

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách
smrku ztepilého a douglasky tisolisté**

Bakalářská práce

Autor: Petr Škaryd

Vedoucí práce: prof. Ing Vilém Podrázský, CSc.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

- Autor práce: Petr Škaryd
Studijní program: Lesnictví
Specializace: Ochrana a pěstování lesních ekosystémů
Vedoucí práce: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.
Garantující pracoviště: Katedra pěstování lesů
Jazyk práce: Čeština
- Název práce: **Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách smrku ztepilého a douglasky.**
- Název anglicky: **Potential of Cellulose Decomposition in the Humus Forms Formed by Norway Spruce and Douglas-Fir.**
- Cíle práce: Cílem práce je zhodnocení rozdílů v celulolytické aktivitě humusových forem tvořených opadem douglasky tisolisté a smrku ztepilého. Šetření se soustředí na nadložní humus (vrstva F+H) a organominerální horizont (Ah). Z těchto půdních vrstev budou odebrány reprezentativní vzorky v porostních skupinách jednotlivých dřevin ve srovnatelných stanovištních podmínkách. Výsledkem by mělo být posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na části rozkladných procesů v opadu jednotlivých dřevin. Umožní to částečné srovnání dekompozičních procesů pod oběma dřevinami.
- Metodika:
- zpracování rešerše s problematikou tvorby humusových forem a meliorační funkce douglasky v lesních porostech, stručné pojednání o významu douglasky v lesním hospodářství ČR (prosinec 2022),
 - založení pokusu s rozkladem celulózy – pásků filtračního papíru (duben 2022),
 - substrát bude odebrán v porostní části s dominantním vlivem douglasky a smrku na tvorbu opadu,
 - substrát (F+H, Ah horizonty) bude v laboratorních podmínkách kultivován v nádobách, při stálé vlhkosti a laboratorní teplotě (duben – září 2022),
 - na povrchu substrátu budou uloženy pásky filtračního papíru (celulóza) o definovaném povrchu,
 - v pravidelných intervalech bude hodnocen stupeň a míra rozkladu celulózy.

Harmonogram řešení:

- založení pokusu a jeho hodnocení (duben – září 2022)
- předložení literární rešerše (prosinec 2022)
- zpracování výsledky (leden 2023)
- předložení rukopisu (březen 2023).

Doporučený rozsah práce: Min. 40 stran odborného textu

Klíčová slova: Douglaska, smrk, meliorační funkce, opad, humusové formy, rozklad celulózy, mikrobiální aktivita

Doporučené zdroje informací:

1. BALÁŠ, M., BAŽANT, V., BORŮVKA, V., DIMITROVSKÝ, K., FULÍN, M., KUNEŠ, I., KUPKA, I., MELICHAROVÁ, L., MONDEK, J., PODRÁZSKÝ, V., PRKNOVÁ, H., RESNEROVÁ, K., ŠÁLEK, L., VACEK, O., VACEK, Z., ZEIDLER, A. Silvicultural, Production and Environmental Potential of the Main Introduced Tree Species in the Czech Republic. Lesnická práce, Praha, 2019, 186 s.
2. EILMANN, B., RIGLING, A. Douglas fir – a substitute species for Scots pine in dry inner-Alpine valleys? In: Opportunities and risks for Douglas fir in a changing climate. Oc. 18-20, 2010 Freiburg, Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Freiburg, 85, 10.
3. FERRON, J. L., DOUGLAS, F. Douglas-fir in France: history, recent economic development, overviews for the future. In: Opportunities and risks for Douglas fir in a changing climate. Oc. 18-20, 2010 Freiburg, Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Freiburg, 85, 11.
4. 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.
5. MONDEK, J., BALÁŠ, M. 2019. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and its role in the Czech Forests. Journal of Forest Science. 65 (2): 41 – 50.
6. 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.

Předběžný termín obhajoby: 2022/23 LS - FLD

Elektronicky schváleno: 29. 4.
2022
doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 7. 7. 2022
prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.
Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách smrku ztepilého a douglasky tisolisté" jsem vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Viléma Podrázského, CSc. a použil jsem jen zdroje, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

Jsem si vědom, 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 02.04.2024

Petr Škaryd

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vilému Podrázskému, CSc., za jeho vedení, cenné rady, připomínky a hlavně trpělivost, kterou mi věnoval při zpracovávání této práce. Děkuji i své rodině za podporu a pomoc během celého studijního období.

Potenciál rozkladu celulózy v humusových formách smrku ztepilého a douglasky tisolisté

Souhrn

V bakalářské práci je zhodnocen rozdíl potenciálu rozkladu celulózy při kontaktu se substráty opadu a minerální půdy pod jednotlivými druhy dřevin, tedy listnatým porostem s dominancí lípy a dubu, smrku ztepilého a douglasky tisolisté, s posouzením vlivu na pedochemické vlastnosti půdy. Zkoumané vzorky byly odebrány na území školního lesního podniku Kostelec nad Černými lesy. Byly odebrány dvě vrstvy půdy, svrchní horizont humusový (F+H) a spodní horizont organicko-minerální (Ah). Dohromady 6 vzorků pro každou dřevinu (3 vzorky Ah; 3 vzorky F+H) bylo uloženo do uzavíratelných boxů, přičemž v každé boxu bylo uloženo 10 cm dlouhých pásků filtračního papíru jako zdroje celulózy rozdělených po 1 cm čtverečcích. V pravidelných intervalech (zpravidla 2 týdny) se kontroloval průběžný stav zbarvení (inokulace) a rozkladu jednotlivých čtverečků.

Z hlediska postupu zbarvení se jednotlivé dřeviny výrazně nelišily, avšak z hlediska rozkladu byly rozdíly mnohem více markantní. Dle očekávání byl průběh dekompozice nejrychlejší u listnáčů, poté u douglasky a nejpomaleji postupovaly rozkladné aktivity z porostu smrku. Při srovnání dvou sledovaných jehličnanů byla pedobiologická aktivita ve sledovaném období v půdách porostu douglasky statisticky významně vyšší než u smrku. Tedy proces dekompozice u douglasky začal dřív a napříč horizonty se rozložilo 70-80 % proužků, kdežto u smrku to bylo pouhých 20-25 %.

Výsledky šetření prokázaly významné rozdíly v potenciálu rozkladných aktivit v případě půdních substrátů z porostů různého dřevinného složení. Nejintenzivnější dekompoziční aktivity lze předpokládat v případě opadu listnatých dřevin, menší celulolytická aktivita byla prokázána v případě douglasky a nejnižší u smrku. Tyto poznatky tak lze využít do praxe pro budoucí změnu skladby dřevin porostu a navýšení zastoupení douglasky v českých lesích.

Klíčová slova: douglaska, půdní horizonty, pedochemické vlastnosti, dekompozice celulózy, skladba dřevin

Cellulose Decomposition Potential in Humus Forms of Norway Spruce and Douglas-fir

Summary

The bachelor's thesis evaluates the difference in the potential of cellulose decomposition in contact with substrates of waste and mineral soil under individual types of trees, i.e. a deciduous stand dominated by linden and oak, spruce, and Douglas-fir, with an assessment of the effect on the pedochemical properties of the soil. The examined samples were taken on the territory of the Kostelec and Černými lesy school forest enterprise. Two soil layers were taken, the upper humic horizon (F+H) and the lower organic-mineral horizon (Ah). A total of 6 samples for each wood species (3 Ah samples; 3 F+H samples) were stored in resealable boxes, with 10 cm long strips of filter paper as cellulose source divided into 1 cm squares in each box. At regular intervals (usually 2 weeks), the continuous state of coloring (inoculation) and decomposition of individual squares was checked.

From the point of view of the color progression, the individual wood species did not differ significantly, but from the point of view of decomposition, the differences were much more striking. As expected, the course of decomposition was the fastest in hardwoods, followed by Douglas-firs, and the slowest progressing decomposition activities from the spruce stand. When comparing the two monitored conifers, the pedobiological activity was statistically significantly higher in the soils of the Douglas-fir stand in the spruce during the monitored period. Thus, the process of decomposition in the Douglas-fir started earlier and 70-80 % of the strips spread across the horizons, while in the spruce it was only 20-25 %.

The results of the investigation showed significant differences in the potential of decomposition activities in the case of soil substrates from stands of different woody composition. The most intensive decomposition activities can be assumed in the case of deciduous trees, less cellulolytic activity was demonstrated in the case of Douglas-fir and the lowest in spruce. These findings can thus be used in practice for future changes in the composition of tree species and increasing the representation of Douglas-fir in Czech forests.

Keywords: Douglas-fir, soil horizons, pedochemical properties, cellulose decomposition, composition of tree species

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíl práce	12
3. Literární rešerše	13
3.1 Půda	13
3.1.1 Charakter a vznik lesních půd.....	13
3.1.2 Mikrobiologická aktivita půd.....	18
3.1.3 Meliorace a meliorační opatření.....	20
3.2 Smrk ztepilý - <i>Picea abies</i> (L).....	22
3.2.1 Lesnický význam.....	22
3.2.2 Vliv na lesní půdy.....	27
3.3 Douglaska tisolistá – <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	29
3.3.1 Lesnický význam.....	29
3.3.2 Vliv na lesní půdy.....	33
4. Metodika.....	37
4.1 Popis oblasti a lokalizace.....	37
4.2 Odběr vzorků a založení pokusu	38
4.3 Vyhodnocení pokusu	41
5. Výsledky	42
5.1 Změřené hodnoty dřevin	42
5.1.1 Zbarvení horizontů F+H a Ah.....	42
5.1.2 Rozklad horizontů F+H a Ah.....	44
5.1.3 Vyhodnocení rozdílů mezi dřevinami statistickou metodou.....	46
5.2 Vyhodnocení výsledků	50
6. Diskuse.....	51
7. Závěr	56
8. Literatura.....	57

Seznam tabulek, grafů a obrázků

Tabulka 1: Průměrné hodnoty zbarvení vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Tabulka 2: Průměrné hodnoty zbarvení vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Tabulka 3: Průměrné hodnoty rozkladu vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Tabulka 4: Průměrné hodnoty rozkladu vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Tabulka 5: Statistické výpočty hodnot (v procentech) zbarvení v humusovém horizontu F+H

Tabulka 6: Statistické výpočty hodnot (v procentech) zbarvení v organicko-minerálním horizontu Ah

Tabulka 7: Statistické výpočty hodnot (v procentech) rozkladu v humusovém horizontu F+H

Tabulka 8: Statistické výpočty hodnot (v procentech) rozkladu v organicko-minerálním horizontu Ah

Tabulka 9: Pedochemická analýza výsledků v listnatém, smrkovém a douglaskovém porostu na lokalitě Točna (PODRÁZSKÝ, NEPUBLIKOVÁNO)

Graf 1: Vývoj zbarvení vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H pod

Graf 2: Vývoj zbarvení vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah pod douglaskou, smrkem a listnáči

Graf 3: Vývoj rozkladu vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H pod douglaskou, smrkem a listnáči

Graf 4: Vývoj rozkladu vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah pod douglaskou, smrkem a listnáči

Obrázek 1: Mapa množství a velikosti narušení půd acidifikací a nutriční degradací (HRUŠKA et al., 2020)

Obrázek 2: Mapové znázornění vhodnosti a nevhodnosti pěstování smrkových porostů v období předpokládaných klimatických změn (ČERMÁK et al., 2017).

Obrázek 3: Lokalita odběru vzorků v katastru Kostelec nad Černými lesy (zdroj: MAPY.CZ).

Obrázek 4: Porostní mapa výzkumných ploch (zdroj: LHP pro odpovídající LHC).

Obrázek 5: Stav nově založeného pokusu po prvním orosení vodou (spodní řada – listnáče, prostřední řada – douglaska, horní řada – smrk), (vlevo – humusový horizont F+H, vpravo – organicko-minerální horizont Ah).

Obrázek 6: Stav humusového horizontu F+H při posledním měření (uspořádání dřevin je stejné jako obr. 5)

Obrázek 7: Stav organicko-minerálního horizontu Ah při posledním měření (uspořádání je stejné jako obr. 5)

1. Úvod

Různé dřeviny mají různé vlivy na půdu. Přičemž od stavu půd se odvíjí všechn růst ekosystému, a i následná dekompozice a transformace organického materiálu v půdách. V průběhu minulého století až k jeho konci byly půdy silně zatíženy imisemi kyselých dešťů, a s tím spojená kompozice síry a dusíku, jež odplavily prvky, které pomáhaly zadržovat vodu v půdě. Tím byla ovlivněna veškerá mikrobiologická aktivita dekompozice organického materiálu. Nyní už se stav půd postupně zlepšuje, byť to není nijak závratná rychlost. Lepší stav půd je navíc na mnoha lokalitách spojen s chemickou meliorací vápnění, potažmo meliorací biologickou (PECHÁČEK et al., 2023).

Lesní ekosystémy střední Evropy očekávají problematické období vlivem poměrně rychle nastupující klimatické změny a dále vlivem biotických i abiotických činitelů (vítr, sucho, sníh). Nejhuř jsou takto zasaženy primárně porosty smrku ztepilého (*Picea abies* (L.)) rostoucí na, pro ně, nepůvodních stanovištích nacházejících se mimo jejich původní horské a podhorské stanoviště, tj. 7.- 8. lesní vegetační stupeň (LVS). Vede se jim dobře i v níže položených oblastech jako je 5. a 6. LVS, kde mají též svá přirozená stanoviště, nicméně v nižších LVS (1.- 4.) jsou smrkové porosty, v důsledku sucha a nyní už ustupující kůrovcové kalamity, postupně odtěžovány a nahrazovány porosty smíšenými či listnatými. Tento postupný ústup rozšíření smrku ztepilého v nižších LVS vytváří otázku, zdali za něj existuje vhodná náhrada v ohledu rychlosti růstu, podobném objemu produkce a hlavně, jestli je tato dřevina odolná vůči již zmíněným abiotickým činitelům (NICOLESCU et al., 2023).

V současné době se tak hodně mluví o douglasce tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), která je na evropské půdě svými vlastnostmi mnohem odolnější vůči abiotickým činitelům, jako je sucho a pak hlavně vítr. Vůči biotickým činitelům jsou zaznamenány škody způsobené houbovými chorobami, ze strany domácích hmyzích škůdců nejsou zaznamenány žádné významné škody. V její prospěch hraje i její ekologická náročnost, resp. nenáročnost na mnoha stanovištích. Následná podpora sázení douglasky v českých lesích, tak může podpořit jejich stabilitu a též navýšit produkci objemu dřeva, ale též může negativně ovlivnit chemické vlastnosti stanoviště, což je v současnosti podrobeno mnohým výzkumům. (SPIECKER et al., 2019). Je proto velice důležité zabývat se možnými negativními, ale i pozitivními vlivy dané dřeviny na stav a dynamiku lesních půd.

2. Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení rozdílů celulólytická aktivity humusových forem tvořené opadem douglasky tisolisté a smrku ztepilého. Výzkum se zaměřuje na nadložní humus (F+H) a organominerální horizont (Ah). Z těchto půdních vrstev se odeberou reprezentativní vzorky porostních skupin s podobnými stanovištními podmínkami. Výsledkem má být posouzení schopnosti mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se z části na rozkladném procesu v opadu jednotlivých dřevin.

3. Literární rešerše

3.1 Půda

3.1.1 Charakter a vznik lesních půd

Význam lesních půd bývá občas přehlížen, a to i přesto, že představují jednu z nejdůležitějších složek lesního ekosystému. Základními faktory, které mají zásadní vliv na způsob formace lesních společenstev na rozdílných stanovištích, jsou půda a klima. Dále má zásadní význam i organická část, tedy primárně část rostlinná a sekundárně živočišná. Tyto části dokáží pozitivně, ale i negativně ovlivňovat celý ekosystém (FISHER, BINKLEY 2019). Vytvářejí tak celou soustavu abiotických a biotických faktorů, jež mohou ovlivňovat celý její ekosystém, hlavně rostlinnou část, a to jak negativně, tak i pozitivně (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014). Lesní půda, se oproti půdě zemědělské, vyznačuje větší absorpcí dešťových srážek, nicméně vždy záleží na jejich stavu, jelikož poškozené půdy mají vždy horší sorpci než půdy zdravé. Rovněž snižují riziko eroze, i v rámci pomalejšího odtoku vody z krajiny. Stejně tak záleží na vrstvě nadložního humusu tvořeného z opadu jehličnatých, smíšených či listnatých porostů (NĚMEC 2009).

Půdy mohou obsahovat značné množství toxických, potažmo rizikových prvků (např.: Cd, Cu, Hg či Pb a mnoho dalších). Tyto prvky přichází nejčastěji s lidskou činností (ROTTER et al., 2013). To se ostatně ukázalo hlavně při kyselých deštích, vzniklých v těžce industrializované části severozápadních Čech, v oblastech Krušných hor a Ostravska, jež byly zasaženy nejvíce (VAŠÁT et al., 2015). Dále byly zasaženy hory Orlické a Jizerské, Jeseníky a mnoho dalších pohoří (ŠRÁMEK et al., 2014 b) a kromě toho i středně a níže položené oblasti České republiky (obr. 1) (PECHÁČEK et al., 2023). Vznikla tak oblast nazývaná jako Černý trojúhelník s tím, že byly zasaženy ještě hraniční oblasti Polska a Německa (HŮNOVÁ et al., 2022). Celkově tak bylo zasaženo více než 100 000 ha lesů (ŠRÁMEK et al., 2014 b), převážně vysokohorských a horských poloh, kde je vysoká míra dešťových srážek a nízká nasycenost bazickými kationty, což má za následek zvýšenou citlivost na změny pH, díky snížené pufrací kapacitě půd (NOVOTNÝ et al., 2020). V souvislosti s lidskou činností a industrializací se postupně změnila zátěž antropogenních faktorů na růst rostlinných organismů. Byly rapidně zvýšeny koncentrace sloučenin síry a fluoru v ovzduší, což pak mělo za následek uměle vzniklou acidifikaci a z toho následně plynoucí rozvrat celých smrkových porostů na území Krušných hor (SLODIČÁK 2014; ŠRÁMEK et al., 2014b; VAŠÁT et al., 2015; NOVOTNÝ et al., 2020). Díky kyselým deštům se tak do půdy dostalo velké množství kyseliny sírové (H_2SO_4) a dusičné (HNO_3) (HRUŠKA,

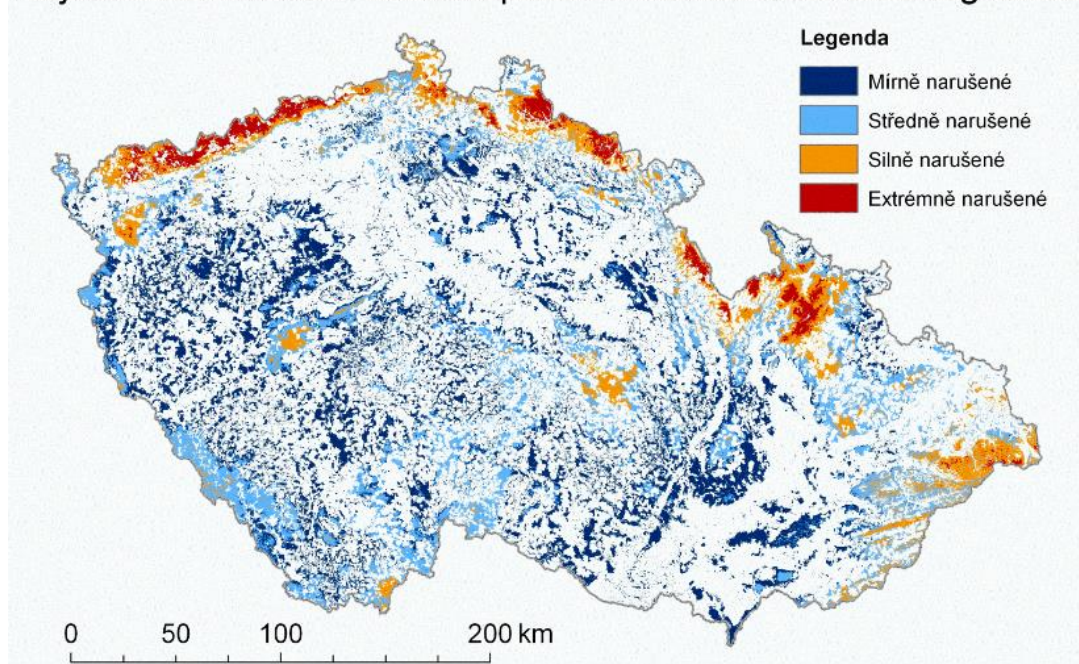
KOPÁČEK 2009) a došlo k velkému nárůstu toxicity hliníku (Al) (BORŮVKA et al., 2009). Tyto a další toxické prvky, jež často působí společně s jinými stresovými faktory (viz. acidifikace), mohou v extrémních případech snížit celkovou produkci lesů či jejich obranyschopnost, nebo úplně změnit porostní skladbu. Posléze dochází k hromadění surového humusu, který se v absenci bazických kationtů nedokáže rychle rozkládat (ROTTER et al., 2013; FIALA et al., 2017).

Na celém území České republiky se velká většina půd (cca 75 %), co se týče nadložního humusu a dále organického minerálu do 20 cm hloubky, nacházela ve středně až silně kyselé kategorii (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014), přičemž pokles pH byl zjištěn i v nižších B a C horizontech. Stav půd tak jde na ruku jehličnatým porostům (PECHÁČEK et al., 2023). Kvůli tomuto enormnímu nárůstu množství půdní acidity bude proces půdní regenerace trvat přinejmenším dlouhé desítky let (HRUŠKA et al., 2020) s tím, že se hodnota pH od poloviny 20. století snížila o celý jeden stupeň pH a zpětný návrat k původním hodnotám se zvýšil o pouhých pár desetin stupně a nyní začíná spíše stagnovat na svých prozatímních hodnotách (PECHÁČEK et al., 2023). Prim ve zvyšování hodnoty pH hrají bazické kationty, tj. vápník (Ca), hořčík (Mg), dále i draslík (K) a sodík (Na). Ty však byly v důsledku kyselých dešťů nevratně odplaveny do podzemních vod (ŠRÁMEK et al., 2014 b; HRUŠKA et al., 2020). S přibývajícím hloubkou se množství bazických kationtů navyšovalo (do 80 cm) (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014). Zároveň se ale navyšovalo množství N v půdách, který je sice jejich přirozenou složkou, ale při vyšších mírách dochází k vyšší eutrofizaci oblastí a zároveň je tím celá acidifikace značně urychlená (ŠRÁMEK et al., 2014 b). Ze studie zahrnující stav půd celé České republiky bylo určeno, že půdy se obecně dle trendu navracely zpět do svých původních hodnot pH před okyselením, napříč půdními horizonty. Nicméně v polohách nad 700 m n. m. se tyto hodnoty dokonce snížily zpět k hodnotám z 90. let (PECHÁČEK et al., 2023). Při sledování změny obsahu půdních prvků v Krušných horách u Moldavy se v průběhu 30. let začalo pomalu navyšovat půdní pH. Množství SO₂ a dusíku (N) se začíná postupně snižovat. Díky tomu se snižuje i množství Ca a Mg, jelikož tyto prvky vyplouvají z půd. Do budoucna tak bude množství Ca na lokalitě nedostatkové (LOCHMAN et al., 2008) a to nejenom na imisních lokalitách. V případě Mg je deficit lokalizován v mnohem menších oblastech v souvislosti se zhoršenou obranyschopností porostů, jinak je jeho množství obecně dostačující. Stejně platí i pro draslík (ŠRÁMEK et al., 2014 b). Nicméně situace prozatím vypadá tak, že již zmíněné Krušné hory budou pod vlivem acidifikace ještě dlouhou dobu (HRUŠKA et al., 2020). I v jiných oblastech, jako třeba v Orlických horách, též výrazně zasažené imisemi, je stále vysoká koncentrace sloučenin dusíku v půdě, byť se celková koncentrace dlouhodobě snižuje a snížila se tak i defoliace

smrkových porostů, i nadále dochází k okyselování půdy v důsledku již zmíněných nízkých hodnot bazických kationtů. Zvýšené koncentrace dusíku pak mohou kromě okyselování půdy způsobovat škody na dřevě formou zhoršených technických a mechanických vlastností, popřípadě vyšší náchylnost k poškození mrazem (NOVOTNÝ et al., 2020). Do jisté míry svou depozicí působí negativně i na rozmanitost bylinného a keřového patra porostů (DE VRIES et al., 2014). V České republice se zkoumala míra depozice dusíku a síry v průběhu let 1995-2019 a závěry byly shodné ve společném snižování množství prvků uloženého v půdách, avšak oba se snižovaly rozdílným množstvím. V případě síry se jedná o pokles v rozmezí 2 až 20 g/m² /rok na nejzatíženějších lokalitách Krušných hor, jinak se hodnoty pohybují okolo 0,5 – 2 g/m² /rok. U dusíku je pokles mnohem méně výrazný, jelikož nejzatíženější oblasti zaznamenali pokles do 3 g/m²/rok, jinak se běžné hodnoty poklesu pohybovaly okolo 0,1 – 1 g/m²/rok, a i přes mírný pokles je depozice dusíkem stále na vysoké úrovni (HŮNOVÁ et al., 2022).

Míra odolnosti vůči kyselým dešťům je tak přímo úměrná lokalitě a podloží půdy. Jiná míra odolnosti je v půdách horských s kyselým podložím (křemenec, žula), jež jsou sami o sobě o dost kyselejší, než v půdách (ultra)bazických (vápenec, serpentinit) (DE VRIES et al., 2000; HRUŠKA et al., 2020). Okyselováním půdy je ovlivňován i obsah a přístupnost hliníku, jež je běžnou součástí půd (BORŮVKA et al., 2009), ale při sníženém pH může toxicky ovlivňovat jemné citlivé kořeny rostlin (ALEWELL et al., 2001; FIALA et al., 2017), což platí i v případech jiných toxických kovů (ROTTER et al., 2013). Množství uvolněné toxicity je různé v závislosti na nadmořské výšce, ale obecně způsobuje inhibici kořenů a ovlivňuje příjem vody. Stejně tak může způsobit depleci prvků z buněčného povrchu (BORŮVKA et al., 2009; ROTTER et al., 2013).

Rajonizace ohrožení lesních půd acidifikací a nutriční degradací



Obrázek 1: Mapa množství a velikosti narušení půd acidifikací a nutriční degradací (HRUŠKA et al., 2020)

Půdy tak mají do určité míry svou vlastní přirozenou obranu vůči kyselým dešťům, a tedy zvětrávání minerálů matečné horniny. Další možností, jak snížit půdní znečištění je: snížení kyselých depozic dusíku, obnova porostů cílových dřevin se zvýšeným podílem listnatých dřevin, podpora porostů stávajících pro zvýšení množství živin pro pozdější porosty nebo omezení vývozu biomasy, hlavně nehroubí z porostů (LOCHMAN et al., 2008; PECHÁČEK et al., 2023), jež dokáže vyjmout z koloběhu živin velké množství bazických kationtů (HRUŠKA et al., 2020; ŠRÁMEK et al., 2021). Z hlediska udržitelnosti je třeba zajistit takové hospodaření v lesích, které nebude mít za následek ztráty takového množství živin, jež by se v případě smrkové biomasy rovnalo přinejmenším ekvivalentu vyšších stovek kilogramů až 1,5 tuny. Do toho se může zařadit jiná forma těžby, a tedy hroubí bez kůry, což ale zároveň bude technicky, časově a finančně náročnější oproti běžné těžbě hroubí s kůrou (ŠRÁMEK et al., 2021).

Další přirozeným obranným mechanismem jsou tzv. bioakumulátory, tedy živé organismy (rostliny a houby), jež v sobě zadržují těžké kovy. Příkladově nadměrně velké množství kadmia (Cd) nebo rtuti (Hg) bylo zachyceno v hřibovitých houbách. Toto množství bylo velké natolik, že mohlo zdravotně ohrozit potenciální konzumenty (UHLÍŘOVÁ, HELLEBRANDOVÁ 2007).

Protipatření, tedy forma obrany vůči acidifikaci, je chemická meliorace, hnojení a vápnění, což bylo prováděno letecky a v minulosti často používáno (ŠRÁMEK et al.,

2014 a). S postupným odsiřováním se snížilo velké množství emisí SO₂, stejně tak se snížilo značné množství oxidů dusíku. Oba tyto zdroje emisí tak dnes poškozují, zatím pouze malé území Česka, v okolí silnic a velkých průmyslových aglomerací (ŠRÁMEK et al., 2007).

Třetím významným, byť sekundárním, imisním a silně fyto toxickým plynem je paradoxně ozon (O₃). Jeho problematika je mnohem komplexnější, než se zdá. Negativní vlivy jsou ve své podstatě dva. První je při úbytku ozonu ve stratosféře a vzniku ozonové díry. Druhý pak při nárůstu množství ozonu v troposféře, jež vzniká nepřímo při ozařování oxidů dusíku slunečním ultrafialovým (UV) zářením za přítomnosti těkavých látek a je umocňováno klimatickou změnou (SVOBODA 2007; NOVOTNÝ et al., 2020). Působnost UV záření je trochu paradoxní. Jedná se konkrétně o část záření známé jako UV-B záření, jež je nejškodlivější, a které je důležité pro tvorbu troposférického ozonu, ale je též důležité pro odstranění znečišťujících látek z ovzduší (MADRONICH et al., 2023). Negativní vliv ztenčené ozonové vrstvy, potažmo ozonové díry, jež ovlivňuje kvalitu ovzduší a následné chemické složení troposféry, je vědecky dostatečně známé, nicméně u troposférického ozonu není ani přes velké množství prací přesně určen způsob vlivu a z toho plynoucí rizika poškození. Respektive, že se výsledky prací od sebe dost často odlišují. Ví se, že působí na rostliny formou stresu. Ten ale v důsledku absence reziduí nelze jednoduše rozpoznat od jiných "běžných" oxidačních stresů (SVOBODA 2007; ŠRÁMEK et al., 2007; NOVOTNÝ et al., 2010; SLODIČÁK 2014; NOVOTNÝ et al., 2020). Vysoká koncentrace ozonu tak má vliv na vitalitu živočišných a rostlinných společenstev (SACCHELLI et al., 2021). Stromy se, za předpokladu dostatečných srážek, v takových podmínkách dokážou svou přirozenou detoxikační schopností účinně bránit, nicméně při koncentraci vyšší, než jsou stromy schopny odolat, dochází k poškození asimilačního orgánu, a to buď změnou barvy, červená až hnědá, nebo výskytem nekrot, jež se postupem času rozšířily i do zbytku listů. U jehličnanů je změna barvy projevena světle zelenožlutými skvrnami. Tyto skvrny nejsou ostře ohraničené, protože to by jinak znamenalo, že původ skvrny je způsoben hmyzím škůdcem nebo houbou (UHLÍŘOVÁ, KAPITOLA 2004; ŠRÁMEK et al., 2007). Dochází tak ke snížení celkové produkce biomasy, asimilační plochy, sníženému růstu kořenů a výškovému přírůstu. Obecně listnaté dřeviny snášejí vliv ozonu hůře, než dřeviny jehličnaté (ŠRÁMEK et al., 2007). Avšak určování příznaků je obtížné, jelikož nejsou často tolik intenzivní a často vznikají v součinnosti s abiotickými a biotickými činiteli. Právě v důsledku popsaných událostí je těžké stanovit jednu metodu na posuzování všech hodnocených oblastí. K vyhodnocování míry poškození tak má sloužit kromě indexů i evidence příznaků (NOVOTNÝ et al., 2010).

3.1.2 Mikrobiologická aktivita půd

Mikrobiologická aktivita půd se odvíjí od zdravotního stavu půd (KALČÍK 2001). Vysoká mikrobiologická aktivita je zaznamenána v hlinitých a hlinitopísčitých kambizemích, dále i v půdách živných s dostačující vlhkostí (JANKOVSKÝ 2014). Půdy znečištěné toxickými těžkými kovy nebo zasažené acidifikací z kyselých dešťů a smrkového opadu jehličí, mají pomalejší rozkladný proces než půdy zdravé. O vlivu acidifikace na půdy jsem psal již v kapitole 3.3.1. Půdy zasažené acidifikací mají slabší dekompozici celulolytického materiálu v humusové vrstvě, přičemž tento slabší rozklad dále okyseluje půdu (ŠRÁMEK et al., 2014). Na těchto plochách dále dochází k hromadění opadu, což následně narušuje koloběh živin (KALČÍK 2001). Ve smrkových porostech byly naměřeny vyšší aktuální koncentrace uhlíku a dusíku, zatímco mikrobiologická aktivita zde byla menší. Naopak bukové porosty měly aktuální koncentraci živin nižší ale mikrobiologická aktivita byla větší (FIALA et al., 2015). Společně s acidifikací se objevuje i kontaminace těžkými kovy. Dochází tak k rozpouštění hliníku, díky kterému se do půdy uvolňuje vyšší míra toxicity, čímž je negativně ovlivněna celá mikrobiologická aktivita půd (HRUŠKA et al., 2020). Půdní narušení toxickými kovy se však dá neutralizovat vápněním. Při zkoumání vývoje mikrobiálních společenstev po kontaminaci těžkými kovy, se došlo k závěru, že tyto půdy měly nižší zastoupení mykorrhizní společenstev a už neplnily svou funkci půdních rozkladných aktivit (FREY et al., 2006). Mykorrhizní činnost napomáhá snižovat objem toxických kovů jako třeba rtuti (Hg) nebo kadmia (Cd). Působí částečně jako ochranná funkce bylin či dřevin proti vstupu těžkých kovů, v případě její absence může dojít ke snížení obranyschopnosti dřevin nebo bylin (UHLÍŘOVÁ, HELLEBRANDOVÁ 2007). Nicméně se ukázalo, že v půdách nekontaminované těžkými kovy se vyskytovaly téměř jen grampozitivní bakterie, zatímco v kontaminovaných půdách dominovaly gramnegativní bakterie rodu *Pseudomonas*, a to i několik desítek let po konci půdní kontaminace (FREY et al., 2006).

Pro zdravou mikrobiální aktivitu je důležitý výskyt řady chemických prvků, jako je dusík, vápník, fosfor, atd. Obecně se udává, že v půdě je obsaženo cca 0,1 % fosforu, který má, ze všech hlavních prvků, nejnižší koncentraci. Do půdy se dostává buď dekompozicí organického materiálu, mateční horniny nebo z málo rozpustných minerálů (KALČÍK 2001). Na fosfor se dále váže jen menší míra půdních mikroorganismů, jako jsou společenstva bakterií a půdních hub, nebo mikrofauna a mezofauna (prvoci, háďátka apod.). Přesto tvoří významnou část v rámci rozkladu půdní organické hmoty. Mineralizace fosforu je proto velmi důležitá v lesních půdách z hlediska produkce (KALČÍK 2001), výživy rostlin a zachování přirozeného koloběhu fosforu (REJŠEK 2003).

Důležitou součástí procesu dekompozice je rozklad dřevní hmoty (celulózy) lignolytickými druhy hub. Jedná se o přirozenou součást lesních ekosystémů, díky čemuž může být pozitivně ovlivněna následující přirozená obnova lesa ve formě humifikace tlejícího dřeva a následné vytvoření lepších podmínek pro růst semenáčků v substrátu rozkládajících se dřevin. Avšak mnohé z těchto druhů mohou také způsobit značné ekonomické škody na rostoucích porostech a nakonec vést k jejich úplnému rozpadu. Nejčastěji tak jsou zmiňovány dřevokazné hniloby, přičemž mezi konkrétními druhy je nejčastěji zmíněna václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Tyto druhy účinně rozkládají primárně podzemní kořenovou, a poté i nadzemní pařezovou část dřeva (JANKOVSKÝ 1999; JANKOVSKÝ 2014). Z tlejícího dřeva se do půdy uvolňuje především uhlík, zatímco přítomnost jiných prvků, jako organický dusík, je minimální (JANKOVSKÝ 1999). Dusík je, společně s jinými prvky, velmi důležitý pro správnou funkci dekompozice (SAMEC et al., 2011).

Mikrobiologická půdní aktivita se mění v závislosti na lesním vegetačním stupni (LVS), půdním stanovišti (FIALA et al., 2015), ale i díky probíhající klimatické změně, která může v důsledku vyšších teplot urychlit proces dekompozice organické hmoty (KULHAVÝ 2002). Avšak urychlení procesu dekompozice by nemělo představovat drastickou změnu v rychlosti nebo objemu rozkladu organického materiálu. Dochází ke změnám v koloběhu živin a poměrech ekosystému, které jsou ovlivněny i vodním režimem. V České republice je mikrobiologická aktivita v LVS závislá na dvou faktorech. V nižších polohách je rozkladný proces ovlivněn vlhkostí půdy, která je v mnohých zapojených porostech nedostačující. Naproti tomu ve vyšších polohách je proces rozkladu závislý na teplotě (KLIMO et al., 2002).

Pokud by došlo ke zvýšení průměrné teploty o 1,2 °C, což by mělo vést k navýšení mikrobiologické aktivity a zrychlení půdní dekompozice. To by mělo zvýšit celkové množství půdního opadu a koncentraci CO₂ v půdě, což může mít vliv na vitalitu půdní fauny a flóry. Zároveň by mělo dojít k navýšení koncentrace řady minerálních prvků v koloběhu živin. Může se tak stát, že na stanovištích chudých na dusík dojde k prohloubení deficitu dusíku, a tím pádem i ke zpomalení procesu dekompozice celulózy. Naopak na stanovištích živných může dojít ke zrychlení růstu rostlin, jelikož proces dekompozice celulózy zde bude rychlejší (KULHAVÝ 2002). Zmíněná pomalejší dekompozice nadložního humusu má často za následek snížení produkce dřeva v důsledku blokace jiných půdních prvků v humusové vrstvě, čímž se snižuje i celkové množství, ve dřevě uloženého, CO₂. Stejně tak dochází ke zhoršení minerální výživy porostů. Při hypotetické zásobě surového humusu 150 t/ha může být do ovzduší uvolněno, v důsledku rychlejší dekompozice, asi 75 – 90 t CO₂, zatímco pouze malá část, z celkového uvolněného množství CO₂, by se vsákla do minerální

vrstvy půdy. Úbytek nadložního humusu by neměl představovat velký problém. S výjimkou balvanitých stanovišť s nižší vrstvou půdy, na kterých může dojít k odnosu humusu, a tudíž i k odkryvu kořenů stromů (KLIMO et al 2002).

3.1.3 Meliorace a meliorační opatření

Meliorační opatření se skládá z několika typů, kdy základní dělení by se dalo rozdělit na melioraci chemickou, technickou a biologickou.

Meliorace chemická spočívá především v přihnojování vysazených sazenic, porostů a lesních půd, jež vyplývá od zákona č. 156/1998 Sb., *O hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*, který vymezuje, v jakých lokalitách lze přihnojování provádět. Tuto problematiku hnojení má na starost Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Dle zákona se chemická meliorace provádí v imisních oblastech. Zároveň probíhaly pokusy na zamokřených půdách (BALÁŠ et al., 2018). V průběhu 20. století se vápnění porostů začalo postupně využívat ve větším měřítku, a to od revitalizace živinově chudých stanovišť (degradované, s pomalým rozkladem) až po zmírnění následků acidifikace způsobené kyselými dešti (ŠRÁMEK et al., 2014 a). Došlo tak k poklesu koncentrace oxidu siřičitého, včetně sloučenin síry a fluoru, v důsledku využití meliorací (NOVOTNÝ et al., 2020). Samotné intenzivní vápnění půd začalo ke konci 60. let a pokračovalo až do začátku 90. let, kdy skončilo a dohromady tak bylo povápněno více než 80 000 ha, a to především letecky, přes letouny a vrtulníky (ŠRÁMEK et al., 2014 a). Vápnění probíhalo i poté, ačkoliv už v mnohem menším měřítku. Od roku 1999 roku 2012 bylo takto vápněno přes 50 000 ha lesa, a to pouze na nejexponovanějších lokalitách ČR. Sousední spolková země, Sasko, takto vápnila přes 160 000 ha. Ve srovnání s množstvím u nás je rozsah vápněných hektarů mnohem vyšší. V roce 2001 proběhl na západě Krušných hor výzkum o vlivu vápnění na plochy, kde bylo zaznamenáno navýšení množství bazických kationtů ve svrchní humusové vrstvě a v menším množství i v horizontu organickominerálním, pravděpodobně kvůli slabému průniku z humusu. To se potvrdilo i u obsahu Mg a Ca ve smrkovém jehličí, kde nebyl, oproti předešlým rokům, zjištěn deficit (ŠRÁMEK et al., 2006). Obecně se udává, že ve smrkovém jehličí je obsahově nejvíce N a P. Oproti tomu bazické kationty jsou zastoupeny v nižším množství, avšak ty jsou významně zastoupeny v kůře stromů (ŠRÁMEK et al., 2021). Naměřená hodnota z lokality obsahu P byla naopak snížena, též klesl i obsah Al (ŠRÁMEK et al., 2006). S tím souvisí i nižší ohrožení porostů Al a Mn. Po 10 letech od vápnění na jiných částech Krušných hor byl naměřen mnohem větší obsah Ca a Mg napříč půdními horizonty, což se projevilo i v obsahu zmíněných prvků v jehličí, avšak objem

nadložního humusu nebyl přes přítomnost bazických kationtů nižší. Naopak byl zaznamenán nižší obsah K (FIALA et al., 2017). Celkové množství látek, potažmo humusu, je opět závislé na nadmořské výšce lokality (ŠRÁMEK et al., 2021). Jiná lokalita (oblast severní Moravy a Slezska), jež byla charakterizována smrkovými porosty v rozmezí 3. - 5. LVS ukázala, že ani přes vápnění nejsou tyto porosty schopny přežít vůči nastupujícím klimatickým změnám (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014). Očekává se tak, že se bude vápnit i v budoucnu, za předpokladu změny metodiky (ŠRÁMEK 2005; ŠRÁMEK et al., 2014 a). Skrz dodané živiny deficitních prvků se tak porosty mohou zregenerovat, a tak i zvýšit svou odolnost vůči stresovým faktorům. Není však plně znám rozsah případné reakce biotických činitelů (*Armillaria sp.*) na vápnění (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014).

Meliorace biologická je spojená s příznivými vlivy lesních dřevin, nebo rostlin na stav lesních půd, primárně díky příznivému složení a transformaci jejich opadu. Tyto dřeviny spadají do kategorie melioračně zpevňujících dřevin (MZD). Tato skupina dřevin ovlivňuje své okolí snižováním degradace lesních půd díky rozkladu opadaného organického materiálu (BALÁŠ et al., 2010). Pro správné využití melioračních efektů jednotlivých dřevin je důležité hledět na jejich početní zastoupení, a také na texturální a strukturální rozmístění v lesních ekosystémech. Jejich pozitivní vliv je vnímám hlavně ve smyslu postupného zlepšování kvality lesních půd, hlavně svým opadem, který obsahuje vyšší koncentrace bazických prvků. Samotné vrstvy opadu jsou u listnatých dřevin, oproti jehličnanům, zpravidla menší. Zpravidla se vrstva opadu listnáčů pohybuje v rozmezí 20-25 t. ha⁻¹. Tento údaj byl potvrzen i v této práci, v **Tabulce 9**, kde vrstva nadložního humusu dosáhla hodnoty 23,76 t. ha⁻¹. U určitých dřevin, jako je lípa srdčitá (*Tilia cordata* (Mill.)), habr obecný (*Carpinus betulus* (L.)) nebo javor (*Acer sp.*) dochází k tomu, že jejich opad se dokáže, buď plně nebo aspoň z velké části, rozložit během jednoho roku. Zároveň tyto dřeviny patří mezi druhy, které svými vlastnostmi okyselují půdu nejméně (BALÁŠ et al., 2007). Svrchní vrstva půdy je více obohacována především dusíkatými látkami, což zároveň napomáhá lepší mikrobiologické aktivitě, díky které dochází u nadložního humusu k rychlejšímu procesu dekompozice. To uvolňuje do půdních horizontů větší množství živin, respektive půdních prvků, kterých stromy využijí ve formě většího přírůstu a lepšího zdravotního stavu porostů (ŠINDELÁŘ et al., 2007; BALÁŠ et al., 2007). Jejich růstem je tak podpořena větší diverzita organismů a mikroklimatu. Kořenové systémy těchto dřevin zlepšují fyzikální vlastnosti půd, jelikož jsou hluboké a hustě větvené, díky čemuž snižují riziko vývratu, především na zamokřených lokalitách a snižují i potenciální erozi na březích toků. Dále těmito dřevinám umožňují dostat se pro živiny nebo k podzemní vodě nacházející se ve větších hloubkách. MZD se často používají i do porostních pláštů,

kde chrání jiné dřeviny před nárazy bořivých větrů (BALÁŠ et al., 2010). Některé dřeviny jsou z pohledu melioračně zpevňujícího zvláště účinné. Jedná se o dřeviny jako lípa, habr nebo buk, které svým růstem vytvářejí vhodné porostní klima tím, že je pod nimi, kvůli většímu obsahu dusíku v opadu, velmi rychlý proces dekompozice. Dále zvyšují celkovou objemovou produkci a zlepšují její kvalitu. MZD jsou tak díky těmto mnohým pozitivním vlastnostem přidávány ve směsi do porostu k hlavním dřevinám, za účelem zvýšení biodiverzity, a to jak druhové, ve smyslu nových živočišných a rostlinných druhů vyskytujících se v podrostu, tak i ekologické, ve smyslu již zmíněné lepší struktury a textury lesních ekosystémů. Lesní ekosystémy s větší diverzitou jsou posléze mnohem více stabilní, než porosty s nízkou diverzitou (ŠINDELÁŘ et al., 2007). U jehličnatých dřevin mezi MZD patří jedle bělokorá, douglaska tisolistá a v horských oblastech smrk ztepilý. Jedle bělokorá a douglaska tisolistá mají obecně podobné hodnoty živin a pH, jež jsou vyšší oproti smrku nebo borovici. Nicméně v důsledku nízkého zastoupení je jejich celkový efekt nevýznamný. Použití smrku ztepilého, jakožto MZD může být zvláštní, když svým opadem napomáhá zvyšovat acidifikaci půd, obsahuje ale relativně velké množství fosforu, díky čemuž se upřednostňuje jeho použití v horských stanovištích (BALÁŠ et al., 2010).

3.2 Smrk ztepilý - *Picea abies* (L)

3.2.1 Lesnický význam

Smrk je u nás hospodářsky nejvíce pěstovaná dřevina, což je dáno jeho velkou paletou využití. V důsledku toho je rozšířen v oblastech, kde není původní (SLODIČÁK 2014). To je dáno snahou, pokud možno maximálního hospodaření v lesích, díky čemuž byl uměle rozšířen na stanoviště mimo jeho optimální stanovištní nároky (JANKOVSKÝ 2014). Toto rozšíření se však se současnou klimatickou změnou a vlivem kůrovcové kalamity rychle mění (SLODIČÁK 2014). Smrk ztepilý trpí na řadu škodlivých činitelů. Tyto činitele lze rozdělit na abiotické, biotické a antropogenní.

Mezi abiotické škodlivé činitele se řadí řada vlivů, ale nejdůležitější jsou škody větrem, suchem a sněhem. Sucho ovlivňuje životaschopnost stromů i porostů, tj. zvýšenou citlivostí k napadení biotickými činiteli. Mezi ně náleží houbové choroby a z hmyzích škůdců pak hlavně škůdci lýka a dřeva, potažmo defoliátoři (ČERMÁK 2014; ČERMÁK et al., 2017). O to hůře na tom jsou porosty na nepůvodních lokalitách. Velkým rizikovým faktorem mohou být hlavně jarní a letní přísušky, a to především v níže položených lokalitách (ČERMÁK 2014). Sníh je významným abiotickým činitelem u mladých porostů. Při růstu na živných stanovištích, tak v důsledku většího množství živin, dochází k rychlejšímu výškovému přírůstu a díky mělkému kořenovému systému,

tak může v případě větší mokré sněhové nadílky docházet v nejhorších případech k úplnému rozvratu mladých porostů (ČERMÁK 2014; SLODIČÁK 2014).

K antropogenním faktorům lze řadit kyselé deště v imisních oblastech, a to hlavně v severozápadních Čechách. Smrkové porosty byly tak v minulosti významně zasaženy kyselými dešti, hlavně v Krušných horách, kde za „pouhých“ 20 let zmizelo až 50 % celých jehličnatých porostů. (VAŠÁT et al., 2015). Z toho nejvíc byla zasažena západní oblast Krušných hor. Vysoká míra zatížení byla způsobena i větší depozicí síry samotných smrků, jež trpěly mnohem více, než stromy listnaté (HRUŠKA, KOPÁČEK 2009).

Do biotických činitelů spadají již zmíněné houbové choroby a hmyz. K houbovým chorobám náleží velká řada druhů, kdy některé jsou méně nebezpečné, či nejsou vůbec nebezpečné vůči dřevu a některé se naopak agresivně rozšiřují a likvidují svým dosahem jednotlivé stromy nebo i celé porosty. Mezi nejznámější smrkové dřevokazné houby, jež napadají a v extrémních případech rozvracejí celé porosty, patří václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Ta je v oblasti střední Evropy řazena k nejvýznamnějším houbovým patogenům. Závažnosti problému si odborná veřejnost všimla a začala se jím vážně zabývat až v průběhu druhé poloviny 20. století. Růst této houby je velmi ovlivněn obsahem organického dusíku v půdách, jelikož jiný než organický dusík, neumí pro svůj růst zpracovat. Společně s jinými druhy kořenových hnilob se nejčastěji vyskytují právě v těch oblastech, kde smrk roste mimo svá přirozená stanoviště. Zejména tam, kde vlivem sucha trpí deficitem vody, případně pokud roste na nevhodných půdách jako oglejené půdy, kde kořenový systém v důsledku utužené půdy nemůže prostoupit do větší hloubky. To je mimo jiné skvělým stanovištěm pro dřevokaznou parazitickou houbu, kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion annosum*), jež se často vyskytuje na nově založených porostech první generace na zemědělských půdách. Václavka se na stromech projevuje snížením přírůstu, opadem ještě zelených asimilačních orgánů, nebo na sazenicích žloutnutím jehličí a poškozováním kořenového systému, pročež napadené stromy často trpí vývraty nebo rovnou odumřou. Obrana vůči václavce je složitější. Nejjednodušší a nejúčinnější je přirozená obnova porostů, to ovšem nejde všude. Proto se navrhuje využití různých pěstebních a úpravářských opatření, jako je snížení obmýtní doby na 60 let na níže položených živných stanovištích, nebo obnova přirozené skladby dřevin a přeměna z primárně smrkových lesů na lesy smíšené. Nápomocnou je i ektomykorhiza, jež zpřístupňuje vodu pro kořeny stromů ve větších hloubkách. Chemická obrana je nežádoucí hlavně díky své neefektivitě, protože ošetřované houby si vytvořily rezistenci. (JANKOVSKÝ 2014). Počátkem 70. let se ve smrkových porostech v Orlických horách objevila silná kalamita václavkou smrkovou (*Ascochyta*

abietina), kde způsobila rozsáhlé škody. Následně v 80. a 90. letech byla nacházena spíše po místně a v malém množství. Na počátku roku 2000 byla nalezena ve smrkových mlazinách a výsadbách, které byly poškozeny sněhem (SOUKUP, PEŠKOVÁ 2000) začala Orlických horách nová kalamitní vlna této houby ve smrkových porostech v rozmezí cca 780-1100 m n.m., přičemž největší škody byly zaznamenány právě ve výšce okolo 900-1100 m n.m. (NOVOTNÝ et al., 2020). Posléze byl nalezen zvýšený výskyt i v jiných pohraničních oblastech na severu republiky – Krkonoše, Hrubý Jeseník nebo Králický Sněžník (LIŠKA et al., 2001). Kromě domácího smrku ztepilého (*Picea abies*) napadá i řadu jiných druhů rodu *Picea* (např. *Picea pungens*, *P. glauca*, *P. sitchensis* a jiné) i rod *Pinus* (např. *Pinus mugo*, *P. sylvestris* či *P. nigra*) (PORTÁL eAGRI) [08.02.2024] s tím, že se zaměřuje spíše na uměle vysázené smrky než na přirozené zmlazení, a to napříč věkovými třídami. Příznaky napadení jsou vcelku charakteristické, a sice postupné osychání jehlic a odumírání letorostů, avšak zaevidovat příznaky je obtížné, jelikož pyknidy houby se objevují až další rok po napadení. Avšak někdy se nemusí objevit vůbec. Je potvrzeno, že houbová choroba se zaměřuje na stromy slabší a poškozené v důsledku abiotických činitelů (sníh, sucho, popř. imise). Svým vlivem se tak může sekundárně podílet na chřadnutí jehličnatých porostů (SOUKUP, PEŠKOVÁ 2000), přičemž tento vliv není vůbec zanedbatelný (NÁROVEC 2001).

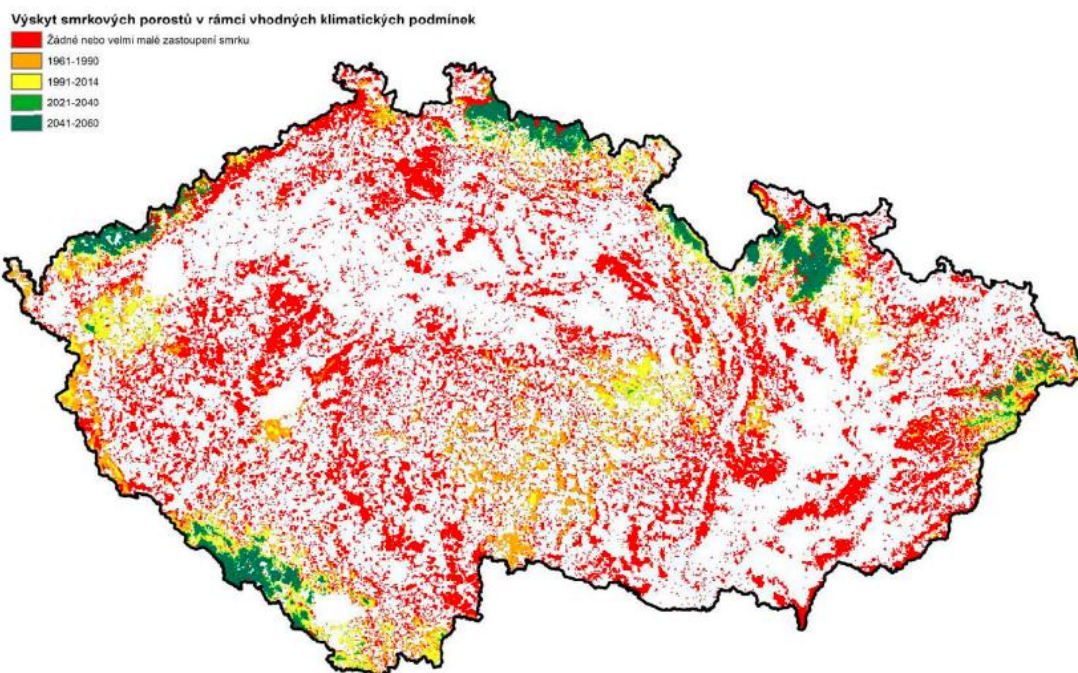
Z hlediska hmyzích škůdců jsou na smrku zastoupeni významní škůdci rodu *Ips* (*Ips duplicatus* (Sahlberg), *Ips amitinus* (Eichhoff) a *Ips typographus* (L.)), posléze ještě *Pityogenes chalcographus* (L.), ačkoliv jeho škodlivost je spíše lokální a krátkodobá (zpravidla jedna vegetační sezona). Role a podíl *Ips duplicatus* (Sahlberg) ve škodlivosti v současných lesích se dle množství chycených kusů v lapačích neustále navyšuje. Roste tak riziko velkého napadení smrkových porostů. Velkým problémem ale je, že tento škůdce ignoruje ležící lapáky a feromonové lapače ho příliš nelákají, takže nezbyvá než se spoléhat primárně na vyhledávání a odstraňování napadených stromů, které jsou ještě rozptýlené po celé ploše, než na jednom koncentrovaném místě. *Ips amitinus* (Eichhoff) pak škodí obdobně jako *Ips typographus* (L.) a i jejich místa výskytu na částech stromu jsou podobná, odlišuje se ale areál jejich výskytu, který by se měl v důsledku klimatické změny dokonce snižovat (HOLUŠA, TROMBIK 2014). Především v západní části střední Evropy, na Balkánu a v Norsku (ØKLAND et al., 2019). Obrana je též složitější oproti obraně vůči *Ips typographus*, jelikož *Ips amitinus* ve větší míře ignoruje ležící lapáky (HOLUŠA, TROMBIK 2014).

Pěstování:

Ideální podmínky růstu pro smrk ztepilý jsou perhumidní oblasti s dostatkem srážek (zpravidla 800 mm/rok a více) (ČERMÁK 2014). Avšak jako dřevina dokáže růst na různých stanovištích, tj. od stanovišť podmáčených, přes chudá či kyselá až po stanoviště exponovaná. Pro své pěstování tak má nízké půdní nároky (ŠRÁMEK et al., 2014b). Výchovné zásahy je třeba provádět od samého začátku ve velmi mladých porostech, 5-7 m porostní výšky, pro podpoření tloušťkového přírůstu a vytvoření větší statické stability (DUŠEK et al., 2019).

V blízké budoucnosti je tak více než pravděpodobné, že zastoupení smrku ztepilého (*Picea abies* (L.)) bude nejen klesat, ale zároveň se s tím bude snižovat i plocha jeho možného pěstování, a to až o desítky procent (ČERMÁK 2014; ČERMÁK et al., 2017). Zároveň se podobně mluví i o původních smrkových lokalitách, tj. lesy boreální, u kterých bude v důsledku zvyšující se teploty ustupovat severní a polární hranice lesa (ČERMÁK 2014; KOCA et al. 2006). V současné době se též mluví o synergii jednotlivých činitelů, při kterých dochází v porostech ke chřadnutí smrkových porostů (FIALA et al., 2017), jež zasahuje všechny věkové třídy bez závislosti na stanovišti či způsobu pěstování porostů (DUŠEK et al., 2019). Byla vytvořena koncepce od MANIONA (1991), který rozdělil chřadnutí do tří úrovní. První úroveň predispoziční, která představuje klimatickou změnu, imise nebo zhoršený stav vlastností půdy. Druhá úroveň spouštěcí, jež obsahuje sucho, mráz či listožravý hmyz. Poslední třetí úroveň mortalitní, vede postupně k zániku porostu a ve velkém množství zahrnuje parazitické houby (*Armillaria* sp.) a následně poté jsou napadeny podkorním hmyzem (MANION 1991). Tedy při převedení teorie do praxe jsou projevy chřadnutí následující: od žloutnutí až po defoliaci asimilačních orgánů, dále pryskyřičné výrony a následnou mortalitu stromů (DUŠEK et al., 2019). Toto postihuje primárně stromy vyšších dimenzí (DUŠEK et al., 2017). Důvody chřadnutí lze nalézt v prosté predispozici pěstování smrku. Spouštěcím faktorem je samotné pěstování smrku na jeho nepůvodních, a často tedy nevhodných stanovištích (DUŠEK et al., 2019). S tím se pojí vodní stres, který vzniká díky občasnému nedostačujícímu stavu vlhkostního nasycení půd, či díky problémům s přesycením půd (ŠRÁMEK et al., 2013; JANKOVSKÝ 2014). Pro vznik vodního stresu stačí pouhé lehké narušení vodního cyklu při přijímání vody do kořenů, jež oslabí obranyschopnost stromů vůči biotickým činitelům (JANKOVSKÝ 2014). Chřadnutí je dále doprovázeno vyšší depozicí N, zvýšenou acidifikací půdy a s tím spojeným sníženým množstvím živin (JANKOVSKÝ 2014; FIALA et al., 2017). Ačkoliv se objevují názory, že půdní živinová bohatost hraje údajně druhou až nevýznamnou roli kvůli tomu, že většina z těchto porostů roste na, pro smrk minimálně vyhovujících stanovištích, tak to není úplně pravda. I přes určitou půdní bohatost se může objevit i

jeden deficitní prvek a porosty mohou ve spojitosti ještě s jinými faktory velmi trpět. Nízký obsah Mg umocňuje špatnou nasákavost půd. V období sucha může toto jednoduše vést, i díky poškozeným kořenům, k usychání stromů. Společně s tím jsou nižší, aspoň ve svrchní vrstvě (zprav. do 20-30 cm), obsahy bází Ca, K a P. (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014). V oblasti severní Moravy, ale i jinde, tak nebylo možné využít běžnou pěstební výchovu, a proto k udržení produkce je tak třeba nastavit nové postupy, které půjdou ruku v ruce s klimatickými změnami. Některé z těchto postupů se uplatňují už v současné době. Do nich se řadí: větší podpora přirozené obnovy, druhová diversifikace porostů, a tedy i změna druhové skladby porostů (NOVÁK et al., 2014; ČERMÁK et al., 2017; DUŠEK et al., 2019), která by měla vést k vyšší ekologické stabilitě (SLODIČÁK 2014). Lze využít i chemické meliorace, tj. vápnění v mladých porostech (20-40 let) v oblastech chřadnutí, či potenciálního rizika chřadnutí (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ et al., 2014). To ovšem nebude plně stačit, a tak k tomuto bude muset pravděpodobně přibýt ještě změna způsobu samotného pěstování a výchovy smrku. Např. změny v délce obmýtní a obnovní doby nebo množství zásahů při zmíněné výchově porostů apod. (ČERMÁK et al., 2017). V porostech nad 50 let věku se předpokládá, že nebudou prováděny žádné výchovné zásahy, vyjma obnovy v rámci umělé sadby nebo přirozeného zmlazení. Dále je nezbytná i vhodná změna porostní skladby dřevin, jako i navýšení MZD (NOVÁK et al., 2014). Nicméně se kolem výchovy objevuje nový „strašák“ v podobě provádění výchovy v nejmladších porostech, které se začínají v důsledku výskytu václavky v průběhu let rozpadat. Hospodáři tak nechtějí na tyto porosty zbytečně vynakládat finanční prostředky a čas. Ty jsou ale naopak v případě setrvání přeštíhlené, a tím je snížena stabilita při abiotických vlivech, což jsou faktory, proti kterým se dá prevence dělat nejlépe právě v nejmladších porostech (DUŠEK et al., 2019). Proto by se pohledy lesníků měly zaměřit primárně na porosty nejmladší (NOVÁK et al., 2014). Avšak ani přes výčet všech možných očekávatelných změn, nebude třeba smrk z těchto porostů naplno vyloučit, pokud budou nové porosty vznikat primárně z přirozené obnovy (DUŠEK et al., 2019).



Obrázek 2: Mapové znázornění vhodnosti a nevhodnosti pěstování smrkových porostů v období předpokládaných klimatických změn (ČERMÁK et al., 2017).

3.2.2 Vliv na lesní půdy

Je vědecky prokázáno, že smrkové porosty přispívají k okyselování půdních vrstev svým opadem. Míra okyselení závisí na druhové diverzitě porostů. Smrkové porosty obecně vykazují snížené hodnoty půdních prvků, jako je vápník nebo hořčík, a to i bez vlivu antropogenních faktorů v podobě imisí. Naproti tomu se v těchto porostech zvyšuje koncentrace některých těžkých kovů, jako třeba hliníku nebo železa, a to především v organické půdní vrstvě (FIALA et al., 2009). Pro posouzení nárůstu koncentrace těžkých kovů byl v Jeseníkách proveden výzkum, ve kterém byly srovnány bukové a smrkové porosty. Zjistilo se, že smrkové porosty v silně až velmi kyselých vrstvách opadu obsahovaly, oproti bukovým porostům, zvýšené koncentrace kadmia (Cd). Dále byly ve svrchní části minerální půdní vrstvy (0-2 cm), oproti bukům, naměřeny nižší koncentrace zinku (Zn) a olova (Pb) (NOVOTNÝ et al., 2021). K nárůstům koncentrací těžkých kovů napomáhá to, že většina lesních půd je v České republice považována za kyselé až silně kyselé, mimo vápněné půdy. Díky tomu je efekt okyselování půdy, pod smrkovými porosty, silnější (FIALA et al., 2010). Pro doplnění, kvůli antropogenní zátěži, v podobě emisí síry a dusíku, docházelo k vápnění části lesů na území České republiky. Takto bylo zvápněno mnoho smrkových porostů, které i po 10 letech od posledního vápnění vykazují zvýšené koncentrace vápníku a hořčíku, což má vliv na celkovou strukturu půdních vrstev a jejich vlastnosti. To se promítá i do vyšších koncentrací těchto živin v jehlicích, a právě díky těmto prvkům se do půdy uvolňuje pouze minimum hliníku, což omezuje okyselování půdy. Nicméně, jako na

nevápněných plochách, i zde došlo k výraznějšímu poklesu koncentrace draslíku (FIALA et al., 2017).

Smrkové porosty vytvářejí velké množství nadložního humusu, které ve srovnání s listnatými dřevinami, mohou činit rozdíl několik vyšších desítek tun na 1 hektar (RITTER et al., 2003; KUBEČEK et al., 2014). Zpravidla se hodnota nadložního humusu v dospělých porostech pohybuje okolo 70-80 t/ha⁻¹, jak potvrzuje několik výzkumů, jako TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ (2017), KUBEČEK et al. (2014) nebo PODRÁZSKÝ, REMEŠ (2010). Tento jev je dán i tím, že proces dekompozice je v těchto porostech pomalejší a slabší (KUBEČEK et al., 2014). Při výzkumu obsahu živin smrkového jehličí 1. a 2. generace se ukázalo, že se zásadně neliší od druhé pozorované dřeviny, jedle. 1. generace jehlic u smrku měla vyšší koncentraci dusíku, naopak měla nižší koncentraci vápníku a hořčíku. U 2. generace byly naměřeny vyšší koncentrace pouze u hořčíku, zatímco koncentrace prvků jako dusík, fosfor a draslík byly nižší. Nicméně koncentrace těchto prvků u starších generací jehlic jsou v důsledku retranslokace živin mnohem nižší (SZYMURA 2009). Tudíž následný opad může být z hlediska živin mnohem chudší (SOHRT et al., 2018). Smrkové porosty tak opakovaně vykazují nižší saturaci půdními bázemi (KACÁLEK et al., 2010a). Smrkové porosty dokážou být velkou zásobárnou uloženého uhlíku (C). Na výzkumné ploše v oblasti Dražanské vrchoviny se zjistilo, že tyto porosty dokáží ukládat přibližně 3,2 - 4,3 t/ha/rok. Z toho se skoro 60 % uložilo do biomasy stromů, zbytek se uložil do půdy, kde je do hloubky půdy cca 1 m uloženo 80 % uhlíku, a zbylých 20 % je v nadložní vrstvě humusu (SVĚTLÍK et al., 2016). Na rozdíl od jiných dřevin, jako modřín, bříza nebo olše, má smrk mnohem větší poměr C/N, a to jak v humusové vrstvě, tak i ve svrchní části minerální vrstvy (do 10 cm). Naopak oproti buku je hodnota poměru C/N ve smrku nižší (KACÁLEK et al., 2010a; KACÁLEK et al., 2010).

Smrk je proto považován za dřevinu, která negativně ovlivňuje půdní vlastnosti stanoviště, kvůli kterému se aktivně doporučuje změna skladby dřevin (MENŠÍK et al., 2009). Ve středních a vyšších polohách se nicméně může používat i jako melioračně zpevňující dřevina, jelikož naměřené koncentrace půdních prvků v nadložním humusu a v minerální vrstvě pod smrkovými porosty mohou být hodně podobné koncentracím prvků naměřených ve stejných vrstvách u buku, dubu nebo douglasky. Podobné hodnoty sdílely i z hlediska hodnoty pH, a to i přesto, že saturace bázemi byla ve smrkových porostech mnohem nižší, než pod bukovými nebo dubovými porosty (MARESCHAL et al., 2010).

V rámci zpevňující funkce vytváří smrk rozdílně prokořeněné kořenové systémy s rozdílným podílem kořenových kotev, v závislosti na trofnosti stanoviště a výšce spodní vody. Kořenové kotvy vyrůstají z horizontálních kořenů a prokořeňují i minerální

půdní horizont. Na kyselých stanovištích vytváří smrk malé kořenové systémy, kde kořeny dosahují hloubky 60-100 cm, index prokořenění (Ip) je do 40 a kořenové kotvy nepřesahují podíl 30 %. Naopak velké kořenové systémy vytváří ve velmi chudých stanovištích, kde hloubka prokořenění může dosáhnout až 1 m, Ip je přes 60 a podíl kořenových kotev je do 20 %. Na stanovištích ovlivněných vodou je velikost kořenového systému závislá na hladině spodní vody. I přesto ale může dosáhnout hloubky prokořenění až 50 cm, Ip může být až 80 a podíl kořenových kotev může být až 30 %. Předpokládá se tak, že smrk bude mít, na vodou ovlivněných stanovištích, plně rozrostlé horizontální kořeny, čímž bude mít větší potenciál pro zajištění mechanické stability. Na zbylých stanovištích tak spoléhá na hloubku prokořenění kořenových kotev a srůst kořenů (KACÁLEK et al., 2017).

Fytocenóza:

Byl proveden výzkum, při kterém se posuzoval vliv smrku ztepilého na podrostní fytocenózu. Následné výsledky ukázaly, že v podrostu smrkových lesů se objevily mimo jiné typické acidofilní a acidotolerantní druhy, jako ostružiník maliník (*Rubus idaeus* (L.)), jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia* (L.)) nebo kuklík městský (*Geum urbanum* (L.)), ale byl v nich nalezen i starček vejčitý (*Senecio ovatus* (Hoppe)), který pod smrkovými porosty roste pouze v eutrofních stanovištích (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Z hlediska mykoflóry je druhová diverzita v dominantních smrkových porostech nižší. Vyskytují se zde především druhy mykorrhizních a dřevokazných hub, jako jsou *Fomitopsis pinicola* (Karst.), *Gloeophyllum sepiarium* (Karst.) nebo *Stereum sanguinolentum* (Fr.) (JANKOVSKÝ et al., 2002).

3.3 Douglaska tisolistá – *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

3.3.1 Lesnický význam

Douglaska tisolistá je druh přirozeně se vyskytující v Severní Americe. Pruh rozšíření představuje území táhnoucí se podél pacifického pobřeží od Britské Kolumbie v Kanadě až po Kalifornii v Yosemitešském národním parku, kde zpravidla dosahuje výšky v rozmezí 60–100 m. Dále je to druh, který začal být introdukovan do evropských lesů už od první poloviny 19. století, a to primárně do západní a střední Evropy (FINCH, SZUMELDA 2007). Zároveň to je v těchto oblastech nejčastěji pěstovaná i osvědčivší se introdukovaná jehličnatá dřevina (MUSIL et al. 2002), hned po smrku sitka (*Picea*

sitchensis) (SPIECKER et al., 2019). V Německu byl první vysazený kus zaznamenán až v roce 1880. V Rakousku – Uhersku se douglaska poprvé objevila na území dnešního Rakouska a České republiky, už v roce 1827, kdy její plocha od té doby pomalu a jistě narůstá (FINCH, SZUMELDA 2007; PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008). Význam druhu ve druhé polovině 20. století vzrostl o to víc, hlavně po druhé světové válce (SPIECKER et al., 2019), díky velmi kvalitnímu dřevu a svému rychlému růstu, kdy se zvyšovala poptávka po dřevě jakožto celku (FINCH, SZUMELDA 2007). I přesto, že není dřevinou agresivní či invazivní, i tak v České republice dosahuje zastoupení okolo 0,25 % plochy lesů, přičemž její potenciál je mnohonásobně větší (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008; PODRÁZSKÝ et al. 2011; PODRÁZSKÝ et al., 2020); SPIECKER et al., 2019). Takto malé zastoupení má pak pravděpodobně za následek malé zkušenosti s jejím pěstováním (SLODIČÁK et al., 2018). V současné době rozloha douglaskových porostů přesahuje 6000 ha v ČR, a ta se nadále pomalu zvyšuje (PODRÁZSKÝ et al., 2020). Předpokládá se, že se douglaska tisolistá během příštích několika desetiletích stane jednou z hospodářsky nejvýznamnějších dřevin, a to nejen na území České republiky, ale i ve světě (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013).

Dle výzkumů se u nás hodí pěstovat spíše washingtonské provenience z oblastí západních svahů Severních Kaskád (pohoří ve státu Washington), jelikož jiné, třeba přímořské provenience, byť jsou nejlépe rostoucí, tak nedokážou v zimě omezit výdej vody, kdy pletiva jehlic i nadále transpirují a do jara úplně uschnou a opadají (MUSIL et al., 2002). Toto tvrzení minimálně částečně potvrzuje i výzkum, jež hodnotil růst jednotlivých proveniencí v Hůrkách v jižních Čechách, kde washingtonské provenience byly hodnoceny, jakožto dobré a vhodné, kdy nejlépe dopadly provenience z Britské Kolumbie v Kanadě (KŠÍR et al., 2015). Avšak na pozdní mrazy mohou trpět i vnitrozemské provenience, a to zvláště v mládí (PEŠKOVÁ 2003).

Škodliví činitelé jsou v České republice poměrně početní, nicméně zatím není žádný, který by vyloženě likvidoval douglaskové porosty. Třeba výzkum v rámci ochrany výsadeb proti klikorohu borovému (*Hylobius abietis* (L.)) prokázal, že byť jsou sazenice douglasky pro klikoroha borového velice atraktivní, tak díky své schopnosti velmi dobré regenerace byla její mortalita oproti takovému smrku výrazně nižší (MODLINGER et al., 2018). Mezi rozsáhlou skupinu potenciálních velkých škůdců spadá skupina kůrovců (*Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae*). Ve své domovině jsou nejvíce ohroženi populací lýkožrouta douglaskového (*Dendroctonus pseudotsugae*). V našich domácích podmínkách není žádný druh kůrovce, jenž by napadal douglasku jakožto primární dřevinu, nýbrž pouze jako sekundární. Ovšem byl zaznamenán výskyt hlavních druhů kůrovců v Česku jako *Ips typographus*, *Ips duplicatus* a *Pityogenes chalcographus* (LUBOJACKÝ 2018). Nesmíšené porosty douglasek jsou nejméně

vhodné z hlediska zvýšeného rizika napadení biotických škůdců, např. sypavek (SLODIČÁK et al., 2014).

Mezi kritické škůdce se řadí houbové choroby, a to od malých semenáčků, kde jsou postihováni padáním semenáčků houbami rodu *Pythium* sp., *Fusarium* sp. aj. Mezi další závažné choroby sadebního materiálu spadají houby, jež způsobují hnilobu kořenů, zasychání větví a slabých kmínků či obecně plesniví, tj. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*). Tyto houbové patogeny však nejsou omezeny na konkrétní druh, tedy že napadají řadu různých druhů dřevin. To ostatně platí i pro samotné parazitické dřevokazné houby, avšak ve spojitosti s douglaskou nepůsobí takové škody, jelikož její dřevo je vůči nim odolnější, než jakýkoliv jiný jehličnan (PEŠKOVÁ 2003). Do závažných houbových škůdců pro douglasku pak patří sypavky, jež škodí na jehlicích stromů, díky nimž mohou odumřít celé stromy. Jedná se o švýcarskou sypavku douglasky (*Phaeocryptopus gaeumannii* (Rohde)) (PEŠKOVÁ 2003), která je již v našich podmínkách běžně rozšířená (JANKOVSKÝ et al., 2011) a skotskou sypavku douglasky (*Rhabdocline pseudotsugae* (Syd.)) (PEŠKOVÁ 2003), jež v podstatě zamezila pěstování určitých variet douglasky (JANKOVSKÝ et al., 2011). Nicméně na žádných stromech napadených sypavkami nebylo zaznamenáno významné napadení hmyzími škůdci (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2013).

Pěstování:

Pro dobrý růst si žádá hlubší živné půdy s dostatkem vlhkosti bez trvalého zamokření, jež nesnáší (PEŠKOVÁ 2003). Výsledky založených experimentů v souvislosti se způsoby pěstování douglaskových porostů ukazují na několik závěrů. Dokáže okamžitě reagovat na změnu zápoje díky výchově a sice, vyšší intenzitou přírůstu či zlepšení tloušťkového přírůstu v mladých porostech (8-20 let). Zároveň s tím se v těchto porostech zpomalil přírůst výškový, jež snižuje štíhlostní koeficient a porosty jsou díky tomu stabilnější (SLODIČÁK et al., 2014). Oproti tomu výsledky studie ze Švýcarska dokládají, že douglasky pěstované ve švýcarských lesích mohou, v případě běžných srážkových poměrů a dostatečného množství živin, růst ve velmi konkurenčním prostředí. Nové douglaskové porosty proto mohou být v rychlosti růstu do dvou let od založení porostu předehnány ostatními dřevinami. V případě méně příznivých roků dokáže douglaska v prvních dvou letech života udržovat krok se zbylými dřevinami, případně je i přerůst (WOHLGEMUTH et al., 2021).

Porosty nad 20 let mají problém udržet příznivý štíhlostní koeficient, a tím i následnou stabilitu porostů. Porosty pěstované ve směsích s přimíšenými dřevinami (SM, JD, BO) vykazovaly při uvolnění zápoje zrychlený růst, a i přes nižší procento zastoupení v porostech (zpravidla 20–30 %) vykazují zásadní podíl na celkovém

objemu (SLODIČÁK et al., 2014; PODRÁZSKÝ et al., 2014; GLATTHORN et al., 2023). Pro zvýšení potenciálu celkového objemu by šlo zvýšit procentuální zastoupení až na celkových 30-40 %. Přes odlišné stanovištní nároky dokáže být pěstována s jinými druhy, spíše stinných, listnáčů. Zároveň v těchto porostech zaujímá dominantní postavení, tedy hlavně úrovnové či nadúrovnové (PODRÁZSKÝ et al., 2014). Ve směsích se smrkem se humus rozkládá rychleji, a tím se i zvyšuje mikrobiální aktivita (PODRÁZSKÝ et al., 2020). Tyto lesy zároveň mohou být účinnou variantou pro plnění mimoprodukčních funkcí lesa, jakožto funkci ekologickou či klimatickou, které v současném období čím dál tím víc ovlivňují mortalitu současných lesů (GLATTHORN et al., 2023). Předpokládá se tak, že by douglaska mohla zvýšit stabilitu lesních ekosystémů v nižších polohách a zároveň zde, v důsledku klimatické změny, nahradit ustupující populaci smrku ztepilého (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Při odstranění méně, než poloviny větví v zelené koruně, není omezen tloušťkový přírůst, naopak uvolněný prostor dokážou rychle využít případně přimíšené druhy dřevin a samotné rány po řezu se dokáže rychle zacelit, a tedy dřevo je bez suků, a i riziko napadení houbou v důsledku odvětvování je nízké (SLODIČÁK et al., 2014). Díky své odolnosti vůči suchu a zároveň relativně pozitivnímu vlivu na půdu by tak douglaska mohla nahradit smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) v jeho nepůvodních oblastech (PODRÁZSKÝ et al. 2011; PODRÁZSKÝ et al., 2020). Nicméně je třeba brát na zřetel, že neuvážené pěstování by mohlo narušit dynamiku lesů z hlediska množství dusíku v půdě (PODRÁZSKÝ et al., 2020).

Průmyslové zpracování dřeva probíhá primárně jakožto prodej pilařské kulatiny (SPIECKER et al., 2019), jako řeziva, překližky, vlákniny. Je všestranně upotřebitelné a kvalitní (SLÁVIK et al., 2017). Samotné dřevo je velmi mechanicky pevné. To mimo jiné uvádí francouzský web, jež uvádí řadu informací o douglasce, a to už od roku 1993. Už při výzkumu v roce 1985 se určilo, že má mnohem lepší mechanické vlastnosti, než jakákoliv jiná jehličnatá dřevina a má obzvláště vysokou pružnost. V evropských měřících tak dosahuje nejvyšších stupňů odolnosti, kdy zároveň má dlouhou trvanlivost vůči klimatickým či biotickým činitelům. Též jádrové dřevo je velmi trvanlivé, kdy jeho velkou specifikou je žáruvzdornost vůči zpětné vlhkosti. Dřevo je tak vhodné pro abioticky a bioticky náročné stavby, např.: inženýrské či architektonické stavby ((FRANCE DOUGLAS) [20.11.2023]). Bohužel, v samotné České republice není velký odbyt. Jednak kvůli vývozu značného množství surového dřeva do zahraničí, bez jakéhokoliv předešlého zpracování. Za druhé je to kvůli nepřipravenosti dřevozpracujícího průmyslu a i díky tomu, se v našich končinách prodává pod cenou, než jaká je v jiných zemích, jako třeba v Německu či Rakousku (SLÁVIK et al., 2017).

3.3.2 Vliv na lesní půdy

Vliv na půdu je v porovnání s jinými běžnými jehličnatými dřevinami v podstatě menší, tj. dřeviny rodu *Picea* (L) a *Pinus* (L) (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008). S tímto se shoduje i studie o produkci opadu, jež méně okyseluje půdu a zároveň je bohatší na živiny oproti opadu smrkovému (SLÁVIK et al., 2017; PODRÁZSKÝ et al., 2020). Mnohé výzkumy se zaměřily na množství tvorby opadu u douglasky a srovnaly je s množstvím opadu jiných dřevin, ať už jehličnatých nebo listnatých (KUBEČEK et al., 2014. MENŠÍK et al. (2009). Při zkoumání stavu půd pod douglaskovými porosty ve společnosti s porosty smrkovými, došli k závěru, že v douglaskových porostech se akumuloval nadložní humus v hodnotě 25 t. ha⁻¹, zatímco pod smrkovými porosty se za stejnou dobu naakumuloval opad o velikosti přibližně 79,5 t. ha⁻¹ (KUBEČEK et al., 2014). Hodnota půdního pH byla pod douglaskovými porosty podobná, ne-li vyšší, v porovnání se smrkovými porosty. Hodnota pH byla též srovnatelná s hodnotou pH v bukových a dubových porostech (WOHLGEMUTH et al., 2021). V porovnání s listnatými porosty je produkce humusu méně příznivá (SLÁVIK et al., 2017), a je i pomalejší, díky čemuž je půda více okyselována (KOSTIČ et al., 2016). Naopak ale má větší živinové nároky na půdu, díky čemuž některé hodnoty živin poklesly, jako třeba dusík (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008). Ale i přesto, že má oproti listnatým dřevinám horší půdní vlastnosti, ve srovnání se smrkovými porosty jsou tyto vlastnosti stále mnohem více příznivé (KUBEČEK et al., 2014). Při extrakci dřeva z Bavorska se zjistilo, že výběr živin z půdy je mnohem vyšší než u buku, borovice či u dubu. Dle závěrů výzkumu vlivu douglasky na půdu se potvrdila určitá nitrifikace půdy (PODRÁZSKÝ et al. 2011). V organické vrstvě je podíl dusíku nižší, avšak v minerální vrstvě je obsah větší, i než pod bukem a smrkem (WOHLGEMUTH et al., 2021). Její příměsí ve smrkových porostech velmi zrychlují proces rozkladu půdní organické hmoty, ale i proces nitrifikace v nadložním F+H horizontu a Ah horizontu. Kvůli vyššímu zájmu o pěstování douglasky tisolisté v lesních ekosystémech je potřeba, z hlediska dusíkové bilance, zvýšit péči o dynamiku lesních půd. Při posuzování rychlosti dekompozice a následné celkové bilance dusíku v půdě, se došlo k závěru, že půdní horizonty (F+H, Ah) pod douglaskovými porosty dosahují násobně vyšších hodnot, než jaké byly naměřeny pod smrkovými porosty. To znamená, že mikrobiologická aktivita byla v případě douglasky mnohem aktivnější (PODRÁZSKÝ et al. 2020). Tyto výsledky posléze nadále ovlivňují diverzitu společenstva rostlin v podrostu, a to často vede k nárůstu počtu druhů s vyššími až vysokými nároky na živnost stanoviště (PODRÁZSKÝ et al., 2011). Jiný výzkum, jež došel v podstatě ke stejným závěrům, poukázal na vyšší nitrifikaci v čistých douglaskových porostech. Tento vyšší nárůst dusíku v půdě je však limitován pěstováním douglasky ve smíšených porostech v maximálně 30-40 % příměsí (SLÁVIK

et al., 2017). Proces nitrifikace tak může být do jisté míry omezen tím, že biomasa zbylých dřevin v porostu bude poutat větší množství živin (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Hodnoty nadložního humusu dokazují fakt, že má větší schopnost sorpce a působí menší acidifikací, kdy dále obsahuje velké množství několika chemických látek, jako vápník, draslík, hořčík a fosfor (ULBRICHOVÁ et al. 2014). Výzkum, jež byl prováděn ve švýcarských lesích ukázal, vůči běžnému trendu, až opačné výsledky. Detailnější popis obsahu chemických látek v půdě je následující: Obsah vápníku (Ca) je stejně vysoký, potažmo ještě vyšší, než jaké jsou v porostech buku. U hořčíku (Mg) je tento obsah minimálně stejný až nižší, než v případě porostů smrkových a bukových. Následně obsah fosforu (P) je vykazován menší, než jaký je pod smrkem a naopak vyšší, než jaký je pod bukem. Několik studií pak uvádí, že douglaskové porosty uchovávají menší množství uhlíku, než v případě porostů smrkových či bukových (WOHLGEMUTH et al., 2021). Srbský výzkum v původních bukových lesích ukázal, že čisté douglaskové porosty nejen, že zmenšují biodiverzitu, ale díky chemickým změnám ve svrchní části půdy (0-10 cm) zpomalují celý lesní metabolismus, tj. v důsledku změny kyselejšího půdního pH se zpomalila rychlost rozkladu organické hmoty. Adsorpční nasycenost byla při povrchové půdní vrstvě nízká a ve zbylých vrstvách ještě nižší. Nutno ale podotknout, že oproti jiným jehličnanům je schopnost adsorpce vyšší. I některé chemické látky vykazovaly nižší úroveň oproti buku. Šlo tak například o uhlík (C), jehož množství bylo nižší ve všech hloubkách. To samé platí i pro volný fosfor (P). Draslík (K) měl snížené množství obsahu ve vrstvě při povrchu půdy (0-10 cm), stejně jako dusík (N). V nižších vrstvách už byl jejich obsah větší než u buku. Tyto jevy tak v průběhu času mohou působit až degradačně na původní bukové lesy, a i celková produkce se tím může značně snížit (KOSTIĆ et al., 2016). Výčet obsahu prvků, především vyšší hodnoty vápníku, poukazují na možnost využití douglasky tisolisté, jakožto náhrady za ustupující smrkové porosty, které jsou často silně ovlivněny acidifikací (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Naopak ve srovnání s listnatými lesy je výčet prvků v opadu u douglasky spíše menší.

Fytocenóza

Obecně platí to, zdali v podrostu lesů bude, či nebude růst bylinné nebo keřové patro, závisí na řadě faktorů. Nejvíce závisí na konkrétních druzích dřevin, jež svým bytím ovlivňují veškeré pedochemické faktory. Hlavně pro jehličnaté dřeviny platí vyšší stupeň intercepce, oproti listnatým lesům (KOSTIĆ et al., 2016). Vliv na změnu rozmanitosti fytocenózy, či půdního prostředí je tak, v negativním smyslu slova, o mnoho menší, než jak tomu je v případě smrku. Tím se zamýšlí třeba acidifikace půdy (PODRÁZSKÝ et al., 2011; SLÁVIK et al., 2017; KOSTIĆ et al., 2016). Ta je

nejviditelnější v povrchové části. Dále záleží i na způsobu výchovy. Při jejím zanedbání či provedení slabých zásahů může dojít, vlivem snížení množství světla, k absenci bylinného i keřového patra (KOSTIĆ et al., 2016). Při posuzování rozmanitosti diverzity proběhl výzkum na severozápadě Německa v spolkové zemi Dolní Sasko, tedy v místě, kde přírodní podmínky jsou dosti podobné těm v České republice. Rozsáhlý výzkum zkoumal vliv jednotlivých druhů dřevin (DG, SM, BK a následně smíšené lesy BK a SM + BK a DG) na úroveň biodiverzity. Ukázalo se, že porosty douglasky poskytují stanoviště pro druhy se stejnou, popřípadě vyšší diverzitou, než jakou poskytují původní bukové lesy. Avšak celková biodiverzita se v lesním patru, s vyšším podílem douglasky v lesích, nezmění. Výsledky je však nutno brát s určitou malou rezervou, jelikož mají vyšší statistickou nejistotu (GLATTHORN et al., 2023). V České republice proběhl podobný výzkum jako v Dolním Sasku, který byl též zaměřený na vliv douglasky na biodiverzitu podrostu. Ten byl proveden na 44 plochách nacházející se ve 2.-4. lesním vegetačním stupni a v několika edafických řadách, především v řadě kyselé a živné. Plochy, ve kterých byla zastoupená populace douglasky, ukázaly, že v jejich podrostu je vyšší biodiverzita druhů, než jak tomu bylo u ploch bez douglasky. Zároveň tyto druhy byly pod douglaskovými porosty relativně rovnoměrně rozprostřeny po celé ploše, čemuž hodně napomohl větší přísun světla do podrostu. Dále se ukázalo, že se v těchto porostech vyskytují druhy spíše heminitrofilní, nitrofilní nebo živinově indiferentní. Příkladem se jedná o druhy jako bez černý (*Sambucus nigra* (L.)), třtina rákosovitá (*Calamagrostis arundinacea* (L.)) nebo kapraď samec (*Dryopteris filix-mas* (L.)). Obecně se tak v podrostu douglasek nacházejí spíše druhy náročnější na živiny, zejména pak na dusík, a to i díky živinově mírně bohatšímu opadu (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013).

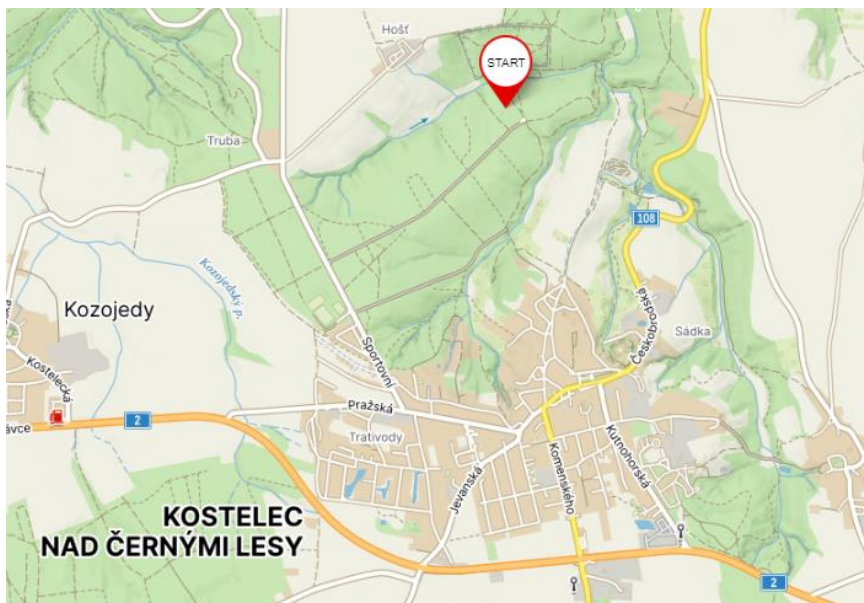
Obecně se dá říct, že vliv na diverzitu není negativní, ale ne vždy kombinace minimálně tří druhů povede k vyšší druhové diverzitě (GLATTHORN et al., 2023). Avšak ne vždy výsledky studií souhlasí s jinak běžnými souhlasnými výsledky. Ikonickým příkladem je studie ze Švýcarska, kde výsledky byly přinejmenším neutrální. Tedy, že nebyly dokázány významně škodlivé, ani výrazně podporující, vlivy na půdu. Pro řadu stanovišť byla z hlediska diverzity nevhodná (WOHLGEMUTH et al., 2021). Studie na hoře Mt. Maljen ukázala též negativní vliv douglasky na biodiverzitu. Byly porovnávány dva relativně čisté porosty, tj. (původní) bukový a douglaskový. Ukázalo se, že oproti bukovému porostu došlo k úbytku, potažmo přímo absenci řady, jinak běžných, bylinných druhů. Keřové patro zde chybělo úplně (KOSTIĆ et al., 2016). V obecném hledisku je douglaska brána jako dřevina, jež má relativně pozitivní vliv na půdu a byla díky tomu zařazena mezi melioračně zpevňující dřeviny (MZD) ve většině cílových hospodářských souborech (CHS) (ULBRICHOVÁ et al., 2014). Z praktického

hlediska je tak vhodné ji pěstovat jako subdominantní druh, aby se zamezilo riziku
jednotlivého vlivu na lesní půdy (PODRÁZSKÝ et al., 2011).

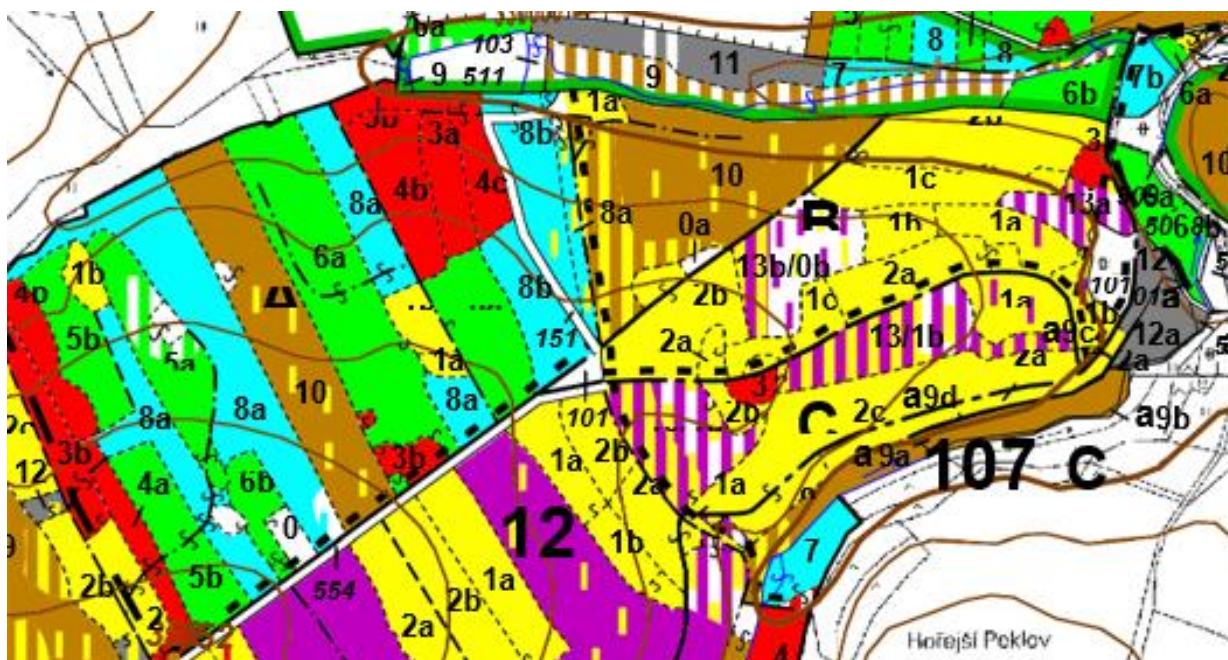
4. Metodika

4.1 Popis oblasti a lokalizace

Lokalita byla vybrána na území ŠLP Kostelec nad Černými lesy, a to konkrétně v porostech 12A06a a 12A08b (**Obr. 4**), které jsou vedeny jako trvalé výzkumné plochy a samotná lokalita se nazývá Točna. Nachází se přibližně 2 km od výzkumné stanice Truba, ležící severně od Kostelce nad Černými lesy a západně od vyznačeného bodu na mapě. (**Obr. 3**). V porostu 12A08b je hlavní dřevinou habr, dále je přimíšená borovice a zbytek jsou vtroušené listnáče jako dub a bříza. Zde byly odebrány vzorky půdy listnáčů. Porost 12A06a je druhově více diverzifikovaný. Převládá zde smrk s borovicí. Dále jsou zde přimíšené dřeviny jako douglaska a modřín a i dřeviny vtroušené, jako dub nebo javor klen. V tomto porostu byly odebrány vzorky půd pod porostem smrku a douglasky. Soubor lesních typů (SLT), respektive lesní typ (LT) lokality odpovídá 3S1, tedy svěží dubová bučina modální a odpovídá cílovému hospodářskému souboru 44 – účelové hospodářství na živných stanovištích středních poloh.



Obrázek 3: Lokalita odběru vzorků v katastru Kostelec nad Černými lesy (zdroj: MAPY.CZ).



Obrázek 4: Porostní mapa výzkumných ploch (zdroj: LHP pro odpovídající LHC).

4.2 Odběr vzorků a založení pokusu

Experiment pro určení celulólytického potenciálu v humusových formách byl založen 6.5.2022, kdy byl proveden i odběr vzorků. V každém ze sledovaných porostů, tedy v porostech listnatém, smrkovém a douglaskovém, bylo na 5 náhodně vybraných místech odebráno stejné množství materiálu z holorganických horizontů (F+H) a organicko-minerálních horizontů (Ah). Z nich byl vytvořen vždy směsný vzorek. Byla tak vytvořena směs vzorků: F+H SM, F+H DG, Ah SM, Ah DG, pro které se pak následně určovala rychlost rozkladu celulózy. Toto měření bylo doplněno ještě o vzorky listnatých stromů, které byly sebrány podle stejného principu, jako předešlé zmíněné dřeviny. Hodnocení vzorků probíhalo na výzkumné stanici Truba v Kostelci nad Černými lesy.

Postup:

Vzorky byly očištěny od větších kamenů, větví a organismů živočišného původu. Z každého směsného vzorku (F+H SM, F+H DG, Ah SM, Ah DG) byly odebrány 3 dílčí oddíly, které byly ve vrstvě 2 cm rozprostřeny do plastových boxů (Obr. 7, Obr. 8). Na povrch každého jednotlivého odebraného vzorku bylo umístěno dohromady 10 pásek filtračního papíru, jako zdroje celulózy (filtrační papír o hmotnosti $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), kdy každý pásek měl 10 cm na délku a 1 cm na šířku a byl rozdělen na jednotlivé čtverečky po 1 cm. Na každém jednotlivém čtverečku byl určován postup zbarvení a rozkladu za pomoci odhadu v procentuálním podílu, zpravidla v intervalu 2 týdnů od posledního

měření. Ke konci měření už tyto intervaly byly 3 týdny a úplně poslední měření proběhlo přibližně 3 měsíce po posledním měření. Naměřené hodnoty jednotlivých proužků byly v každém měření zprůměrovány aritmetickým průměrem (platí pro zbarvení i rozklad) a byly využity k dalším statistickým výpočtům.

Vzorky byly uloženy do uzavíratelných boxů v laboratorním prostředí, jejichž podmínky jsou srovnatelné s podmínkami pokojovými, tj. srovnatelná teplota v rozmezí okolo 20°C. Vždy při konci měření byl obsah boxu orosen vodou z rozprašovače a samotné boxy byly následně uzavřeny víčkem, aby byla zajištěna 100 % vlhkost substrátů.

Experiment byl založen 6. 5. 2022. Další termíny, kdy probíhalo hodnocení vzorků, byly následovné: 27. 5.; 10. 6.; 24. 6.; 8. 7.; 22. 7.; 5. 8.; 23. 8.; 15. 9.; 2. 10.; 26. 10.; 21. 1. 2022.

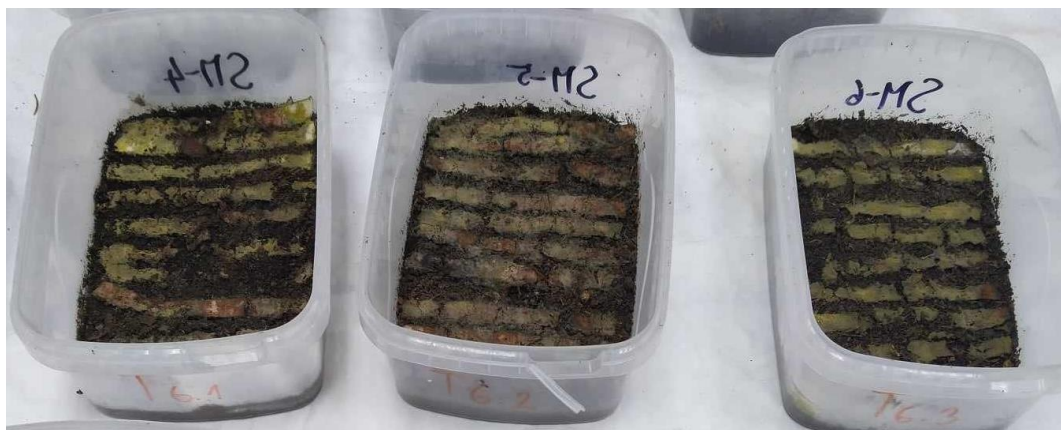


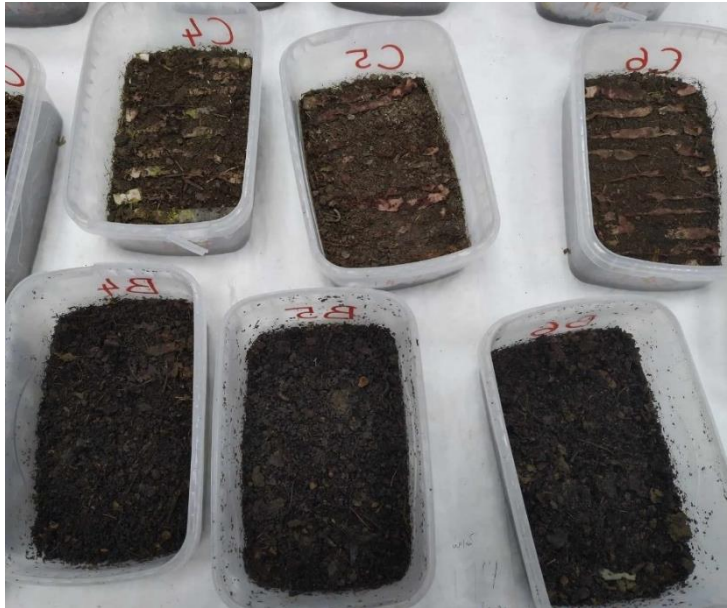
Obrázek 5: Stav nově založeného pokusu po prvním orosení vodou (spodní řada – listnáče, prostřední řada – douglaska, horní řada – smrk), (vlevo – humusový horizont F+H, vpravo – organicko-minerální horizont Ah).



Obrázek 6: Stav humusového horizontu F+H při posledním měření (uspořádání dřevin je stejné jako Obr. 5)

Je zdokumentován průběh zbarvení a rozkladu horizontů (**Obr. 6, Obr. 7**) a okamžitě se dá říct, že rychlejší proces změn byl v humusovém horizontu F+H. V obou obrázcích lze vidět pokročilý, až úplný rozklad filtračních proužků.





Obrázek 7: Stav organicko-minerálního horizontu Ah při posledním měření (uspořádání je stejné jako Obr. 5)

4.3 Vyhodnocení pokusu

Po skončení měření a zadání naměřených hodnot do excelu, bylo provedeno statistické hodnocení za pomoci softwaru STATISTICA, s konzultací pracovníků KPL FLD ČZU v Praze. Pro lepší znázornění výsledků výpočtu byly vytvořeny grafy (kapitola 5 - výsledky). Následně byla použita analýza rozptylu, tzv. ANOVA, která srovnala rozdíly hodnot mezi dřevinami a jednotlivými horizonty. Tedy srovnala dřeviny smrku, douglasky a listnáčů v horizontu humusovém F+H a následně stejné dřeviny v horizontu organicko-minerálním Ah. Výsledné hodnoty byly následně označeny písmenem (a, b, c), které označují významnost rozdílu hodnot na stanovené hladině významnosti ($\alpha = 0,05$). Jako poslední byl využit post-hoc test dle Tukeye, díky kterému byly vyhodnoceny konkrétní rozdíly mezi měřenými dřevinami.

5. Výsledky

5.1 Změřené hodnoty dřevin

Měření probíhala v intervalu 14 dní do 5. měření. Od 6. do 10. měření byl interval přibližně třítydenní a poslední 11. měření proběhlo po dalších 87 dnech. Již od prvního měření, tedy 14 dní po založení pokusu byly vidět barevné změny části filtračních proužků, jež se v průběhu času rozšiřovaly až začaly za vlivu plísně přecházet k procesu rozkladu (**Tabulka 1, Tabulka 2, Graf 1, Graf 2**). V holorganickém horizontu F+H (**Tabulka 1, Graf 1**) byla zachycena rychlejší a větší mikrobiologická aktivita u zbarvení i rozkladu, než u organicko-minerálního horizontu Ah. Vzorky celulózy se v případě vzorků ze všech dřevin, smrk, douglaska a listnáčů, se tak v horizontu F+H začaly zbarvovat už od prvního měření. Totéž platí i pro rozkladný proces u douglasky a listnáčů kromě smrku, který měl až do 8. měření pouze nevýznamné množství rozkladu v hodnotě několika procent. V horizontu Ah (**Tabulka 2, Graf 2**) byl průběh zbarvení podobný jako v případě F+H horizontu, kde už od 1. měření byla zachycena vysoká míra mikrobiologické aktivity, pouze smrk měl tento nárůst o trochu pomalejší, kdy větší nárůst začal až od 2. měření a je pozvolnější, než jaký je u zbarvení v F+H horizontu.

Z hlediska procesu rozkladu byl průběh v obou horizontech do jisté míry očekávaný. Oba horizonty měly shodné pořadí rozložených proužků, tj. 1. listnáče, 2. douglaska a 3. smrk. Při rozkladu organického materiálu byly naměřeny významné statistické rozdíly mezi dřevinami. Rozklad u vzorků listnatého porostu byl nejrychlejší v obou horizontech a zároveň byly v obou horizontech velké odlišnosti ve srovnání se smrkem a douglaskou. Zajímavý je proces rozkladu douglasky v horizontu F+H, kdy se rozklad započal znatelně zvětšovat už při druhém měření a během dalších měření se zvětšoval zpravidla o dalších 7-10 % na konečných 76,5 %, oproti tomu rozklad v horizontu Ah začal být znatelný až při 6. měření a silný nárůst rozkladu byl zaznamenán až při 8. měření, který nakonec narostl až na přibližných 65 %.

5.1.1 Zbarvení horizontů F+H a Ah

Zbarvení proužků se projevilo u všech sledovaných dřevin a horizontů už od 1. měření. U listnáčů byla rychlost zbarvení enormní. Už při 1. měření při horizontu F+H se začínalo na hodnotě 43 %, přičemž 90 % dosáhly už při 3. měření a konečných 100 % až při 7. sedmém měření. U douglasky byl nástup zbarvení oproti listnáčům pomalejší, avšak stále rychlejší oproti smrku. Při 1. měření měla sice "pouhých" 11,5 %, nicméně necelých 90 % dosáhla už při 4. měření, čímž vyrovnala své tempo s listnáči a plných 100 % dosáhla při 8. měření. A následný smrk, který měl rozjezd

nejpomalejší, kdy při 1. měření měl pouhých 5,3 % se při 4. měření vyšvihl na 92 % a plného 100 % dosáhl až při 10. měření.

V horizontu Ah začalo zbarvení proužků taktéž od 1. měření. Listnáče zde oproti horizontu F+H měli pomalejší, respektive slabší začátek s hodnotou 32 %, ale hned při 2. měření už byla změřena hodnota skoro 92 %. Od 4. měření už měly hodnotu 99 %, avšak na konečných 100 % se dostaly až při 11. měření. Douglaska měla při 1. měření jen 2,7 %, ale při 2. měření se její hodnota zvýšila více než 12x na 33,5 %. Při 4. měření měla 88,5 %. Pak od 5. měření měla podobné tempo jako listnáče a plných 100 % dosáhla při 10. měření. Smrk měl hodně slabý začátek na cca 1 % při 1. měření. Při 5. měření měl hodnotu 82,5 %, čímž se statisticky stále dost odlišoval od hodnot listnáčů a douglasky. Tempo srovnal až při 6. měření s hodnotou 95,7 % a plného 100 % dosáhl už při 8. měření. Výsledky šetření jsou prezentovány v **Tabulce 1** a **Grafu 1** (holorganické horizonty) a **Tabulce 2** a **Grafu 2** (organicko-minerální horizonty)

Tabulka 1: Průměrné hodnoty zbarvení vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

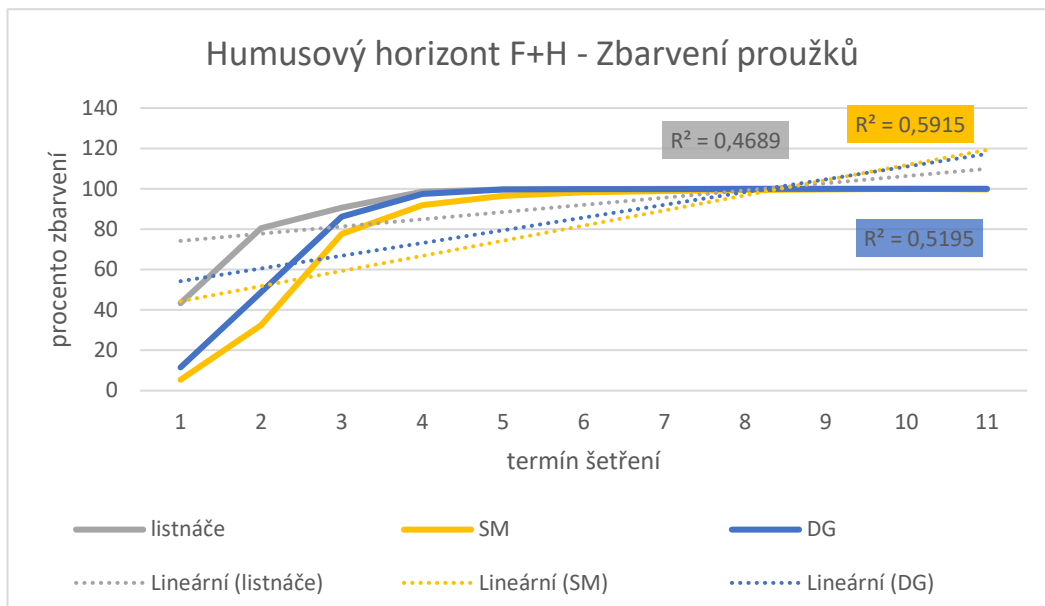
Dřevina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
listnáče	43,32	80,47	90,58	98,63	99,73	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SM	5,37	32,43	77,66	91,97	96,50	98,20	98,93	99,33	99,63	100,00	100,00
DG	11,51	48,73	86,28	97,47	99,70	99,90	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabulka 2: Průměrné hodnoty zbarvení vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

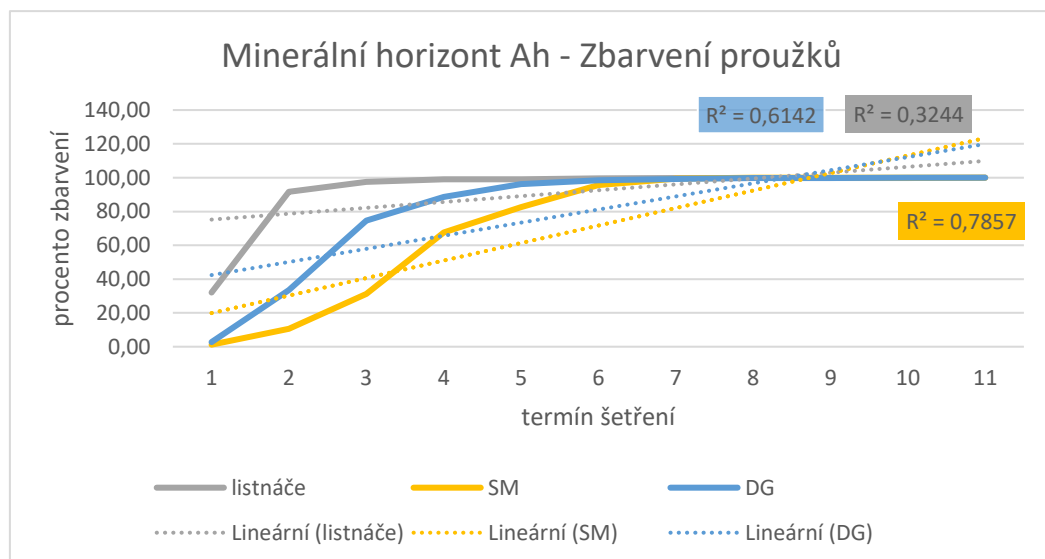
Dřevina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
listnáče	32,06	91,72	97,47	99,00	99,00	99,60	99,77	99,83	99,83	99,83	100,00
SM	1,21	10,65	31,27	67,67	82,58	95,70	99,40	100,00	100,00	100,00	100,00
DG	2,73	33,48	74,68	88,53	96,17	98,40	99,27	99,73	99,73	100,00	100,00

Níže je pak graficky znázorněn vývoj zbarvení v průběhu jednotlivých měření jednotlivých horizontů. V **Grafu 1** je znázorněn průběh zbarvení v humusovém horizontu F+H, kde je jasně vidět relativně rychlý nástup zbarvení již při 1. měření, v případě douglasky a listnáčů, u smrku se tak stalo až při 2. měření. Od 5. měření byly hodnoty dřevin na statisticky srovnatelné úrovni těsně pod 100 %. V **Grafu 2** je znázorněn průběh zbarvení v organicko-minerálním horizontu Ah, kde na rozdíl od horizontu F+H je nástup zbarvení při 1. měření pomalejší (u douglasky a smrku je

minimální) a k většímu nárůstu došlo až při druhém měření. Statisticky srovnatelných hodnot u všech dřevin bylo dosaženo při 6. měření, též těsně pod hranicí 100 %.



Graf 1: Vývoj zbarvení vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H pod douglaskou, smrkem a listnáči



Graf 2: Vývoj zbarvení vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah pod douglaskou, smrkem a listnáči

5.1.2 Rozklad horizontů F+H a Ah

Při pozorování rozkladných procesů v humusovém horizontu F+H (**Tabulka 3**) bylo zajímavé vidět, že na rozdíl od měření zbarvení zde byly hodnoty rozkladu mezi všemi skupinami do 2. měření statisticky srovnatelné. Při dalších měřeních se od sebe začaly významně lišit, což platí hlavně pro smrk, jež byl po většinu měření nevýrazný. Pro organicko-minerální horizont Ah (**Tabulka 4**) pak platí podobný princip s tím

rozdílem, že zde byla kromě smrku až do 7. měření nevýrazná i douglaska, která však při 11. měření dosáhla konečných skoro 65 %. Smrk byl, jak bylo zmíněno, opět po většinu měření nevýrazný až do předposledního 10. měření.

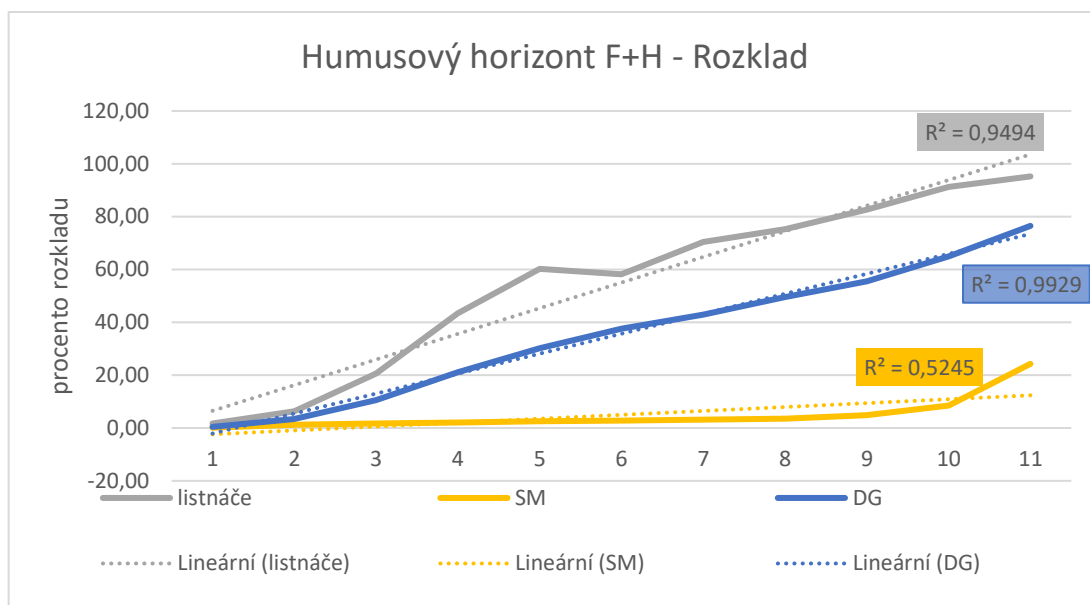
Tabulka 3: Průměrné hodnoty rozkladu vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Dřevina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
listnáče	1,72	6,34	20,62	43,38	60,23	58,20	70,45	75,30	82,70	91,27	95,22
SM	0,12	1,27	1,67	2,14	2,60	2,86	3,12	3,52	4,83	8,47	24,29
DG	0,44	3,36	10,51	21,13	30,17	37,57	42,87	49,60	55,46	64,93	76,50

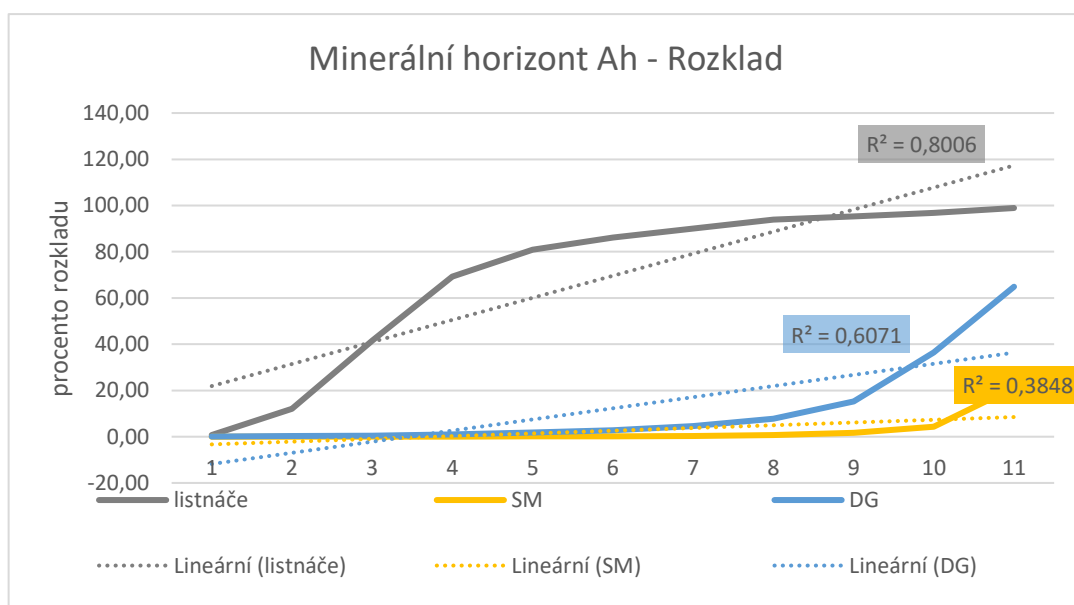
Tabulka 4: Průměrné hodnoty rozkladu vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah (v procentech) v průběhu 11 termínů měření

Dřevina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
listnáče	0,73	12,05	41,61	69,27	80,93	86,10	90,00	93,87	95,33	96,83	98,92
SM	0,00	0,00	0,01	0,02	0,11	0,15	0,28	0,65	1,69	4,34	21,25
DG	0,07	0,24	0,44	0,96	1,77	2,76	4,55	7,76	15,30	36,42	64,87

Realističnost výsledků nám tak zajišťuje i následná vysoká hodnota koeficientu determinace (**Graf 3**). U douglasky byl spočítán koeficient s hodnotou 99,29 %, což je takřka dokonalá predikce závisle proměnných hodnot. U listnáčů byla výsledná hodnota nižší o necelých 5 %, tedy stále vysoká. Nicméně smrk má výsledný koeficient pouhých 52,45 %, což je spíše k zamyšlení nad možnou chybovostí měření v rámci regresního modelu. V případě **Grafu 4** je chybovost měření oproti **Grafu 3** ve všech případech významně větší, ačkoliv u listnáčů a douglasky stále jde o relativně kvalitní predikci hodnot. To však vůbec neplatí pro smrk, jež svou hodnotou 38,48 % ukazuje na velkou chybovost měření.



Graf 3: Vývoj rozkladu vzorků celulózy u vzorků humusového horizontu F+H pod douglaskou, smrkem a listnáči



Graf 4: Vývoj rozkladu vzorků celulózy u vzorků organicko-minerálního horizontu Ah pod douglaskou, smrkem a listnáči

5.1.3 Vyhodnocení rozdílů mezi dřevinami statistickou metodou

K statistickému výpočtu pro vyhodnocení významnosti rozdílů mezi zbarvením a rozkladem pod všemi třemi skupinami (smrk, douglaska, listnáče) byla použita metoda ANOVA, což je jednofaktorová analýza variance. Následně byl použit tzv. post hoc test (dle Tukeye), který dokáže identifikovat rozdíly mezi jednotlivými skupinami. Výsledné hodnoty byly v průběhu měření označeny písmeny a, b, c v závislosti na

významné statistické odlišnosti, přičemž hladina významnosti byla stanovena na $\alpha = 0,05$.

V níže přiložených tabulkách jsou uvedeny výsledky statistické rozdílnosti. Tím, že do měření byly v rámci lepšího porovnání přidány listnáče, tak ve všech horizontech na tom jsou lépe, než primárně zkoumaná douglaska a smrk, proto budu listnáče komentovat spíše okrajově. Nicméně vývoj biologického procesu, tedy zbarvení a rozkladu, probíhal do jisté míry dle očekávání, kdy, jak už bylo zmíněno, listnáče byly nejrychlejší, následovány douglaskou, a nakonec nejpomalejší byl smrk. U douglasky se hodně projevila její melioračně prospěšná funkce, kdy i přes to, že je to jehličnan a taktéž okyseluje půdu, tak oproti smrku obsahuje značné množství látek, jež zvyšují půdní aktivitu a díky tomu se hodnotově vždy dostala před sledovaný smrk, byť ne vždy byly rozdíly statisticky významné. To platí primárně v **Tabulce 7**, kde si hodnoty byly v průběhu 2. až 5. měření velmi podobné, jelikož se pohybovaly okolo 0,01 % až 2 %, zatímco listnáče odskočily v tu chvíli až na hodnotu 80 %. Ve všech případech měření (**Tabulka 5, 6, 7 a 8**) tak opad pod douglaskou kvalitnější než pod smrskem, ale stejně tak byl o trochu méně kvalitnější v porovnání s listnáči. V **Tabulce 5** při začátku měření byl prokázán statistický rozdíl pouze mezi listnáči a jehličnany jako celku, jelikož sdílejí statisticky podobné hodnoty. Při 2. měření od sebe hodnoty jehličnanů významně odskočily, tudíž se vytvořily 3 hodnotově významně rozdílné skupiny. Při 3. měření bylo tempo zbarvení u douglasky dorovnáno s tempem listnáčů, zatímco u smrku se toto povedlo až při 5. měření a následně do 11. měření už mezi sebou neměly žádné významné rozdíly, jelikož vzorky byly plně zbarvené.

Tabulka 5: Statistické výpočty hodnot (v procentech) zbarvení v humusovém horizontu F+H

Termín	Horizont	Humusový F+H		
		Listnáče	Smrk	Douglaska
1	Zbarvení	43,32 a	5,37 b	11,51 b
2	Zbarvení	80,47 a	32,43 b	48,73 c
3	Zbarvení	90,58 a	77,66 b	86,28 a
4	Zbarvení	98,63 a	91,97 b	97,47 a
5	Zbarvení	99,73 a	96,5 a	99,7 a
6	Zbarvení	99,9 a	98,2 a	99,9 a
7	Zbarvení	100 a	98,93 a	99,9 a
8	Zbarvení	100 a	99,33 a	100 a
9	Zbarvení	100 a	99,63 a	100 a
10	Zbarvení	100 a	100 a	100 a
11	Zbarvení	100 a	99,63 a	100 a

U **Tabulky 6** je trend podobný, byť je o trochu pomalejší. Začátek byl též několikanásobně rozdílný mezi listnáči a jehličnany jako celku. Při 2. měření též došlo k násobnému odskočení mezi smrkem a douglaskou. K následnému trvalému srovnání hodnot s listnáči došlo u douglasky při 5. měření a u smrku při následném 6. měření.

Tabulka 6: Statistické výpočty hodnot (v procentech) zbarvení v organicko-minerálním horizontu Ah

Termín	Horizont	Organicko-minerální Ah		
		Listnáče	Smrk	Douglaska
1	Zbarvení	32,06 a	1,21 b	2,73 b
2	Zbarvení	91,72 a	10,65 b	33,48 c
3	Zbarvení	97,47 a	31,27 b	74,68 c
4	Zbarvení	99,0 a	67,67 b	88,53 c
5	Zbarvení	99,0 a	82,58 b	96,17 a
6	Zbarvení	99,6 a	95,7 a	98,4 a
7	Zbarvení	99,77 a	99,4 a	99,27 a
8	Zbarvení	99,83 a	100 a	99,73 a
9	Zbarvení	99,83 a	100 a	99,73 a
10	Zbarvení	99,83 a	100 a	100 a
11	Zbarvení	100 a	100 a	100 a

V případě hodnocení rozkladu byl proces u jednotlivých dřevin od sebe násobně více odlišný, než jak tomu bylo při procesu zbarvení. Sice byly listnáče opět první a už skoro od samého začátku významně svými hodnotami odskočily, nicméně vývoj rozkladu douglasky a smrku už nebyl tolik rychlý a ani podobný, jako tomu bylo u procesu zbarvení.

Začátek **Tabulky 7** ukazuje, že podobnost hodnot měly všechny skupiny pouze do 2. měření. Od té chvíle začal smrk významně zaostávat a až do konce samotného měření své hodnoty se zbylými skupinami nesrovnal. Douglaska s listnáči držela tempo až do 3. měření, odkud už začala násobně zaostávat a své hodnoty s nimi nesrovnala ani na konci měření. Následná **Tabulka 8** byla mnohem zajímavější, jelikož od počátku měření byl postup rozkladu u smrku a douglasky pomalý. Obě dřeviny měly dlouhou dobu téměř nulové hodnoty rozkladu, u smrku první dvě měření dokonce přímo nulové, což potvrzuje vzájemnou statistickou podobnost až do 5. měření, kde douglaska postupně odstoupila, jelikož smrk se nadále pohyboval v téměř nulových hodnotách, a to až do 8. měření, kdy se probudila jeho biologická aktivita a násobně zvedl svou hodnotu, byť statistické rozdíly zůstaly.

Tabulka 7: Statistické výpočty hodnot (v procentech) rozkladu v humusovém horizontu F+H

Termín	Horizont	Humusový F+H		
	Dřevina	Listnáče	Smrk	Douglaska
1	Rozklad	1,72 a	0,12 a	0,44 a
2	Rozklad	6,34 a	1,27 a	3,36 a
3	Rozklad	20,62 a	1,67 b	10,51 a
4	Rozklad	43,38 a	2,14 b	21,13 c
5	Rozklad	60,23 a	2,60 b	30,17 c
6	Rozklad	58,20 a	2,86 b	37,57 c
7	Rozklad	70,45 a	3,12 b	42,87 c
8	Rozklad	75,30, a	3,52 b	49,60, c
9	Rozklad	82,7 a	4,83 b	55,46 c
10	Rozklad	91,27 a	8,47 b	64,93 c
11	Rozklad	95,22 a	24,29 b	76,50 c

Tabulka 8: Statistické výpočty hodnot (v procentech) rozkladu v organicko-minerálním horizontu Ah

Termín	Horizont	Organicko-minerální Ah		
	Dřevina	Listnáče	Smrk	Douglaska
1	Rozklad	0,73 a	0 b	0,07 a
2	Rozklad	12,05 a	0 b	0,24 b
3	Rozklad	41,61 a	0,01 b	0,44 b
4	Rozklad	69,27 a	0,017 b	0,96 b
5	Rozklad	80,93 a	0,11 b	1,77 b
6	Rozklad	86,10 a	0,15 b	2,76 c
7	Rozklad	90,0 a	0,28 b	4,55 c
8	Rozklad	93,87 a	0,65 b	7,76 c
9	Rozklad	95,33 a	1,69 b	15,30 c
10	Rozklad	96,83 a	4,34 b	36,42 c
11	Rozklad	98,92 a	21,25 b	64,87 c

5.2 Vyhodnocení výsledků

Celkově lze pokus shrnout:

- Zbarvení dřevin: Při 1. měření byl nástup biologické aktivity smrku a douglasky v obou horizontech (humusový F+H, organicko-minerální Ah) srovnatelný. Avšak v následujících měřeních mezi nimi vznikl až několikanásobný rozdíl, přičemž douglaska svými hodnotami předběhla hodnoty smrku. V polovině pokusu se oba horizonty svými hodnotami vyrovnaly těsně pod hranicí 100 %. Listnáče pak zaznamenaly silný a rychlý nástup, přičemž od 3. měření svým zbarvením dosahovaly hodnot v obou horizontech v rozmezí 90-100 %, čímž zároveň splnily očekávání spojené s vyšší mikrobiologickou aktivitou.
- Rozklad smrku: Na začátku byl proces rozkladu v obou horizontech pod oběma jehličnany téměř nulový. Tato situace platila zejména u smrku v organicko-minerálním horizontu Ah během většiny měření. Humusový horizont F+H naopak projevil větší biologickou aktivitu v řádu několika pouhých jednotek procent. Výsledky potvrzují očekávání nižšího rozkladu v důsledku absence určitých prvků, jako je především vápník nebo dusík.
- Rozklad douglasky: Pro douglasku byl rozklad v humusovém horizontu F+H velmi pozitivní s pravidelným nárůstem hodnot, dosahujícím více než 70 % rozkladu v povrchové vrstvě. Naopak v horizontu organicko-minerálním Ah byl rozklad po většinu měření slabý až ke konci pokusu, kdy se proces násobně zrychlil a dosáhl téměř 65 %. Oproti smrku má douglaska výhodu, na vápník a dusík bohatšího opadu. To podporuje vyšší rychlost procesu dekompozice.
- Rozklad listnáčů: Listnáče předvedly svou dominanci v rychlosti rozkladu, kdy na konci pokusu předběhly zbylé měřené dřeviny o desítky procent napříč oběma horizonty.

6. Diskuse

Současná skladba lesních dřevin je v Evropě velmi ovlivněna klimatickou změnou. Kvůli vlivu abiotických faktorů, jako je sucho, vítr nebo sníh, došlo k řadě poškození lesních porostů, které byly následně více náchylné k napadení škůdci, ať už hmyzím nebo houbovým. Dále se vlivem klimatické změny v posledních několika letech snížilo množství dešťových srážek, což též velmi negativně přispělo k dalším škodám na lesních porostech. Kombinací všech těchto faktorů utrpěly největší škody populace smrku ztepilého (*Picea abies* (L.)), které byly natolik oslabené, že nezvládly následnou populační gradaci lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* (L.)). Suché a teplé počasí způsobilo, že mnohé druhy lýkožroutů, včetně lýkožrouta smrkového, začaly být na jaře aktivní o několik týdnů dřív, a na místo obvyklých dvou rojení za rok, dochází ke třem rojení. To mělo za následek rozsáhlé poškození smrkových porostů. Samotná míra poškození smrkových porostů je primárně dána tím, že smrk byl pro svou rychlost růstu a průmyslovou upotřebitelnost pěstován i na lokalitách nacházejících se mimo jeho přirozená stanoviště. V důsledku kalamity kůrovců na smrku a jeho následné velké těžbě je nyní kladen velký důraz na sázení dřevin, které jsou svými vlastnostmi odolné vůči abiotickým faktorům a svými melioračními vlastnostmi vytvořily nové vitální lesy (SLODIČÁK 2014).

Kvůli tomu se upravuje způsob hospodaření a výchova porostů, obnovuje se původní přirozená skladba dřevin a sází se meliorační a zpevňující dřeviny, jako jsou dub, olše nebo buk, respektive se rozšiřuje druhová skladba nově zakládaných porostů. Mnozí zmiňují i použití introdukovaných dřevin jako součást nové skladby dřevin. Toto se týká hlavně douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), u které se již dlouhodobě mluví o jejím vyšším procentuálním zastoupení v českých lesích. Téma širšího využití douglasky tisolisté v lesním hospodářství České republiky není nové, ale s nynější výraznou klimatickou změnou je velmi aktuální. O douglasce se často mluví jako o vhodné náhradě za domácí smrk ztepilý, rostoucí na nepůvodních stanovištích nižších a středních poloh. Občas se jí přezdívá „americký smrk“, protože má podobné růstové vlastnosti jako smrk. Tím se částečně naráží na její domovinu, kterou je západní pobřeží Severní Ameriky a území Skalistých hor ve státě Washington. Odsud byla introdukována do řady jiných států všech kontinentů, snad kromě Afriky (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Do České republiky (dříve Rakousko – Uhersko) byla douglaska poprvé dovezena už v roce 1827. Od té doby její plocha postupně narůstá až do dnešních přibližných 6000 ha, což představuje v českých lesích pouze malé zastoupení 0,25 %. (MONDEK, BALÁŠ 2019). To je způsobeno legislativními omezeními vůči introdukovaným dřevinám, které jsou účinně potlačovány. Navíc proti jejímu dalšímu

vysazování v lesích do jisté míry bojují i některé ekologické spolky. Přitom v mnohých jiných státech Evropy, především západní Evropy, je douglaska významně zapojena do lesních ekosystémů. Například ve Francii její pěstování pokrývá plochu přibližně 415 000 ha. Podobná velikost zastoupení douglasky tisolisté v lesních ekosystémech panuje i v Německu, Velké Británii, Dánsku nebo Irsku (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). Na území České republiky se doporučuje pěstovat douglasky washingtonské provenience, pocházející ze západních svahů Severních Kaskád ve státě Washington. Tyto provenience jsou vnitrozemské, tudíž jsou oproti pobřežním proveniencím odolnější vůči mrazu a fyziologickému vytranspirování. Nicméně ve vyšším věku vykazují vnitrozemské provenience menší přírůst než pobřežní provenience. Přesto se doporučuje pěstovat vnitrozemské provenience, jelikož jiným proveniencím se v České republice nedaří (MUSIL et al., 2002; KŠÍR et al., 2013).

Douglaska je známá pro své skvělé meliorační a zpevňující funkce, mezi které patří hluboký kořenový systém, který má na rozdíl od smrku lepší uchycení v půdě. Půdní nasycení je, jak ukázala pedochemická analýza vzorků (**Tabulka 9**), též vyšší pod porostem douglaskovým, než pod smrkovým. Z hlediska půdního vlivu se mnoho výzkumných prací, jako MONDEK, BALÁŠ (2019) nebo KUBEČEK et al. (2014), zaměřilo na posouzení půdního vlivu douglasky tisolisté oproti jiným dřevinám, jako je smrk nebo listnaté dřeviny obecně. V mnoha pracích došli k závěru, že opad pod douglaskovým porostem vytváří menší vrstvu a zároveň se rychle rozkládá, což je dáno zvýšeným obsahem vápníku v opadu. Dále obsahuje větší množství dusíku, hodnotově podobné množství jako u listnáčů, díky čemuž může v případě čistě douglaskových porostů postupně docházet k eutrofizaci celého stanoviště (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013). V rámci vyššího zájmu o pěstování douglasky v lesních ekosystémech se musí zvyšovat péče o dynamiku lesních půd s ohledem na bilanci dusíku. V rámci toho došlo k výzkumu zkoumající potenciální a skutečnou respirační aktivitu, včetně posouzení intenzity procesu nitrifikace v horizontech F+H a Ah, pod douglaskovým a smrkovým porostem. Výsledky ukázaly, že pod douglaskovými porosty je v obou horizontech dynamika dusíku násobně výraznější, a tudíž i rychlost dekompozice nadložního humusu vyšší, než jak tomu je pod smrkovými porosty (PODRÁZSKÝ et al., 2020).

Vyšší rychlost dekompozice douglaskového opadu je potvrzena i touto prací. Pro omezení případné nitrifikace půd se pravidelně diskutuje ohledně volby správného procentuálního zastoupení douglasky v porostu. Nejčastěji je doporučováno pěstovat douglasku v zastoupení 20-30 %, pro zvýšení potenciálu celkového objemu lze zvýšit zastoupení až na 30-40 % (PODRÁZSKÝ et al., 2014). Lze využít i menšího zastoupení, jako tomu je v případě zkoumaného douglaskového porostu v této bakalářské práci, kde zastoupení douglasky v porostu dosahuje 15 %. Dalším

negativem douglasky jsou její vysoké živinové nároky. Bylo potvrzeno, že v místě jejího růstu došlo ke snížení obsahu dusíku v půdě (PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2008).

Zmíněné vlastnosti opadu douglasky mají velký vliv na biodiverzitu fytoocenózy v podrostu. V rámci posouzení vlivu douglasky na fytoocenózu proběhl výzkum na území čtyř majetků lesních správ na 44 plochách, který se nacházel ve 2.-3. lesním vegetačním stupni (310-480 m n.m.), a který posoudil, že pod douglaskovými porosty se nachází větší počet druhů podrostní vegetace, než jak tomu je v případě porostů bez douglasky. Nutno dodat, že se jednalo hlavně o druhy nitrofilní, heminitrofilní nebo živinově indiferentní (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013).

Dále je velmi ceněna pro svoji vysokou produkční funkci, díky které dokáže nahradit jiné produktivní, často i citlivé druhy, jako je smrk ztepilý. To by mohlo zmírnit negativní dopady úbytku smrku na dřevozpracující průmysl (KNOO, HANEWINDEL 2019). Douglaskové dřevo je z pohledu kvality též velmi kvalitní a v některých mechanických vlastnostech, jako je pevnost a hustota, je dokonce lepší než domácí druhy, jako je smrk a borovice. Pouze modřín předčil douglasku ve všech sledovaných vlastnostech (ZEIDLER et al., 2022). Douglaskové dřevo je tak vhodné použít na řadu technických staveb, jako jsou inženýrské stavby. V České republice bohužel není dřevo douglasky, na rozdíl od domácích druhů, tolik žádané. Z části je to dáno velkou mírou exportu vytěženého dřeva do zahraničí, ale také i nepřipraveností domácího dřevozpracujícího průmyslu, díky čemuž se vyrábí produkty s nižší přidanou hodnotou, než jak je tomu v sousedním Německu nebo Rakousku (SLÁVIK et al., 2017). Předpokládá se, že se douglaska v Evropě a ve světě, během příštích několika desetiletích, stane jednou z nejvýznamnějších hospodářských dřevin (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2013).

Tabulka 9: Pechochemická analýza výsledků v listnatém, smrkovém a douglaskovém porostu na lokalitě Točna (zdroj: PODRÁZSKÝ, NEPUBLIKOVÁNO)

Dřevina	Nadložní humus	pH KCL	V	Cox	N	C/N
Horizont	t.ha ⁻¹		%	%	%	
List. L+F1	7,80 a	4,97 a	79,10 a	39,79 a	1,57 a	25,3
List. F2+H	16,96 a	4,95 a	82,48 a	20,98 a	1,16 a	18,1
List. Ah		4,21 a	32,76 a	13,12 a	0,68 a	19,3
List. B		3,81 a	8,97 a	2,28 a	0,17 a	13,4
DG L+F1	10,78 a	4,51 b	74,79 a	42,15 a	1,55 a	27,2
DG F2+H	23,83 a	4,05 b	57,42 b	31,72 b	1,27 a	25
DG Ah		3,63 b	36,97 a	14,54 a	0,70 a	20,8
DG B		3,53 b	9,60 a	2,61 a	0,12 a	21,8
SM L+F1	16,08 b	4,23 c	68,15 b	39,96 a	1,34 a	29,8
SM F2+H	71,74 b	3,82 b	46,12 c	26,02 ab	1,11 a	23,4
SM Ah		3,38 b	8,40 b	6,98 b	0,28 b	24,9
SM B		3,55 b	1,57 b	2,17 a	0,13 a	16,7

Na lokalitě Točna, nacházející se 2 km severně od Kostelce nad Černými lesy, kde byly odebrány vzorky mého výzkumu, byly změřeny pedochemické vlastnosti smrkového, douglaskového a listnatého porostu (**Tabulka 9**), tedy stejných porostů, jaké jsou zkoumány v této bakalářské práci. Tučně uvedené hodnoty značí významné statistické rozdíly. Ukázalo se, že smrk a douglaska, přes drobné odlišnosti, sdílejí podobnou úroveň půdního pH, ale u zbylých hodnot se významně odlišují. Naopak srovnání douglasky a listnatého porostu ukazuje, že mimo hodnotu výměnného pH (KCL), půdního nasycení v horizontu F2+H a hodnotu celkového uhlíku (Cox.) ve stejném horizontu, si jsou změřené hodnoty dost podobné.

Poslední srovnávaná skupina, tedy listnatý porost a smrk, ukázala velký rozdíl změřených hodnot. S listnáči měl smrk podobné pouze některé hodnoty, a to jen u některých horizontů, jako je hodnota Cox nebo množství dusíku. Naopak v množství nadložního humusu byla největší vrstva akumulována pod smrkovým porostem s celkovou hodnotou 87,82 t.ha⁻¹. Druhé místo zaujal opad douglasky

s akumulací 34,62 t.ha⁻¹, který byl z hlediska významnosti bližší listnáčům než smrku, a na prvním místě byl porost listnatý s nejnižší akumulovanou vrstvou nadložního humusu 24,76 t.ha⁻¹. Výše uvedené analyzované výsledky jsou součástí stále probíhajícího víceletého výzkumu trvajících do konce roku 2024, zabývajících se potenciálem geograficky nepůvodních dřevin v lesním hospodářství v ČR.

V souvislosti s klimatickou změnou a probíhající kůrovcovou kalamitou, se skladba lesních porostů České republiky začíná postupně proměňovat. Výše v diskusi uvedené vlastnosti douglasky, ať už vlastnosti půdní nebo dřeva, ukazují, že douglaska má ve zdejších lesních ekosystémech své místo. O využití douglasky, jakožto náhradní dřeviny za smrk, se v Česku mluví už řadu let. Nicméně i po té řadě let je zastoupení douglasky stále pod jedním procentem, respektive 0,25 %. Zatímco v nedaleké Francii, a nejen jí, pokrývá plochu několika stovek tisíc hektarů. Je otázka, čím to přesně je, že zde v ČR nemá douglaska větší zastoupení. Jestli je to určitou nedůvěrou k ní, jakožto introdukované dřevině, nebo právním omezením, které omezuje vyšší míru sázení douglasky do nově základajících porostů, nebo obojí? V každém případě bylo na toto téma vytvořeno množství vědeckých prací, které ve své většině popisují douglasku tisolistou jako perspektivní dřevinu, která je svými vlastnostmi vhodnou náhradou za ustupující smrk v nižších a středních polohách.

7. Závěr

Cílem pokusu bylo zhodnocení potenciálu celulózy v humusových formách smrku ztepilého, douglasky tisolisté a dále i v listnatém porostu s dominancí habru a lípy. Vzorky byly odebrány na lokalitě Točna, vzdálené přibližně 2 km severně od Kostelce nad Černými lesy. Tyto vzorky byly následně přibližně 8 měsíců kontrolovány v laboratorních podmínkách. Pro účely výzkumu byly odebrány ze dvou horizontů, a to humusového (F+H) a organicko-minerálního (Ah). Ve všech horizontech bylo rozmístěno 10 filtračních pásků, které sloužily jako zdroj celulózy, a tak byl sledován proces biologické aktivity u zbarvení a rozkladu jednotlivých pásků. Proces biologické aktivity zbarvení a rozkladu byl v obou horizontech relativně konzistentní. Nejrychlejší biologickou aktivitu vykazaly vždy listnáče, následovány douglaskou a posledním smrkem. Odlišnosti se tak projevovaly v rámci jednotlivých hodnot z měření. Z pedochemického hlediska byly hodnoty douglasky velmi podobné hodnotám listnáčů, s výjimkou hodnot půdního pH a poměr C/N. Ve srovnání se smrkem vykazala douglaska násobně vyšší hodnoty půdního nasycení, což potvrzuje její skvělé meliorační a zpevňující vlastnosti. Výsledky pokusu ukazují, že opad pod douglaskovými porosty se rozkládá rychleji než pod porosty smrkovými, především díky vyššímu obsahu vápníku a dusíku v opadu. To vede k mírně vyšší hodnotě pH v horizontech F+H a Ah oproti smrku. Potenciální výsadba douglasky tisolisté v lesích výrazně neovlivní půdní vlastnosti, ale díky svým melioračním vlastnostem může přispět ke stabilizaci lesních porostů postižených klimatickou změnou a kůrovcovou kalamitou.

8. Literatura

ALEWELL C., ARMBUSTER M., BITTERSOHL J., EVANS C. D., MEESENBURG H., MORITZ K., PRECHTEL A. 2001. Are there signs of acidification reversal in freshwaters of the low mountain ranges in Germany? *Hydrology and Earth System Sciences*, 5 (3):3 67-378

BALÁŠ M., KUNEŠ I., ZAHRADNÍK D. 2010. Reakce břízy karpatské na vápnění a přihnojení dusíkem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55 (2): 106-114

BALÁŠ M., NÁROVCOVÁ J., NÁROVEC V., MACHOVIČ I., KUNEŠ I., BURDA P. 2018. Postupy pro zalesňování degradovaných a rekultivovaných stanovišť s využitím poloodrostků a odrostků nové generace. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, ISBN 978-80-7417-144-4.

BORŮVKA L., NIKODEM A., DRÁBEK O., VOKURKOVÁ P., TEJNECKÝ V., PAVLŮ L. 2009. Assessment of soil aluminium along three mountainous elevations gradients. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 103: 1449-145

ČERMÁK P. 2014. Jak reaguje smrk na klimatické změny. VULHM, sborník přednášek: 9-15

ČERMÁK P., MIKITA T., KADAVÝ J. 2017. Budoucnost hospodaření se smrkem v období předpokládaných klimatických změn. *Lesnická práce*, roč. 96, č. 3

DE VRIES M., REINDS G. J., KLAP J. M. VAN LEEUWEN E. P., ERISMAN J. W., 2000. Effects on environmental stress of forest crown condition in Europe. Part III: Estimation of critical deposition and concentration levels and their exceedances. *Water, Air and Soil pollution*, 119: 363-386

DE VRIES M., DOBBERTIN H. M., SOLBERG S., VAN DOBBEN F. H., SCHAUB M. 2014. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview. *Plant and Soil*, 380: 1-45

DUŠEK D., NOVÁK J., SLODIČÁK M., KACÁLEK D. 2017. Zdravotní stav smrkových mlazin v oblasti chřadnutí smrku po prvních výchovných zásazích. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62 (1), 16-22

DUŠEK D., NOVÁK J., SLODIČÁK M., KACÁLEK D. 2019. Vliv výchovných zásahů na vývoj mladých chřadnoucích smrkových porostů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 64 (1): 37-44

FIALA P., MATERNA J., REININGER D., SAMEK T. 2009. Stav povrchových půdních vrstev a výživa smrkových porostů v přírodní lesní oblasti Český les. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 1-11

FIALA P., REININGER D., SAMEK T. 2010. Vyhodnocení dat chemických analýz z průzkumu na trvalých zkusných plochách, provedeného v roce 2009. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

FIALA P., REININGER D., SAMEK T., MALÝ S. 2015. Vybrané mikrobiologické vlastnosti lesních půd pod bukem a smrkem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60 (4): 287-298

- FIALA P., REININGER D., SAMEK T. 2017. Chemismus půdního prostředí a jehlic smrku ztepilého (*Picea abies* /L./KARST.) ve vápněných a kontrolních porostech Krušných hor. Zprávy lesnického výzkumu, 62 (1): 23-32
- FINCH O-D., SZUMELDA A. 2007. Introduction of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) into Western Europe: Epigeic arthropods in intermediate-aged pure stands in northwestern Germany. *Forest ecology and management*, 242: 260-272 [cit. 2023-11-05]. ISSN 0378-1127.
- FISCHER R. F., BINKLEY D. 2019. *Ecology and management of forest soils*. John Wiley & Sons, ISBN: 978-1-119-45565-3. 5. vydání
- FRANCE DOUGLAS. l'association des professionnels du Douglas (france-douglas.com) [20.11.2023]
- FREY B., STEMMER M., WIDMER F., LUSTER J., SPERISEN C. 2006. Microbial activity and community structure of a soil after heavy metal contamination in a model forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (7): 1745-1756
- GLATTHORN J., SCHWEIER J., STREIT K., THEES O., HOBI M. 2023a. Adaptiver Waldbau – mit Wissen, Vorsicht und Mut. *Schweiz Z Forstwes*, 174 (2): 64-69
- GLATTHORN J., APPLEBY S., BALKENHOL N., KRIEGEL P., LIKULUNGA L.E., LU J-Z., MATEVSKI D., POLLE A., RIEBL H., PÉREZ C.A.R., SEINSCH S.S.A., SCHALL P., SCHULD T., WINGENDER S., AMMER C. 2023. Species diversity of forest floor biota in non-native Douglas-fir stands similar to that of native stands. *Ecological society of America*, 14 (7)
- HOLUŠA J., TROMBIK J. 2014. Kůrovci na smrku a chřadnutí smrku. VÚLHM, sborník přednášek: 31-35
- HRIB M., KOPP J., KŘIVÁNEK J. 2009. *Lesy v České republice*. Praha: Lesy ČR, ISBN 80-903482-5-4.
- HRUŠKA J., KOPÁČEK J. 2009. Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I. Emise a depozice okyselujících sloučenin. *Živa*, 2
- HRUŠKA J., OULEHLE F., CHUMAN T. 2020. Acidifikace lesních půd jako přetrvávající dědictví „špinavého“ 20. století. *Fórum ochrany přírody*, 03
- HŮNOVÁ I., KURFÜRST P., ŠKÁCHOVÁ H. 2022. Jak se změnila atmosférická depozice síry a dusíku v našich lesích za poslední čtvrt století? *Meteorologické zprávy*, 74
- JANKOVSKÝ L. 1999. Některé aspekty dekompozice dřeva v lese dřevními houbami. Vranov nad Dyjí: Správa NP Podyjí, 19-32
- JANKOVSKÝ L., VÁGNER A., APLTAUER J. 2002. The decomposition of wood mass under conditions of climax spruce stands and related mycoflora in the Krkonoše Mountains. *Journal of Forest Science*, 48 (2): 70-79
- JANKOVSKÝ L., PALOVČÍKOVÁ D., DVOŘÁK M. 2011. Zavlečené a invazní choroby dřevin - riziko pro lesnictví ČR. *Zpravodaj ochrany lesa*, 15: (64-67)

- JANKOVSKÝ L. 2014. Role houbových patogenů v chřadnutí smrků. VÚLHM, sborník přednášek: 20-30
- KACÁLEK D., NOVÁK J., BARTOŠ J., SLODIČÁK M., BALCAR V., ČERNOHOUS V. 2010a. Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy ve vztahu k druhům dřevin. Zprávy lesnického výzkumu, 55: 19-25
- KACÁLEK D., NOVÁK J., ČERNOHOUS V., SLODIČÁK M., BARTOŠ J., BALCAR V. 2010. Vlastnosti nadložního humusu a svrchní vrstvy půdy pod smrkem, modřínem a olší v podmínkách bývalé zemědělské půdy. Zprávy lesnického výzkumu, 55 (1): 158-164
- KACÁLEK, Dušan et al. 2017. Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin: Soil improving and stabilising functions of forest trees. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce: 75-94, ISBN 978-80-7458-102-1.
- KALČÍK J. 2001. Koloběh fosforu v lesních půdách. Lesnická práce, roč. 80, č. 11
- KLIMO E., MATERNA J., VOKOUN J. 2002. Globální změny klimatu a potenciální změny lesních půd. Lesnická práce, roč. 81, č. 2
- KOCA D., SMITH B., SYKES M. T. 2006. Modelling regional climate change on potential natural ecosystems in Sweden. Climate change, 78 (2): 381-406
- KOCIĆ O., JARIĆ S., PAVLOVIĆ D., MARKOVIĆ M., MITROVIĆ M., PAVLOVIC P. 2016. The effects of Douglas fir monoculture on stand characteristics in a zone of montane beech forest. Arch Biol Sci., 68 (4): 753-766
- KŠÍR J., BERAN F., PODRÁZSKÝ V., NOVOTNÝ P., DOSTÁL J., KUBEČEK J. 2015. Výsledky hodnocení mezinárodní provenienční plochy s douglaskou tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*/Mirb./Franco) na lokalitě Hůrky v jižních Čechách ve věku 44 let. Zprávy lesnického výzkumu, 60 (2): 104-114
- KUBEČEK J., ŠTEFANČÍK I., PODRÁZSKÝ V., LONGAUER R. 2014. Výsledky výzkumu douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb./ Franco) v České republice a na Slovensku – přehled. Forestry Journal, 60: 116-124
- KULHAVÝ J. 2002. Hodnocení změn v lesních půdách v důsledku očekávané klimatické změny. Lesnická práce, roč. 81, č. 3
- LIŠKA J., SOUKUP F., KAPITOLA P. 2001. Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2000 a jejich očekávaný stav. Lesnická práce, roč. 80, č. 5
- LOCHMAN V., ŠRÁMEK V., FADRHOUSOVÁ V., LACHMANOVÁ Z. 2008. Změny zásoby sledovaných prvků v lesních půdách na plochách Moldava v Krušných horách. Zprávy lesnického výzkumu, 53
- LUBOJACKÝ J. 2018. Ochrana douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) proti kůrovcům (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Lesnický průvodce 17
- MADRONICH S., SULZBERGER B., LONGSTRETH D. J., SCHIKOWSKI T., ANDERSEN SULBÆK P. M., SOLOMON R. K., WILSON R. S. 2023. Changes in tropospheric air quality related to the protection of stratospheric ozone in a changing climate. Photochemical & Photobiological Sciences, 22: 1129-1176

- MANION, P. D. 1991. Tree disease concept. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- MAPY.CZ [31.1.2023] Trasa z místa 50°0'27.520"N, 14°51'13.287"E • Mapy.cz
- MARESCHAL L., BONNAUD P., TURPAULT M.P., RANGER J. 2010. Impact of common European tree species on the chemical and physicochemical properties of fine earth: An unusual pattern. *European Journal of Soil Science*, 61 (1): 14-23
- MENŠÍK L., FABIÁNEK T., TESAŘ V., KULHAVÝ J. 2009. Humus conditions and stand characteristics of artificially established young stands in the process of the transformation of spruce monocultures. *Journal of Forest Science*, 55 (5): 215-223
- MODLINGER R., LALÍK M., GALKO J., LUBOJACKÝ J. 2018. Ověření ochrany výsadeb proti žíru klikoroha borového (*Hylobius abietis*) pomocí voskování v terénních podmínkách. Národní lesnické centrum, : (68-72)
- MONDEK J., BALÁŠ M. 2019. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and its role in the Czech forests. *Journal of Forest Science*, 65 (2): 41-50
- MUSIL I., HAMERNÍK J., LEUGNEROVÁ G. 2002. Lesnická dendrologie 1. jehličnaté dřeviny. Vydání: Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze: 112-114
- NÁROVEC V. 2001. K nálezu houby *Ascocalyx abietina* v Orlických horách. *Lesnická práce*, roč. 80, č. 6
- NĚMEC J. 2009. Lesy v České republice. Lesy ČR, ISBN: 978-80-903482-5-7
- NICOLESCU V.N., MASON W.L., BASTIEN J.C., VOR T., PETKOVA K., PODRÁZSKÝ V., ĐODAN M., PERIĆ S., LA PORTA N., BRUS R., ANDRAŠEV S., SLÁVIK M., MODRANSKÝ J., PÁSTOR M., RÉDEI K., CVJETKOVIC B., SIVACIOĞLU A., LAVNYI V., GOANTĂ C.B., MIHĂILESCU G. 2023. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Europe: an overview of management practises. *Journal of Forestry Research*, 34: 871-888
- NOVÁK J., DUŠEK D., SLODIČÁK M. 2014. Pěstební opatření v oblasti chřadnutí smrku. VÚLHM, sborník přednášek: 36-42
- NOVOTNÝ R., ŠRÁMEK V., BURIÁNEK V. 2010. Evaluation of the zone injury to ground vegetation within the plots of intensive monitoring in the Czech Republic. *Forestry Journal*, 56 (1): 57-67
- NOVOTNÝ R., FADRHOŇSOVÁ V., ŠRÁMEK V. 2020. Stav lesních půd, úroveň minerální výživy a vývoj zdravotního stavu smrkových mlazin v Orlických horách v období 2002-2018. *Zprávy lesnického výzkumu*, 65 (3): 175-189
- NOVOTNÝ R., PECINA V., ČERNÝ J., VALTERA M., JUŘIČKA D. 2021. Vliv smrku ztepilého a buku lesního na obsah Cd, Cu, Pb a Zn v povrchových horizontech lesních půd v oblasti Jeseníků. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66 (2): 86-94
- ØKLAND B., FLØ D., SCHROEDER M., ZACH P., COCOS D., MARTIKAINEN P., SIITONEN J., MANDELSHTAM Y. M., MUSOLIN L. D., NEUVONEN S., VAKULA J., NIKOLOV CH., LINDELÖW Å., VOOLMA K. 2019. Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe. *Agricultural and Forest Entomology*, 21 (3): 286-298

- PECHÁČEK J., VAVŘÍČEK D., ČERMÁKOVÁ J. 2023. Acidifikace a regenerace lesních půd v České republice. Zprávy lesnického výzkumu, 68 (1): 15-27
- PEŠKOVÁ V. 2003. Nebezpečné sypavky na douglasce v České republice. Lesnické práce, 05
- PEŠKOVÁ V., SOUKUP F. 2013. Houbové choroby v lesích Česka v roce 2012. Zpravodaj ochrany lesa 17 : (19-21)
- PODRÁZSKÝ, NEPUBLIKOVÁNO – Potenciál geograficky nepůvodních dřevin v lesním hospodářství ČR (2022-2024)
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J. 2008. Půdotvorná role významných introdukovaných jehličnanů – douglasky tisolisté, jedle obrovské a borovice vejmutovky. Zprávy lesnického výzkumu, 53: 27–34
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J. 2010. Vliv druhové skladby lesních porostů na stav humusových forem na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy. Zprávy lesnického výzkumu, 55: 71-77
- PODRÁZSKÝ V., VIEWEGH J., MATĚJKA K. 2011. Vliv douglasky na rostlinná společenstva lesů ve srovnání s jinými dřevinami. Zprávy lesnického výzkumu, 56: 44-51
- PODRÁZSKÝ V., VIEWEGH J. 2013. Vliv douglasky tisolisté na přízemní vegetaci lesních porostů. Lesnická práce, roč. 92, č. 1
- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ J., PULKRAB K., BÍLEK L., PRKNOVÁ H., KUBEČEK J. 2014. Optimalizace pěstování smíšených porostů se zastoupením douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./Franco)
- PODRÁZSKÝ V., KUPKA I., PRKNOVÁ H. 2020. Substitution of Norway spruce for Douglas-fir: changes of soil microbial activities as climate change induced shift in species composition – a case study. Central European Forestry Journal, 66: 71-77
- PORTÁL eAGRI.cz. Škodlivé organismy (ŠO) > Choroby > odumírání letorostů jehličnanů > Info | Rostlinolékařský portál (eagri.cz). [08.02.2024]
- REJŠEK K. 2003. Fosfomonoesterázová aktivita nivních půd národní přírodní rezervace Ranšpurk. Pedologické dny: 88-96
- RITTER E., VESTERDAL L., GUNDERSEN P. 2003. Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soil with oak and Norway spruce. Plant and Soil, 249: 319-330
- ROTTER P., ŠRÁMEK V., VÁCHA R., BORŮVKA L., FADRHOŇSOVÁ V., SÁŇKA M., DRÁBEK O., VORTELOVÁ L. 2013. Rizikové prvky v lesních půdách: review. Zprávy lesnického výzkumu, 58 (1): 17-27
- SACCHELI S., CARRARI E., PAOLETTI E., ANAV A., HOSHIKA Y., SICARD P., SCREPANTI A., CHIRICI G., COCOZZA C., MARCO DE A. 2021. Economic impacts of ambient ozone pollution on wood production in Italy. Science reports 11, 154
- SAMEC P., ZEMAN M., RYCHTECKÁ P., KUČERA A., MAROSZ K. 2011. Tlející dřevo v biologické melioraci lesních půd. Lesnická práce, roč. 90, č. 4

- SLODIČÁK M. 2014. Příčiny chřadnutí smrku na Opavsku. VULHM, sborník přednášek: 5-8
- SLODIČÁK M., KACÁLEK D., NOVÁK J., DUŠEK D. 2014. Výchova porostů s douglaskou . Lesnický průvodce 8
- SOHRT J., HERSCHBACH C., WEILER M. 2018. Foliar P- but not N resorption efficiency depends on the P- concentration and the N:P ration in trees of temperate forests. *Trees*, 32: 1443-1455
- SOUKUP F., PEŠKOVÁ V. 2000. Napadení poškozených smrků v Orlických horách houbou *Ascocalyx abietina*. *Lesnická práce*, roč. 79, č. 10
- SOUKUP F., PEŠKOVÁ V., LANDA J. 2008. Mykologické poměry na zalesněných zemědělských půdách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 53 (4): 291-300
- SPIECKER H., LINDNER M., SCHULER J. 2019. Douglas-fir – an option for Europe. European forest institute. ISBN 978-952-5980-66-0.
- STRIBLEY H. G., ASHMORE R. M. 2002. Quantitative changes in twig growth pattern of young woodland beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to climate and ozone pollution over 10 years. *Forest Ecology and Management*, 157 (1-3): 191-204
- SVĚTLÍK J., KREJZA J., MENŠÍK L., POKORNÝ R., MAZAL P., KULHAVÝ J. 2016. Sekvestrace uhlíku smrkovým porostem (*Picea abies* (L.) Karst.) v oblasti Dražanské vrchoviny. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61 (1): 42-53
- SVOBODA J. 2007. Překročení kritických úrovní ozonu na stanici monitoringu čistoty ovzduší v areálu BZA MZLU v Brně v letech 2001 až 2006. Sborník Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, 16 (2): 123-130
- SZYMURA T.H. 2009. Concentration of elements in silver fir (*Abies alba* Mill.) needles as a function of needles' age. *Trees*, 23: 211-217
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., BARTOŠ J. 2022. Douglaska využívá vodu z hlubší vrstvy půdy než smrk. *Zprávy lesnického výzkumu*, 67 (2): 122-129
- ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J., NOVOTNÝ P. 2007. Příspěvek k problematice druhové skladby lesních porostů se zvláštním zřetelem k dřevinám melioračním a zpevňujícím. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52 (2): 160-165
- ŠRÁMEK V. 2005. Metodika výběru ploch pro plošnou chemickou melioraci půd. VULHM, TEI – bulletin technickoekonomických informací
- ŠRÁMEK V., MATERNA J., NOVOTNÝ R., FADRHOŇSOVÁ V. 2006. Effect of forest liming in the Western Krušné hory Mts. *Journal of Forest Science*, 52: 45-51
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., BEDNÁŘOVÁ E., HŮNOVÁ I., UHLÍŘOVÁ H. 2007. Vliv ozonu na lesní porosty – mechanismus působení, vliv na dřeviny, ukazatele poškození. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52 (2): 138-147

ŠRÁMEK V., JURKOVSKÁ L., FADRHONSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTO VÁ K. 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoring lesních půd v rámci projektu EU „Biosoil“. Zprávy lesnického výzkumu, 58 (4): 314-323

ŠRÁMEK V., FADRHONSOVÁ V., JURKOVSKÁ L. 2014a. Metodika výběru ploch pro vápnění lesních půd. Lesnický průvodce 7

ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., LOMSKÝ B., FADRHONSOVÁ V. 2014b. Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd. VULHM, sborník přednášek: 16-19

ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FIALA P., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTO VÁ K., REININGER D., SAMEK T., ČIHÁK T., FADRHONSOVÁ V. 2014. Vápnění lesů v České republice. Ministerstvo zemědělství, ISBN 978-80-7434-150-2

ŠRÁMEK V., FADRHONSOVÁ V., HELLEBRANDOVÁ-NEUDERTO VÁ K., NOVOTNÝ R. 2021. Doporučené metody nakládání s těžebními zbytky v lesních porostech s významnou produkční funkcí z hlediska udržitelnosti bilance hlavních živin. VULHM

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

UHLÍŘOVÁ H., KAPITOLA P. 2004. Poškození lesních dřevin. Lesnická práce

UHLÍŘOVÁ H., HELLEBRANDOVÁ K. 2007. Biomonitoring kadmia v lesním prostředí Krkonošského národního parku s vazbou na potravní řetězec. Výsledky z let 1998-2005. In: Štursa J. & Knapik R. (eds): Geoekologické problémy Krkonoš. Sborník Příspěvků z mezinárodní konference. Svoboda nad Úpou 3.-5. října 2006. Vrchlabí, Správa KRMAP: 517-521. Opera Corcontica, 44/2.

ULBRICHOVÁ I., KUPKA I., PODRÁZSKÝ V., KUBEČEK J., FULÍN M. 2014. Douglasska jako meliorační a zpevňující dřevina. Zprávy lesnického výzkumu, 59 (1): 72-78

VANČURA K. 2007. Les a voda v srdci Evropy. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, ISBN 978-80-7084-634-6.

VAŠÁT R., PAVLŮ L., BORŮVKA L., TEJNECKÝ V., NIKODEM A. 2015. Modelling the Impact of Acid Deposition on Forest Soils in North Bohemian Mountains with Two Dynamic Models: The Very Simple Dynamic Model (VSD) and the Model of Acidification of Groundwater in Catchments (MAGIC). Soil & Water Res, 10 (1): 10-18

WOHLGEMUTH T., MOSER B., PÖTZELSBERGER E., RIGLING A., GOSSNER M.M. 2021. Über die Invasivität der Douglasie und ihre Auswirkungen auf Boden und Biodiversität. Schweiz Z Forstwes, 172: 118-127

Zákon č. 156/1998 Sb., O hnojivech.

ZEIDLER A., BORŮVKA V., ČERNÝ J., BALÁŠ M. 2022. Douglas-fir outperforms most commercial European softwoods. Industrial Crops and Products, 181

