu: *epigeické* – pohybující se pod povrchem v nadložní humusové vrstvě, *endogeické* – vyskytující se v hloubce 10-30 cm a *anecické* – svým vertikálním pohybem dosahují hloubky až několik metrů (web2.mendelu.cz). Všechny druhy však zastávají stejnou funkci a díky chodbičkám, které vytvářejí, napomáhají nejen ventilaci půd a kyprosti, která vytváří vhodnější prostředí pro přenos živin a vody, ale také jimi vytváří prostor pro prorůstání drobných kořínků rostlin.

Hmyz – je rozsáhlou skupinou živočichů. Řadíme sem veškeré brouky, hrobaříky, švábi, termity, cvrčky i křídlatý hmyz. Mají ale společné to, že na půdu jako takovou je vázána

pouze část jejich vývoje a života. Jinak mají také funkci mechanického zlepšení struktury a přeměny organické hmoty.

Měkkýši – neopomenutelní obyvatelé, kteří vyhledávají vápnité půdy a využívají tak vápník jako základní stavební kámen svých ulit. Jsou druhy žijící výlučně edaficky nebo druhy, které využívají půdu pouze v případech sucha.

Obratlovci – asi nemusím tuto skupinu více představovat, patří sem myši, krtci, hraboši i sysly a jejich základní role je opět hlavně v provzdušnění a svými norami a pohybem mění strukturu (Pavlů 2018).

## 2.5 Buněčná stěna

Tvoří povrch každé rostlinné buňky. Tím se odlišuje od živočišné buňky. Udává její tvar a pevnost a tvoří pojivo mezi dalšími buňkami, takže tím plní tak i funkci růstovou, která je u rostlin řazena na první místo v žebříčku velikosti mezi živými buňkami. Vyjma půdní organické hmoty jsou buněčné stěny jsou největší zásobárnou organického uhlíku na Zemi. Její základní složkou jsou polysacharidy, a to celulózová vlákna, hemicelulóza a pektin (Tomášková, Kubásek 2016). Dle jejího vývoje jí rozdělujeme na tři fáze:

Střední lamela – je to amorfní hmota tvořící tenkou vrstvu na rozhraní sousedících buněk. Vyplňuje prostor mezi buněčnými stěnami a tvoří jakýsi tmel, který zajišťuje pevnost pletiv. Vzniká při závěrečném dělení buňky až po dělení jádra směrem od středu k obvodu. Je složena z pektinů (botanika.upol.cz; natur.cuni.cz; Tomášková, Kubásek 2016)

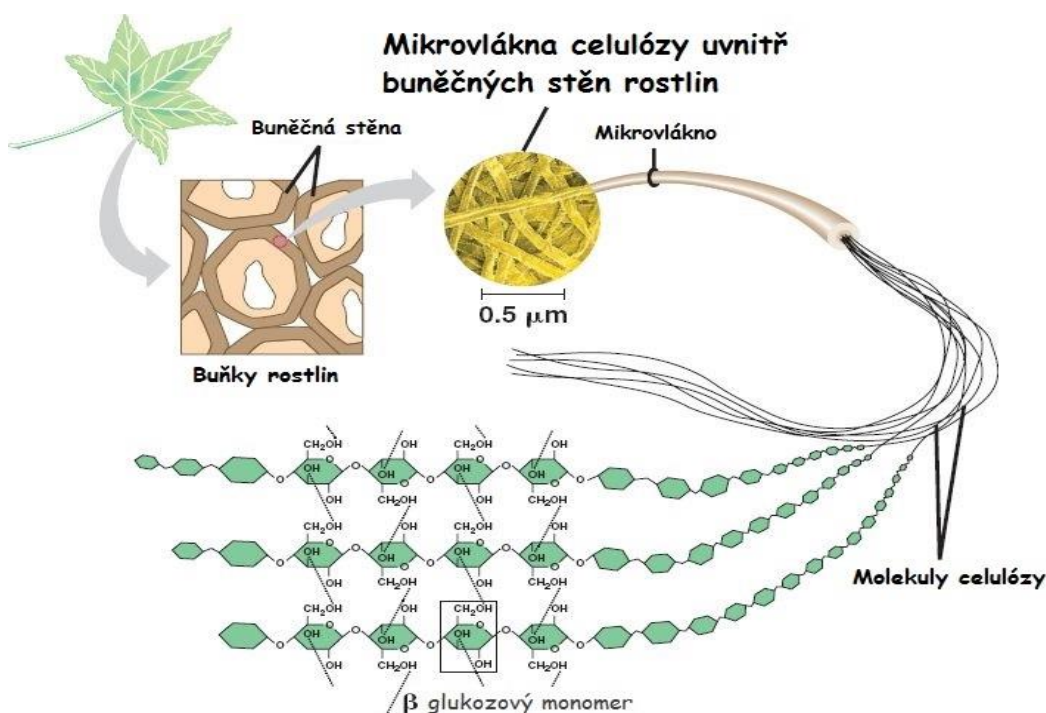
Primární buněčná stěna – nalezneme jí u každé rostlinné buňky, sestává se z celulózových mikrofibril a hemicelulóz. Stěna je značně variabilní dle její funkce. Např. na povrchu listu je silná s polymery kutinu a vosku a tvoří tzv. kutikulu, která je hydrofobního charakteru a má ochrannou úlohu. Růst je podmíněn fyzikálně a chemicky. Zásadní význam má pro růst fytohormon auxin a podle specializace se růst odehrává po celé délce buňky nebo pouze na vrcholcích (Tomášková, Kubásek 2016).

Sekundární buněčná stěna – vytváří se na vnitřní straně primární buněčné stěny v podobě destiček u buněk, které již ukončily svůj růst. Je velice pevná a protkána polymery

celulózových vláken, kterých je zde obsaženo více než v primární buněčné stěně, až nad 40 % a naopak je zde menší zastoupení amorfni složky (pektin). Proto zastává v rostlinných pletivech hlavně zpevňující roli a nalezneme jí všude, kde rostlina potřebuje výztuž (botanika.upol.cz; Tomášková, Kubásek 2016).

### 2.5.1 Celulóza

Je polysacharid tvořený lineárními řetězci glukózových jednotek, které jsou na sebe vázány glykosidickými vazbami. Tyto vazby jsou chemicky velmi odolné. Zmíněné makromolekuly se následně spojují do paralelních svazků zvaných celulózové mikrofibrily a tvoří se z nich vyšší strukturální stupeň-makrofibrily, které jsou v buněčných stěnách spatřitelné optickým mikroskopem. Štěpení celulózy je možné pouze za přítomnosti enzymů (celuláz). Tyto enzymy produkují pouze saprofytické bakterie, které jsou u této hydrolyzy nezbytné. Nejčastějším koncovým produktem je potom samotná glukóza, která je využita jako zdroj energie (Tomášková, Kubásek 2016; web2.mendelu.cz).

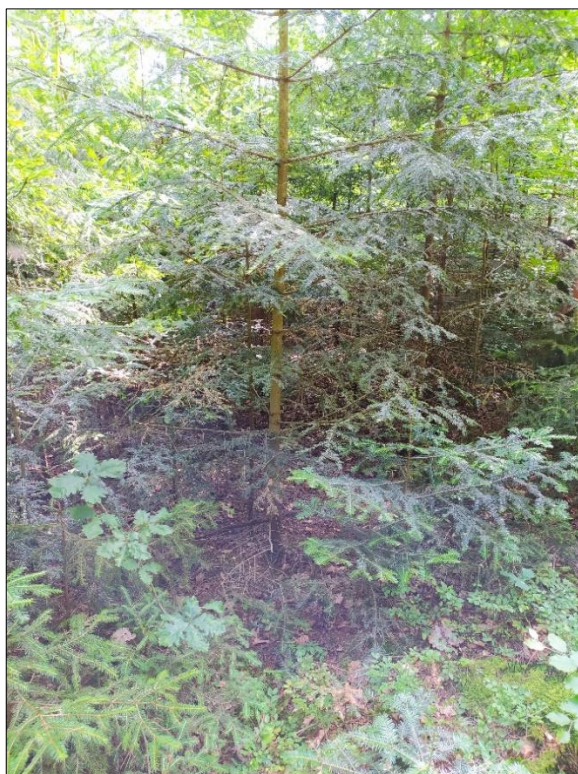


Obr.2: Strukturální model celulózy (zdroj: <http://web2.mendelu.cz>)

## 3 Metodika

### 3.1 Lokalita

Vzorky substrátů pro založení laboratorního experimentu s potenciálem rozkladu celulózy v humusových formách tvořených smrkem a jedlí byly odebrány v porostu 411C13/1 na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy, který leží přibližně 30 km východně od Prahy.



*Obr.3: Porost jedle bělokoré (Zdroj: vlastní)*



*Obr.4: Porost smrku ztepilého (Zdroj: vlastní)*

Lokalita je situována na mírném svahu orientovanému k severu, v nadmořské výšce 400-420 m n.m. Geologické podloží je tvořeno granodioritem (tzv. říčanská žula) a stanoviště je charakterizováno jako svěží dubová jedlina šřavelová, LT 401. Konkrétní lokalita je charakterizována přechodem od luvizemí k pseudoglejům (Podrázský, Remeš 2010).

## Odběr vzorků

V částech s dominancí smrkového a jedlového porostu bylo do igelitových sáčků pomocí zahradní lopatky odebráno dostatečné množství substrátů z nadložních horizontů F+H (Obr.5) a organominerálního horizontu Ah (Obr.6). Odběr byl proveden na více (5 místech) příslušných porostních částí. Poté byly obsahy sáčků z jednotlivých odběrných míst promíchány tak, že vznikl směsný vzorek ze smrkového porostu (F+H, Ah) a z jedlového porostu (F+H, Ah). Výsledkem tedy byly celkem 4 směsi.



*Obr.5: Půdní horizont F+H (zdroj: vlastní)*



*Obr.6: Půdní horizont Ah (zdroj: vlastní)*

## 3.2 Založení a popis experimentu

V laboratorních podmínkách ve výzkumné stanici Truba v Kostelci nad Černými lesy, která tvoří zázemí katedry pěstování lesů na Lesnické fakultě ČZU, byl založen experiment zaměřený na srovnání celulolytického potenciálu humusových forem v porostních částech

s dominancí smrku ztepilého a jedle bělokoré. Cílem bylo srovnat potenciál rozkladu celulózy v horizontech nadložního humusu a v organominerálním horizontu v porostních částech s dominancí jedle bělokoré a smrku ztepilého.

Z každého směsného vzorku byly odebrány 3 oddíly substrátu, které byly rozprostřeny na dně plastových boxů ve vrstvě 2 cm a jejich povrch byl urovnán (Obr. 7).

Na povrch v každém boxu bylo položeno 10 pásků filtračního papíru (80 g/m<sup>2</sup>), rozděleného nákresem obyčejnou tužkou po 1 cm. Proužky byly široké také 1 cm, takže jednotlivá hodnocená ploška byla velikosti čtverečku 1x1 cm. Celkem tedy bylo v každém boxu hodnoceno 100 jednotlivých čtverečků. V následujících týdnech byl hodnocen postup:

- barevných změn filtračního papíru, indikujících napadení substrátu celulolytickými organismy
- postupný úplný rozklad filtračního papíru, tedy jeho absence (Obr.8).

Vzorky byly kultivovány v laboratorních – pokojových podmínkách se srovnatelnou vlhkostí (uzavření boxů umožňuje předpokládat 100 % vzdušnou vlhkost v boxech). Vzorky byly v týdenních intervalech zavlažovány rozprašovačem.

Vzorky byly hodnoceny v termínech:

- 24.7.2020 – odběr vzorků, založení experimentu, instalace do boxů
- 15.8. - 28.8. - 11.9. - 26.9. - 10.10. - 24.10. - 21.11. - 12.12.

Od založení pokusu trvalo tři týdny, než se proužky začaly průkazně zbarvovat. Poté se vzorky hodnotily s odstupem 14 ti dnů. Po čase již vzorky nevykazovaly velké změny. Proto jsem posledním prosincovým měřením experiment uzavřela. Šlo tedy o 8 termínů, kdy probíhalo samotné hodnocení.





*Obr. 7: Uspořádání pokusu: SM vs. JD (Zdroj: vlastní)*

3 boxy se substráty z horizontů F+H a Ah u každé dřeviny.



*Obr. 8: Obsah totožného boxu během experimentu (Zdroj: vlastní)*

Obsah jednoho boxu při založení experimentu (vpravo) a při jeho ukončení (vpravo): 10 proužků x 10 dílků, filtrační papír 80 g/m<sup>2</sup>, hodnocen každý čtvereční cm zvlášť.

V každém termínu hodnocení byly boxy otevřeny a každý cm<sup>2</sup> byl hodnocen z hlediska barevných změn a v pozdějších termínech i z hlediska úplného rozkladu. Hodnocení probíhalo odhadem v procentuálním podílu a každý jednotlivý cm<sup>2</sup> byl zapsán do tabulky. Výsledkem bylo 19 200 údajů. V rámci statistického zpracování byly pro každý termín a proužek hodnoty zprůměrovány (prostý aritmetický průměr hodnot barevných změn a rozkladu) a následně zpracovávány.

### 3.3 Vyhodnocení experimentu

Pro posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev rozkládat celulózu v půdních horizontech nadložního humusu (horizont F+H) a organominerálního (horizont Ah) pod dřevinami smrkem a jedlí byly k dispozici vzorky umístěné vždy ve 3 boxech pro každou ze 4 variant (SM-F+H, SM-Ah, JD-F+H, JD-Ah). V každém boxu bylo umístěno 10 pásků tzn. pro každou variantu bylo k dispozici 30 údajů. Těchto 120 údajů (pásků) bylo hodnoceno v 8 termínech zhruba ve 2týdenních intervalech. Celkem tedy bylo k dispozici 960 údajů pro zbarvení pásků a 960 údajů pro jejich rozklad.

Z hlediska zadání cílů práce nebyl řešen průběh (rychlost) změn v čase, ale vždy srovnání odpovídajících horizontů pod oběma dřevinami v jednom termínu. Proto při statistickém vyhodnocování bylo vždy prováděno porovnání všech 4 variant ve stejném okamžiku. Zbarvení papírových pásků už ve 4. termínu měření dosáhlo 100 % a další hodnocení tohoto parametru tedy pozbylo smyslu. Naopak rozpad papírových proužků byl až do 4.- 5. termínu nepatrný a teprve po tomto termínu začaly hodnoty nabývat nenulových hodnot.

Pro statistické výpočty byl použit sw STATISTICA v 13.05.07.

Nejdříve byla vypočtena deskriptivní statistika tzn. průměry a standardní odchylky pro každou variantu v jednotlivých termínech měření. Vzhledem k velkému objemu dat je základní posouzení průběhu hodnot a typu jejich rozdělení snazší při grafickém vyjádření vypočtených hodnot.

Z těchto grafů bylo zřejmé, že zbarvení papírových proužků postupovalo velmi rychle a od 5. termínu odečtu už dosahovalo u obou dřevin prakticky 100 %. Vedle statistického hodnocení celých časových řad bylo provedeno i hodnocení té části časových řad, kde hodnoty nedosahovaly 100 % a mělo tedy smysl je hodnotit. To znamenalo, že hodnocení barevné změny se v druhém kroku omezilo na údaje z měření v termínech 1-5. Při statistickém hodnocení rozpadu papírových proužků byla situace jiná. Projevy rozpadu lze dobře sledovat ve svrchních humózních horizontech (F+H), zatímco v organominerálním horizontu Ah k žádnému rozpadu těchto kontrolních papírových proužků nedošlo a nelze je tedy smysluplně hodnotit.

Pro zhodnocení rozdílu mezi oběma dřevinami v těchto vymezených intervalech byl použit nepárový t-test, kterým lze posuzovat, zda rozdíly mezi průměry hodnot v jednotlivých měřeních pod oběma dřevinami jsou nebo nejsou statisticky významně rozdílné na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

Dalším krokem bylo provedení analýzy rozptylu ANOVA, a to jak pro souhrnné údaje z celé datové řady, tak jednotlivě pro jednotlivé termíny měření. Vždy byly porovnávány obě dřeviny (SM, JD) ve stejném horizontu a ve druhém případě i ve stejném termínu měření a opět na obvyklých hladinách významnosti.

Vzhledem k tomu, že ne všechna měření v jednotlivých termínech vykazovala normální rozdělení, byl použit ještě neparametrický test Kruskal-Wallis.

Výsledky těchto testů jsou uvedeny ve výsledkové části práce.

## 4 Výsledky

### 4.1 Naměřené hodnoty obou horizontů a dřevin

Prvním sledovaným procesem, který se začal brzy projevovat, bylo zbarvení proužků filtračního papíru. Půdní houby a mikroorganismy rychle okupovaly stále větší plochu filtračního papíru, což se díky jejich fyziologické aktivitě projevovalo barevnými změnami. Postup barevných změn se přitom diametrálně lišil v případě humusových, holorganických, horizontů (F+H) na jedné straně a organominerálních (Ah) horizontů na straně druhé (Tab. 1 a 2). V horizontech nadložního humusu byl statisticky významně rychlejší nástup barevných změn pozorován od prvního termínu měření (2 týdny po založení experimentu na úrovni 1,82 % (SM) a 4,09 % (JD) na substrátu původem z jedlového porostu. Od 5. termínu se pak hodnoty v podstatě nelišily a další statistické hodnocení nemělo smysl. V prvních 4 termínech byl však postup barevných změn statisticky významně rychlejší v případě holorganických horizontů jedlového porostu (Tab.2).

Tab. 1: Průměrné hodnoty zbarvení proužků zjištěných během 8 termínů měření

dřevina	horizont	1	2	3	4	5	6	7	8
SM	F+H	1,82	18,61	52,75	93,31	99,04	99,56	100	100
	Ah	0,42	7,4	37,51	75,19	93,03	96,45	99,12	99,66
JD	F+H	4,09	47,79	70,27	97,54	99,5	99,83	100	100
	Ah	0,82	15,47	20,72	84,04	94,55	97,97	98,82	99,09

Také v substrátu původem z organominerálních horizontů Ah byla dynamika zbarvení proužků filtračního papíru srovnatelná. Rychlejší nástup a postup byl doložen v případě jedlového porostu (s výjimkou 3. termínu), od pátého termínu pak bylo zbarvení proužků téměř úplné.

*Tab. 2: Výsledky t-testu pro údaje o zbarvení papírových proužků pro dřeviny smrk a jedli v odpovídajících horizontech pro termíny měření 1-5.*

horizont	termín	SM	JD	t-hodnota	p
F+H	<b>1</b>	<b>1,82</b>	<b>4,09</b>	<b>-2,27</b>	<b>0,03</b>
	<b>2</b>	<b>18,61</b>	<b>47,79</b>	<b>-10,93</b>	<b>0,0001</b>
	<b>3</b>	<b>52,75</b>	<b>70,24</b>	<b>-4,41</b>	<b>0,0001</b>
	<b>4</b>	<b>93,31</b>	<b>97,54</b>	<b>-3,18</b>	<b>0,002</b>
	5	99,04	99,5	-1,15	0,254
Ah	1	0,42	0,82	-0,84	0,404
	<b>2</b>	<b>7,4</b>	<b>15,47</b>	<b>-4,64</b>	<b>0,0001</b>
	<b>3</b>	<b>37,51</b>	<b>20,72</b>	<b>5,16</b>	<b>0,0001</b>
	<b>4</b>	<b>75,19</b>	<b>84,04</b>	<b>-2,92</b>	<b>0,005</b>
	5	93,03	94,55	-0,96	0,34

Pozn. Statisticky významně rozdílné hodnoty na hladině významnosti  $\alpha=0,01$  jsou zvýrazněné

Zbylé nezbarvené části proužků byly vesměs okrajovými částmi, kam se půdní organizmy projevovaly vcelku obtížně. Kolonizace proužků celulózy tak nastoupila poměrně výrazněji v jedlovém porostu v obou sledovaných horizontech.

Vcelku překvapivé výsledky byly doloženy při sledování úplného rozkladu celulózy v porostech obou dřevin. V holorganických horizontech se příznaky úplného rozkladu proužků celulózy projevily ve druhém sledovaném termínu, nicméně rozklad postupoval poměrně pomalu. Ke konci doby sledování pak jeho hodnoty dosahovaly 25,93 % v případě smrku a pouze 16,38 % v případě jedle. V horizontech Ah pak k úplnému rozkladu v podstatě nedošlo, hodnoty 0,02 v některých termínech u jedle jdou spíš na vrub subjektivnímu posouzení.

Tab. 3: Průměrné hodnoty rozkladu proužků zjištěných během 8 termínů měření

dřevina	horizont	1	2	3	4	5	6	7	8
SM	F+H	0	0,63	2,97	5,92	9,4	12,19	20,24	25,93
	Ah	0	0	0	0	0	0	0	0
JD	F+H	0	0	1,35	3,6	4,73	5,95	12,51	16,38
	Ah	0	0	0	0,02	0,02	0	0	0,02

Větší celulolytický potenciál v holorganických porostech smrku ve srovnání s jedlí, dokonce statisticky významný s výjimkou jednoho termínu šetření, je překvapující (Tab. 4). Výrazná meliorační funkce jedle se tak ve srovnání se smrkem neprokázala.

Tab. 4: Výsledky t-testu pro údaje o rozkladu papírových proužků pro dřeviny smrk a jedli v horizontu F+H.

horizont	termín	SM	JD	t-hodnota	p
F+H	1	0	0		
	2	<b>0,63</b>	<b>0</b>	<b>2,77</b>	<b>0,007</b>
	3	<b>2,97</b>	<b>1,35</b>	<b>2,77</b>	<b>0,03</b>
	4	5,92	3,6	1,59	0,116
	5	<b>9,4</b>	<b>4,73</b>	<b>2,51</b>	<b>0,015</b>
	6	<b>12,19</b>	<b>5,95</b>	<b>2,99</b>	<b>0,004</b>
	7	<b>20,24</b>	<b>12,51</b>	<b>2,48</b>	<b>0,016</b>
	8	<b>25,93</b>	<b>16,38</b>	<b>2,53</b>	<b>0,014</b>

Pozn. Statisticky významně rozdílné hodnoty na hladině významnosti  $\alpha=0,01$  jsou zvýrazněné

Při celkovém srovnání (Tab. 5) se jen potvrdilo statisticky významné výraznější zbarvení, tedy kolonizace proužků celulózy půdní biotou v holorganickém horizontu v porostu jedle, a naopak ve stejném horizontu rychlejší rozklad celulózy v porostu smrku.

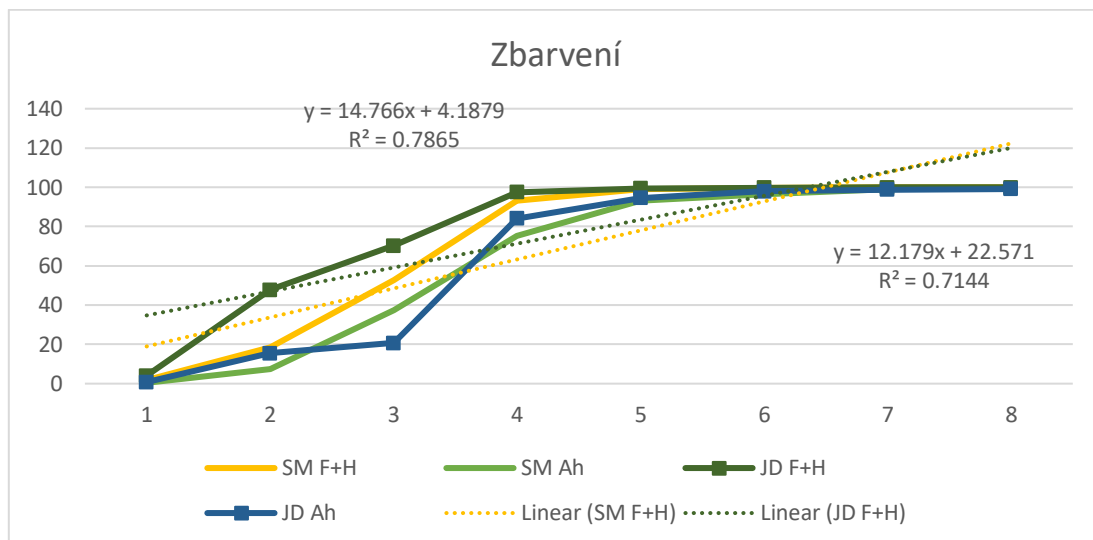
Tab. 5: Výsledky hodnocení rozdílů mezi smrkem a jedlí pomocí metody ANOVA.

dřevina	horizont	zbarvení	rozklad
SM	F+H	70,64 ab	<b>9,66 a</b>
SM	Ah	63,6 a	0 b
JD	F+H	<b>77,38 b</b>	5,57 c
JD	Ah	63,94 a	0,01 b

Pozn.: hodnoty nevýznamně rozdílné jsou označeny stejným písmenem

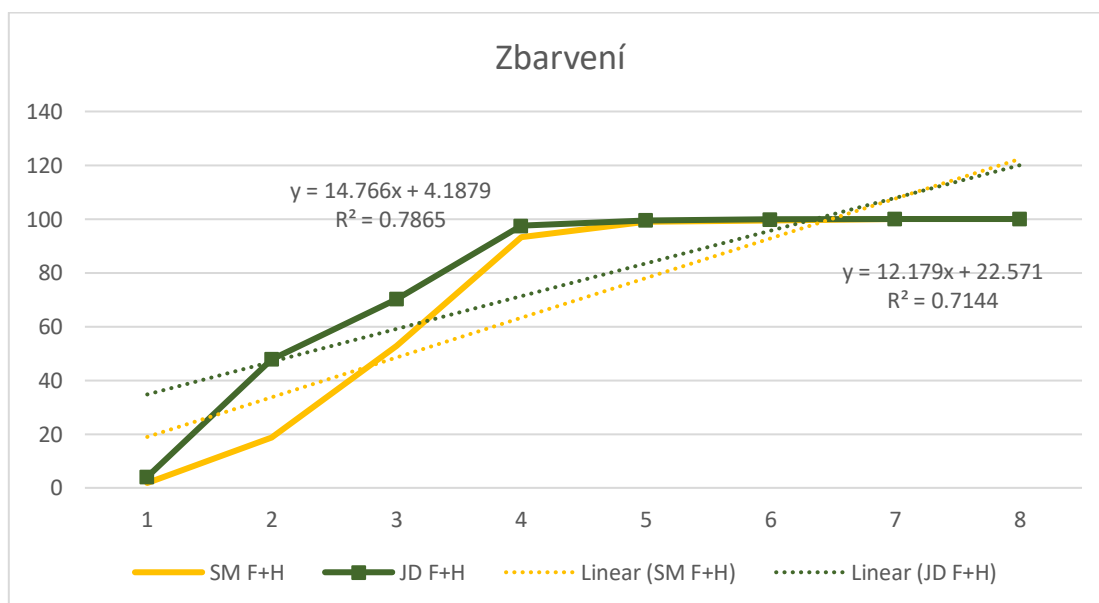
## 4.2 Grafické znázornění zbarvení a rozkladu celulózových proužků

Následné grafy pak uvedené skutečnosti dokumentují graficky. Graf 2 obsahuje graf průběhu hodnot zbarvení papírových proužků pro obě dřeviny dle jednotlivých horizontů.



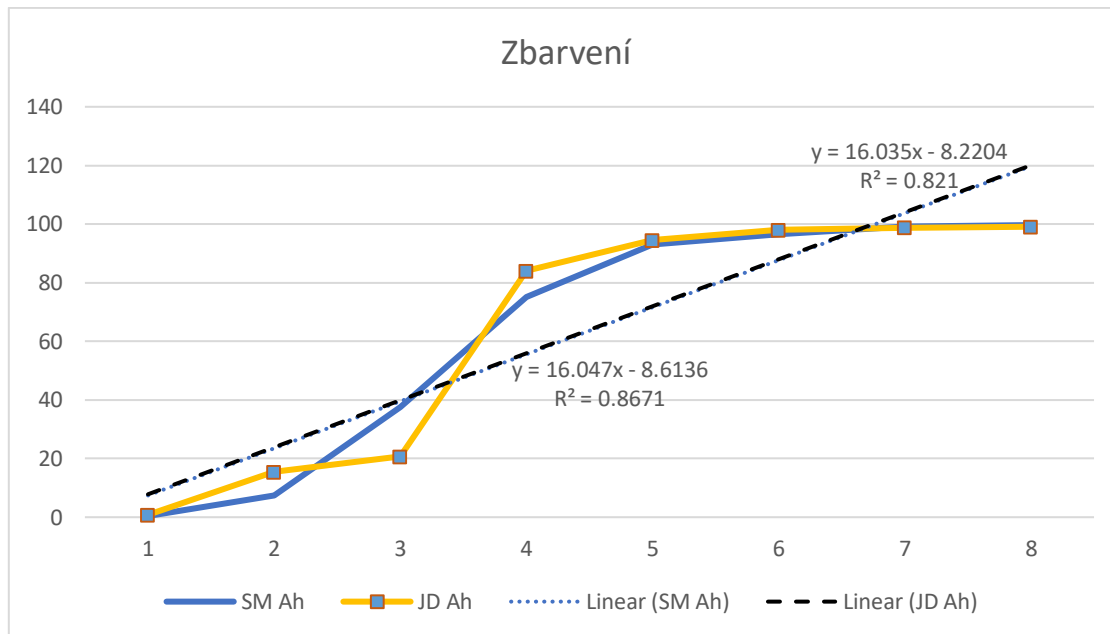
Graf 2: Průběh vývoje barevných změn na papírových proužcích pro SM a JD v obou zkoumaných horizontech včetně lineární regrese.

Výraznější rozdíly mezi oběma dřevinami jsou zřejmé u humózního horizontu (F+H), což je patrné i z Grafu 3.



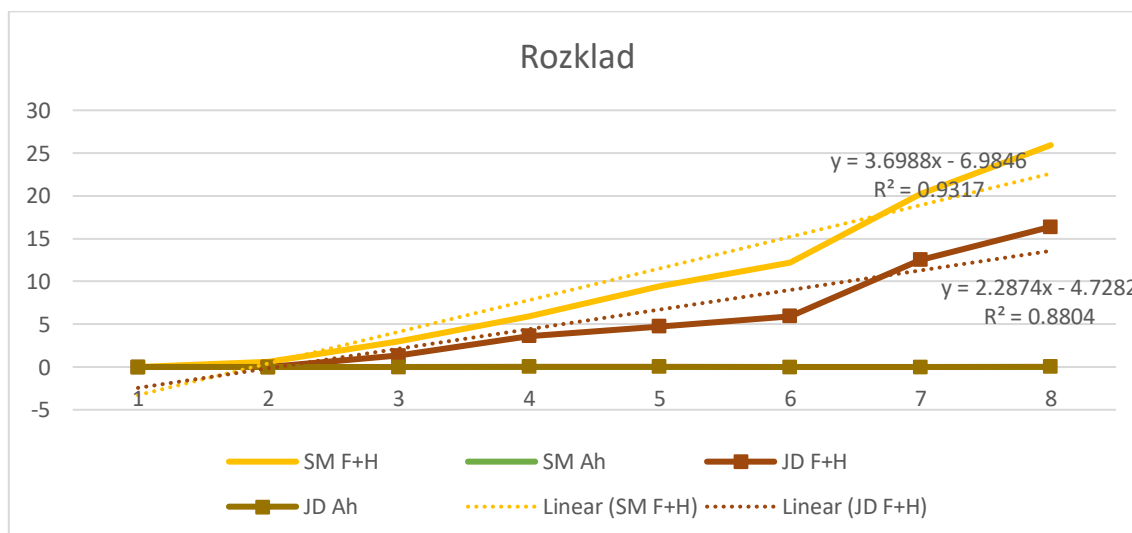
Graf 3: Vývoj zbarvení papírových proužků v humózním horizontu (F+H) pod smrkem a jedlí

Ještě menší rozdíly lze zjistit v organominerálním horizontu Ah, kde lineární regrese při vysoké hodnotě spolehlivosti, dává téměř totožné výsledné hodnoty regresní rovnice (viz. Graf 4)



Graf 4: Vývoj zbarvení papírových proužků v organominerálním horizontu Ah pod smrkem a jedlí

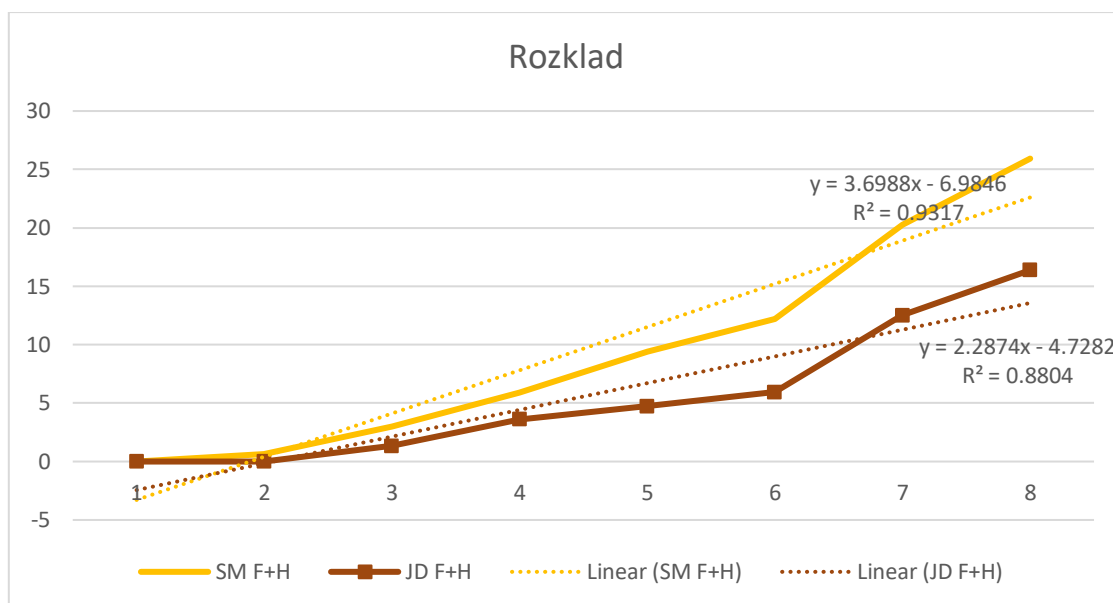
Poněkud jiné výsledky poskytují údaje o postupném rozkladu papírových proužků v obou horizontech pod smrkem a jedlí. Průběh těchto hodnot dobře ilustruje Graf 5.



Graf 5: Vývoj rozkladu papírových proužků v obou sledovaných horizontech pod smrkem a jedlí



Z Grafu 5 je zřejmé, že v organominerálním horizontu Ah k žádným zaznamenaným změnám na papírových proužcích nedošlo, zřejmě pro příliš krátkou dobu, po kterou byl pokus sledován. Má tedy smysl se zabývat jen vývojem v humózním horizontu (F+H). Podrobněji lze průběh hodnot sledovat na dalším Grafu 6.



*Graf 6: Vývoj rozkladu papírových proužků v horizontu (F+H) pod smrkem a jedlí*

Vzhledem k tomu, že některé naměřené údaje (zejména na začátku měření a na konci měření) nevykazují normální rozdělení byl ještě použit neparametrický test významnosti rozdílů mezi párovými hodnotami. Byl použit Kruskal-Wallis test. Výsledky hodnocení zbarvení papírových proužků uvádí Tab. 6.

*Tab. 6: Hodnocení významnosti rozdílů změn barev papírových proužků pro termíny 1-5 testem Kruskal-Wallis*

dřevina	horizont	mean rank	p
SM	F+H	137,89	<b>0,012</b>
<b>JD</b>	<b>F+H</b>	<b>163,11</b>	
SM	Ah	145,57	0,325
JD	Ah	155,43	

Také toto statistické hodnocení prokázalo statisticky významně vyšší hodnoty zbarvení papírových proužků v humózním horizontu F+H pod jedlí než pod smrkem.

V organominerálním horizontu Ah jsou sice rovněž hodnoty vyšší pod jedlovým porostem, nicméně tyto rozdíly nejsou statisticky průkazné.

V dalším kroku byl proveden tentýž test pro vyhodnocení rozpadu papírových proužků.

Výsledky Kruskal-Wallis testu pro horizont F+H jsou uvedeny v Tab. 7.

*Tab. 7: Hodnocení významnosti rozdílů v rozpadu papírových proužků Kruskal-Wallis*

dřevina	horizont	mean rank	p
<b>SM</b>	<b>F+H</b>	<b>263,04</b>	<b>0,0003</b>
JD	F+H	217,96	

Také zde jsou rozdíly statisticky vysoce významně rozdílné, nicméně k většímu rozpadu docházelo pod smrkovým porostem.

### 4.3 Vyhodnocení

Závěrem lze tedy konstatovat, že výsledky všech statistických procedur nebyly ve vzájemném rozporu a lze je shrnout do následujících závěrů:

- K vyššímu a rychlejšímu zbarvení testovacích proužků docházelo v obou horizontech směsných vzorků získaných pod jedlovým porostem.
- V humózním horizontu F+H byly tyto rozdíly statisticky průkazné, v organominerálním horizontu Ah sice také existovaly, ale nebyly výrazné.
- Zbarvení dosáhlo 100 % po čtvrtém termínu měření u obou dřevin.
- Proces rozkladu papírových proužků byl za dobu sledování zaznamenán jen v humózním horizontu F+H.
- K rychlejšímu rozpadu papírových proužků docházelo ve vzorcích získaných ze smrkového porostu a tento rozdíl byl statisticky významný.

Z výše uvedených výsledků a závěrů lze shrnout, že výrazně příznivější, tedy rychlejší a komplexnější rozkladné procesy pod jedlí, není možno, v daném porostu a na daném stanovišti, předpokládat.

## 5 Diskuze

Jedle bělokorá (*Abies alba* Mill.) byla odedávna přirozenou součástí lesních porostů ve střední Evropě, jakožto i domácí dřevinou v České republice, kde tvoří nezastupitelnou roli v druhovém složení našich lesů (Zatloukal 2001). Na přelomu 18. a v druhé polovině 19. století byl však podíl jedle výrazně snížen. Na vině byla rozsáhlá těžba (především holosečný způsob hospodaření) a následná umělá obnova lesů hlavně smrkem a borovicí. V letech 1950 až 1991 podíl jedle silně poklesl v souvislosti se způsobem hospodaření a škodlivými vlivy prostředí v lesích ČR. Tento pokles se pohyboval v intervalu 2,8 až 1,0 % podle plochy (Šindelář, Frýdl 2004). Ačkoli se dále názory rozcházejí a její ústup se vysvětluje imisním znečištěním, biotickými činiteli (konkrétně korovnicí kavkazskou) nebo vlivem konce tzv. malé doby ledové (Podrázský, Třeštík 2017), jedle je náchylná také k okusu spárkatou zvěří a vzhledem ke zvýšené populační hustotě tento faktor bývá často letální (Podrázský et al. 2018; Senn, Suter 2003). Ať už došlo k početní redukci jedle, stále jsou v Evropě místa (viz. kapitola 2.1), kde je jedle hlavní dřevinou v porostu a můžeme tak doložit tvrzení Šindeláře (1975), že existují dílčí populace, které vykazují lepší vitalitu a odolnost vůči negativnímu vlivu okolí (Šindelář 1975).

K tvorbě specifického půdního prostředí trvale zalesněných ploch neodmyslitelně patří formování nadložních horizontů, které jsou tvořeny hlavně opadem a rozkladem asimilačních orgánů rostlin (Kacálek et al. 2007). Této skutečnosti jsou si mnozí vědomi a v návaznosti na to se setkáváme s výzkumy a studii zaměřenými na tuto problematiku. Většinou se však jedná o posouzení vlivu porostu buku a smrku na půdní charakteristiky (Hatlapatková, Podrázský 2011; Kacálek et al. 2010) či vlivu smrku s jasanem a borovicí (Binkley, Valentine 1991). Setkáme-li se se studii zaměřenými na jedlový porost, jedná se o spojitost s umělou obnovou nebo přirozenou obnovou. U umělé obnovy se jedná o nejrůznější varianty výsadeb, a to s doprovodnými dřevinami či samostatně v otevřeném prostoru nebo chráněné v zástínu dospělého porostu (Mauer, Vaněk 2014). V korelaci vlivu chemismu půdního prostředí a přirozené obnovy jedle, byly na jaře roku 1999 založeny trvalé plochy na různých lesních typech v rozličných geografických polohách v oblasti Sudet. Tyto pak byly dlouhodobě sledovány a využívaly se např. pro hodnocení rozdílné přirozené obnovy v oblasti Karpat a Sudet (Filipiak 2002). Stejně plochy pak byly později využity i k chemickým analýzám nadložních a organominerálních horizontů (pH, celkový

N, vyměnitelné kationty Ca, Mg, K, Na, H a Al), kde se z rozboru určily příčiny rozdílné kvality přirozené obnovy na různých lokalitách. Dle této studie však naměřené hodnoty, až na obsah draslíku, nebyly statisticky významné (Filipiak, Komisárek 2005). Studie z roku 2004 ze stejné oblasti pak zaměřila svou pozornost na pokles znečištění atmosféry v důsledku snížení spalin uhlí v ovzduší v pohraničních továrnách Sudet v Německu i České republice. Bylo zjištěno, že jedle do věku 130 let je schopna odolat a snést nepříznivé podmínky a signifikantně zvýšit rychlost růstu, je-li snížen některý stresový faktor (Filipiak, Ufnalski 2004). V dalších studiích se dovídáme o možnostech přihnojování jedle (Bartoš, Kacálek 2013), o vlivu regenerace jedle v závislosti na narušení minerální vrstvy těžbou (Filipiak 2002) nebo o vlivu probírek na půdní charakteristiky (opět pH, obsah celkového N a C a makroživin) (Podrázský 2006). Ani v jednom případě se však nesetkáme s významnými rozdíly.

Budeme-li se soustředit na meliorační funkci jedle bělokoré, kupodivu nenalezneme příliš mnoho podkladů, které se tímto tématem zabývají. Podrázský, Třeštík (2017) ve svém výzkumu porovnávají obsah sušiny holorogranických horizontů pod opadem smrku a jedle, dále pak obsahy přístupných živin, celkového dusíku, výměnné půdní kapacity, nasycení bázemi aj. dle příslušných chemických postupů a analýz. Z výsledků vyplývá, že množství sušiny v horizontech L, F a H je až dvojnásobné pod smrkem, obsah humusu byl však v celém profilu shodný. Co se týče půdních charakteristik, byly zaznamenány relativně nevýznamné rozdíly a žádná z porovnávaných dřevin mezi sebou nejevila výrazný výkyv. Za zmínku snad stojí nevýznamně vyšší obsah celkového dusíku, což naznačuje bohatší opad a s tím související přítomnost nitrifikace, která indikuje jako jedna z nejdůležitějších meliorizačních vlastností pozitivní ovlivnění následné mikrobiologické aktivity (Seifert 1957). Seifert (1957) tento efekt potvrdil také ve své studii na dospělém porostu smrku ve věku 80-100 let s příměsí 20 ti leté jedle, kdy se tato vlastnost projevila hlavně v porostu s převahou jedle. Další studií, která vycházela z pracovní teze, že jedle vykazuje oproti smrku lepší meliorační vlastnosti, byla studie Podrázského a kol. (2018). Opět se studovaly stejné hodnoty jako v předchozí studii Podrázského, Třeštíka (2017). Ačkoli výzkum probíhal na odlišných lokalitách (Deštné v Orlických horách a území Školního lesního podniku ČZU v Kostelci n/Černými lesy), výsledky byly ve skrze totožné. Porosty jedle vykazovaly sice nižší obsah sušiny biomasy, nicméně chemické vlastnosti nadložních vrstev byly téměř shodné. Pod porostem smrku se potom nedá jednoznačně tvrdit vyšší titrační

aciditu, a tedy agresivnější prostředí v půdách, protože v první studii z Kostelce n/Černými lesy (Třeštík, Podrázský 2017) je tato hodnota výměnného vodíku a hliníku vyšší u opadu jedle a na lokalitě Deštná (Podrázský et al.2018) je tato hodnota vyšší pod smrkem. Spojíme-li toto obousečné mínění acidity pod oběma porosty spolu s přihlédnutím k výše popsané skutečnosti (viz.kap.2.2.5), že pH půd je dáno i propustností půd a kyselými srážkami (Slodičák et al.2017), nemůžeme ani tímto tvrzením vysvětlit výsledek mého výzkumu, který prokázal rychlejší rozkladnou aktivitu pod porostem smrku.

Nadále se tak soustředí pozornost u jedle bělokoré spíše na její zpevňující funkci, která je díky jejímu systému zakořenění nevyvratitelná. Toto prokořenění má vliv na půdní strukturu a s tím související její dobré fyzikální vlastnosti. Tyto lesní porosty se tak stávají rozmanitější nejen svou texturou, ale také diverzitou celého lesního ekosystému, která potom ovlivňuje i celkovou stabilitu (Šindelář et al.2007). Jak již bylo zmíněno výše, jedle hraje podstatnou roli na oglejených stanovištích. Rozsáhlý výzkum Šrámka et al. (2013) v rámci projektu podporovaného Evropskou unií s názvem „BIOSOL“ se zaměřil na zhodnocení chemismu půd z hlediska edafických kategorií. Celkem bylo založeno 146 zkusných ploch, kde byly odebrány vzorky a ty byly následně analyzovány v laboratořích za účelem klasifikace půdního typu. Ačkoli výzkum ani nemohl četností odběrových míst pokrýt celé území ČR, z výsledků vyplynulo, že mezi tři nejčastější edafické kategorie vedle kyselé (42,5 %) a živné (40 %) řady se zařadila právě řada oglejená se svými 15 %. Postavíme-li do rovnosti s tímto zjištěním také tvrzení Buriánka et al. (2014), který došel ve své studii k výsledku, že přirozená obnova jedle probíhá lépe na kyselých stanovištích než na živných díky menšímu výskytu buřeně, které by bránilo růstu, dojdeme k závěru, že jedle je dřevina, která plní nezastupitelnou úlohu v našem lesním hospodářství (Buriánek et al.2014).

## 6 Závěr

Cílem předkládané bakalářské práce bylo zhodnocení rozdílů v potenciálu rozkladu celulózy v rámci humusových forem tvořených opadem smrku ztepilého a jedle bělokoré. Výzkum byl prováděn ve starších porostech s dobře vyvinutými humusovými formami na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy. V laboratorních podmínkách byl sledován rozklad a barevné změny proužků filtračního papíru jako zdroje celulózy při kontaktu se substráty humusových forem (L+H, Ah) obou dřevin.

Výsledky potvrdily vyšší prvotní mikrobiologickou aktivitu pod porostem jedle, která se vizuálně projevovala barevnými změnami celulolytických proužků, a to v obou sledovaných půdních horizontech. Při šestém termínu pozorování, tedy zhruba po třech měsících, však již k dalším výrazným posunům nedocházelo. Naopak v rozkladných procesech projevujících se úplným rozpadem proužků, jednoznačně excelovala mikrobiologická aktivita v opadu smrku. Zde se dal hodnotit pouze nadložní fermentační a humusový horizont, protože v organominerálním horizontu víceméně žádná změna zaznamenána nebyla.

Výsledky studie tak výrazné rozdíly v potenciálu rozkladu celulózy v porostech obou dřevin nepotvrdily. Jedná se však o první z podobných studií a celá problematika vlivu jedle, stejně jako jiných dřevin v porostech jehličnatých monokultur, si zaslouží hlubší výzkum. Navzdory obecnému mínění lepších melioračních funkcí jedle bělokoré ve srovnání se smrkem ztepilým, tato vlastnost jednoznačně potvrzena nebyla. To souhlasí i s dosavadními výsledky pedochemických analýz. Nicméně jedle si naši pozornost z nejrůznějších důvodů zasluhuje i v budoucnosti.

## 7 Seznam literatury a použitých zdrojů

### Literatura:

AUGUSTO L., RANGERA J., BINKLEY D., ROTHE A.: *Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility*. *Annals of Forest Science* 59, 2002. 233–253 p.

BARTOŠ J., KACÁLEK D.: *Přihnojení mladého porostu jedle bělokoré na zemědělské půdě*. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2013. 58 (3): 213–217

BINKLEY D., VALENTINE D.: *Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment*. *Forest Ecology and Management*, 40, 1991. s. 13-25

BURIÁNEK V., FRÝDL J., NOVOTNÝ P., ČÁP J.: *Fytcenologická klasifikace genových základů jedle bělokoré v ČR*. *Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady*. *Zprávy lesnického výzkumu*, 59, 2014. (4): 280-298

DUŠEK D., KACÁLEK D., NOVÁK J., SLODIČÁK M.: *Obsah živin ve dvou nejmladších ročnících jehlic smrku ztepilého a jedle bělokoré původem z přirozené obnovy*. *Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno*. *Zprávy lesnického výzkumu*, 65, 2020. (3): 146-152 s.

FILIPIAK M.: *Age structure of natural regeneration of European silver-fir (Abies alba Mill.) in Sudety Mts*. *Dendrobiology*, 2002. 48: 9–14

FILIPIAK M., KOMISAREK J.: *Regeneration of the European silver fir (Abies alba Mill.) in the Sudety Mountains on soils with different physico-chemical properties*. *Dendrobiology*. 2005. roč. 53, 17–25

FILIPIAK M., UFNALSKI K.: *Growth Reaction of European Silver Fir (Abies alba Mill.) Associated with Air Quality Improvement in the Sudeten Mountains*. *Polish Journal of Environmental Studies* 13, 2004 (3): 267–273

HATLAPATKOVÁ L., PODRÁZSKÝ V.: *Obnova vrstev nadložního humusu na zalesněných zemědělských půdách*. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2001. 56: 228–234

JANKOVSKÝ L.: *Chřadnutí a choroby jedle bělokoré (Abies alba Mill.)*. – In: Neuhöferová, P. [eds.]: *Jedle bělokorá 2005 – sborník referátů*, Srní 31.10. a 1.11. Fakulta lesnická a environmentální, ČZU v Praze v koedici se Správou NP a CHKO Šumava, 2005. 43-48.

KACÁLEK D. a kol.: *Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin = Soil improving and stabilising functions of forest trees*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2017. 300 stran. ISBN 978-80-7458-102-1.

KACÁLEK D., NOVÁK J., ŠPULÁK O., ČERNOHOUS V., BARTOŠ J.: *Přeměna půdního prostředí zalesněných zemědělských pozemků na půdní prostředí lesního ekosystému – přehled poznatků*. Zprávy lesnického výzkumu, 2007. 52: 334-340.

KACÁLEK D., NOVÁK J., BARTOŠ J., SLODIČÁK M., BALCAR V., ČERNOHOUS V.: *Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy ve vztahu k druhům dřevin*. Zprávy lesnického výzkumu, 2010. 55: 19-24

*Lesnický naučný slovník*. Díl II, P-Ž. Praha: Agrospoj, 1995. 683 s., [28] s. barev. il. ISBN 80-7084-131-1.

MAUER O., VANĚK P.: *Regeneration of Silver fir (Abies alba Mill.) on Clear-cut Areas*. Acta Universitatis Agriculture et Silviculturae Mendeliana Brunensis, 2014. 62: 267–277

MUSIL I., HAMERNÍK J.: *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie 1*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2007. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.

PAVLŮ L.: *Základy pedologie a ochrany půdy*. První vydání. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019. 76 stran. ISBN 978-80-213-2952-2.

PODRÁZSKÝ V.: *Základy ekologie lesa*. Vyd.1 v Praze: Česká zemědělská univerzita, 2014. 144 s. ISBN 978-80-213-2515-9.

PODRÁZSKÝ V.: *Effects of thinning regime on the humus form state*. Ekológia (Brat.), 2006. 25: 298–305.

PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J.: *Vliv druhové skladby lesních porostů na stav humusových forem na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy*. Zprávy lesnického výzkumu, 55, č.2. 2010, 71-77 s.



PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., HARTL V., KEITH MOSER W.: *Production and humus form development in forest stands established on agricultural lands – Kostelec nad Černými lesy region*. JOURNAL OF FOREST SCIENCE, 55, 2009 (7): 299–305

PODRÁZSKÝ V., VACEK Z., KUPKA I., VACEK S., TŘEŠTÍK M., CUKOR J.: *Effects of silver fir (Abies alba Mill.) on the humus forms in Norway spruce (Picea abies (L.) H. Karst.) stands*. JOURNAL OF FOREST SCIENCE, 64, 2018 (6): 245–250

REJŠEK K.: *Lesnická pedologie: cvičení*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. 152 s. ISBN 80-7157-352-3.

SEIFERT J.: *Vliv jedlového porostu na biologický stav půdy*. Folia Microbiologica, 1957. 2: 234–237.

SENN J., SUTER W.: *Ungulate browsing on silver fir (Abies alba) in the Swiss Alps: beliefs in search of supporting data*. Forest Ecology and Management, Volume 181, Issues 1–2, 2003. Pages 151-164, ISSN 0378-1127

SLODIČÁK M.a kol.: *Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin v CHS borového a smrkového hospodářství: certifikovaná metodika*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 2017. 44 stran. Certifikované metodiky pro praxi. Lesnický průvodce, 7/2017. ISBN 978-80-7417-153-6.

SUCHOMEL J., KULHAVÝ J., ZEJDA J., PLESNÍK J., MENŠÍK L.: *Ekologie lesních ekosystémů*. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta. [2015] [1-166]

ŠINDELÁŘ J.: *Projekt a základní protokol série provenienčních výzkumných ploch s jedlí bílou Abies alba MILL. a některými ostatními druhy rodu Abies*. Dílčí závěrečná zpráva. 1975 Jíloviště, Strnady, VÚLHM: 69

ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J.: *Některé výsledky výzkumu jedle bělokoré, závěry pro lesnickou praxi*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady. TEI – bulletin techniko-ekonomických informací, 2004.

ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J., NOVOTNÝ P.: *Příspěvek k problematice druhové skladby lesních porostů se zvláštním zřetelem k dřevinám melioračním a zpevňujícím*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady. 2007

ŠRÁMEK V., JURKOVSKÁ L., FADRHOŇSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTOVÁ K.: *Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektu EU „BIOSOL“ Strnady*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Zprávy lesnického výzkumu, 58, 2013 (4): 314-323 s.

TOMÁŠKOVÁ I., KUBÁSEK J. *Fyziologie lesních dřevin I.: fyziologie, produkce a stresy rostlin*. Vydání: první. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin, 2016. 267 stran. ISBN 978-80-213-2608-8.

TŘEŠTÍK M., PODRÁZSKÝ V.: *Meliorační funkce jedle bělokoré: případová studie*. Zprávy lesnického výzkumu, 62. 2017 (3): 182–188.

VAVŘÍČEK D., KUČERA A.: *Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně*. Ústav geologie a pedologie. 2015, 184 s.

VLKOVÁ V., POLENO Z.: ed. *Lesnický naučný slovník*. Díl I, A-O. Praha: Agrospoj, 1994. VII, 743 s., [28] s. barev. obr., fotogr. a mp. ISBN 80-7084-111-7.

VRBA V., HULEŠ L.: Humus-půda-rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.

WOHLLEBEN P.: *Moudrost lesa*. překlad Magdalena Havlová. Brno: Kazda, 2018. 255 stran. ISBN 978-80-907197-4-3.

ZATLOUKAL V.: *Možnosti pěstování jedle s ohledem na její ekologické nároky a přirozené rozšíření*. In: *Pěstování a umělá obnova jedle bělokoré: sborník referátů z celostátního semináře dne 28. 8. 2001, Chudobín u Litovle*. Praha: AVE Centrum: 18–27

#### **Internetové odkazy:**

<http://www.botanika.upol.cz/atlas/anatomie/anatomiecr10.pdf>

[http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/schwarze/web\\_praktikum/Bunecna\\_stena.pdf](http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/schwarze/web_praktikum/Bunecna_stena.pdf)

[https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showkategorie&id\\_categorynode=4](https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showkategorie&id_categorynode=4)

45

<http://www.silvarium.cz/lesnictvi/svol-smrk-je-drevina-ktera-by-mela-v-obnove-lesu-hrati-dal-dulezitou-rolu>

[http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=3426&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3426&typ=html)

### **Znění zákonů**

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1996-84?text=84%2F1996>

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-139?text=139%2F2004>