

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Srovnání celulolytického potenciálu v humusových
formách porostu dubu červeného ve srovnání se smíšeným
porostem domácích listnatých dřevin**

Bakalářská práce

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

František Matyáš Malec

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

1906

Název práce

Srovnání celulolytického potenciálu v humusových formách porostu dubu červeného ve srovnání se smíšeným porostem domácích listnatých dřevin

Název anglicky

Comparison of Potential for Cellulose Decomposition in the Humus Forms in the Stand of American Red Oak and in the Stand of Native Broad-Leaved Species

Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení rozdílů v celulolytické aktivitě humusových forem tvořených opadem dubu červeného a opadem domácích listnatých dřevin s dominancí buku. Šetření se soustředí na nadložní humus (vrstva F+H) a organominerální horizont (Ah). Z těchto půdních vrstev budou odebrány reprezentativní vzorky v porostních částech s dominancí 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, resp. vliv dubu červeného na stav humusových forem a dynamiku živin v lesních ekosystémech.

Metodika

- zpracování rešerše s problematikou tvorby humusových forem a půdotvorné funkce dubu červeného v lesních porostech, stručné pojednání o významu této dřeviny v lesním hospodářství ČR,
- založení pokusu s rozkladem celulózy – pásků filtračního papíru podle zavedené metodiky,
- substrát bude odebrán v porostní části s dominantním vlivem dubu červeného a v části téhož porostu s dominancí domácích listnáčů,
- substrát (F+H, Ah horizonty) bude v laboratorních podmínkách kultivován v kultivačních boxech při stálé vlhkosti a laboratorní teplotě,
- na povrchu substrátu budou uloženy pásky filtračního papíru (zdroj celulózy) o definovaném povrchu,
- v pravidelných intervalech bude hodnocen stupeň a míra infekce půdními mikroorganismy a rozkladu celulózy.

Harmonogram řešení:

- založení pokusu a jeho hodnocení (duben–září 2025)
- předložení literární rešerše (prosinec 2025)
- prezentace rešerše a metodiky v rámci katedrového semináře (prosinec 2025)
- zpracování výsledky (leden 2026)
- předložení rukopisu (březen 2026).

Doporučený rozsah práce

min. 30 ns odborného textu

Klíčová slova

Dub červený; listnaté porosty; meliorační funkce; opad; humusové formy; rozklad celulózy; mikrobiální aktivita

Doporučené zdroje informací

- 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.
- KUPKA I., BALÁŠ M., MILTNER S. 2018. Quantitative and qualitative evaluation of Northern red oak (*Quercus rubra* L.) in arid areas of North-Western Bohemia. *Journal of Forest Science*, 64, 2: 53 – 58.
- MILTNER S., KUPKA I., TŘEŠTÍK M. 2016. Effects of Northern red oak (*Quercus rubra* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* /Mattusch./ Liebl.) on the forest soil chemical properties. *Forestry Journal*. 62, 4: 169-172.
- MILTNER S., PODRÁZSKÝ N., NICOLESCU, V.N., VOR T., MASON W.L., BASTIEN J.C., BRUS R., HENIN J.M., KUPKA I., LAVNYI V., LA PORTA N., MOHREN F., PETKOVA K., RÉDEI K., ŠTEFANČÍK I., WASIK R., PERIC S., HERNEA C. 2020. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.ú in Europe: a review. *Forestry* 93: 481-494.
- PODRÁZSKÝ V., ŠTĚPÁNÍK R. 2002. Vývoj půd na zalesněných zemědělských půdách – oblast LS Český Rudolec. *Zprávy lesnického výzkumu*, 47: 53-56.
- STRAIGYTE L., MAROZAS V., ŽALKAUSKAS R. 2012. Morphological traits of red oak (*Quercus rubra* L.) and ground vegetation in stands in different sites and regions of Lithuania. *Baltic Forestry*, 18: 91–99.

Předběžný termín obhajoby

2025/26 LS – FLD

Vedoucí práce

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

V Praze dne 02. 04. 2026

Elektronicky schváleno dne 23. 04. 2025

doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 07. 2025

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan



Autor práce: František Matyáš Malec

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

2026

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Srovnání celulolytického potenciálu v humusových formách porostu dubu červeného ve srovnání se smíšeným porostem domácích listnatých dřevin vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souladu s GDPR.

V Praze dne 2. 4. 2025

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce, prof. Ing. Vilému Podrázskému, CSc., za jeho vstřícnost, trpělivost a schovívavost.

Srovnání celulolytického potenciálu v humusových formách porostu dubu červeného ve srovnání se smíšeným porostem domácích listnatých dřevin

Souhrn

Bakalářská práce se věnuje srovnání celulolytické aktivity v porostu druhu *Quercus rubra* a ve smíšeném porostu domácích listnatých dřevin, a to jak v ohledu rozvoje početnosti celulolytických enzymů, tak v ohledu samotného rozkladu celulózy. K porovnání byla využita série 12 vzorků odebraných v horizontech O a Ah ze stanovišť dominovaných jednak *Q. rubra*, jednak *F. sylvatica*. K dispozici tedy byly tedy 3 pro horizont Ah a 3 pro horizont O z podrostu dubu a 6 obdobně členěných z podrostu buku. K odběru došlo v obci Kostelec nad Černými lesy ve smíšeném lese tvořeném zonální vegetací dřevin. Vliv rozkladu byl pozorován na 20 celulóznicích listcích umístěných na povrch jednotlivých vzorků v uzavíratelných plastových nádobách. Po vizuálním rozdělení lístků na dílčí části pozorování probíhalo na celkem 400 dílčích vzorcích o ploše 1 cm². Jednotlivá pozorování byla učiněna v několikátýdenním intervalu proměnném s ohledem na charakter změn pozorovaných parametrů.

Statisticky významné rozdíly byly pozorovány jen v rámci horizontu O. Dílčí vzorky umístěné na vzorky z porostu *Q. rubra* vykazovaly v hlavní fázi rozvoje barevných změn značně pomalejší růst. Zároveň ovšem dosáhly vyšší úrovně celkových změn. Tato kategorie vzorků zároveň dosáhla významně vyšší úrovně rozkladu.

Z provedených měření nelze vyvodit, že by měl v horizontu Ah dub červený jiný vliv na celulolytické procesy než smíšený porost domácích dřevin. Lze ovšem dojít k závěru, že v pozdějších fázích dekomposice stimuluje lehce vyšší produkci enzymů, zatímco v ranné fázi vede jeho vliv k produkci pomalejší. Zároveň pozorování prokázala, že v tuzemských podmínkách dochází v porostu dominovaném dubem červeným k významně rychlejšímu úbytku celulózní hmoty než ve smíšeném porostu domácích listnatých dřevin. Jedná se o závěry podporující poznatky z dosavadní, dosud značně omezené, literatury věnující se ekologickým vlastnostem dubu červeného v podmínkách Střední Evropy. Mohly by proto přispět k dosavadnímu výzkumu tohoto druhu v tuzemském prostředí.

Klíčová slova: dub červený, enzymatická aktivita, celulolytická aktivita, dekompozice celulózy, organominerální horizont, horizont nadložního humusu, invazní dřeviny

Comparison of Potential for Cellulose Decomposition in the Humus Forms in the Stand of American Red Oak and in the Stand of Native Broad-Leaved Species

Summary

The focus of this thesis is the comparison of cellulolytic activity between stands of *Quercus rubra* and mixed stands of indigenous deciduous species, both in regard to the abundance and dynamics of cellulolytic enzymes and the process of decomposition itself. The comparison was based on a series of twelve samples taken in O and Ah soil horizons from stands dominated by *Q. rubra* as well as stands dominated by *F. sylvatica*. The series consisted specifically of 3 samples of O horizon and 3 of Ah within a *Q. rubra* stand and identically distributed samples from *F. sylvatica* stands. The stands are located in Kostelec nad Černými lesy in mixed woods consisting of zonal vegetation. The results of decomposition processes were measured using 20 cellulose strips distributed equally along the surface of soil samples placed in sealable plastic boxes. Individual sheets were also visually equally divided into 20 subsections, each with a surface of 1 cm². Individual observations were conducted with a frequency of several weeks adjusted to reflect the character of measured trends.

Statistically significant difference was found only in the O horizon. Individual subsamples within samples of *Q. rubra* stands showed a significantly slower rise in colour saturation during the main period of colour change in the range of tens of percents. Simultaneously however, these samples have reached significantly higher values of total colour saturation in the final phases in range of several percent. The same category of samples has also reached significantly higher amounts of decomposed mass.

The results do not indicate that northern red oak has a significantly different impact on cellulolytic processes in the Ah horizon compared to a mixture of native deciduous species. However, it can be concluded that in the later stages of decomposition, northern red oak stimulates slightly higher enzyme production, whereas in the early stages, its influence leads to a slower production rate. Furthermore, measured data demonstrates that under domestic conditions, stands dominated by northern red oak exhibit a significantly faster loss of cellulose mass than mixed stands of native deciduous species. These findings support existing, albeit currently limited, literature regarding the ecological properties of northern red oak in Central

European conditions and may contribute to ongoing research of this species in the local environment.

Keywords: northern red oak, enzymatic activity, cellulolytic activity, cellulose decomposition, invasive tree species, organomineral horizon, forest ground horizon

Obsah

1 Úvod a cíl práce	15
2 Literární rešerše	17
2.1 Celulóza	17
2.1.1 Rozklad lignocelulózy	18
2.1.2 Celulolytická aktivita	18
2.2 Lesní půda.....	18
2.2.1 Úrodnost.....	18
2.2.2 Mineralizace.....	19
2.2.3 Humus.....	19
2.2.4 Sorpce.....	20
2.2.5 Půdní horizonty.....	21
2.3 Vliv vegetace na půdní poměry	22
2.4 Buk lesní jako referenční dřevina	22
2.4.1 Druhové složení bylinného patra	23
2.4.2 Půdotvorný potenciál kyselých bučin	23
2.5 Dub červený v kontextu České republiky.....	24
2.5.1 Původ, introdukce a současný potenciál.....	25
2.6 Quercus rubra v kontextu České republiky	30
2.6.1 Využití a lesnický význam	30
2.6.2 Defoliace a vliv na půdní poměry.....	31
3 Metodika.....	32
3.1 Popis oblasti a lokalizace	32
3.2 Odběr vzorků a založení experimentu	32
3.3 Postup experimentu	33
3.4 Vyhodnocení experimentu	34
4 Výsledky	35
4.1 Nomenklatura.....	35
4.2 Naměřené hodnoty	36
4.3 Souhrnné parametry	36
4.4 Zbarvení v horizontech F+H	40
4.4.1 Statistické vyhodnocení.....	40
4.5 Zbarvení v horizontu Ah	43
4.5.1 Statistické vyhodnocení.....	43
4.6 Rozklad v horizontech F+H.....	44
4.6.1 Statistické vyhodnocení.....	44
4.7 Rozklad v horizontu Ah	46

4.7.1	Statistické vyhodnocení.....	46
5	Diskuse.....	48
6	Závěr	50
7	Seznam literatury a použitých zdrojů	51

1 Úvod a cíl práce

Jednou z nejzásadnějších složek ekosystému, zejména co se jak dekomposice a následné transformace organického materiálu, tak růstu samotného ekosystému týče, je bezesporu půda. Coby složka tvořená z velké části humifikovaným a mineralizovaným organickým materiálem představuje rezervoár makronutrientů nezbytný pro existenci a vývoj vegetace, a tedy nepostradatelnou součást jejího životního prostředí (Encyklopedie CoJeCo.cz, 2006). Tento vztah je vzájemný, kdy v případě lesního ekosystémů složení a povahu půdy z biotických faktorů z největší části modifikuje přítomná populace dřevin. Jednak tak činí samotným zásobením odumřelým organickým materiálem, jednak zásadním ovlivňováním podoby bylinné populace ve svém podrostu (Špulák, Souček, & Dušek, 2016).

Jednou ze zásadních charakteristik ekosystému je rychlost, kterou v jeho rámci kolují živiny. Zde opět sehrává roli půda v několika ohledech. V první řadě slouží jako životní prostředí půdních rozkladačů významně se podílejících na rychlosti rozkladu. Tito rozkladači přežívají díky jejich schopnosti štěpit odumřelou hmotu dřevin ve formě polysacharidu celulózy, případně lignocelulózního komplexu na monosacharid glukózu, který je pro ně primárním zdrojem energie. Ke štěpení celulózy přitom užívají různé formy enzymů (Míkl, 2024) (Konarovská, 2016). Dále půda rychlost koloběhu ovlivňuje prostřednictvím svého charakteristik svého sorpčního komplexu, jehož vlastnosti ovlivňují rychlost transportu minerálů mezi půdou a rostlinnými pletivy (Vrba & Huleš, 2006). V neposlední řadě mají na floru ekosystému vliv například mechanické vlastnosti půdy podmiňující mimo jiné možnosti retence transportu vody a v ní obsažených, nebo způsob zakořenění (Zádorová & Penížek, 2020).

Vlivem antropických zásahů a vývoje klimatu v posledních desetiletích půda na značné části zemské plochy ztrácí svou původní úrodnost. Existuje proto řada úvah o úpravách druhového složení některých populací dřevin za účelem zvýšení půdní kvality. Jednou ze dřevin, o které se v posledních letech uvažuje v kontextu náhrady dřevin na takových plochách přítomný je dub červený (*Quercus rubra*). Mezi lesnickou veřejností se ovšem jedná o druh spjatý mimo úvah o potenciálním přínosu i s lehkou kontroverzí. Na jednu stranu totiž proběhla v posledních desetiletích řada výzkumů prokazujících jeho pozitivní vliv na chudé a (pro tuzemské podmínky typické) kyselé půdy (Chmura, 2013) (Straigyte, Marozas, & Žalkauskas, 2012) i půdy v minulosti exploatované zemědělskou činností (Miltner, Kupka, & Třeštík,

2016). Na stranu druhou byl druh v několika evropských státech historicky klasifikován jako invazní. (Nicolescu, et al., 2018; Chmura, 2013; Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008)

Cílem práce je zhodnocení rozdílů v celuloytické aktivitě humusových forem s původem v opadu druhu *Quercus rubra* a původem v opadu domácích listnatých dřevin při dominanci rodu *Fagus*. Výzkum se věnuje nadložnímu humusu (vrstvám F+H) a organominerálnímu horizontu (vrstvě Ah). V rámci jmenovaných vrstev dojde k odebrání reprezentativních vzorků z porostních částí dominovaných jednotlivými dřevinami v biotopech se srovnatelnými podmínkami. Výsledkem by mělo být posouzení schopností mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na dekompozičních procesech v opadu jednotlivých dřevinných druhů. To umožní částečné porovnání rozkladných procesů v podrostu obou dřevin, resp. vlivu dubu červeného na stav humusových forem a dynamiku živin v lesních ekosystémech.

2 Literární rešerše

2 Literární rešerše

2.1 Lignocelulózni komplex

V prvním bodě rešerše je namístě v stručně shrnout základní složky rostlinné fyziologie, jejichž rozkladu se má práce věnuje, alespoň v zájmu udržení její struktury a srozumitelnosti. Pro mou práci zajisté nejzásadnější je lignocelulózni komplex a některé z jeho komponent.

Lignocelulózni (příp. *lignocelulózový*) komplex představuje komplexní matici tvořenou ligninem, celulózu a hemicelulózu pevně spojenými chemickými vazbami. Jedná se o převážnou složku dřeva, a tedy charakteristickou součást těl dřevnatých rostlin (Encyklopedie CoJeCo.cz, 2006) (Mikl, 2024).

2.1 Celulóza

Celulóza je polysacharid derivovaný z glukózy. Ta je v jeho struktuře sloučena do jednotek glykosidickými vazbami pevně pojených do řetězců. Mezi těmito řetězci i uvnitř nich zároveň dochází k dílčím vazbám vodíkovými můstky. Takovým způsobem se základní řetězce nazývané mikrofibrily pojí do makrofibril. V podobě zmíněných řetězců celulóza představuje základní komponent buněčné stěny charakteristické pro rostlinné buňky umožňující mimo jiné jejich specifický růst a morfogenesi rostlinných pletiv. Specifické pravidelné uspořádání jejich vláken zároveň poskytuje rostlinným buňkám jejich pevnost (Mikl, 2024).

Coby polysacharid je celulóza využitelná řadou organismů jako zdroj energie. Za tímto účelem je obvykle štěpena zpět na glukózu (Mikl, 2024). Enzymy určené přímo k chemické degradaci celulózy se nazývají celulózy a jsou dělitelné do několika funkčně odlišných typů. Obvykle se ovšem vyskytují ve formě agregátů vzájemně se funkčně doplňujících. Jako příklad typický pro houby lze využít endoglukanázy náhodně rušící glykosidické vazby mikrofibril, celobiohydrolázy odštěpující přímo glukosu z řetězců nebo 1,4-β-glukosidázu derivující glukózu hydrolýzou některých z oligosacharidů celulózy (Konarovská, 2016). Spolu s houbami, prvky a kvasinkami patří mezi nejpodstatnější mikrobiální celulólytické rozkladače saprofytické bakterie (Konarovská, 2016). Jejich konkrétní skupina nese označení celulólytické bakterie. Ty mimo celuláz využívají též enzymy LMPOs (lytické polysacharid-monooxygenázy) (Mikl, 2024).

2.1.1 Rozklad lignocelulózy

K rozkladu celulózy vázané v lignocelulóze dekompozitoři užívají různé metody. První z nich spočívá v prvotní modifikaci lignocelulózy pro zlepšení přístupnosti pro LMPOs a celulózy. K tomu slouží další samostatné enzymy (Mikl, 2024). Dalším je například charakteristická schopnost hub degradovat současně všechny složky dřeva (Konarovská, 2016).

2.1.2 Celulolytická aktivita

Konkrétní schopnost celulolytických bakterií štěpit celulózu označujeme termínem celulolytická aktivita (příp. *celulolytický potenciál*). Její kvantitativní hodnotu pak na základě přímé úměry vyjadřuje enzymatický index (Mikl, 2024).

2.2 Lesní půda

V následujících podkapitolách se budu zběžně věnovat jednak připomenutí základních pedologických termínů podstatných pro mou práci, jednak studiím pro mou práci relevantním.

2.2.1 Úrodnost

Jednou ze základních vlastností půdy opakovaně zmiňovaných v následujících kapitolách je její úrodnost. Ta je charakterizovatelná jako soubor specifických znaků upravujících podmínky růstu a vývoje přítomného, příp. potenciálně přítomného rostlinného společenstva. Ve vcelku širokém pojetí ji lze ve vztahu k druhu vnímat jako míru vhodnosti prostředí a dostatku živin a vody pro optimální růst a vývoj. Aspekty úrodnosti nejrelevantnějšími pro mou práci jsou obsah půdní vody, obsah a distribuce půdních živin a kyselost (Vrba & Huleš, 2006).

Ze základu můžeme úrodnost dělit na dvě formy. První z nich je úrodnost potenciální pramenící z přirozených podmínek jejího vzniku a následného vývoje. Zpravidla se jedná o půdu prostou lidských zásahů. Jejími hlavními výchozími parametry jsou zrnitost a celková zásoba minerálních živin a humusu. Druhou je pak efektivní úrodnost. Jedná se o úrodnost přirozenou modifikovanou antropickým zásahem (Vrba & Huleš, 2006).

2.2.2 Mineralizace

Mineralizací se rozumí proces přeměny organických látek na základní minerální sloučeniny za současného uvolnění energie a odštěpení minerálních látek na látky organické vázaných. Podmínkami tohoto procesu je jednak, přítomnost kyslíku v dostatečném množství, jednak dílčí podmínky přežití edafonu (Vrba & Huleš, 2006).

S mineralizací do značné míry souvisí pojem **humifikace**. Tím se rozumí polymerizace produktů mineralizace (jmenovitě polyfenoly) v jejím průběhu, k níž dochází v neutrálním až mírně zásaditém biologicky aktivním prostředí. Jejimi produkty jsou tzv. **huminové kyseliny**. V závislosti na propustnosti a pH prostředí vzniká různý poměr huminových kyselin a **fulvokyselin** vlivem různého stupně finality polymerizace. V kyslejších prostředích proto dochází k vyšší produkci a fulvokyselin a akumulaci polyfenolů (Vrba & Huleš, 2006).

2.2.3 Humus

Humus představuje komplex organických půdních látek získaný rozkladem tkání, mikrobů a pletiv smíšený s různě přeměněným minerálním podílem půdy. Je charakteristicky heterogenní a labilní, čímž nabývá značného vlivu na dynamiku půdních pochodů, potažmo úrodnost. Za standardních podmínek je jeho obsah v půdě relativně stálý. V lesnictví je běžné pojetí, dle kterého humus představují pouze finální produkty rozkladných a syntetických procesů na půdním povrchu. V rámci lesního ekosystému hrají humus zásadní roli. Představuje především zdroj živin a fyziologicky aktivních látek pro floru. Mimoto se zásadně podílí na tvorbě struktury půdy a pomáhá optimalizovat její tepelnou, vodní i vzdušnou bilanci. Mimo rostlin a půdních procesů slouží jako energetický zdroj i řadě mikroorganismů (Vrba & Huleš, 2006).

Výchozí materiál jeho tvorby je **hrabanka**, jejíž původ je hlavně v opadu lesních dřevin i podrostu a odumřelých živočišných tělech. Humus vzniká jejím postupným rozměňováním, kterého se zprvu účastní půdní edafon spolu s obratlovci a v pozdějších fázích především mikroedafon. Dle podmínek tohoto mělnění se lze setkat buď se situací, kdy tvoří povrch půdy směs hrabanky a jejích produktů (drti a měli), nebo situací kdy na půdním povrchu vzniká znatelně vymezený horizont hrabanky následovaný horizontem **drti** a nad minerální půdou horizont **měli**. Podrobnosti rozdělení či směsí hrabanky a jejích produktů jsou základními znaky pro determinaci tzv. humusových forem, na jejichž základě lze odhadovat intenzitu koloběhu

látek v porostu a podmínky jeho vyživování. Zároveň do určité míry poukazují i na ostatní elementy lokálních životních podmínek (Vrba & Huleš, 2006).

Humusové formy lze mimo jiného třídit dle stupně rozkladu obsažených minerálních látek a jejich poměru k minerální složce. V obsahu této bakalářské práce se lze setkat s formami moder, mul a mor. **Moder** se vizuálně obvykle vyznačuje absencí makroskopicky patrných organických zbytků vlivem trávicích pochodů živočichů a jejich mísením s minerální půdou. Mimoto je pro něj typický druhově bohatý edafon a značný poměr koprogenního elementu, neutrální až mírně kyselá reakce. Většinou k jeho genezi dochází v listnatých lesích. **Mul** je podmíněn pokročilou humifikací, a tedy značným podílem huminových látek. Jeho reakce bývá neutrální až mírně zásaditá. Typický je zejména pro půdní typ černozemě. V závislosti na životních podmínkách edafonu může v jeho rámci probíhat řada různých biochemických procesů. Např. při nedostatečné vlhkosti dochází omezenou životaschopností dekompozitorů k hromadění pomalu se rozkládajícího opadu na jeho povrchu. Naopak při přebytku vlhkosti za absence kyslíku dochází rašelinní, které dle ostatních podmínek prostředí vede buď k tvorbě rašeliny, nebo slatiny. V důsledku podmínek nepříznivých pro dekompozici organických zbytků (typicky např. ve vyšších chladných a vlhkých polohách, pod jehličnatým porostem, nebo pod přízemní vegetací s kyselým opadem) vzniká **mor**. Jeho tvorbě přispívá kyselý opad, chudé půdní podloží a nedostatek jilu a zásaditých půdních látek. Charakteristický je ve značně kyselých prostředích, kde se na rozkladu pro sníženou populaci edafonu do značné míry podílí houby. Důsledky jeho specifických podmínek jsou absence výraznějšího míšení minerální složky s organickou, redukované procesy mineralizace a humifikace, a akumulace samotného humusu. Mor je v jejich důsledku sám propleten hyfami a kořeny přítomného společenstva (Vrba & Huleš, 2006).

2.2.4 Sorpce

Sorpce představuje schopnost minerálních látek poutat určité množství dostupných kationtů a vody do své krystalové mřížky. Jejím důsledkem jsou výrazné změny objemu zemin a půd. Coby měřítko se pro sorpci využívá sorpční kapacita, která v miliekvivalentech vyjadřuje množství kationtů sorbovaných 100 g dané půdy. Pohybuje se v rozmezí skupiny kaolinitu (pod 15 mval/100g) až skupiny montmorilonitu a vermikulitu (do 150 mval/100g). Positivní dopad vysoké sorpční kapacity tkví zejména v umožnění dostatečně rychlého přenosu kationtů ze sorpčního komplexu do rostlinných pletiv, na němž závisí rychlost dynamika živin lesního

společenstva. Je-li jeho sorpční kapacita dostatečně vysoká, je biotop schopen udržet dostatečnou rovnoměrnost zásobení rostlin živinami i při jejich přerušovaném přísunu (Vrba & Huleš, 2006).

Kationtová výměnná kapacita (příp. *maximální sorpční kapacita*) charakterizuje schopnost půdy vázat kationty ve výměnné formě na svém aktivním povrchu. Dochází k ní v prostoru dvouvrstvy tvořené směrem dovnitř vrstvou adsorpční a difusní. Její hodnotu podmiňuje poměr a jednotlivé vlastnosti přítomných půdních koloidů. Vliv má zejména míra jejich hydrofobie (resp. hydrofilie), reversibilita a záporný náboj na jejich povrchu (Vrba & Huleš, 2006).

Pojem **půdní koloidy** pak označuje elementární půdní částice definované svými rozměry, se kterými se lze setkat ve dvou základních stavech. Prvním je sol, kdy jsou koloidy rovnoměrně rozptýleny v dispersním prostředí, druhým gel představující jejich koagulaci ve shluky. Náboj na jejich povrchu může být buď konstantní, nebo podmíněný pH prostředí (Vrba & Huleš, 2006).

2.2.5 Půdní horizonty

Jednou ze základních analýz prováděných na půdních sondách je rozlišení a přesnější určení jednotlivých diagnostických půdních horizontů přítomných na zkoumané ploše. Půdní horizont můžeme chápat jako chemicky a leckdy i vizuálně vylišený úsek přítomné půdy ve vertikálním smyslu (Encyklopedie CoJeCo.cz, 2006).

Svrchním horizontem, se kterým se lze setkat v rámci mé práce je *horizont O* – anhydrogenní horizont nadložního humusu. Jedná se o horizont tvořený z převážné většiny organickými látkami akumulovanými na povrchu organominerálního rozhraní půdy v různých stádiích humifikace. Jeho jednotlivé složky (opadanka, drt' a měl) lze v řadě případů dále také vzájemně vylišit. Nejsvrchnějším je *horizont opadanky L* sestávající z rostlinného opadu dostatečně čerstvého k rozeznání jeho původu. Pod ním leží fermentační horizont F tvořený drtí, tedy částečně rozloženými organickými zbytky, jejichž původ lze ve většině stále určit. Jeho druhou komponentou je ovšem již humifikovaný materiál. Nejspodnějším je *horizont humifikační H*, jehož základem jsou rostlinná pletiva v pozdním stupni rozkladu. Nad celistvějšími zbytky zde zřetelně převládá humifikovaný materiál. Méně rozložené zbytky přitom povětšinou tvoří hmota vázaná s ligninem ztěžujícím organický rozklad (Kozák, Němeček, & Borůvka, 2004).

Níže položený je horizont spadající do kategorie horizontů organominerálních povrchových (*epipedonů*). Jak název naznačuje, jedná se o typy horizontů, na jejichž rozhraní dochází k zásadnímu mísení elementů horizontu nadložního humusu v různých fázích rozkladu s produkty mineralizace (Vrba & Huleš, 2006). Pro jejich odlišení od horizontu O jsou definovány podílem humifikovaných látek v rozmezí 20-30 % a současně méně než 5% podílem nerozložené opadanky. Konkrétní podkategorií odebraného horizontu je *organominerální horizont anhydromofní lesní Ah*. Jedná se o formu běžnou ve většině lesních půd, která se vyznačuje mimo jiné prudkým poklesem obsahu humusu s rostoucí hloubkou, přičemž jeho celková mocnost nepřekračuje 10 cm (Zádorová & Penížek, 2020).

2.3 Vliv vegetace na půdní poměry

Jak z dosavadní rešerše vyplývá, vegetační kryt je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících pedogenezi a aktuální chemismus lesních půd. Druhá skladba stromového patra spolu se strukturou podrostu ovšem determinuje nejen množství a kvalitu opadu vstupujícího do dekompozičního řetězce, ale také mikroklimatické podmínky a aktivitu půdní bioty. Vztah mezi vegetací a půdou je zjevně obousměrný; zatímco edafické podmínky limitují výskyt rostlinných druhů, vegetace zpětně modifikuje půdní prostředí prostřednictvím kořenových exsudátů, odběru živin a tvorby humusu.

Ačkoliv v rámci lesních ekosystémů běžně zastupuje jen relativně drobný zlomek biomasy, spekulují Špulák et al. (2016) v případě vegetace konkrétně bylinného patra nad její silnou roli ve formaci půdy a koloběhu živin. Konkrétně uvádějí její vliv na rychlost nárůstu a kumulaci biomasy, hloubku zakořenění, množství a obsah rostlinných exsudátů, charakter systémem utilizované mykorhizy, druhy přítomných bakterií, abundanci i kvalitu mrtvé hmoty vstupující do půdního ekosystému v podobě opadu a jeho vliv na podmínky zavlhčení půdy. Zároveň ovšem dochází k závěru, že mimo horizont opadanky je jeho vliv na půdní chemismus zanedbatelný. Konkrétní vliv jednotlivých druhů bylinného patra na půdní režim je ovšem zatím oproti vlivu druhů patra stromového akademicky méně prostudovaný (Špulák, Souček, & Dušek, 2016).

2.4 Buk lesní jako referenční dřevina

Půdní vzorky, které budou v mé práci sloužit jako reference na půdu smíšeného porostu domácích lesních dřevin, pochází z kyselého stanoviště dominovaného bukem lesním (*Fagus sylvatica*). Ačkoliv se tato dřevina v českých podmínkách vyskytuje na řadě různých stanovišť s rozličnými ekologickými vlastnostmi, budu o buku lesním pojednávat právě v kontextu

stanovišť kyselých, abych konkrétněji zachytil vlastnosti odebraných vzorků. Jelikož se v rámci republiky jedná o dřevinu průmyslově značně významnější, a tedy i akademicky prozkoumanější než *Quercus rubra*, měl by v následujících kapitolách postačit popis obecnější a strožejší než u druhého zmíněného druhu.

2.4.1 Druhové složení bylinného patra

Dominantami bylinného patra jsou v případě kyselých doubrav *Calamagrostis villosa*, *Vaccinium myrtillus* a *Avanella flexuosa*. V případě *C. villosa* stojí za zmínku její charakter coby indikátoru na dusík velmi chudých stanovišť stejně tak jako její negativní vliv na regeneraci horských lesů. Zároveň se jedná o nejčtetnější travinu středoevropských horských lesů (Špulák, Souček, & Dušek, 2016).

2.4.2 Půdotvorný potenciál kyselých bučin

Hlavním zdrojem pro vliv BK dominovaných společenstev je pro mou práci již zmíněná studie provedená Špulák et al. (2016) v Jizerských horách. Ačkoliv se věnuje specificky kyselým horským bučinám, vyhovuje svou specifičností mé práci vzhledem ke značné podobnosti podmínek pro tato společenstva typických (chudé, kyselé, s příměsí jehličnanů, v prostředí Jizerských hor značně antropicky pozměněné) s výchozími podmínkami vhodnými pro šíření a doporučovanými pro pěstbu DBc, jejichž popisu se blíže věnují další kapitoly, a podobnosti s biotopem, z něhož pochází mé půdní vzorky.

Všechny bylinné dominanty zmíněné v předchozí kapitole jsou acidofilní. Studie mimoto potvrdila, že napříč všemi zkoumanými variantami vegetace (s dominancí *V. myrtillus*, *A. flexuosa*, *C. villosa*, či bez významného bylinného pokryvu; pokaždé s absencí keřového patra) se vždy jedná o kyselou půdu. Vliv uvedených dominant je ovšem významný jen v horizontu OL, kde lze bylinným složením odůvodnit zhruba 65 % variability zkoumaných půdních parametrů. Přesto byla půda – čerstvě vyvinutý podzol pokrytý eumoderem – zkoumaných doubrav značně kyselá ve všech horizontech (Špulák, Souček, & Dušek, 2016).

Co se podrobnějšího popisu půdního chemismu týče, na stanovištích bez významného pokryvu bylin bylo zjištěno výrazně nižší půdní pH a obsah půdního fosforu (Špulák, Souček, & Dušek, 2016). Nižší pH v této variantě stanoviště zmiňují i Andreasson et al. (2012) Nejnápadnější rozdíly v půdním chemismu ovšem představoval podklad bylinného patra dominovaného *V. myrtillus* a dominovaného travními druhy, kdy dominance *V. myrtillus* obnášela mnohem vyšší obsah vyměnitelných basí a vyšší potenciální sorpční kapacitu (odůvodněnou vyšším obsahem vápníku a hořčíku). V horizontu O obecně nebyly pozorovány

rozdíly mezi dominancí *C. villosa* a *A. flexuosa*. V případě OL ovšem řidší populace *C. villosa* koreluje s nárůstem acidity, vyšším obsahem dusíku, nižším nasycením basemi a nižším obsahem draslíku. Dominance V pak koreluje s vyšším obsahem vápníku. V případě OF je pak rozdíl mezi jednotlivými zkoumanými variantami populací vcelku malý. Dominance řidšího porostu *C. villosa* ovšem naopak koreluje s nižší aciditou a obsahem fosforu. Varianta bez významnějšího bylinného pokryvu pak koreluje s nižším obsahem hořčiku. Jediným výraznějším rozdílem v rámci horizontu Ah byla velmi nízká nasycenost basí v případě dominance *V. myrtillus* (Špulák, Souček, & Dušek, 2016).

2.1.1 Opad a dekompozice

Ačkoliv je bukový opad obecně považován za hůře rozložitelný, v kontextu přirozeného smíšeného lesa dochází k jeho interakci s opadem ostatních druhů a vegetace. Zásadní roli zde hraje přítomnost podrostu (Špulák, Souček, & Dušek, 2016). Jak vyplývá ze zjištění Špuláka et al. (2016), biomasa bylinného patra, zejména brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*), obohacuje svrchní vrstvy půdy o bazické kationty (vápník, hořčík). Tím vytváří příznivější chemické podmínky pro dekompozici než v případě čistého opadu na holé půdě, který je typický pro degradované porosty. (Špulák et al., 2016)

Samotná rychlost rozkladu bukového listí je přitom srovnatelná s dubem červeným. Jonczak et al. (2015) stanovili rozkladnou konstantu k pro buk lesní na hodnotu 0,49/rok, což je hodnota identická jako u dubu červeného (0,49/rok). Zásadní rozdíl v kvalitě humusových forem mezi původní bučinou a porostem dubu červeného je tedy dán především absencí rychle se rozkládajících příměsí. V původních porostech se bukový opad mísí s opadem javorů ($k = 1,02/\text{rok}$), olší ($k = 2,77/\text{rok}$) či bylin, což akceleroje celkový proces mineralizace (Jonczak et al., 2015).

2.5 Dub červený v kontextu České republiky

Dub červený (*Quercus rubra*) patří v rámci České republiky (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016) stejně jako v rámci řady ostatních evropských států (Chmura, 2013) (Nicolescu, et al., 2018) mezi nejdůležitější z introdukovaných dřevinných druhů. Celkově se v rámci Evropy vyskytuje na víceméně celé její ploše s výjimkou nechladnějších částí Skandinávie (Nicolescu, et al., 2018). Ačkoliv byl původně pěstován spíše pro své okrasné vlastnosti, je v současnosti vnímán jako dřevina perspektivní se zvýšenou pozorností věnované jeho využití při zalesňování a rekultivaci lesních společenstev.

2.5.1 Původ, introdukce a současný potenciál

Těžiště původního rozšíření dubu červeného leží v Apalačském pohoří rozléhajícím se přibližně od federativního státu USA Georgia na jihu po kanadskou provincii Quebec na severu (Nicolescu, et al., 2018). Díky svému výskytu v rámci tohoto pohoří, který z tamějších druhů dubů zasahuje nejseverněji, je v anglosaských státech běžně označován termínem *northern red oak*. Jeho původní biotop se vyznačuje ročním úhrnem srážek v rozmezí 700-2030 mm a průměrnou roční teplotou v rozmezí 4-16 °C (Nicolescu, et al., 2018). Vyskytuje se v něm zejména společně s *Acer rubrum* a ostatními druhy dubů, se kterými často tvoří hybridy (Chmura, 2013). V americkém prostředí je oproti Evropě podroben pomalejšímu růstu a vyššímu tlaku ze strany parazitů (Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008).

K jeho introdukci do Evropy došlo roku 1691 přičiněním Ralonda Barrin de la Galissonière (Nicolescu, et al., 2018) (Chmura, 2013), ovšem do Čech pronikl až v 19. století jako parková dřevina význačná svými ornamentálními vlastnostmi. V současnosti zde patří mezi významné introdukované dřeviny a zaujímá zhruba 0,2 % porostní plochy s porostní zásobou odhadovanou na přibližně 900 000 m³ (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). Mimoto je v lokálním kontextu označován za perspektivní dřevinu zejména pro jeho použitelnost jako meliorační dřeviny při rekultivacích, značné toleranci k suchému prostředí a již zmíněné použitelnosti coby parkové dřeviny vhodné zejména pro městské a příměstské výstavby mimo jiné i díky značné toleranci k antropicky znečištěnému ovzduší. Další předností oproti domácím druhům dubu je v tomto ohledu jeho zdánlivá resistance vůči tracheomykose (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). Své využití má i v dřevařském průmyslu, kde jsou jeho přednostmi vyšší objemová hmotnost oproti domácím dubům a snadná opracovatelnost. Mezi jeho standardní produkty pak patří řezivo, nábytek i stavební interiéry. Dřevo je ovšem obecně méně kvalitní než dřevo domácích dubů (Nicolescu, et al., 2018).

Pro zmíněné vlastnosti lze DBC v rámci lesnictví využít k ochraně či stabilizaci a zlepšení půdy, sekvestraci uhlíku, jako habitat pro hmyz nebo větrolom, či pro již zmíněné účely v parkové a městské výsadbě (Nicolescu, et al., 2018).

2.1.2 Biologické parametry

Další z oblíbených charakteristik DBC je jeho vysoce vyvinutá schopnost přirozeného zmlazení. Ta je potentní zejména ve spodní části kmene u vzrostlých jedinců do zhruba 40 let věku (Nicolescu, et al., 2018).

S relací k půdotvornému potenciálu pak stojí za zmínku jeho kořenový systém velmi podobný původním druhům dubu vyznačující se dobře vyvinutým, dlouhým hlavním

kořenem tvořeným již v prvním roce života semenáčku. Ten může již v 5. roce života dosahovat délky 70 cm (BAUER 1953; NAGEL 2015). V pozdějších fázích života dochází k tvorbě laterálních kořenů dorůstajících až 15 m od kmene. Celkově se jedná o pevný, srdcovitý kořenový systém s dobrou resistencí vůči vyvracení (TIMBAL, KREMER 1994; RÉH, RÉH 1997).

Další předností druhu je jeho regenerace. Se semennými roky se lze na stanovištích setkat po 20-30 roce jejich existence a opakují se každé 2-3 roky, tedy častěji než na stanovištích Q. robur a petraea. Roky zcela prosté semen jsou pak vzácné. Semena jsou zralá po zhruba 15 měsících. Pro jejich značnou hmotnost jsou přenášena hl. prostřednictvím gravitačního spádu, přičemž obvykle klíčí v přibližné vzdálenosti 150 m od mateřského stromu. Vzácně putují na vyšší vzdálenosti prostřednictvím hlodavců a druhu *Garullus glandarius*. Často jsou ovšem právě ze strany ptáků, savců a hmyzu vystavena predaci. V jeho domácích podmínkách často dochází k intenzivní regeneraci Q. rubra po požárech (Nicolescu, et al., 2018).

Q. rubra je zároveň schopen samovolného odvětvení v průběhu růstu kmene, k němuž dochází do jedné poloviny až dvou třetin kmenové výšky. Pro dokonalé odvětvení je ovšem vzhledem k tendenci větví zůstat i po odumření připojené ke kmeni nutný lidský zásah. Ten je potom nezbytný v plantážových výsadbách s rozestupy mezi jedinci širšími než 2x2 m. V konkrétních situacích mají na efektivitu přirozeného odvětvení značný vliv korunový zápoj a hustota porostu (Nicolescu, et al., 2018).

2.1.3 Ekologické parametry

Jednou z charakteristik klíčových pro náhled na DBc jako na lesnický perspektivní dřevinu je jeho specifický rozsah tolerancí vůči různým limitním faktorům znatelně širší oproti domácím druhům dubů. Vyjma zmíněné resistance tracheomykose se jedná o druh tolerující, případně i prosperující na stanovištích suchých a kyselých (Chmura, 2013) (Straigyte, Marozas, & Žalkauskas, 2012), jako jsou kupříkladu bývalé zemědělské plochy (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). Jeho preference pak leží v hlubokých, rozvolněných, středně humidních kyselých půdách bez kompaktních horizontů s alespoň střední úrodností. Averzi naopak vykazuje k vápenatým půdám a stanovištím se stagnující, případně špatně odčerpanou podzemní vodou (Nicolescu, et al., 2018). Nicolescu et al. (2018) a Miltner et al. (2013) se rozcházejí v jeho vztahu k suchým půdám, kdy ho Nicolescu et al. (2018) charakterizují jako negativní, ačkoliv zmiňují jeho toleranci vůči suchému stanovišti jako celku.

Významným limitním faktorem se zdá být světlo. Vzrostlé stromy tohoto druhu mají při svém požadavku na 15-30 % plného denního slunečního svitu vyšší nároky než druhy dubů domácí (jmenovitě *Q. robur*; *petraea*) a charakter fototrofních dřevin. Nedostatečný osvit u nich pak vede k odumírání koruny. V prvotních fázích vývoje jedince jsou ovšem jeho nároky na osvit nižší (Nicolescu, et al., 2018).

Další v některých kontextech ceněnou vlastností druhu je již zmíněná schopnost zmlazení efektivnější zejména na méně hostinných stanovištích v důsledku nižší konkurence v rámci bylinného patra (Chmura, 2013). Mimo jiné tato schopnost na druhou stranu v kombinaci s tendencí upravovat půdní poměry a strukturu populace historicky vedla ke klasifikaci DBc jako invazní dřeviny v částech Evropy. Jmenovitě se jednalo například o Ukrajinu, Rakousko, Belgie, (Nicolescu, et al., 2018) Polsko (Chmura, 2013) nebo Německo (Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008). Jeho invazní potenciál se ovšem jeví značně vázaný na stanoviště. Jedná se zvláště o stanoviště buď suchá a chudá, nebo bohatá, písčité (Nicolescu, et al., 2018; Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). Nicolescu et al. (2018) odůvodňují omezení jeho invazního charakteru na specifické státy okusem a odrosty sníženou efektivitou reprodukčních vektorů. Přesto samozřejmě platí, že stanoviště s podmínkami blízkými jeho preferencím jsou vystavena výrazně vyššímu riziku jeho invaze.

Dub červený má na lesní ekosystém vliv i co do jeho druhové skladby a populační struktury. Marozas et al. (2008) prováděli výzkum srovnávající tyto parametry mezi původními porosty DBI a porosty, kterým dominoval DBc v podmínkách jihozápadní Litvy. V jeho rámci zjistili, že porosty dominované DBc mají oproti původním doubravám nižší pokryv bylinného a značně vyšší pokryv keřového patra a výrazně nižší druhovou bohatost. Četnějšími druhy jsou v jeho podrostu *Rubus idaeus*, *Vaccinium myrtillus*, *Veronica chamaedrys* a *V. officinalis*. (Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008). Straigyte et al. (2012) a Chmura (2013) toto zjištění podporují svými závěry o jeho tendenci k vegetacím chudších, aciditějších stanovišť, tedy stanovišť, na kterých má DBc zvláště vysoký invazní potenciál. Miltner (2016) hodnotí vliv DBc na podrost jako značný. V souvislosti s těmito změnami Marozas et al. dále poukazují na tendence invazních druhů potlačovat hojnost původních druhů na úkor ostatních invazních druhů. Chmura et al. (2013) invazním druhům dále přičítají zmenšení adekvátního habitatu lesní zvěře, vyšší ztráty vody v rámci společenstva, vyšší palivovou zátěž a pozměněný požární režim společenstva. V souvislosti s vlivem na druhové složení a bohatost stojí za zmínku i alelopatie, které je DBc schopen (Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008).

2.1.3.1 Půdotvorný potenciál

Vliv DBc na pedologický aspekt ekosystému obnáší jistou míru ambivalence. Ačkoliv řada autorů (jmenovaných níže) upozorňuje na nedostatek studií tomuto okruhu věnovaných, rozmáhá se v důsledku dosavadního pozorování jednak názor, že DBc má pozitivní vliv na vývoj méně hostinných a různými mechanismy degradovaných půd, jednak zároveň že u půd původních středoevropských porostů naopak jeho přítomnost vede k degradaci. Například Miltner et al. (2016) pozorovali v půdách původních doubrav severozápadních Čech (pro účely studie rozdělených na stanoviště DBc a DBz) zásadní rozdíly mezi půdním chemismem stanovišť DBc a DBz. Ve statisticky významné míře narazili na nižší množství dostupného fosforu a draslíku v horizontech F+H, vyšší pH a menší množství dostupného vápníku a hořčíku v horizontech F+H i Ah, nižší množství dostupného fosforu v horizontu B a celkově nižší množství dostupných živin v horizontu L. Zároveň postřehli v případě stanovišť DBc nižší pH, obsah i míru nasycení basí a vyšší vyměnitelnou aciditu. Vliv DBc proto v kontextu půd původních doubrav hodnotí jako degradační a acidifikační, ačkoliv se taktéž přiklání k jeho potenciálu pro rekultivaci degradovaných a devastovaných stanovišť. V závěru studie vyvrací jeho potenciál pro prominentní vliv na zlepšení poměrů listnatých stanovišť, ovšem opět zmiňují jeho potenciálně důležitou roli při tvorbě nových stanovišť díky odolnosti extrémním podmínkám devastovaných stanovišť.

S jejich závěrem se částečně slučuje série studií, která pozorovala jeho vliv na různé typy jehličnatých a listnatých stanovišť. Kantor (1989) v porovnání s břízou, olší, vrbou, bukem a topolem nevyhodnotil DBc jako dřevinu s pozitivním vlivem na stanoviště. Podrázský a Štěpáník (2002) v rámci pozorování humusových forem u DBc vyzorovali lepší vliv na svrchní půdní horizonty než SMz a MDo, ovšem ne tak zásadně v porovnání s břízou. Mimoto zjistili vyšší nároky společenstev DBc na živiny vedoucí k nižšímu množství dostupného půdního dusíku. Bonifacio et al. (2015) pozorovali v souvislosti s opadem DBc na stanovištích DBI degradaci v podobě pomalejšího rozkladu živin, přechodu z půdního typu dysmull-hemimoder k extrémnějšímu typu mor a opět nižší dostupnost fosforu a vápníku.

Co se parazitických vztahů týče, vstupuje do nich Q. rubra jako hostitel spousty druhů hub a hmyzu. Žádný z nich ovšem nemá na jeho populace příliš zásadní vliv. Spektrum jeho defoliátorů je široké srovnatelně se spektry ostatních druhů dubů. Z houbových parazitů stojí za zmínku *Ciboria candolleana* napadající jeho větve a listy, *Stereum rugosum* a *Nectria galligena* napadající borku či *Armillaria mellea* a *Collybia fusipes* napadající kořeny. Původci

hniloby bývají *Stereum rugosum*, *S. hirsutum*, *Ganoderma spp.* a *Inonotus dryadeus*. Jeho předním parazitem je houba *Ceratocystis fagacearum*, která ovšem v evropském prostředí dosud nebyla pozorována (Nicolescu, et al., 2018).

Vliv *Q. rubra* na půdní vlastnosti a dynamiku živin původních doubrav lze tedy shrnout jako spíše negativní. Vzhledem k vysoké toleranci méně příznivých podmínek a ostatních uvedených předností ho ovšem lze považovat za dřevinu s pozitivním vlivem na rekultivaci degradovaných půd a společenstva těchto půd obecně.

2.1.3.2 Opad a dekompozice

Tyto pedochemické změny jsou úzce spjaty s fyzikálními a chemickými vlastnostmi opadu. Listy dubu červeného obsahují vysoké množství ligninu a na povrchu půdy vytvářejí silnou, kompaktní vrstvu, která funguje jako mechanická bariéra bránící přirozené obnově a promísení organické hmoty s minerální půdou (Nicolescu et al., 2018).

Z chemického hlediska je pro opad dubu červeného charakteristický široký poměr C:N dosahující hodnoty 29,34, což je hodnota výrazně vyšší než u domácího dubu zimního (26,46). Tento nepříznivý poměr indikuje nedostatek dusíku pro mikroorganismy, což vede ke zpomalení dekompozice (Miltner et al., 2016). Pomalý průběh rozkladu potvrzují i Jonczak et al. (2015), kteří stanovili rozkladnou konstantu pro dub červený na hodnotu 0,49/rok. Tato hodnota je sice srovnatelná s bukem lesním ($k=0,49/\text{rok}$), je však řádově nižší než u melioračních dřevin běžných v původních smíšených lesích, jako je olše ($k=2,77/\text{rok}$) či javor ($k=1,02/\text{rok}$). (Jonczak et al., 2015) V kombinaci s redukcí bylinného patra, které by opad obohacovalo o snadno rozložitelnou biomasu, tak dochází pod dubem červeným k hromadění surového humusu a posunu k nepříznivé humusové formě Mor, jak popisují Bonifacio et al. (2015).

Dub červený vykazuje schopnost rychlé regenerace po patologické defoliaci a resistenci vůči trvalému poškození v jejím důsledku. Jeho hlavními defoliátory jsou jednak motýli, např. druhy *Erannis defoliaria*, *Euproctis chrysorrhoea*, *Operophtera brumata* (Nicolescu, et al., 2018) a v teplejších podmínkách *Lymantria dispar*, (HLÁSNÝ, et al., 2016) jednak brouci např. rodu *Melolontha*. (Nicolescu, et al., 2018)

2.6 *Quercus rubra* v kontextu České republiky

Těžiště původního rozšíření dubu červeného (*Quercus rubra* L.) leží zejména v Apalačském pohoří rozléhajícím se přibližně od federativního státu USA Atlanta na jihu po jihovýchodní cíp Kanady přibližně odpovídající provincii Quebec. Jelikož mezi duby typickými pro toto pohoří, se kterými tvoří řadu hybridů, podléhá nejsevernějšímu výskytu, označuje se v anglosaském prostředí běžně pojmem *northern red oak*. Jeho původní biotop se vyznačuje ročním úhrnem srážek v rozmetí 700-2030 mm a roční průměrnou teplotou v rozmezí 4-16 °C.

K jeho introdukci do Evropy došlo roku 1691 přičiněním Rolanda Barrin de la Galissonière, ovšem do oblasti ČR pronikl až v 19. století jako parková dřevina význačná svými ornamentálními vlastnostmi. V současnosti patří v rámci republiky mezi významné introdukované dřeviny zaujímající 0,20 % naší porostní plochy s celkovou porostní zásobou odhadovanou na přibližně 900 000 m³. Dub červený by v lokálním kontextu šlo považovat za perspektivní dřevinu, zejména díky jeho použitelnosti jako meliorační dřeviny při rekultivacích, značné toleranci k suchým periodám, kvalitě dřeva srovnatelné s kvalitou dřeva lokálních druhů a již zmíněné využitelnosti jako parkové dřeviny vhodné pro městské a příměstské výsadby mimo jiné i díky jeho značné toleranci k znečištěnému ovzduší.

2.6.1 Využití a lesnický význam

V průběhu 70. a 80. let 20. století existovaly úvahy o využití *Q. rubra* k doplnění a částečné náhradě původních dubových druhů především pro jeho pravděpodobnou resistenci vůči tracheomykose. Lákavá se zdála i jeho dispoice pro úspěšnému přirozenému zmlazení v některých případech hodnocená až jako invazní tendence. Přínosem byla i jeho vysoká výmladná schopnost, zejména v dolní části kmene. Počátkem 90. let téhož století ovšem s platností zákona č. 114/1992 Sb. došlo k omezení jeho pěstování pro jeho klasifikaci coby introdukované dřeviny.

V souvislosti s půdou i potenciálem v lesnictví stojí za zmínku nižší nároky *Q. rubra* na obsah půdních živin, které z něj v porovnání s původními činí druh produkčně výkonnější, zejména na chuších stanovištích. Významná je i jeho tolerance vůči jak chudým písčítým, tak těžším glejovým půdám. Naopak nízkou toleranci vykazuje vůči vápenitým půdám a stanovištím s vysokou hladinou stagnující spodní vody. V obecné rovině se tedy jedná o druh s optimem v hlubších, mírně vlhkých a mírně kyselých půdách s minimálním obsahem vápníku.

S relací k půdotvornému potenciálu pak stojí za zmínku kořenový systém velmi podobný původním druhům vyznačující se dobře vyvinutým, dlouhým hlavním kořenem tvořeným již

Okomentoval(a): [FM1]: Pro kapitolu jsem čerpal z poskytnutého výňatku z Vaší nacházející knihy. Bohužel si prozatím nejsem jistý, jak přistupovat k jeho citaci. Citace samozřejmě co nejdříve doplním.

v prvním roce života semenáčku. Ten může již v 5. roce života dosahovat délky 70 cm. V pozdějších fázích života dochází k tvorbě laterálních kořenů dorůstajících až 15 m od kmene. Celkově se jedná o pevný, srdcovitý kořenový systém s dobrou resistencí vůči vyvracení.

V současné lokální praxi se sází v počtech odpovídajících domácím druhům dubu s doporučenou příměsí buku či habru. Mimoto se ovšem často vysazuje i ve směsi s domácími druhy.

2.6.2 Defoliace a vliv na půdní poměry

Dub červený vykazuje schopnost rychlé regenerace po patologické defoliaci a resistenci vůči trvalému poškození v jejím důsledku. Jeho hlavními defoliátory jsou jednak motýli, např. druhy *Erannis defoliaria*, *Euproctis chrysorrhoea*, *Operophtera brumata* a ve teplejších podmínkách *Lymantria dispar*, jednak brouci např. rodu *Melolontha*.

O jeho vlivu na půdní poměry obecně, zvláště v podmínkách ČR, zatím existuje malé množství relevantních poznatků. Za zmínku ovšem stojí např. práce KANTORA (1989) srovnávající kvalitu opadu napříč porosty náhradních dřevin na Trutnovsku, v jejímž průběhu nebyl efekt *Q. rubra* oproti ostatním listnáčům (druhům *P. tremula*, *S. caprea* a rodům *Fagus*, *Betula*) vyhodnocen jako meliorační. Práce PODRÁZSKÉHO, ŠTĚPÁNÍKA (2002) věnovaná svrchním půdním horizontům zalesněné lesní půdy sice shledala vliv *Q. rubra* na vývoj půdy příznivějším než sledovaných jehličnanů (druhů *Picea abies*, *Larix decidua*) a méně příznivým oproti vlivu *B. pendula*, ovšem poukázala na pokles obsahu dusíku v jeho podrostu vlivem vyšších nároků na odběr půdních živin. Další zásadní zjištění dokládají BONIFACIO et al. (2015). Na zkoumaném původním stanovišti *Q. robur* došlo vlivem přítomnosti *Q. rubra* k přechodu z humusové formy dysmull-hemimoder k extrémnější formě mor, zpomalení dekompozice opadu a rovněž zhoršení dynamiky koloběhu půdních živin. V závěru výzkumu JONCZAK et al. (2015) věnovanému intenzitě rozkladu opadu vybraných listnáčů pomocí opadových sáčků (*litter bags*) *Q. rubra* opět nebyl vyhodnocen jako výrazně meliorační dřevina. Z novějších stojí za zmínku práce MILTNERA et al. (2018) a PODRÁZSKÉHO, KUPKY (2024). Obě při porovnání s *Q. petraea* dospěly k tendenci humusových forem pod *Q. rubra* k nižší půdní reakci, vyšší aciditě a méně příznivému sorpčnímu komplexu, obsahu humusu, dusíku a makroelementů.

Vliv *Q. rubra* na půdní vlastnosti a dynamiku živin původních doubrav lze tedy shrnout jako spíše negativní. Vzhledem k vysoké toleranci méně příznivých podmínek a ostatních předností uvedených v kapitole 2.1. ho ovšem lze považovat za dřevinu s pozitivním vlivem na rekultivaci degradovaných půd a společenstva těchto půd obecně.

3 Metodika

3.1 Popis oblasti a lokalizace

K odběru vzorků a založení experimentu došlo 12. 5. 2025 v obci Kostelec nad Černými lesy v okrese Praha-východ vzdálené od centra hlavního města zhruba 40 km a několik km. Výzkumná stanice Truba je od místa odběru vzdálena několik km. Průměrná nadmořská výška zde činí 400 m. Lokálním reliéfem je pahorkatina, přičemž odběr byl učiněn v relativní rovině. Půdním typem je kambizem s podkladem sprašové hlíny, druhem hlína (Česká geologická služba, b.d.). Podzemní voda absentuje (ČHMÚ, b.d.). Stanoviště spadá pod 2. bukodubový vegetační stupeň a soubor lesních typů 3K3 (NLI, b.d.). Porost sestával ze zonální smíšené dřevinné vegetace.

3.2 Odběr vzorků a založení experimentu

V porostu byla vybrána dvě stanoviště, jedno dominované druhem *Fagus sylvatica*, jedno druhem *Quercus rubra*. V rámci každého byly následně vykopány tři půdní sondy vzájemně vzdálené několik metrů. Z každé byl odebrán jeden vzorek z horizontu nadložního humusu F+H a jeden z organominerálního horizontu Ah. Vzorky byly ihned po odebrání přesunuty do igelitových sáčků a v nich na několik desítek minut přechovány. Následně byly přemístěny do uzavřených plastových nádob v laboratoři, uvnitř které byla v průběhu experimentu zachována pokojová teplota.

Experiment byl založen a jeho průběh sledován v pedologické laboratoři výzkumné stanice Truba v Kostelci nad Černými lesy. Všechny vzorky – tedy 3 pro horizonty F+H ze stanoviště *Q. rubra* (označené na fotografiích jako DH1-3), 3 pro horizont Ah stanoviště *Q. rubra* (DA1-3), 3 pro horizonty F+H stanoviště *F. sylvatica* (BH1-3) a 3 pro horizont Ah stanoviště *F. sylvatica* (BA1-3) – byly samostatně uloženy do uzavřených plastových nádob a hrubě zarovnány pro co nejhladší povrch, aniž by došlo k jejich fyzické kompresi. Do každé



První element pozorování spočíval ve sledování zbarvení lístků a záznamu procentuálního poměru deviací barvy jednotlivých částí lístků vůči jejich výchozí barvě. Rozklad byl přitom uvažován současně za barevnou deviaci. Druhý element spočíval v téměř postupu aplikovaném na poměr mezi rozloženou plochou části lístku a plochou 1 cm². Pro každou část každého vzorku v průběhu času jsou tyto poměry zaznamenány v příložených výchozích tabulkách. Celkově v průběhu experimentu došlo k osmi pozorováním v několikátýdenním intervalu. Rozestupy mezi jednotlivými pozorováními byly individuální a reflektovaly rychlost, kterou docházelo ke změnám pozorovaných hodnot. Jednotlivé datумы jsou uvedeny v příslušných tabulkách a grafech.

[illegible]

celulolytických enzymů. Rozklad by šlo nejelegantněji definovat jako úbytek hmotnosti celulózního materiálu.

3.4 Vyhodnocení experimentu

Jednotlivé hodnoty byly v průběhu měření zadávány do výchozích tabulek v softwaru Microsoft Excel. V průběhu hodnocení byly agregovány a přesunuty do samostatných tabulek. Jejich statistické vyhodnocení probíhalo v programu STATISTICA. Zde došlo v první řadě k jejich parametrizaci do AUC lichoběžníkovou metodou pro vyhodnocení základních statistik. Následně došlo ke zhodnocení rozdělení a sféricity jednotlivých kategorií hodnot, na jejichž základě posléze podstoupili buď ANOVA, nebo U test. Dle výsledků těchto testů byla v posledním kroku vyhodnocena statistická signifikance nalezených trendů.

Současně byly na základě jejich opětovné agregace v programu MS Excel hodnoty znázorněny v grafech. Jejich prostřednictvím došlo jednak k vizuálnímu vyhodnocení trendů jednotlivých kategorií, jednak byla umožněna grafická prezentace výsledků.

4 Výsledky

4.1 Nomenklatura

Před popisem postupu rozboru výsledků je v zájmu srozumitelnosti třeba ujasnit specifické pojmy a symboly použité ve zbytku kapitoly ke kategorizaci a hodnocení dat. Některé jsou relikty práce s výchozími tabulkami, některé ambivalentní je třeba specifikovat. Níže proto uvádím výčet takových pojmů a symbolů s jejich vysvětlením.

Saturace: Vyjadřuje inverzi rozdílu mezi procentuálně vyjádřenou hodnotou a hodnotou 100 %. Čím vyšší má veličina saturaci, tím bližší je její hodnota 100 %.

Hodnota p: p-hodnota; V některých místech termín používám jako ekvivalent k prevenci krkolomných obrátů. Uvádím ho do tohoto výčtu k zachování stylistické korektnosti.

Porost (kategorie): Určuje dominantní dřevinu stanoviště, ze kterého byl odebrán vzorek.

DBC, DBc: stanoviště dominované druhem *Quercus rubra*.

BK, BKl, BKL: stanoviště dominované druhem *Fagus sylvatica*.

Horizont (kategorie): Určuje půdní horizont, ze kterého byl vzorek odebrán.

O, F+H, nadložní horizonty: horizont nadložního humusu

Ah, A: organominerální horizont

Datum: Specifikuje datum, ve kterém došlo k odběru.

Pořadí, Termín (kategorie): Vyjadřuje chronologické pořadí *datumu* ve výčtu všech *datumů*.

Opakování: Označuje konkrétní agregovaný vzorek, tedy specifickou nádobu, v níž byly v daném *datumu* měřeny hodnoty *zbarvení* a *rozkladu*.

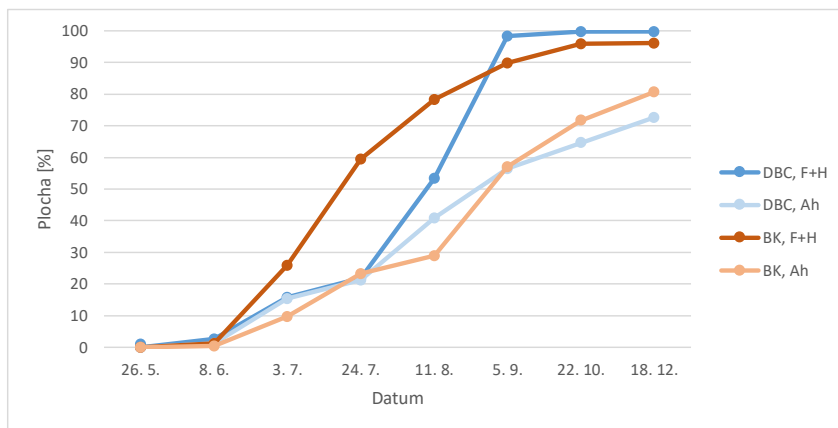
*: Slouží k vyjádření kombinace parametrů tvořících danou kategorii. Např. DBC*Ah značí „organominerální půdní horizont v porostu dominovaném druhem *Quercus rubra*.“

Dílčí vzorek: konkrétní čtverec v poli celulosního lístku

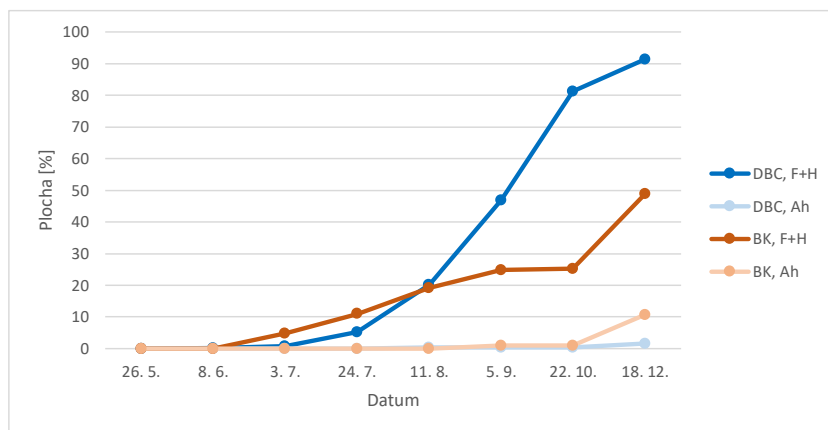
a, alfa, α : statistická hladina významnosti; V práci je dle standardu stanovena na hodnotu 0,05.

k jedné z celkem 8 kategorií vymezených 3 parametry (*barva DBC*F+H, barva DBC*Ah, barva BK*F+H, barva BK*Ah, rozklad DBC*F+H, rozklad DBC*Ah, rozklad BK*F+H, rozklad BK*Ah*). K této agregaci došlo v zájmu prevence pseudoreplikace způsobené několikačetnými (stonásobnými) záznamy stejného vzorku. Pro generaci grafů v softwaru Microsoft Excel (verze aktuální k 24. 5. 2025) bylo pro každé *datum* provedeno další zprůměrování napříč všemi *opakováními*, aby bylo data možné smysluplně vizualizovat.

Průběhu barevných změn ilustrovanému níže příloženým *grafem 1* se podrobněji věnují následující kapitoly. Již při zběžném pohledu je ovšem zjevné, že napříč horizonty má intenzita barevné změny tendenci růst v aktivní fázi zhruba sigmoidně s velmi prudkým rozvojem v prostřední periodě měření. V případě nadložních vrstev se zdá, že tato prudkost ustupuje po zhruba 90% saturaci. Zjevná je taktéž tendence celulólytické aktivity stoupat značně prudčeji v horizontech nadložních oproti horizontu organominerálnímu. U organominerálního horizontu zároveň sledujeme výrazný přechod od sigmoidního tvaru křivky ke spíše lineárnímu.

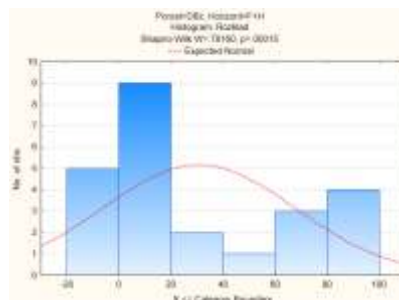
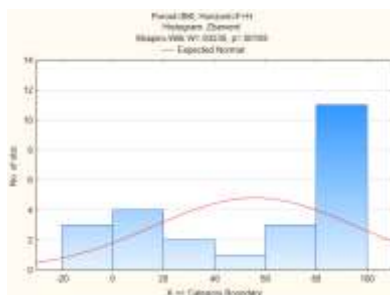


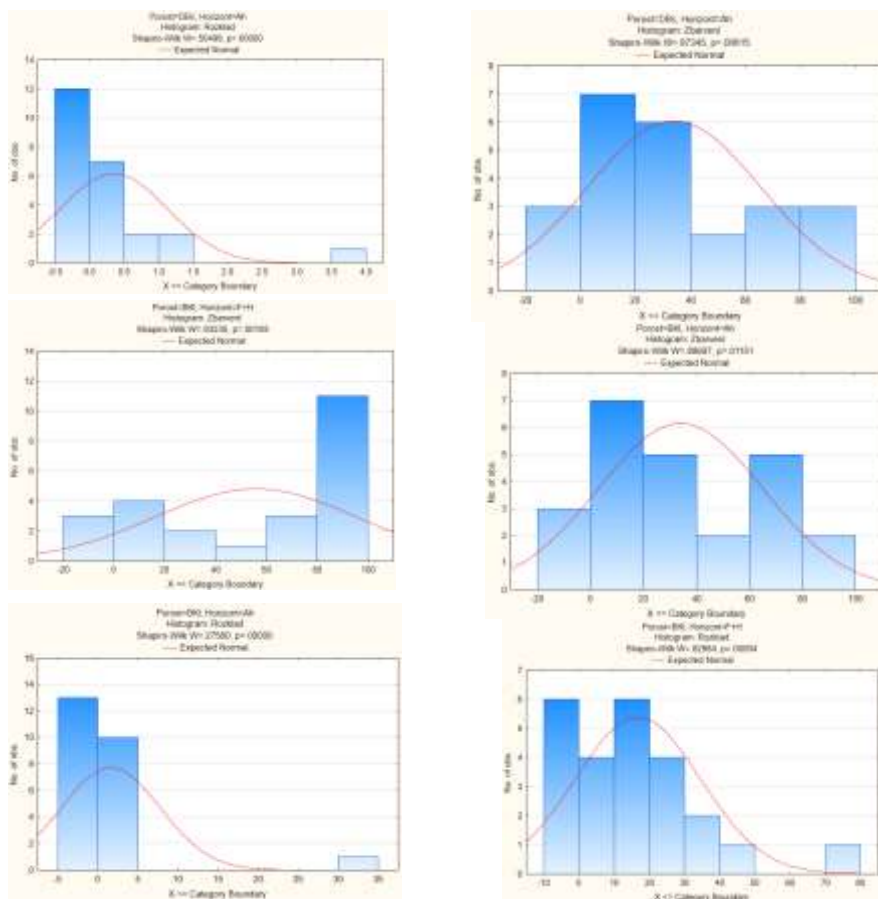
Odlišnou se zdá být situace úbytku celulólytické hmoty vyobrazená v *grafu č. 2*. Zatímco v nadložních horizontech lze v určitých úsecích opět sledovat jakousi hrubě lineární rostoucí tendenci, zdánlivě plynulejší v případě porostu BKl, a období prudkého vzrůstu, v případě horizontu organominerálního se jeho hodnota jeví takřka konstantní až do přibližně 1% saturace. Vzhledem k nízkému počtu záznamů překračujících tuto hodnotu saturace ovšem mnoho dalšího z příloženého vizuálu vyčíst nelze. Bližší analýze úbytku celulólytické hmoty se opět věnují následující kapitoly.



Graf 1: Rozklad zkoumaných vzorků

Před volbou metod statistického hodnocení byl proveden Shapiro-Wilkův W test normality všech kategorií. Jelikož se v každém případě hodnota p pohybuje pod hladinou významnosti, je byla zmíněna nulová hypotéza a předpokládáno jiné, než normální rozdělení.





Graf 2a-3h: Výsledky *W* testu

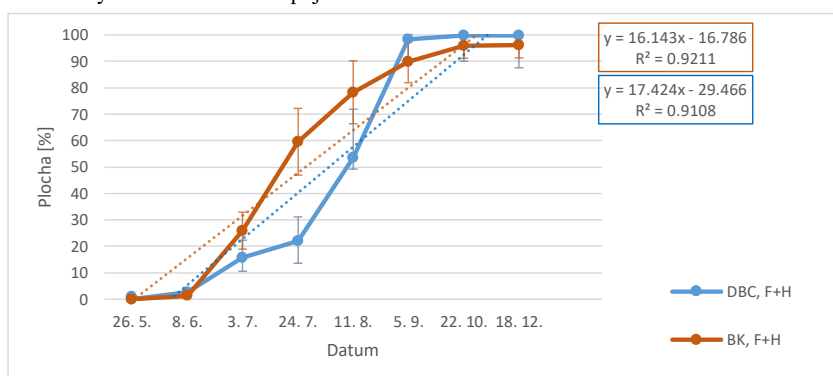
Vzhledem k závislosti dat na 2 nezávislých proměnných by standardně provedená deskriptivní statistika buď nezohlednila vliv času, nebo nerozlišila mezi porosty. Na jejím místě byla proto ke srovnání statistických parametrů kategorií využita metoda plochy pod křivkou (AUC). Jedná se o parametrizaci založenou na výpočtech plochy lichoběžníků tvořených jednotlivými naměřenými hodnotami a časovou osou. Jejím prostřednictvím byly integrovány kategorie *zbarvení*čas* a *rozklad*čas* do jednotných skalárních hodnot. Níže přiložená *tabulka 2* obsahuje deskriptivní statistiku AUC všech opakování.

Aggregate Results														
Descriptive Statistics (AUC_ava)														
Variable	Horizont	Porost	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Lower Quartile	Upper Quartile	Quantile Range	Skewness	Std. Dev.
AUC_barva	F+H	DBc	3	341.6450	325.1431	Multiple	1	324.3260	370.4780	324.3260	370.4780	46.1520	1820.717	31.94867
AUC_barva	F+H	DBd	3	359.1900	416.6250	Multiple	1	347.2960	430.4280	347.2960	430.4280	83.1320	2845.476	45.29483
AUC_barva	AA	DBc	3	238.3850	228.6550	Multiple	1	132.2750	260.0860	132.2750	260.0860	127.8110	12768.78	142.7232
AUC_barva	AA	DBd	3	231.6833	234.9700	Multiple	1	215.5550	244.1650	215.5550	244.1650	28.6100	213.3377	14.89668
AUC_rozklad	F+H	DBc	3	208.6833	208.6850	Multiple	1	181.1400	240.9650	181.1400	240.9650	59.8250	2392.433	44.91293
AUC_rozklad	F+H	DBd	3	189.1550	18.9850	Multiple	1	89.7312	147.3154	89.7312	147.3154	57.5842	1893.381	32.81476
AUC_rozklad	AA	DBc	3	1.8207	2.6800	Multiple	1	0.3160	3.3200	0.3160	3.3200	3.0040	2.63	1.8188
AUC_rozklad	AA	DBd	3	7.4393	1.8800	Multiple	1	0.4380	30.8250	0.4380	30.8250	30.3870	134.6014	11.69747

Tabulka 1: Deskriptivní statistika výsledků AUC

4.4 Zbarvení v horizontech F+H

Prudkosti nárůstu barevné saturace vzorků se okrajově věnovala již předešlá kapitola. Při adici lineárních spojnic trendu je patrné, že k saturaci dochází na horizontech F+H v případě obou porostů velmi podobnou rychlostí. Zjevné je to i z vcelku podobných parametrů rovnic těchto spojnic. Za povšimnutí ovšem stojí diskrepance mezi spojnici trendu naznačující, že ve vzorcích BK1 by ke kompletní saturaci mělo dojít dříve, a jednotlivými záznamy, v jejichž rámci dosáhly ke konci měření vyšší saturace vzorky z porostu DBc. Ta ovšem poukazuje spíše na limitovanou využitelnost lineární spojnice trendu v kontextu celého měřeného období.



Graf 3: Zbarvení v horizontech F+H

4.4.1 Statistické vyhodnocení

Presvědčili jsme se již o tom, že naměřená data nepodléhají normálnímu rozdělení. Bylo proto nutné využít metodu schopnou porovnat data napříč 2 nezávislými proměnnými a zároveň robustní vůči abnormálnímu rozdělení. Je jí analýza rozptylu (ANOVA), v našem případě konkrétně analýza rozptylu s opakovaným měřením.

V případě nezávislých výběrů je základní prerekvizitou využití ANOVA testů jejich sféricita. Před přistoupením k samotnému ANOVA testu byl proto nejprve proveden Mauchlyho test sféricity proměnných, jehož výsledky jsou přiloženy níže v *grafu 3*. Jeho provedení vyžadovalo z důvodu duplicity hodnot ve zbytku termínů soubor hodnot redukovat na měření mezi 3. 7. a 5. 9. ANOVA bude muset být aplikována taktéž na tento redukovaný výběr. Jelikož se zjištěná hodnota p pohybuje nad zvolenou hladinou významnosti, nulová hypotéza není zamítnuta a předpoklad sféricity tedy můžeme považovat za platný, čímž je splněna zmíněná základní podmínka využitelnosti.

Mauchly Sphericity Test (bakalárka (pivot).sta)				
Sigma-restricted parameterization				
Effective hypothesis decomposition				
Include condition: Horizont='F+H'				
Effect	W	Chi-Sqr.	df	p
ZBARVENÍ	0.035608	8.060001	9	0.528111

Tabulka 2: Výsledek Mauchleyho testu

Z níže přiložené *tabulky 4* znázorňující výsledky prvního ANOVA testu je zjevné, že hodnota p se bezpečně pohybuje značně převyšuje zvolenou hladinu významnosti. Náš ANOVA test proto prokázal, že mezi zbarvením obou porostů v průběhu 3-5. měření existoval statisticky významný rozdíl.

Adjusted Univariate Tests for Repeated Measure: DV_1 (bakalárka (pivot).sta)							
Sigma-restricted parameterization							
Effective hypothesis decomposition							
Include condition: Horizont='F+H'							
Effect	Degr. of Freedom	F	p	G-G Epsilon	G-G Adj. df1	G-G Adj. df2	G-G Adj. p
ZBARVENÍ	4	166.5934	0.000000	0.383727	1.534909	6.139638	0.000006
ZBARVENÍ*Porost	4	11.1700	0.000161	0.383727	1.534909	6.139638	0.010958
Error	16						

Tabulka 3: Výsledky ANOVA testu

Abychom mohli určit podrobnější charakter změřeného rozdílu, byl následně proveden post-hoc test, jehož výsledky vyjadřuje *tabulka 5*. Jelikož opakování představují závislou skupinu byl zvolen Bonferroniho post-hoc test. Jeho další výhodou je značně konzervativní charakter. V tabulce lze v první řadě pozorovat, že k počátku periody rapidního růstu došlo v případě DBc z července na srpen a v případě BKl již mezi červnem a červencem. Ze zvýrazněné diagonály kvantifikující signifikanci rozdílu ve zbarvení porostů pak lze pozorovat, že statisticky významně se tento rozdíl projevuje ve vrcholné fázi zmíněné periody prudkého růstu.

Bonferroni test, variable DV: 1 (Bakalarka (jivot) sta)											
Protocols for Post Hoc Tests											
Error Between: Within Pooled MS = 88.484, df = 10.815											
Include condition: Horizontal=F+H											
Cell No.	Plant	ZBARVENI	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	DBc	8.6	2.6858	15.747	21.833	53.430	98.263	1.2908	25.948	59.570	79.290
2	DBc	3.7	1.08000	1.00000	0.15380	0.00036	0.00000	1.00000	0.51324	0.00054	0.00011
3	DBc	24.7	0.15380	1.00000	1.00000	0.00236	0.00000	1.00000	1.00000	0.00551	0.00075
4	DBc	11.6	0.08000	0.00236	0.00184	0.00000	0.00027	0.01462	0.19920	1.00000	0.36291
5	DBc	5.9	0.08000	0.00000	0.00000	0.00027	0.00004	0.00068	0.01792	1.00000	1.00000
6	BKc	8.6	1.08000	1.00000	0.96716	0.01462	0.00004	0.02136	0.00050	0.00000	0.00000
7	BKc	3.7	0.51324	1.00000	1.00000	0.19920	0.00004	0.02136	0.00050	0.00000	0.00000
8	BKc	24.7	0.08064	0.00551	0.00236	1.00000	0.01792	0.00001	0.00000	0.19488	0.36294
9	BKc	11.6	0.08044	0.00275	0.00174	0.36291	1.00000	0.00001	0.00003	0.15488	1.00000
10	BKc	5.9	0.08011	0.00564	0.00127	0.00182	1.00000	0.00001	0.00000	0.00364	1.00000

Tabulka 4: Výsledky post-hoc testu

Dalším krokem je statistická analýza zbytku časové linie. Jak již několikrát nastínily přechozí odstavce, na základě tvaru křivek v *grafu 4* můžeme naměřené hodnoty hrubě rozdělit do 3 fází. První je fáze pasivní, kdy v průběhu měření 1-2 takřka nedochází k barevným změnám. V průběhu fáze druhé (měření 3-6.) dochází k vcelku prudkému nárůstu barevných deviací, v jehož průběhu saturace roste z takřka nulové hodnoty na hodnotu téměř 100%. V případě DBc dokonce mezi 3. a 6. měřením pozorujeme skoro perfektně exponenciální růst. Poslední je perioda jakési saturační hranice, kdy je její postup výrazně zpomalen poblíž hranice 100 % s rozdíly mezi měřeními vyjádřenými ve zlomcích promíl. Rozdělení datasetu mezi tyto periody nám umožňuje opodstatnit testování každé z nich zvlášť.

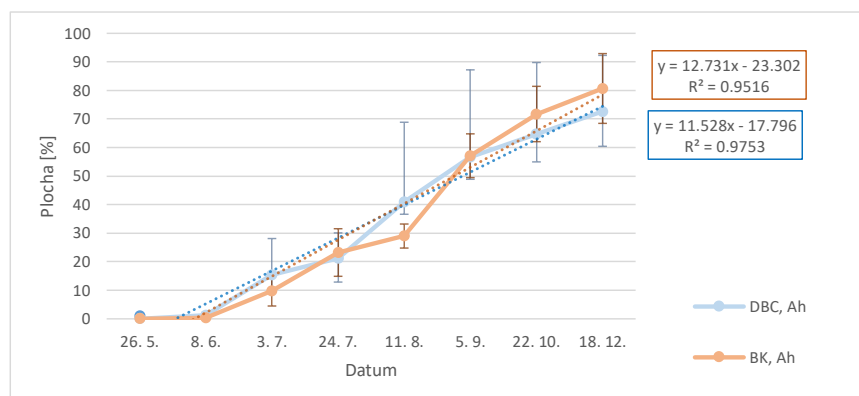
Existenci rozdílu v pasivní fázi můžeme vzhledem k nesmírné podobnosti hodnot zamítnout a předpokládat tak, že před inhibicí enzymatické aktivity k odlišnému průběhu rozkladných procesů nedochází, jak napovídá odborná literatura. Mimoto by jeho testování nebylo korektní vzhledem k tomu, že hodnotu z 8. 6. jsme již integrovali do proedného ANOVA testu.

Navzdory homogenitě rozptylu dat v souboru se v případě *pořadí 7-8* ANOVA test jeví jako nevhodný vzhledem ke značně snížené velikosti vzorku. Na jeho místě můžeme využít Mann-Whitneyho U test. Ten je sice schopen pracovat jen s jednou nezávislou proměnnou a nutí nás tak agregovat všechna porovnávaná data do celku nezávislého na *pořadí*, značné zkrácení rozptylů, ke kterému by v takovém případě došlo ovšem mitiguje svým principem vyhodnocení dat na základě ranků. Zároveň je třeba upozornit na to, že hodnoty směrodatných odchylek poslední čtveřice hodnot vzájemně přesahují rozptyl jejich středních hodnot. U test si tak i pro náš případ zanechává svou metodickou relevanci. Jelikož tabulka 6 poukazuje na rozdíl významný na zvolené hladině významnosti, implikuje naše šetření, že opad DBc podněcuje vyšší horní hranici enzymatické saturace nadložního humusu než opad domácích listnatých dřevin.

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Spreadsheet1_(Recovered))										
By variable Porost										
Marked tests are significant at p < 0.05000										
Include condition: Horizont=F+H AND Porost>6										
variable	Rank Sum DBc	Rank Sum BK	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N DBc	Valid N BK	2*1sided exact p
Zbarvení	53.00000	25.00000	4.000000	2.161730	0.030640	2.204541	0.027467	6	6	0.025974

Tabulka 5: Výsledky U testu

4.5 Zbarvení v horizontu Ah



Graf 4: Zbarvení v horizontu Ah

4.5.1 Statistické vyhodnocení

Pro porovnání celulytické aktivity v organominerálním horizontu byl opět prvním krokem Mauchleyho test sfericity proměnných, ze kterého byl rámci prevence duplicity tentokrát vyloučen pouze termín první. Tentokrát byl jeho výsledek neprůkazný, jak ilustruje *tabulka 7*. Na vině je četnost opakování nižší než počet termínů měření znemožňující kalkulaci. Pro zajištění skutečně vypovídající hodnoty p byla proto k interpretaci výsledku ANOVA testu využita p-hodnota po Greenhouse-Geisserově korekci.

Hodnota p nalezená následným ANOVA testem je v tomto případě extrémně vysoká. Přistoupit opět k temporální segregaci a následné aplikaci U testu se vzhledem ke značně uniformnímu tvaru obou křivek v tomto případě nejeví jako validní alternativa, jelikož agregací 7 posledních termínů do 1 by vzhledem k jejich výrazným rozdílům došlo k ohromnému zkreslení variability.

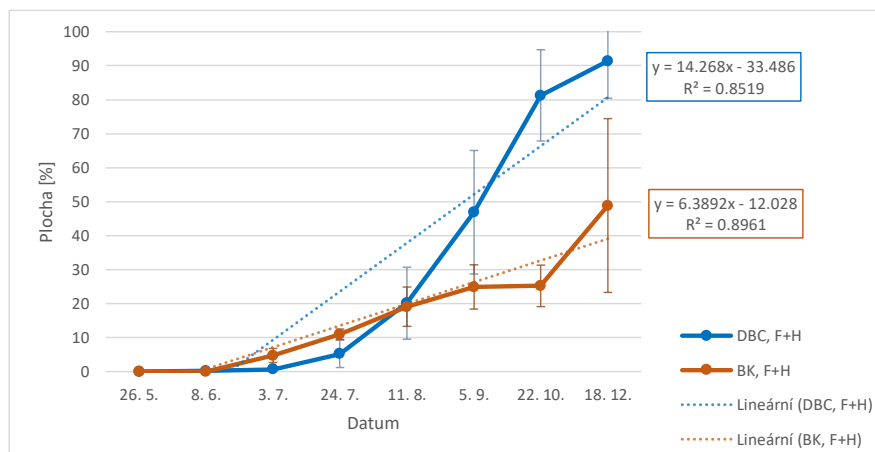
Mauchley Sphericity Test (bakalárka (pivot).sta)				
Sigma-restricted parameterization				
Effective hypothesis decomposition				
Include condition: Horizont='Ah'				
Effect	W	Chi-Sqr	df	p

Tabulka 6: Výsledek testu sfericity

Adjusted Univariate Tests for Repeated Measure: DV_1 (bakalárka (pivot).sta)							
Sigma-restricted parameterization							
Effective hypothesis decomposition							
Include condition: Horizont='Ah'							
Effect	Degr. of Freedom	F	p	G-G Epsilon	G-G Adj. df1	G-G Adj. df2	G-G Adj. p
ZBARVENI	5	45.44231	0.000000	0.411882	2.059412	8.237646	0.000034
ZBARVENI*Porost	5	0.65434	0.661760	0.411882	2.059412	8.237646	0.549059
Error	20						

Tabulka 7: Výsledky ANOVA testu

4.6 Rozklad v horizontech F+H



Graf 5: Rozklad v horizontech F+H

V kontextu rozkladu můžeme v rámci horizontu nadložního humusu u DBc sledovat stejnou tendenci trojfázového růstu jako v případě barevných změn. Naproti tomu BKl po inhibici enzymatické aktivity rozkládá zdánlivě víceméně stálou rychlostí s deviacemi ve 2 posledních termínech.

4.6.1 Statistické vyhodnocení

Pro aplikaci ANOVA testu s opakovaným měřením bylo k eliminaci duplicit nezbytné ze vstupních dat vyloučit jednak hodnoty prvních dvou termínů, jednak hodnoty 7. pořadí. Úvodní Mauchleyho test prokázal porušení sféricity. Ve výsledku ANOVA testu proto opět považujeme za relevantní p-hodnotu příslušnou Greenhouse-Geisserově korekci.

Mauchley Sphericity Test (bakalárka (pivot).sta)							
Sigma-restricted parameterization							
Effective hypothesis decomposition							
Include condition: Horizont='F+H'							
Effect	Degr. of Freedom	F	p	G-G Epsilon	G-G Adj. df1	G-G Adj. df2	G-G Adj. p

Tabulka 8: Výsledek sférického testu

Ke specifikaci výsledku byl opět použit Bonferroniho post-hoc test. Z rozdílů mezi sousedními termíny u obou *porostů* vyhodnotil jako signifikantní jen rozdíl mezi 6. a 8. *pořadím*. Tato signifikance je zjevně zapříčiněná absencí 7. termínu v porovnávané sérii dat. Signifikantní rozdíl mezi *porosty* pak odhalil jen v 8. termínu.

Adjusted Univariate Tests for Repeated Measure: DV_1 (bakalárka (pivot).sta)							
Sigma-restricted parameterization							
Effective hypothesis decomposition							
Include condition: Horizont='F+H'							
Effect	Degr. of Freedom	F	p	G-G Epsilon	G-G Adj. df1	G-G Adj. df2	G-G Adj. p
ROZKLAD	4	51.57923	0.000000	0.458597	1.834387	7.337546	0.000054
ROZKLAD*Porost	4	7.55022	0.001289	0.458597	1.834387	7.337546	0.017684
Error	16						

Tabulka 9: Výsledky ANOVA testu

Bonferroni test; variable DV_1 (bakalárka (pivot).sta)							
Probabilities for Post Hoc Tests							
Error: Between; Within; Pooled MS = 131.58, df = 13.418							
Include condition: Horizont='F+H'							
Cell No.	Porost	ROZKLAD	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
			.69667	5.2100	20.113	46.880	91.387
1	DBc	R- 3. 7.		1.000000	0.921591	0.000669	0.000000
2	DBc	R- 24. 7.	1.000000		1.000000	0.002100	0.000000
3	DBc	R- 11. 8.	0.921591	1.000000		0.121185	0.000003
4	DBc	R- 5. 9.	0.000669	0.002100	0.121185		0.001017
5	DBc	R- 18. 12.	0.000000	0.000000	0.000003	0.001017	
6	BKI	R- 3. 7.	1.000000	1.000000	1.000000	0.024903	0.000015
7	BKI	R- 24. 7.	1.000000	1.000000	1.000000	0.088479	0.000037
8	BKI	R- 11. 8.	1.000000	1.000000	1.000000	0.476638	0.000122
9	BKI	R- 5. 9.	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000304
10	BKI	R- 18. 12.	0.007692	0.018459	0.390328	1.000000	0.023087

Tabulka 11: Výsledky post-hoc testu

Vzhledem k nízké četnosti závislé proměnné je pro samostatnou analýzu vynechaného 7. termínu namísto zvolit test neparametrický. Test normality by totiž při této četnosti postrádal patřičnou spolehlivost. Jelikož existuje pro tento případ jen jediná relevantní, dvouvýběrová kategorie (*porost*), je vhodným testem Mannův-Whitneyův U test. Ten, jak ilustruje tabulka 11, signifikanci rozdílu mezi *porosty* neprokázal.

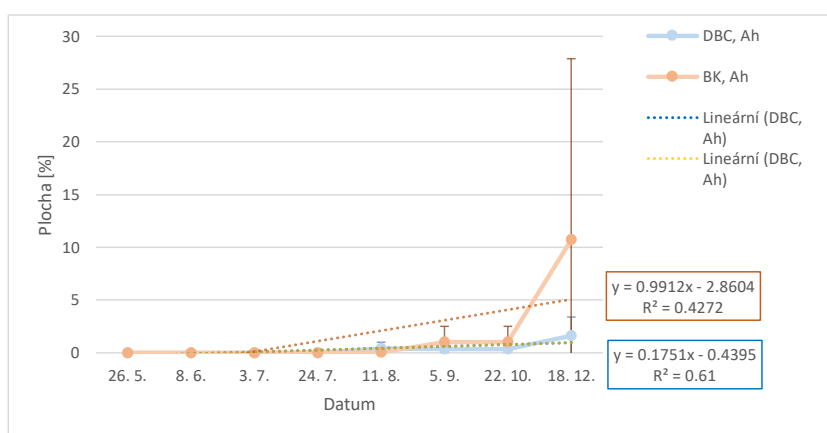
Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (Spreadsheet1_1(Recovered))										
By variable Porost										
Marked tests are significant at p < .05000										
Include condition: Horizont='F+H' AND Poradi=7										
variable	Rank Sum DBc	Rank Sum BKI	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N DBc	Valid N BKI	2*1sided exact p
Rozklad	15.00000	6.00000	0.00	1.745743	0.080857	1.745743	0.080857	3	3	0.100000

Tabulka 10: Výsledek U testu

V poslední řadě by nebylo od věci prověřit signifikanci značných rozdílů, které graf ilustruje v posledním páru termínů. Jelikož byly všechny dotyčné hodnoty využity v rámci předchozích testů, došlo by jejich využitím v dalším testu k pseudoreplikaci. Ke změření

jejich relevance byl proto využit U test jejich průměrů. Ten opět neprokázal statisticky významný rozdíl. V tomto případě je ovšem nezbytné zdůraznit, že srovnávaná data vykazují dokonalou separaci. Absence statistické významnosti je tak primárně důsledkem matematického limitu neparametrického testu pro 3četnou veličinu, nikoli důkazem absence biologicky podmíněného rozdílu.

4.7 Rozklad v horizontu Ah



Graf 6: Rozklad v horizontu Ah

Graf č. 7 znázorňuje podobný fenomén jako graf č. 6, tedy náhlé výrazné zvýšení rychlosti rozkladu v populaci buku k pozdním fázím výzkumu. Původcem diskrepance mezi průměry v posledním měření je 2. opakování, v jehož rámci došlo k téměř kompletní dekompozici jednoho z celulózních listků. Tento výkyv zřetelně ilustruje i směrodatná odchylka.

4.7.1 Statistické vyhodnocení

V průběhu prvních 4 termínů nedochází k žádným deviacím od hodnoty 0. Jejich test by byl proto redundantní. Duplicita dat zároveň zamezuje využití ANOVA testu ve všech termínech vyjma 11. 8. a 18. 12. Jediným smysluplným počátečním krokem se tudíž zdá být U test dat z 18. 12. Maximální hodnota p uvedená v tabulce 13 je při kombinaci značného

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (bakalárka (pivot): sta)

By variable Porost

Marked tests are significant at p < .05000

Include condition: Horizont="Ah"

variable	Rank Sum DBC	Rank Sum BK	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N DBC	Valid N BK	2-sided exact p

Tabulka 12: Výsledek U testu

rozptylu mezi *opakováními* se značnou blízkostí středních hodnot vcelku očekávatelná. Uvedení testů pro zbylé termíny, kdy se střední hodnoty vzájemně přibližují ještě více, tak postrádá smysl. Mezi rozklady v organominerálním horizontu jednotlivých porostů proto nenajdeme žádné statisticky významné rozdíly.

4.4. Vyhodnocení výsledků

4.4.1 Zbarvení

V případě obou porostů započaly barvené změny v horizontu O ve zhruba měsíčním měřítku ve stejný čas. Domácí dřeviny demonstrovaly prudší nárůst enzymatické kolonizace v míře statisticky významně vyšší ve vrcholné fázi tohoto rozkladu, tedy 4. pozorování. Rozdíly se v této fázi pohybovaly v řádu několika desítek procent. Dub červený ovšem po konsolidaci rychlosti barevných změn na statisticky významné hladině vykazoval potenciál pro vyšší hodnotu limitního nasycení enzymy. Zde však rozdíl tvořilo jen několik jednotek procent.

V organominerálním horizontu nebyly prokázány mezi porosty žádné rozdíly v intenzitě, ani způsobu průběhu barevných změn.

4.4.2 Rozklad

Rychlost rozkladu v horizontu O byla podstatně nižší. Porost DBc vykazoval podobný sigmoidní průběh jako v případě kolonizace. Rozklad pod domácími listnáči měl naproti tomu tendenci růstu spíše lineárního. Jediný statisticky významný rozdíl byl navzdory grafickému znázornění, které napovídalo značné rozdílnosti již od 6. pozorování, sledován až při posledním měření. Jelikož vývoj rozkladu v tomto horizontu zdánlivě nedospěl během pozorování do stejné fáze konsolidace rychlostí jako v případě zbarvení horizontu O, lze si zjištěný rozdíl v 8. fázi vyložit jako důkaz vyšší průměrné rychlosti rozkladu pod DBc.

V průběhu měření rozkladu v horizontu organominerálním takřka k žádnému pozorovatelnému vývoji nedošlo. Celý horizont Ah můžeme proto charakterizovat jako horizont, ve kterém v horizontu prvních šesti měsíců významné rozdíly v rozkladných procesech mezi porostem Dubu červeného a porostem domácích listnatých dřevin nepozorujeme. Jedná se nicméně o závěr aplikovatelný čistě v kontextu této konkrétní práce. Nepotvrzení statistické významnosti totiž samozřejmě není ekvivalentní jejímu popření.

5 Diskuse

K introdukci dubu červeného (*Quercus rubra*) do Evropy došlo roku 1691 a dodnes se s ním lze setkat s výjimkou Skandinávie na víceméně celé její ploše (Nicolescu, et al., 2018; Chmura, 2013). Na území Čech se pak vyskytuje od 19. století původně jako parkový druh, dodnes jako významná introdukovaná dřevina (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). V kontextu Střední Evropy mu bývá přisuzována perspektivní povaha především pro značnou resistenci některým chorobám a vcelku široký rozsah tolerance vůči faktorům prostředí kombinovaných s ekologickými vlastními zdánlivě ideálními pro rekultivace (Miltner, Kupka, & Třeštík, 2016). Přičítány mu bývají i vlastnosti ideální pro využití k ochraně, stabilizaci a zlepšení půdy (Nicolescu, et al., 2018). Navzdory rostoucí popularitě v prostředí Střední Evropy ovšem existuje malé množství poznatků o jeho vlivu na půdní procesy v České republice. Tento nedostatek pochopitelně způsobuje nejistotu a vhodnosti jeho aplikace za těmito účely v lokálních podmínkách.

Experiment se věnoval zhruba půlročnímu sledování vývoje enzymatické a dekompoziční aktivity horizontu nadložního humusu a horizontu organominerálního v půdě původně dominované *Q. rubra* a *F. sylvatica* v laboratorních podmínkách. V tomto časovém horizontu byl ve statisticky signifikantní míře v případě *Q. rubra* vyzorován pomalejší nástup, ovšem průměrně rychlejší průběh exkrece enzymů v horizontu nadložního humusu. Zároveň byl v jeho případě prokázán značně rychlejší rozklad celulózy v témže horizontu. Naproti tomu pro organominerální horizont žádné statisticky průkazné odchylky *Q. rubra* od *F. sylvatica* v průběhu celé periody pozorovány nebyly. V tomto horizontu zdánlivě k rozkladu celulózy takřka nedošlo.

Co se týče schopnosti mikrobiálních společenstev v opadu dubu červeného rozkládat celulózu a podílet se na dekompozičních procesech, lze ji z výsledku měření vyhodnotit jako účinnější než v případě opadu směsi domácích listnatých dřevin. Je ovšem možné tak učinit pouze v kontextu nadložního humusu. Jelikož představuje rozklad organické hmoty jeden ze základních elementů koloběhu živin, implikují dále výsledky experimentu, že vliv dubu červeného na dynamiku živin v lesních ekosystémech je pozitivní. Za pozitivní by jeho vliv na stav humusových forem šel označit pouze v kontextu zmíněné rychlosti rozkladu dřevinné hmoty, potažmo dynamiku živin, jelikož se jedná o jediné parametry, které práce studovala.

Do rozporu se učiněné závěry dostávají s jednou ze studií Bonifacio et al. (2015), která jeho působení na půdu přisuzuje degradační efekt. V jejím průběhu byla sledována jednak pomalejší dekompozice opadu, dále přechod formy nadložního humusu k moru, snížení

dostupného množství několika živin a zpomalení dynamiky živin obecně. Podobně Miltner et al. (2016) došli k závěru, že v případě dubu červeného nedochází ke zlepšení stanovištních podmínek oproti domácím listnatým dřevinám.

Shodu s literaturou lze ovšem nalézt v časovém charakteru rozkladu. Například Jonczak et al. (2015) přisuzující dubu červenému a buku podobný charakter rozkladných procesů. Zprvu pomalejší rozvoj barevných změn u vzorků z porostu *Q. rubra* koresponduje s literaturou popsanými chemickými a fyzikálními vlastnostmi opadu této dřeviny, který se vyznačuje vysokým množstvím ligninu a širokým poměrem C:N (kolem 29,34) (Miltner et al., 2016). Zde může hrát roli v minulosti zjištěná tendence *Q. rubra* snižovat pokryvnost bylinného patra (Marozas, Straigyte, & Sepetiene, 2008). Jelikož se jedná o součást dřevinných pletiv, vysvětlovala by totiž vyšší četnost mladých stromků na úkor bylin vyšší zastoupení ligninu mezi odumřelou hmotou. Lze předpokládat, že opad díky těmto hodnotám pro půdní mikroorganismy vykazuje výrazný deficit dostupných nutrientů vedoucí k počátečnímu zpomalení dekompozičních procesů a následnému drastickému zrychlení, jakmile je dostatek živin zpřístupněn degradací ligninu. Zjištění, že v pozdější fázi výzkumu došlo u vzorků dubu červeného k prudkému nárůstu a dosažení vyšší limitní saturace, ovšem zároveň může naznačovat selekci a adaptaci specifických společenstev dekompozitorů. Šlo by například hypotézovat, že při přítomnosti opadu *Q. rubra* v horizontu nadložního humusu dochází k převzetí podstatnější role na dekompozici houbami. Houby specializované na saprofagii dřevin vykazují velmi vyvinutou schopnost odbourávat enzymaticky lignin z lignocelulózního komplexu (Konarovská, 2016). Zároveň jsou klíčovými rozkladači v extrémnějších typech nadložního humusu formovaných nadměrnou aciditou prostředí jako je mor (Encyklopedie CoJeCo.cz, 2006), přičemž Bonifacio et al. (2005) přímo tento efekt extremizace humusových forem pod dubem červeným vlivem okyselení prokázali.

Původem rozporů s odbornou literaturou může být nedokončený proces dekompozice v horizontu Ah, který zamezil nalezení výsledků na patřičné hladině významnosti, a vzájemná izolace horizontů, kvůli které nebylo možné sledovat vliv vývoje organominerálního horizontu na nadložní humus. Dále může jeho původ tkvět v odlišných metodách měření. Jelikož značná část studií byla provedena přímo v porostu, byla jimi hodnocena schopnost nadložního humusu rozkládat přítomný opad v případě dubu červeného sestávající z vyššího množství ligninu. Vyvozené závěry proto nemusí být zcela kompatibilní se závěry testu, v jehož průběhu byl měřen rozklad lístků sestávajících čistě z celulózy.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení rozdílů v celulolytické aktivitě humusových forem s původem v opadu druhu *Quercus rubra* a původem v opadu domácích listnatých dřevin při dominanci rodu *Fagus*. Výzkum se věnoval nadložnímu humusu (vrstvám F+H) a organominerálnímu horizontu (vrstvě Ah). V rámci jmenovaných vrstev došlo k odebrání reprezentativních vzorků z porostních částí dominovaných jednotlivými dřevinami v biotopech se srovnatelnými podmínkami. Výsledkem mělo být posouzení schopností mikrobiálních společenstev podporovaných jednotlivými dřevinami rozkládat celulózu a podílet se na dekompozičních procesech v opadu jednotlivých dřevinných druhů a umožnit tak částečné porovnání rozkladných procesů v podrostu obou dřevin, resp. vlivu dubu červeného na stav humusových forem a dynamiku živin v lesních ekosystémech.

V závěru byl zjištěn pomalejší nástup, ovšem rychlejší gradace a v posledních fázích i vyšší kvantita produkce enzymů v opadu *Q. rubra* v horizontu nadložního humusu. Měření v tomto případě mimo jiné na statisticky významné, ovšem v reálu nepříliš patrné úrovni naznačila vyšší potenciál opadu dubu červeného pro maximální nasycení celulolytickými enzymy. Zároveň byla v horizontu nadložního humusu ve statisticky signifikantní míře zjištěna rychlejší dekompozice celulózy v opadu *Q. rubra*. Naproti tomu v organominerálním horizontu k prokázání žádných statisticky signifikantních rozdílů nedošlo. V organominerálním horizontu zároveň takřka nedošlo. K samotné dekompozici celulózy. Dále byl potvrzen podobný charakter rozkladu mezi oběma podrosty nastíněný odbornou literaturou.

V podmínkách experimentu proto byl opad dubu červeného vyhodnocen jako příznivější pro proces rozkladu celulózy mikrobiálními společenstvy v horizontu nadložního humusu, potažmo rychlost lokální dynamiky živin. Po konzultaci odborné literatury a zhodnocení podmínek experimentu se ovšem nezdá namístě zcela vztáhnout výsledky experimentu na skutečné ekosystémy. Přesto výsledky představují alespoň drobný přínos pro stále značně limitovanou literaturu věnující se celulolytickému rozkladu v opadu *Q. rubra* navzdory jeho perspektivní povaze. Pro možnost aplikace závěrů pokusu v lesnické praxi se zdá ideální navázat studii sledujícími celulolytický potenciál dubu červeného v organominerálním horizontu v delším časovém úseku, případně studii druhového složení mikrobiální populace humusových forem v jeho opadance.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

Andreasson, F., Pahlsson, A. B., & Bergkvist, B. (2012). Differences in soil organic matter, extractable nutrients, and acidity in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest soils related to the presence of ground flora. *Journal of Forest Research*, 17, 333-342.

BAUER, F. (1953). Northern red oak. *Sauerländer*, 108.

Bonifacio, E., Santoni, S., Cudlin, P., & Zanini, E. (2008). Effect of dominant ground vegetation on soil organic matter quality in a declining mountain spruce forest in central Europe. *Boreal Environment Research*, 13, 113-120.

Bruelheide, H., & Udelhoven, P. (2005). Correspondence of the fine-scale spatial variation in soil chemistry and the herb layer vegetation in beech forests. *Forest Ecology and Management*, 210, 205-223.

Chmura, D. (2013). IMPACT OF ALIEN TREE SPECIES QUERCUS RUBRA L. ON UNDERSTOREY ENVIRONMENT AND FLORA: A STUDY OF THE SILESIAN UPLAND (SOUTHERN POLAND). *POLISH JOURNAL OF ECOLOGY*, 61, 431-439.

Encyklopedie CoJeCo.cz. (11. únor 2006). Brno, Jihomoravský kraj, Česká republika. Načteno z CoJeCo: <https://www.cojeco.cz/lignocelulozovy-komplex>

HLÁSNÝ, T., TROMBIK, J., HOLUŠA, J., L. K., GRENDÁR, M., TURČÁNI, M., . . . CSÓKA, G. (2016). Multi-decade patterns of gypsy moth fluctuations in the Carpathians Mountains and options for outbreak forecasting. *Journal of Pest Science*, 89, 413-425.

Jonczak, J., Parzych, A., & Sobisz, Z. (2015). Decomposition of Four Tree Species Leaf Litters in Headwater Riparian Forest. *Baltic Forestry*, 21(1), 133-143.

Konarovská, K. (2016). *Enzymové aktivity a molekulární charakterizace hub v tlejícím dřevu*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zdravotně sociální. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Kozák, J., Němeček, K., & Borůvka, L. (2004). *Anhydrogenní horizonty nadložního humusu*. (BENETA.cz) Načteno z Taxonomický klasifikační systém půd ČR: https://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showKategorie&id_categoryNode=74

- Marozas, V., Straigyte, L., & Sepetiene, J. (2008). COMPARATIVE ANALYSIS OF ALIEN RED OAK (*QUEARCUS RUBRA* L.) AND NATIVE COMMON OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) VEGETATION IN LITHUANIA. *Miškininkystė*, 64(2), 32-39.
- Míkl, F. (2024). *Izolace bakterií degradujících celulózu a stanovení*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- Miltner, S., Kupka, I., & Třeštík, M. (2016). Effects of Northern red oak (*Quercus rubra* L.) and sessile oak. *Lesnický časopis - Forestry Journal*, 62, 169-172.
- NAGEL, R.-V. (2015). Northern red oak. In Potentials and risks of introduced tree species. *Göttinger Forstwissenschaften* 7, 219–267.
- Niculescu, V.-N., Vor, T., Mason, W., Bastien, J.-C., Brus, R., Henin, J.-M., . . . Hernea, C. (2018). Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.) in Europe: a review. *Forestry*, 93, 481-490.
- RÉH, J., & RÉH, R. (1997). Dub červený (*Quercus rubra* L.), jeho vývoj struktura a rastové procesy vplyvom prebierok a možnosti využitia jeho dreva v drevozpracujúcom priemysle. *Vedecké štúdie TU vo Zvoleně, č. 12/1997/A : TU*, 71.
- Špulák, O., Souček, J., & Dušek, D. (2016, March 1). Quality of organic and upper mineral horizons of mature. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, pp. 163-173.
- Straigyte, L., Marozas, V., & Žalkauskas, R. (2012). Morphological traits of red Oak (*Quercus rubra* L.) and ground vegetation in stands in different sites and Regions Of Lithuania. *Baltic Forestry*, 18, 91-99.
- Vrba, V., & Huleš, L. (14. Listopad 2006). *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda*. (České sdružení pro biomasu) Načteno z Biom.cz: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>
- Zádorová, T., & Penížek, V. (2020). *ZÁKLADY PŮDNÍ KLASIFIKACE I*. (T. Zádorová, Editor) Načteno z Česká zemědělská univerzita v Praze: https://katedry.czu.cz/storage/194/7390_Pudni-klasifikace-I.-final.pdf
- TIMBAL, J., KREMER, A. 1994 Root system. In *Le chêne rouge d'Amérique*. Timbal J., Kremer A., Le Goff N. and Nepveu G. (eds). INRA éditions, pp. 48–51. Česká geologická služba.

(b.d.). Půdní mapa 1 : 50 000 [Interaktivní mapa]. Načteno 23. prosince 2025 z <https://mapy.geology.cz/pudy/>

Česká geologická služba. (b.d.). Geologická mapa 1 : 50 000 (lite) [Interaktivní mapa]. Načteno 23. prosince 2025 z <https://mapy.geology.cz/geo/>

Český hydrometeorologický ústav. (b.d.). Klimatické mapy: Normály 1991–2020 [Interaktivní mapa]. Načteno 23. prosince 2025 z <https://chmi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ccb8ecca6e5c4c87abd57d071519d8f8>

Národní lesnický institut. (b.d.). Oblastní plány rozvoje lesů [Interaktivní mapa]. Načteno 23. prosince 2025 z <https://geoportal.nli.gov.cz/DsNli/Oprl/>