

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnické genetiky a fyziologie



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Bakalářská práce

**Fyziologické markery jako podklad pro hodnocení
úspěšnosti výsadby dubu letního**

Autor: Matěj Machuta

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.

© 2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Machuta

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Fyziologické markery jako podklad pro hodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního

Název anglicky

Physiological markers as a basis for evaluating the success of summer oak planting

Cíle práce

Cílem práce bude zhodnotit výsadby dubu letního s využitím několika typů půdních kondicionérů za pomoci fyziologických ukazatelů, kterými jsou rychlá fáze fluorescenční indukce a obsah dusíku. Oba parametry lze získat v terénu s využitím jednoduchých přenosných zařízení.

Metodika

Sběr dat bude probíhat na ploše o výměře 1 ha v blízkosti velkolomu Čertovy schody v Českém krasu, která byla zalesněna na podzim v roce 2022 převážně dubem. Dub byl vysazován do předvrtaných jamek. Ve znárodněném designu byly aplikovány různé druhy kondicionérů. Jednalo se 1 g hydrofilního polymeru v prášku (dále pouze hydrogelu), ovčí vlnu slisovanou do pelet (1dcl/sazenici), dále o hnojivo Silvamix (3 tablety kolem kořenového systému). Část sazenic byla vysazena jako kontrola bez půdního kondicionéru. K posouzení fyziologického stavu poslouží přenosné přístroje: chlorofylmetr SPAD-502Plus (Konica Minolta) a FluorPen FP 110 (PSI, CR). Měření proběhne 2x za vegetační sezónu. Cílem bude sběr dat prostřednictvím SPAD hodnot, které korelují s obsahem dusíku v listech, a měření rychlé fáze fluorescenční indukce (tzv. OJIP křivka). Indexy vypočítané z naměřené OJIP křivky vypovídají o zdravotním stavu rostlin a umožňují porovnat jednotlivé varianty s půdními kondicionéry mezi sebou a s kontrolní skupinou. Data budou zpracována analýzou rozptylu a vyhodnocena. Výsledkem práce bude praktické doporučení konkrétní varianty půdního kondicionéru pro výsadby dubu s ohledem na geomorfologické podmínky stanoviště.

Časový harmonogram:

Březen-červen 2023: rešerše literatury na téma půdních kondicionérů

Červenec-září 2023: sběr dat v terénu, finalizace metodické části, formulace hypotéz

Září-prosinec 2023: statistické zpracování dat a analýza výsledků

Leden 2024: diskuze a tvorba grafické části práce

Únor-březen 2024: finalizace práce v kooperaci s vedoucím práce

Doporučený rozsah práce

40-50 stran

Klíčová slova

sucho, umělá obnova, kvantový výtěžek fotosyntézy, chlorofyl, vápencové podloží

Doporučené zdroje informací

- Jazzar, L., Rzigui, T., Ben Fradj, R., Touhami, I., Nasr, Z., 2019. Leaf gas exchange variation under summer drought in Tunisian cork oak from geographically central and marginal populations. *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.* 4, 1–8.
- Petek, B., Marinšek Logar, R., 2021. Management of waste sheep wool as valuable organic substrate in European Union countries. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 23, 44–54.
- Saha, A., Sekharan, S., Manna, U., 2020. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil Tillage Res.* 204, 104736.
- Sever, K., Bogdan, S., Škvorc, Ž., 2022. Response of photosynthesis, growth, and acorn mass of pedunculate oak to different levels of nitrogen in wet and dry growing seasons. *J. For. Res.* 1–10.
- Sonti, N.F., Hallett, R.A., Griffin, K.L., Trammell, T.L.E., Sullivan, J.H., 2021. Chlorophyll fluorescence parameters, leaf traits and foliar chemistry of white oak and red maple trees in urban forest patches. *Tree Physiol.* 41, 269–279.
- Zhuang, J., Wang, Y., Chi, Y., Zhou, L., Chen, J., Zhou, W., Song, J., Zhao, N., Ding, J., 2020. Drought stress strengthens the link between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic traits. *PeerJ* 8, e10046.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra lesnické genetiky a fyziologie

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2024

doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 04. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Fyziologické markery jako podklad pro hodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního** 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 stvrzuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 1. dubna 2024

.....

Matěj Machuta

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především paní doc. Ing. Ivaně Tomáškové, Ph.D. za vřelý přístup, cenné rady a hlavně neutuchající trpělivost při vedení této bakalářské práce. Dále bych touto cestou rád poděkoval panu Mgr. Petru Karlíkovi, Dr. rer. nat. za přínosné informace o daném projektu, výzkumné lokalitě a také za pomoc při sběru dat a paní doc. Ing. Vítězslavě Peškové, Ph.D. za doporučení vhodné literatury pro teoretickou část práce. V neposlední řadě bych rád vyjádřil poděkování své rodině a blízkým za podporu při studiu a zpracování této práce.

Fyziologické markery jako podklad pro hodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního

Souhrn

Stále častěji se vyskytující periody sucha způsobené nerovnoměrným rozložením srážek v rámci sezóny v důsledku klimatické změny hrají klíčovou roli v úspěšnosti dřevinných výsadeb. Jako možné řešení této problematiky se jeví úprava půdních vlastností půdními kondicionéry. Tato práce je zaměřena na zhodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního na zkusné ploše v CHKO Český kras ošetřené třemi druhy půdních kondicionérů. Jako podklad pro toto hodnocení slouží vybrané fyziologické ukazatele, tedy rychlá fáze fluorescenční indukce a obsah dusíku v asimilačním aparátu, které lze v terénu změřit pomocí přenosných zařízení. Výsledky měření obsahu dusíku a vybraných fluorescenčních parametrů neodhalily jednoznačně pozitivní vliv některého z půdních kondicionérů. Podobné hodnoty SPADu (korelující s obsahem dusíku v listech), maximálního kvantového výtěžku PSII a indexu odolnosti vůči suchu měly v porovnání s kontrolou sazenice ošetřené hydrogelem. Výrazně horší vybrané fluorescenční parametry byly nalezeny u sazenic ošetřených silvamixem a ovčí vlnou, která se ovšem pozitivně projevila s ohledem na množství obsahu dusíku v listech. Existuje předpoklad, že jednoznačně pozitivní nebo negativní vliv půdních kondicionérů na sazenice bude odhalen až v průběhu příští vegetační sezóny.

Klíčová slova:

sucho, umělá obnova, kvantový výtěžek fotosyntézy, chlorofyl, vápencové podloží

Physiological markers as a basis for evaluating the success of summer oak planting

Abstrakt

Increasingly frequent periods of drought caused by uneven distribution of rainfall across the season due to climate change play a key role in the success of tree plantations. Improvement of the soil properties, mainly the retention capacity appears to be a possible solution to this problem. This bachelor thesis evaluated the success of planting summer oak in a plot in the CHKO Český kras treated with three types of soil conditioners. Selected physiological parameters, i.e. the rapid phase of fluorescence induction and leaf nitrogen content serve as the basis for this evaluation. These selected parameters can be measured in the field using portable devices. The results of the measurements of nitrogen content and selected fluorescence parameters did not reveal a clear positive effect of any of the soil conditioners. Seedlings treated with hydrogel had similar SPAD values (which correlates with leaf nitrogen content), maximum quantum yield of PSII photochemistry and drought tolerance index compared to the control. Significantly poorer selected fluorescence parameters were found in seedlings treated with silvamix and sheep wool, which, however, showed a positive impact on leaf nitrogen content. There is an assumption that a clear positive or negative effect of soil conditioners on seedlings will be revealed during the next growing season.

Keywords:

drought, artificial regeneration, quantum yield of photosynthesis, chlorophyll, limestone subsoil

Obsah

1	Úvod	13
2	Cíl práce.....	15
3	Teoretická část	16
3.1	Dub letní (<i>Quercus robur</i> L.).....	16
3.1.1	Charakteristika dubu letního.....	16
3.1.2	Rozšíření dubu letního a zimního	17
3.1.2.1	Globální rozšíření.....	17
3.1.2.2	Rozšíření na území České republiky	18
3.1.3	Ekologie dubu letního v porovnání s dubem zimním.....	18
3.1.3.1	Nároky na světlo a klima.....	18
3.1.3.2	Nároky na vodu a půdu	18
3.1.4	Škůdci na dubu letním	19
3.1.5	Fyziologie dubu letního	20
3.1.5.1	Dynamika růstu	20
3.1.5.2	Vodní režim.....	21
3.2	Faktory ovlivňující růst a životní cyklus rostlin	21
3.2.1	Abiotické faktory	21
3.2.1.1	Sluneční záření	22
3.2.1.2	Teplota.....	22
3.2.1.3	Voda	22
3.2.1.4	Minerální živiny	23
3.2.2	Biotické faktory	24
3.2.2.1	Herbivorie.....	24
3.2.2.2	Mykorhizní symbióza.....	25
3.2.3	Antropogenní faktory	25
3.3	Rostlinný stres	26
3.4	Půdní kondicionéry	26
3.4.1	Přírodní anorganické materiály	27
3.4.2	Přírodní organické materiály	28
3.4.2.1	Ověčí vlna	28

3.4.3	Průmyslově vyráběné a syntetické půdní kondicionéry	30
3.4.3.1	Hydrogel.....	30
3.4.3.2	Silvamix	31
4	Metodika	33
4.1	Lokalita.....	33
4.2	Popis jedinců a design výzkumné plochy.....	33
4.3	Metody měření	35
4.4	Statistická analýza	39
5	Výsledky.....	40
5.1	Analýza obsahu dusíku v listech.....	40
5.2	Analýza fluorescenčních parametrů odvozených z OJIP křivky	42
5.2.1	Maximální kvantový výtěžek PSII (Φ_{PO})	43
5.2.2	Index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}).....	45
6	Diskuze.....	47
7	Doporučení pro praxi v lesnictví.....	51
8	Závěr	52
9	Seznam použité literatury	54
9.1	Literární zdroje.....	54
9.2	Internetové zdroje.....	63
9.3	Legislativní dokumenty a normy.....	65
10	Přílohy.....	67

Seznam obrázků

Obr. 1: Areál dubu letního.....	17
Obr. 2: Areál dubu zimního.....	17
Obr. 3: Celkový pohled na výzkumnou plochu.....	34
Obr. 4: Schematická ukázka designu linek na výzkumné ploše.....	35
Obr. 5: Sběr SPAD hodnot pomocí chlorofylmetru	36
Obr. 6: Umístování klipu na list a měření OJIP křivky pomocí přístroje FluorPen	37
Obr. 7: Detail měření OJIP křivky.....	38

Seznam zkratek

ABA – kyselina abscisová

ATP – adenzinotrifosfát

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

F_m – maximální fluorescence

F_v – variabilní fluorescence

HS – hospodářský soubor

CHKO – chráněná krajinná oblast

MDA – malondialdehyd

NADPH – nikotinamidadeninukleotidfosfát

NPK – dusík; fosfor; draslík (NPK hnojiva)

OJIP (z angl. O = origin; J, P = inflection points; P = peak) – hlavní body na OJIP křivce

pH – číslo udávající zásaditost nebo kyselost

PI_{ABS} (z angl. performance index) – index odolnosti vůči suchu

POD – peroxidáza

PR – přírodní rezervace

PSII – fotosystém II

RuBisCO – ribulóza-1,5-bisfosfát karboxyláza/oxygenáza

SOD – superoxiddismutáza

SPAD (z angl. soil-plant analysis development) – SPAD hodnoty korelující s obsahem dusíku

ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

UV – ultrafialové (záření, radiace)

Φ_{PO} – maximální kvantový výtěžek PSII

Motto:

„Kdo seje les, kdo zakládá sad, zřídka se dočká sám ovoce a užitku. Ale jak bídný by byl svět, kdyby proto již nikdo sady zakládali a lesy sítí nechtěl?“

Karel Havlíček Borovský

1 Úvod

Dub letní (*Quercus robur* L.) je jednou z hlavních složek dřevinné skladby smíšených opadavých lesů mírného pásu Evropy. Můžeme se s ním setkat v původních pralesovitých porostech lužních lesů a teplomilných doubrav, kterých i navzdory jejich mnohdy přísné lokální ochraně, stále ubývá. Z hlediska biodiverzity jsou významným prvkem v krajině také staré solitérní stromy s řadou specifických typů mikrostanovišť, na které je vázána celá řada druhů ptáků, savců a hmyzu. Společně s dubem zimním (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) je i jedním z hlavních prvků produkčního lesnictví. Po buku lesním (*Fagus sylvatica* L.) patří mezi nejvíce vysazované a nejrozšířenější listnaté dřeviny (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství, 2022).

Jeho tvrdé, pevné, houževnaté dřevo s charakteristickou kresbou, ceněné pro svoji trvanlivost je velmi žádáno v četných odvětvích dřevozpracujícího průmyslu od nábytkářství až po umělecké řezbářství (Patričný, 2019). Nejen proto má dub letní v lesích České republiky a v evropských lesích obecně své neodmyslitelné místo.

Díky stále více se napříč sektory projevující klimatické změně je třeba se v lesnickém odvětví soustředit zejména na potřeby jednotlivých druhů dřevin, poznávání jejich ekologických nároků a růstových parametrů daných půdními a klimatickými podmínkami, na druhovou variabilitu, schopnosti a možnosti adaptace na případné změny. Přestože postupná změna klimatického systému provázela planetu Zemi od samotného počátku, na základě výsledků mnohých vědeckých studií můžeme říct, že rychlost, se kterou k těmto změnám dochází, má pravděpodobně v důsledku lidské činnosti vzestupný charakter (Gebeyehu & Hirpo, 2019; Thompson a kol., 2005).

Klimatická změna má v prostředí lesního porostu chemické, fyziologické i ekologické dopady. Lesy v současné době neovlivňuje výhradně nárůst či pokles teplot, ale spíše jimi způsobené druhotné efekty jako změna režimu srážek a sněhové pokrývky, atmosférické cirkulace nebo extrémnější projevy počasí. Výsledkem je např. zvýšení evapotranspiračních nároků při stejné sumě srážek vlivem nárůstu teplot nebo nerovnoměrné rozložení srážek v rámci sezóny a změna jejich prostorového rozložení. Z dat Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) vyplývá, že roční úhrny srážek zůstávají téměř totožné nebo je jejich změna pouze nepatrná: setkáváme se s výrazně delšími periodami sucha zcela beze srážek (Trenberth, 2011), což způsobuje např. významné úhyny sazenic při zalesňování (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství, 2022).

Stabilizace existujících lesů a zabránění plošnému vymírání vzrostlých porostů kalamitního charakteru umožní ustálit uhlíkovou bilanci, a tím zmírnit rychlost nástupu klimatických změn způsobených odlesňováním. V tomto ohledu je nutné se vzhledem ke specifickým lesních společenstev zabývat nejen aktuálním stavem, ale v návaznosti klást důraz na důsledné plánování a řízení lesního hospodářství v budoucnu (Maracchi a kol., 2005), protože reakce na změny je díky délce životního cyklu dřevin, který může čítat desítky i stovky let, velmi omezena (Hisano a kol., 2018).

Tato bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního na zkusné ploše nacházející se v CHKO Český kras nedaleko Koněpruských jeskyní. Základem pro porovnání prosperity a zdravotního stavu jedinců podpořených třemi druhy půdních kondicionérů jsou nedestruktivní metody měření fyziologických ukazatelů dřevin.

Podobné výzkumy a zejména závěry z nich vyvozované by mohly být dobrým podkladem, jak se s klimatickými změnami v lesnictví co nejlépe vyrovnat, a možnými vodítky, jak na ně reagovat, abychom byli schopni zachovat lesy, nedílnou součást naší krajiny, v ideálním případě prosperující i pro další generace.

2 Cíl práce

Cílem práce je vyhodnotit úspěšnost výsadby dubu letního na zkusné ploše v CHKO Český kras při použití půdních kondicionérů pomocí metod nedestruktivního měření fyziologických ukazatelů.

3 Teoretická část

3.1 Dub letní (*Quercus robur* L.)

Čeleď: Fagaceae (bukovité)

Rod: *Quercus* (dub)

3.1.1 Charakteristika dubu letního

Je to opadavý strom běžně dorůstající výšky 15 až 45 m s tloušťkou kmene dosahující 3 m. Jedná se o pomalurostoucí a dlouhověkovou dřevinu dožívající se věku 400 až 500 let. Známí jsou však jedinci staří 1000 let i více (Praciak, 2013). Dub letní je dřevina s konkurenční nebo taky kompetitivní životní C-strategií. Je tedy schopný dominovat na stanovištích s velkým množstvím zdrojů s nízkým stupněm narušování biomasy bez extrémních podmínek (Grime J. P., 1974).

Typickým znakem je rozložitá koruna charakteristického tvaru. Při dostatku prostoru dochází k větvení často blízko u země, větve s narůstajícím věkem výrazně mohutní a kroutí se. I vzhled borky se s věkem mění. Pro mladé stromy do 25 let věku je typická hladká, lesklá kůra spíše světlejších barev. Ta později puká, tmavne a výrazně se brázdí. Kořenový systém je rozsáhlý s jedním hlavním kulovitým kořenem dosahujícím do hloubek okolo 5 m (Hejný & Slavík, 2003). Na základě půdních podmínek je však proměnlivý a mnohdy poměrně mělký. Je však dobře odolný proti větrným vývrátům (Vyskot, 1958), díky rezistenci i vůči dalším škodlivým vlivům se řadí mezi hlavní druhy melioračních a zpevňujících dřevin.

Střídavě přisedající listy jsou jednoduché, podlouhlé, nepravidelně laločnaté oproti příbuznému dubu zimnímu s výrazně krátkým řapíkem. Suché listy často zůstávají na stromech až do následujícího jara. Pupy jsou vejčité až kulovité a bývají typicky nahloučené na konci větviček s větším dominantním koncovým pupenem (Hejný & Slavík, 2003).

Dub letní je jednodomá větrosnubná dřevina kvetoucí v dubnu až květnu, tedy na začátku plného jara (Trefflich a kol., 2002). Plodem je suchá hnědá nažka (žalud), k jejímuž šíření dochází autochorně (pomocí vlastních sil rostliny nezávazně na vlivu okolí, případně s pomocí gravitačního spádu) a endozoochorně (průchodem trávícího traktu živočichů, kdy je nestrávené semeno šířeno společně s trusem), tedy dle strategie šíření Cornus (Sádlo a kol., 2018).

3.1.2 Rozšíření dubu letního a zimního

3.1.2.1 Globální rozšíření

Dub letní je hojně rozšířeným druhem. Hranice jeho původního areálu prochází na severu Evropy jižní částí Skandinávského poloostrova, na jihu severní částí Pyrenejského poloostrova, odkud dále pokračuje po hranici Středoziemního moře až do Turecka. Přesnou jižní hranici je ovšem těžké vymezit, protože zde dochází k přirozenému mísení a hybridizaci s jinými druhy středomořských dubů, např. dubem pýřitým (*Quercus pubescens* Willd.) a dubem balkánským (*Quercus frainetto* Ten.) (Eaton a kol., 2016). Na západě areál sahá na ostrovy Velké Británie a Irska, kde je dub letní rozšířen po celém území, a na východě je jeho výskyt omezen pohořím Ural. Areál dubu zimního je téměř totožný, pouze jeho východní hranice je posunuta více na západ a tvoří ji pohoří Kavkaz (Ducouso & Bordacs, 2004).



Obr. 1: Areál dubu letního (Dostupné z: [24] www.euforgen.org)



Obr. 2: Areál dubu zimního (Dostupné z: [25] www.euforgen.org)

3.1.2.2 Rozšíření na území České republiky

Na území České republiky má rozšíření dubu letního spíše pásovitý charakter kopírující povodí velkých řek. Dále je hojně rozšířen na území Třeboňské pánve, na pahorkatinách a výslunných lesostepích, v nížinách na celém území. Čisté porosty spíše netvoří, nejčastěji vytváří směs s jilmou a jasanem, případně dalšími dřevinami. Oproti tomu dub zimní se na našem území vyskytuje v oblastech původních doubrav (dolní Povltaví, Poohří a Polabí) a teplejších pahorkatin (některé oblasti Českého středohoří, nižší partie Krušnohoří). V nižších polohách tvoří směs s habrem obecným (*Carpinus betulus* L.) a horní hranice jeho areálu výskytu se protíná se spodní hranicí výskytu buku lesního. Původní porosty se zachovaly spíše ostrůvkovitě na extrémnějších lokalitách, které jsou nevhodné pro zemědělské využití. Po buku lesním jsou dub letní společně s dubem zimním hospodářsky nejdůležitějšími druhy listnatých dřevin na našem území (Úradníček, 2009).

3.1.3 Ekologie dubu letního v porovnání s dubem zimním

3.1.3.1 Nároky na světlo a klima

Jedná se o výrazně světlomilnou dřevinu. Ve srovnání s u nás dalším hojně rozšířeným druhem dubem zimním jsou jeho nároky na světlo vyšší (Slávik, 2004). Dub letní je teplomilný, přesto odolný vůči klimatickým výkyvům. Jeho slabinou jsou však pozdní mrazy, na které je citlivý, podobně jako dub zimní. K poškození jarními mrazy dochází zcela výjimečně, protože rašení nastává až koncem dubna a v květnu. Pokud dojde v průběhu roku k poškození či ztrátě listoví, jsou duby schopné opětovného nasazení listů i v pozdních letních měsících. Oproti dubu zimnímu je také více tolerantní ke kontinentálnější laděnému klimatu (Ducousso & Bordacs, 2004).

3.1.3.2 Nároky na vodu a půdu

Co se nároků na vláhu týče, rozlišujeme u dubu letního dva ekotypy. V České republice je hojně rozšířený lužní ekotyp dubu letního s těžištěm výskytu v lužních lesích, pro který je typická potřeba dostatku vláhy, snáší až dvoutýdenní jarní záplavy. Druhý stepní ekotyp dubu letního se vyskytuje spíše na pahorkatinách lesostepního charakteru a je schopný růst i na mělčích, v létě vysychavých půdách. Tento ekotyp není hospodářsky významný (Slávik, 2004). Na půdní podmínky je tato dřevina poměrně citlivá a náročná. Optimem jsou pak hluboké, hlinité půdy s dostatkem živin, případně čerstvě vlhké půdy v luzích, s podzemní vodou vždy

v dosahu kořenů (Úradníček, 2004). Oproti tomu dub zimní je dřevina velmi dobře snášející sucho, jejíž výskyt je zcela běžný i na silně vysýchavých půdách, lokalitách sušších lesostepí, na stanovištích se skalnatým podkladem, případně na spraších. Na rozdíl od dubu letního se nikdy nevyskytuje v záplavových územích. Kvůli své intoleranci k zamokření se vyhýbá i střídavě zamokřeným stanovištím, kde v půdním profilu dochází k oglejení. Nároky na kvalitu půdy jsou ve srovnání s dubem letním poměrně nízké. Dobře snáší kyselé, chudší, mělké a propustné půdy krystalinika i kamenité půdy na šterkových terasách a skalnatých podkladech. Je schopný se vyrovnat s půdním pH v rozmezí 3,5 až 9 (Ducouso & Bordacs, 2004), můžeme se s ním tak setkat i na bohatších půdách na vápencích. V podmínkách výslunných strání na živinově bohatých podkladech vstupuje dub letní do směsi s dubem zimním a dalšími lesostepními druhy, např. s dubem pýřitým v Českém krasu a Českém středohoří, případně na jižní Moravě s dubem cerem (*Quercus cerris* L.).

3.1.4 Škůdci na dubu letním

V přírodě České republiky jsou s ohledem k druhové rozmanitosti duby vůdčími dřevinami, protože je na ně vázáno nejvíce druhů organismů vůbec. Na duby je vázána celá řada i silně ohrožených brouků, jen motýlích druhů se na dubech může vyvíjet téměř 300 (Modlinger a kol., 2015). Mnoho z nich řadíme mezi škůdce, jejichž housenky na dubech žijí, vyvíjejí se a konzumací listoví způsobují částečné defoliace, zbaví dřevinu asimilačního aparátu (tzv. holožír). Mezi hlavní druhy patří obaleč dubový (*Tortrix viridana* L.), který se na území ČR vyskytuje od nížin po pahorkatiny, kde působí rozsáhlé škody hlavně na domácím dubu letním a zimním (Liška, 1991). Poškození podobného charakteru na dubu, ale stejně tak i na dalších listnatých dřevinách, působí také housenky píďalky podzimní (*Operophtera brumata* L.) (Praciak, 2013). Dalším u nás významným druhem motýla je bekyně velkohlavá (*Lymantria dispar* L.), která se silně rozmnožuje hlavně v nejteplejších lokalitách v oblasti jižní Moravy, kde působí často rozsáhlé holožírné škody (Modlinger a kol., 2015).

Na duby se váže i řada podkorního a dřevokazného hmyzu. Lesnický potenciálně nebezpečných je z několika set druhů pár desítek. K hlavním patří bělokaz dubový (*Scolytus intricatus* Ratz.) rozšířený v doubravách po celém území. Žír provádí, jak mladí dospívající jedinci (často při něm dochází k infekci zdravého dřeva sporami hub rodu *Ophiostoma*), tak dospělé samičky za účelem kladení vajíček. Dalším významným škůdcem je polník dvojtečný (*Agrilus biguttatus* Fab.), jehož dospívající jedinci požírají listoví, následně

se kvůli kladení vajíček přemísťují na zdravé stromy. Zde pak dochází k podkornímu žíru čerstvě vylíhnutými jedinci (Modlinger a kol., 2015).

K častému poškození dubů dochází i vlivem tzv. hálek, které způsobují deformace větví a asimilačního aparátu. Tyto novotvary vznikají působením látky tvořené jiným organismem (hmyz, bakterie, houby). Zelené části rostlin (u dřevin nejčastěji listy) mohou být také poškozovány minami, chodbičkami, které jsou tvořené žírem hmyzích larev. Jedním z hálkotvorců vyskytujících se na dubu je žlabatka bezkřídlá (*Biorhiza pallida* Olivier). Samičky tohoto druhu blanokřídlého hmyzu kladou v zimě vajíčka do terminálních pupenů dubů. Z háčky se v létě vyvíjí oba dospělci a oplozená samička klade další generaci vajíček do kořenů dubů, kde tak dochází k tvorbě hálek druhého typu, ze kterých se líhnou znovu samičky a celý proces se opakuje (Modlinger a kol., 2015).

S životním cyklem dubu letního je spojená i celá řada druhů rostlinných škůdců. Na řadě lokalit napříč ČR bývá jak dub letní, tak zimní napadán a poškozován např. polocizopasným ochmetem evropským (*Loranthus europaeus* Jacq.) (Slavík, 1997).

3.1.5 Fyziologie dubu letního

3.1.5.1 Dynamika růstu

Duby jsou dřeviny s těžištěm výskytu v nižších polohách, kde je pro ně hlavním limitujícím faktorem množství vody přítomné v půdním prostředí. Díky tomu jsou duby na nedostatek vody adaptované a v počátečních fázích růstu věnují většinu energie na tvorbu mohutného a hlubokého kořenového systému (na růst nadzemní části přerozdělují energii až následně) z důvodu zajištění přístupu k podzemní vodě. Ve srovnání s tím např. pro smrky je hlavním limitujícím faktorem množství dopadajícího světla. Proto smrky (za účelem omezení konkurence) nejvíce prostředků věnují výškovému přírůstu nadzemní části. Jejich kořenový systém je často mělký a smrky tak trpí na vývraty.

Přestože jsou duby na nedostatek vody v půdě charakterem růstu adaptované, v době zasažené klimatickou změnou, kdy jsou srážky v rámci sezóny výrazně nerovnoměrné a silně kolísá hladina podzemní vody, jsou periody sucha významným stresorem. Dle Stojanović a kol. (2015) je pro růst dubu ve srovnání s množstvím srážek stěžejní právě hladina podzemní vody a teplota.

3.1.5.2 Vodní režim

Na nadbytek či nedostatek vody v prostředí dřeviny (obecně rostliny) reagují mimo jiné otevíráním a zavíráním průduchů, a to i za cenu omezení příjmu CO₂. Režim otevírání a uzavírání průduchů závisí na koncentraci kyseliny abscisové (ABA). Se zvyšující se koncentrací se vodivost průduchů snižuje; pokud je rostlina vystavena suchu, koncentrace ABA klesá a průduchy se otevírají. Z tohoto pohledu dle Colangelo a kol. (2018) patří duby mezi dřeviny anizohydrické (mají průduchy stále otevřené, respektive je uzavírají později). Oproti tomu jehličnany s izohydrickou strategií průduchy uzavírají již při prvních projevech sucha, čímž udržují vodní potenciál stálý (konstantní). Ve srovnání s tím může u druhů anizohydrických tento potenciál výrazně poklesnout.

Vodní režim anizohydrických druhů tedy není stabilní a jsou tak náchylnější k hydraulickému poškození a přerušení vodního sloupce tzv. kavitaci. Vlivem kavitace může dojít i k odumření struktur. Vzhledem k nižšímu vodnímu potenciálu je toto riziko vyšší u menších větví a listů (Choat a kol., 2005).

3.2 Faktory ovlivňující růst a životní cyklus rostlin

Všechny rostliny v průběhu životního cyklu podléhají vlivům, které z hlediska jejich působení dělíme na faktory abiotické, biotické a antropogenní. Pro každý faktor existuje určitý ideální stav, tedy optimum, které je druhově specifické a rostlina je zde schopna prosperovat. Kolem bodu optima se mezi minimem a maximem nachází rozmezí, kde rostlina přežívá, a pokud jsou tyto hodnoty překročeny, dochází k přetížení organismu, které může skončit smrtí jedince (Cox & Moore, 2016). Tato práce si neklade za cíl uvést a detailně charakterizovat všechny faktory, pro její účely je vybráno a krátce popsáno jen několik stěžejních.

3.2.1 Abiotické faktory

Jsou to vlivy neživé přírody, které se mění v prostoru a čase, respektive chemické a fyzikální faktory prostředí, které nikdy nepůsobí samostatně, ale vždy se jedná o jejich kombinaci (Rajchard a kol., 2002). Vlivy některých abiotických faktorů lze použitím půdních kondicionérů přímo či nepřímo ovlivnit, některé ovlivnit nelze.

3.2.1.1 Sluneční záření

Základním zdrojem světelné a tepelné energie pro rostliny je sluneční záření, které přímo ovlivňuje rychlost a průběh životních procesů. Fotosynteticky nejdůležitější je červená část viditelného spektra a tzv. near edge, který má i zásadní vliv na prodlužovací způsob růstu rostliny. Modrou část viditelného spektra rostliny mimo fotosyntézy využívají k fototropismu a závisí na ní i otevírání průduchů. Zelenou část spektra rostliny nevyužívají a díky chlorofylu ji převážně odrážejí. Ultrafialové (UV) záření, tedy část spektra o nižších vlnových délkách, které částečně proniká atmosférou, je schopné rostliny poškodit už na buněčné úrovni (fotooxidace a fotodestrukce nukleových kyselin, bílkovin a poškození protoplazmy) (Larcher, 2003).

3.2.1.2 Teplota

Dřeviny povětšinou snášejí široké teplotní rozmezí. Optimum se pro většinu druhů nachází mezi 20 až 25 °C, což je také optimální hodnota pro průběh fotosyntézy. Aklimatizace na zvýšení teploty je poměrně rychlá. Rostlina reaguje tvorbou stresových proteinů, které začíná tvořit již během první hodiny působení stresoru (Larcher, 2003). Při překročení hranice 40 °C dochází k výraznému omezení životních cyklů jedince. Vlivem mrazu může dojít k trvalému poškození struktur ledovými krystalky, které se vytvářejí v mezibuněčných prostorech. U dubu letního dochází k mrazovému poškození nového listoví vzhledem k pozdní době olistění pouze zřídka při hraničních teplotách pod – 3 °C (Praciak, 2013).

3.2.1.3 Voda

Největší podíl na biomase živých organismů zaujímá voda (u rostlin 60–90 %), která díky svým specifickým chemickým a fyzikálním vlastnostem umožňuje život na Zemi, kde koluje v rámci velkého a malého vodního cyklu (Rajchard a kol., 2002). Vodní molekuly jsou malé, elektroneutrální a díky přítomnosti vodíkových můstků a vysoké polaritě umožňují rozpouštění ostatních polárních sloučenin. Voda má také vysokou měrnou kapacitu, tepelnou vodivost a schopnost udržovat stálý objem, což jsou vlastnosti umožňující minimalizaci teplotních výkyvů ochlazováním a celkovou vyváženost teplotní bilance rostliny. Voda se v rostlině neustále pohybuje. Umožňuje příjem a přenos signálů a látek a ovlivňuje jejich strukturu (Buchanan a kol., 2015). Proces příjmu, vedení a výdeje vody je popisován v rámci vodního režimu rostliny (více v kapitole 3.1.5 Fyziologie dubu letního). Jako limitní faktor prostředí

voda způsobuje stres při nadbytku nebo nedostatku, na který rostliny reagují uzpůsobením kořenového systému a asimilačního aparátu:

- zesílená kutikula a tím omezená kutikulární transpirace,
- snížený počet průduchů a omezení jejich činnosti,
- relativně menší listová plocha (rolování, skládání a zástin listů, hustá kuželovitá koruna),
- vysoké root/shoot ratio (tvorba bohatého kořenového systému a tím navýšení schopnosti příjmu vody).

Míra stresu je pro rostlinu mnohonásobně vyšší, pokud se sucho dostaví v průběhu životního cyklu a jedinec na něj není od počátku adaptovaný. Naopak přemokření vede k redukci vzduchu v půdě. Pokud jsou kořeny zatopeny po delší dobu, může dojít k jejich postupnému odumírání vlivem kořenové hypoxie.

3.2.1.4 Minerální živiny

Minerální výživa rostlin je vázána na kořenový systém a zahrnuje příjem, distribuci a výdej látek ve formě anorganických iontů (molekul). Poměr minerálních živin v těle rostliny má přímý vliv na průběh všech fyziologických procesů a na jejich nadbytek či nedostatek rostliny citlivě reagují a vyvolané změny (barvy, tvaru) je v průběhu vegetačního cyklu možné sledovat (Larcher, 2003; Orcutt & Nilsen, 2000). Potřebné makro a mikro elementy jsou přijímány z půdy ve formě ve vodě rozpuštěných solí nebo vázané v roztocích či minerálech.

Mezi klíčové makroprvky výživy patří dusík, který je součástí nukleových kyselin a bílkovin, tedy i enzymu RuBisCO, nezbytného pro fixaci CO₂ v rámci Calvinova cyklu temnostní fáze fotosyntézy. Dalším důležitým prvkem je síra, která je podobně jako dusík součástí bílkovin, ale rovněž enzymů nezastupitelných při ochraně rostliny před volnými radikály (superoxiddismutáza). Dále je přítomná v tripeptidu glutathionu s antioxidačními vlastnostmi, který v rostlině mimo jiné zajišťuje opravu nukleových kyselin. Fosfor se podílí na regulaci rychlosti fyziologických procesů a je součástí primárních přenašečů energie v rostlině (ATP a NADPH). Společně s vápníkem obsaženým v lecitinu je fosfor hlavní součástí fosfolipidové cytoplazmatické membrány buněk. Aktivace enzymů je mimo fosforu závislá také na draslíku, který je osmoticky aktivním prvkem a svou přítomností či absencí se podílí na otevírání a uzavírání průduchů. Draslík také zajišťuje správnou činnost ATP a podílí se na syntéze proteinů. Procesu proteosyntézy se účastní také hořčík, který je rovněž součástí

enzymu RuBisCO a hlavním stavebním kamenem pigmentu chlorofylu v zelených částech rostlin, díky čemuž je nenahraditelný. Přítomnost a množství řady výše uvedených hlavních i benefičních minerálních prvků v půdě jsou jedním z vlivů, který lze použitím půdních kondicionérů přímo ovlivnit.

3.2.2 Biotické faktory

Biotické faktory jsou tvořeny složkami živé přírody a lze je definovat jako působení jednoho živého organismu na druhý. Jedná se o kladné, záporné či neutrální vzájemné vztahy organismů v rámci populace i mezi populacemi. Půdní kondicionéry nedokážou vlivy těchto faktorů ovlivnit přímo, do tohoto vztahu vstupují pouze jako podpůrné látky pro jednu stranu, tedy rostlinu.

3.2.2.1 Herbivorie

Herbivorie patří mezi významné stresory a vzhledem k neschopnosti utéct si rostliny vytvořily mnohé adaptace. Mechanická obrana je spíše formou přizpůsobení vytvářející se v rámci delšího časového horizontu a spočívá nejčastěji v tvorbě trichomů, případně zesílení kůry či obalů semen. Oproti tomu chemická obrana (mnohdy přímá reakce na daný stresový podnět) je založená na produkci látek sekundárního metabolismu jako fenolů, alkaloidů nebo terpenů, které mají za úkol působení stresoru odvrátit – odradit herbivora (Brocklehurst a kol., 2020).

Mezi nejběžnější látky účastníci se chemické obrany dřevin patří taniny uložené v buněčných stěnách a vakuolách kůry, listů a plodů, které herbivora primárně odrazují svou hořkou chutí. Dle řady výzkumů se vážou na proteiny, čímž je inaktivují a srážením omezují jejich trávení, či dle dalších teorií znesnadňují využitelnost aminokyselin, což v konečném důsledku vede k omezení růstu herbivora (Orcutt & Nilsen, 2000). Strukturu polymerů fenolických podjednotek mají podobně jako taniny také ligniny uložené zejména v buněčných stěnách xylému dřevin, kde mají zpevňovací funkci. Jsou to látky chemicky odolné, špatně enzymaticky rozložitelné a pro herbivora nestravitelné. Významnými sekundárními metabolity jsou také kyanogenní glykosidy soustředěvané v hlavní vakuole buněk. Chemicky se jedná o deriváty hydroxinitrilů, ze kterých se za účasti enzymů β -glykosidázy a lyázy uvolňuje kyanovodík. Ten je pro herbivory silně toxický a potlačuje funkci enzymatických membránových komplexů dýchacího řetězce, čímž v důsledku omezuje proces aerobní respirace (Orcutt & Nilsen, 2000).

3.2.2.2 Mykorhizní symbióza

Termínem mykorhizní symbióza je označován mutualistický vztah, tedy vzájemně prospěšná asociace rostliny a půdních hub. Skupina mykorhizních hub se na Zemi vyskytuje více než 400 mil. let a sehrála významnou roli při obsazování souše rostlinami. Tento vztah je charakterizován oboustranným tokem živin, kdy rostlina poskytuje vytvořené uhlikaté sloučeniny (sacharidy) a houba na oplátku přispívá vodou a anorganickými živinami jako je fosfor nebo dusík (minerální, případně uvolněný z organických látek), které jsou pro rostlinu nezbytné (viz kapitola 3.2.1.4 Minerální živiny) a často hůře dostupné (Gryndler, 2004). Získaná sacharóza je houbou štěpena na glukózu a fruktózu. Následným připojením fosforu vzniká meziprodukt glukóza-6-fosfát, který slouží mimo jiné jako zdroj energie pro růst a tvorbu plodnic. Jeho část je houbou metabolizována na biologicky aktivní molekuly trehalózu a manitol, část na glykogen se zásobní funkcí (Nehls a kol., 2010).

Hustá síť vláken napojených na kořenový systém rostlin má také vliv na zvýšení stability půdy a zabraňuje erozi. Mezi významné typy mykorhizní symbiózy v lesním prostředí patří arbuskulární mykorhiza (společně s erikoidní a orchideoidní mykorhizou vyčleněna z dříve užívaného obecného pojmu endomykorhiza), soužití přibližně 80 % druhů rostlin (převážně bylin) společně s houbami, které jsou zcela závislé na svém hostiteli (Buscot, 2015). A dále ektomykorhiza, které se účastní zejména stopkovýtrusné houby (*Basidiomycota*), vzácněji vřeckovýtrusné houby (*Ascomycota*) a lesní dřeviny (rodu *Picea*, *Pinus*, *Abies*, *Larix*, *Quercus*, *Fagus*, a další). Rostliny účastníci se mykorhizního vztahu jsou vitálnější a zdravější. Disponují zvýšenou odolností vůči suchu, těžkým kovům, zasolení a vyšší rezistencí vůči patogenům a stresu z přesazení. Není výjimkou, že se jeden rostlinný druh účastní několika různých typů mykorhizního vztahu (Gryndler, 2004).

3.2.3 Antropogenní faktory

Antropogenní faktory jsou biotické faktory vznikající přímo nebo nepřímo působením člověka (Lapčík, 2011). Vzhledem k délce jejich působení se jedná o faktory poměrně „novodobé“, ovšem natolik významné, že se dnes často uvádí odděleně. S negativními dopady činností člověka na životní prostředí se lze setkat v mnohých sférách: lesnictví (nepřirozená druhová skladba lesů), vodohospodářství (regulace koryt vodních toků, zakládání rybníků, meliorace), zemědělství (plantážové monokulturní hospodaření), technologický průmysl (znečišťování životního prostředí a ovzduší vlivem emisí, těžba nerostného bohatství a doprava), stavba velkých měst (hromadění odpadu, degradace a antropizace půdy) a další.

V globálním měřítku mezi značné problémy patří i odlesňování (na půdě Evropské unie ošetřené legislativně v rámci Nařízení EU o dřevě a přímo v ČR podchyceno v rámci zákona o lesích (Zákon č. 289/1995 Sb.)), nebo používání nevhodných pesticidů a umělých hnojiv, kterému na půdě Evropské unie brání přísné schvalovací procesy před uvedením na trh (jednotlivé přípravky způsobilé k aplikaci v lesnictví jsou v ČR uvedené v Seznamu povolených přípravků a dalších prostředků na ochranu lesa zpracovaného z údajů Registru přípravků na ochranu rostlin ve správě ÚKZÚZ). Mezi hlavní rostlinné stresory v životním prostředí často vyvolané lidskou činností patří: látky znečišťující ovzduší (oxidy dusíku, síry, fluoridy a další), kyselá deště, těžké kovy, nitrifikace půd, znásobení průniku UV radiace na zemský povrch oslabením ozonové vrstvy, toxické látky a pesticidy, umocnění klimatické změny (Kolařík, 2005).

3.3 Rostlinný stres

Lesnický sektor se v jednadvacátém století nachází ve značně problematické situaci: musí čelit celé řadě problémů na různých úrovních. Stále více se projevující klimatická změna a její důsledky (např. nedostatek vody nebo její horší dostupnost) mají silný vliv na umocnění stresu rostlin. Rostlinný stres je zapříčiněn působením, respektive přemírou nebo nedostatkem, vnitřních či vnějších činitelů a přispívá k značně zvýšené citlivosti jedince a jeho náchylnosti k případnému poškození mnohými faktory (Sloup, 2011). Stresový podnět vyvolá reakci, tedy změnu stavu, kterou může být vyhnutí se faktoru, přizpůsobení se nebo vytvoření odolnosti. Pokud rostlina na tento podnět nedokáže dostatečně rychle a účinně reagovat, může dojít k jejímu odumření (Kolařík, 2005).

To ve spojení s historicky populárním monokulturním způsobem hospodaření v České republice působí v současné době v tomto odvětví velké potíže. Na základě toho je třeba se soustředit na dosažení vhodné dřevinné skladby v daných lokalitách. Důležitým prvkem pro úspěšné pěstování lesa je v této situaci přirozená obnova podpořená vhodným způsobem zalesňování.

3.4 Půdní kondicionéry

Jednou z možných variant omezení vlivu stresových faktorů a podpory dřevin v počátečních fázích jejich růstu po zalesnění a tím možného snížení jejich mortality je použití hnojiv nebo tzv. půdních kondicionérů. Přestože mají tyto produkty stejný cíl: zlepšit růstové podmínky pro rostliny, rozdíl spočívá v jejich účinku.

Hnojiva jsou látky nejčastěji bohatá na živiny, jako dusík, fosfor a draslík (NPK hnojiva). Slouží tedy k zásobení rostliny hlavními živinami a podporují jejich růst. Hnojiva samotná nemají velký vliv na strukturu půdy a její retenční vlastnosti. Působí spíše krátkodobě. Pokud dojde k jejich vyčerpání, je nutné je v případě potřeby do půdy opětovně dodat.

Půdní kondicionéry jsou látky a přípravky přírodního nebo syntetického původu používané za účelem vylepšení půdních podmínek a půdy jako takové (Sloup, 2011). Existuje celá řada druhů půdních kondicionérů, které rozlišujeme podle cíle a způsobu jejich působení. Na základně svého zaměření mohou ovlivňovat fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti půdy. Proto se používají zejména na lokalitách, které mají některé růstové podmínky pro rostliny zhoršené nebo nepříznivé (Bulír & Červenka, 2004). V praxi se tak uplatňují např. ve městech, kde mají rostliny jen velmi omezený prostor pro tvorbu kořenového systému, na antropogenních půdách se značnou mírou zhutnění či zasolení, nebo při rekultivacích.

Podmínky pro používání přípravků pro zlepšení půdních vlastností, pomocných půdních látek a hnojiv jsou v České republice stanoveny zákonem č. 156/1998 Sb. a jeho novelizací č. 299/2021 Sb. Tento zákon také stanovuje podmínky uvedení těchto látek do oběhu, jejich registraci, skladování a prodej (Zákon č. 156/1998 Sb. (zákon o hnojivech); Zákon č. 299/2021 Sb.).

Látky zlepšující půdní podmínky se dle podstaty dělí na organické, anorganické a syntetické. Vzhledem k tomu, že na živiny bohatá hnojiva mohou být často součástí komplexního celku půdního kondicionéru, pro účely této práce se tyto pojmy striktně nerozlišují. Všechny použité zlepšující přípravky jsou souhrnně označovány jako půdní kondicionéry s tím, že největší pozornost je kladena na ty, které byly v rámci výzkumu přímo aplikovány (hydrogel, ovčí vlna, silvamix) a jsou stěžejní pro zhodnocení jeho výsledků.

Možné použití půdních kondicionérů v lesnictví a jejich vhodnost v daných půdních podmínkách je v současné době stále v raných fázích výzkumu.

3.4.1 Přírodní anorganické materiály

Existuje celá řada látek nejčastěji minerálního původu, které mají za úkol vylepšení půdních podmínek. V tomto ohledu jsou důležité jíly a jílové minerály, které jsou významnou součástí sorpčního komplexu půdy a ovlivňují její sorpční kapacitu. Podílejí se na koloběhu vody v půdě (při vysychání dochází ke smršťování, při zamokření k rozpínání) a zvyšují vodní

kapacitu. Jsou schopné vázat těžké kovy, plní funkci pojidla a stabilizují půdní pH (Weil & Brady, 2017)

Strukturu a vlastnosti půdy také významně ovlivňují písky, které jsou složené převážně z křemene a muskovitu, ale obsahují i další složky. Jejich drenážní a filtrační schopnost je závislá na jejich zrnitosti (velikost jednotlivých zrn od jemných po hrubé) (Vopravil a kol., 2009).

Z anorganických látek se k vylepšení půdních podmínek dále používají např. zeolity, tufy a tufity, vápence, dolomitické vápence a další. Tyto materiály obecně především ovlivňují půdní strukturu a její fyzikálně chemické vlastnosti. Slouží jako zdroj minerálních makroživin, mikroživin i stopových prvků. Mají vliv také na půdní reakci a hospodaření s vodou, upravují pH a podporují aktivitu půdních organismů (Vopravil a kol., 2009).

3.4.2 Přírodní organické materiály

Jedná se o přírodní materiály s vysokým obsahem organické hmoty jako rašelina, organické mulče a kaly nebo kompost. Jejich hlavním úkolem je navýšení organického podílu v půdním prostředí. Mají ale také vliv na hospodaření s vodou, ovlivňují půdní reakci a plasticitu (Šimek, 2005). V půdě dochází k jejich průběžnému rozkladu buď aerobně mikrobiální činností při spotřebě kyslíku za vzniku oxidu uhličitého nebo bez přístupu kyslíku za přispění anaerobních organismů a hub. Vzniklé redukované sloučeniny mohou být nežádoucí a poškozovat rostlinné kořeny. Při aplikaci je proto nutné znát jejich složení a organický podíl (Šimek, 2005).

Organické materiály jsou v praxi nejvíce používané prostředky pro zlepšení půdních podmínek. Jejich použití se blíže věnuje např. norma ČSN 83 9011 o technologiích vegetačních úprav v krajině a práci s půdou platná od roku 2006, kdy nahradila bývalý předpis ČSN DIN 18 915 o práci s půdou v sadovnictví a krajinářství z let 1997 až 2006 (ČSN 83 9011).

3.4.2.1 Ovčí vlna

Vlna je jeden z řady sekundárních produktů chovu ovcí a textilního průmyslu. Jedná se o materiál velmi bohatý na keratin, který je vzhledem k jeho složité struktuře poměrně těžko rozložitelný. Díky tomu představuje nevyužitá (odpadní) vlna možný environmentální problém, a to zejména v dnešní době, kdy její množství s narůstajícími možnostmi využití ovcí narůstá. Fyzikálně-chemické způsoby zpracování vlny jsou však nešetrné a vedou k destrukci důležitých aminokyselin. Oproti tomu mikrobiální nebo enzymatické zpracování a kompostování jsou

metody šetrné k životnímu prostředí, které umožňují např. produkci substrátů pro výrobu bioplynu. V posledních letech se jako jeden z možných způsobů využití této odpadní vlny jeví i její stlačování do pelet a jejich následná aplikace ve formě hnojiva (Petek & Marinsek Logar, 2021).

Ovčí vlna je organický materiál bohatý na živiny důležité pro růst a vývoj rostlin, obsahuje zejména dusík (12 %) a draslík (5 %), ale zastoupen je i fosfor (ve fosfátech), hořčík a síra. Hlavní složkou vlněných vláken je strukturální bílkovina keratin, obsažená ve třech formách. Alfa keratiny (50–60 %) se strukturou α -helixů obsahují poměrně málo síry a nacházejí se v kůře vláken. Beta keratinů v podobě β -skládaných listů je výrazně menší množství a plní především ochrannou funkci v kutikule vlákna. Sférické gama keratiny (20–30 %) s globulární strukturou obsahují větší množství síry a oproti alfa- a beta-keratinům jsou neuspořádané. Díky aminokyselinám cysteinu a tyrosinu je keratin nerozpustný ve vodě (Brandelli, 2008). V půdě je rozkládán mikroorganismy a nedochází tak k jeho hromadění (Anbu a kol., 2005).

Zpracováním ovčí vlny do půdy dochází k aktivaci půdní bioty, která se jejím rozkladem podílí na zpřístupnění obsažených živin rostlinám. Tyto mikroorganismy rozkládají rovněž lanolin, čímž se omezí mastnota (odpudivost pro vodu) a vlna tak získá schopnost nadbytečnou vodu zadržovat. V teoretické rovině je tedy ovčí vlna materiálem obsahem živin podobným NPK hnojivům (viz kapitola 3.4.3.2 Silvamix) a schopností poutat vodu hydroabsorbentům (viz kapitola 3.4.3.1 Hydrogel).

Jako hnojivo se vlna aplikuje ve dvou formách. Použití vlny surové, neprané je mnohdy nepřesné a neekonomické. Drcení a stlačování vlny do pelet zajišťuje trvalejší účinek a zároveň usnadňuje přístup mikroorganismů k živinám. Zpracování surové vlny do pelet umožňuje výrobcům obohacování hnojiv (OVIO, COMPO®, RhönWollet, Woolets, SlugGone a jiné) o celou řadu aditiv, např. za účelem snížení pH (které má surová vlna jinak poměrně vysoké), nebo navýšení schopnosti zadržovat vodu.

Dle Zheljaskov (2005) je ovčí vlna (surová, propraná) dobrým zdrojem živin pro rostliny jak při skleníkové, tak polní výsadbě. Aplikace ovčí vlny např. téměř trojnásobně navýšila výnosy šalvěže lékařské. Přestože obsah esenciálních olejů byl v rostlinách nižší, vzhledem k vysokému výnosu rostlin jejich celkové množství vzrostlo.

V lesnictví se dnes nepraná ovčí vlna úspěšně používá jako ochrana kultur proti okusu a škodám způsobeným zvěří (Zabloudil & Korhon, 2005). Vhodnost ovčí vlny jako hnojiva pro dřeviny a jeho použití v lesnictví či zemědělství je ovšem stále v raných fázích výzkumu.

3.4.3 Průmyslově vyráběné a syntetické půdní kondicionéry

Průmyslově vyráběné půdní kondicionéry jsou přípravky složené z anorganických i organických složek, často na přírodní bázi případně doplněné umělými (syntetickými) aditivami, které vytvořil člověk zpracováním těchto látek pomocí daného výrobního postupu. Hlavním cílem aplikace půdních kondicionérů je změna fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy za účelem vylepšení růstových podmínek pro rostliny. Mezi tyto přípravky patří stabilizátory (fixátory), stimulanty, hydroabsorbenty, mykorrhizní preparáty a řada dalších (Bulíř, 2008).

Na trhu se takových přípravků vyskytuje nepřehledné množství (Turfcomp, Algavit, Ectovit, Symbivit, Conavit, Plantasorb, Fertisorb, Agrisorb, Terra-Control, TerraCottem, Agrosil LR, Cererit, Algomin, Fortehum a jiné). Pod různými obchodními názvy se však často vyskytují preparáty s velmi podobným chemickým složením a účinkem.

3.4.3.1 Hydrogel

Hydrogel je půdní kondicionér používaný ke zlepšení růstových podmínek, upravuje vodní režim a vodní kapacitu v půdě. Jeho hlavním úkolem je zadržování živin a vody v kořenovém systému rostlin, čímž snižuje nutnost závlivy (o 50 až 70 %) a zvyšuje schopnost přežití v podmínkách vodního stresu (Abhisekh a kol., 2020). Vzhledem ke svým vlastnostem je prospěšný i pro půdní mikroorganismy, které se v místě jeho aplikace shromažďují. Během svého života provzdušňují půdu a po odumření navyšují množství půdního humusu. K provzdušnění přispívají i samotné hydrogelové částice svým průběžným rozpínáním a smršťováním. Dle výrobce (hydrogel.cz) se jedná o pH neutrální produkt bez známého škodlivého vlivu na životní prostředí, který je zcela rozložitelný (v půdě dochází k jeho kompletní biodegradaci do osmi let). Hydrogely jsou vyráběné polymerizací různých monomerů, dle Abhisekh a kol. (2020) jsou tak jejich chemické složení a biologická odbouratelnost přímo závislé na typu monomeru a materiálu hlavního řetězce molekuly.

Díky nanotechnologiím je hydrogel schopný udržovat vodu čistou a bez plísní. Mimo zemědělství, zahradnictví a lesnictví se tak uplatňuje např. při údržbě městské zeleně a sportovišť nebo přímo v domácnostech. EKO-nanotechnologie použitého hydrogelu je

složená především z uhličitanu draselného (K_2CO_3), tzv. potaše. Na trhu je dostupný jako bílý granulát ve dvou frakcích. Jemný – práškový hydrogel s velikostí zrn 0,2 – 0,8 mm je vhodný spíše pro písčité půdy a uplatňuje se při menších výsadbách do květináčů a truhlíků, osazování skalek či v městské zeleni. Krystaly hrubší frakce mají velikost 0,8 až 2 mm. Oproti práškové formě krystaly vodu absorbují i následně rostlinám vydávají pomaleji. Používají se při výsadbách rostlin a dřevin ve větším měřítku přímo do půdy v přírodních podmínkách, při rekultivacích či ve vinařství.

V lesnictví se hydrogel používá mimo jiné za účelem omezení míry stresu jedinců během zalesňování, výrazně snižuje jejich mortalitu a tím i nutnost dosadby. Ujímavost zvyšuje i schopnost ochránit jemné kořenové vlášení, zabraňuje jeho vysychání.

Tomášková a kol. (2020) spatřuje významné výhody použití hydrogelu u druhů citlivých na sucho. Mortalita sazenic při jeho aplikaci činila pouze 19 %, oproti tomu úmrtnost kontrolních jedinců bez použití hydrogelu dosahovala 63 %. Z výzkumu také vyplývá, že použití hydrogelu celkově zlepšuje zdravotní stav i růstové parametry rostliny. Hydrogel je výrazným benefitem při omezeném množství srážek a pomáhá překlenout delší periody s absencí závlahy. Jeho aplikace se tak jeví jako možný způsob reakce na zmírnění důsledků změny klimatu.

S výše uvedeným se shoduje i M'barki a kol. (2019), dle kterého aplikace hydrogelu navýšila schopnost příjmu živin (především dusíku a draslíku), čímž se zvýšil přírůst, hmotnost sušiny i relativní obsah vody v listech. Vyšší akumulací živin lze tak zdůvodnit i celkové navýšení množství bílkovin, fotosyntetických pigmentů a enzymu RuBisCO, nezbytného pro fixaci oxidu uhličitého (viz kapitola 3.2.1.4 Minerální živiny).

Na základě některých studií se jako možné nevýhody aplikace hydrogelu jeví negativní ovlivnění klíčivosti. Oproti písčítým půdám mohou být benefity méně výrazné na jílovitých nebo hlinitých půdách. Použití hydrogelu bez přítomnosti organického substrátu (se schopností navýšit pórovitost půdy) může omezit přístup vzduchu ke kořenům a tím negativně ovlivnit rostlinu (Tomášková a kol., 2020).

3.4.3.2 *Silvamix*

Silvamix je pomalu rozpustný půdní kondicionér (hnojivo) s vysokým obsahem živin (z řady SILVAMIX®). K uvolňování obsažených živin dochází v půdě postupně a poměrně

pomalu (dle výrobce po dobu min. dvou let v závislosti na klimatických podmínkách), proto se aplikuje především k víceletým rostlinám.

Silvamix patří mezi bezchloridová NPK hnojiva. Obsahuje tedy především dusík (který je přítomen ve formě močovino-aldehydových kondenzátů tzv. ureaformu), fosfor a draslík (jako podvojně fosforečnany draselno-hořečnaté, ve kterých je zastoupený i hořčík). Vazba v této formě umožňuje postupné uvolňování živných látek a dle výrobce (silvamix.cz) tedy nedochází k počáteční zátěži rostliny jejich vysokou koncentrací. Rostliny tak dokáží živiny dostatečně rychle zpracovat a nedochází tedy ani k přetížení prostředí jejich vymýváním do podzemních vod. Pufrační schopnost podvojných fosforečnanů příznivě ovlivňuje pH zejména u kyselých půd.

Na trh je silvamix distribuován ve dvou formách, práškové a tabletové. Prášková forma se používá při přípravě substrátů nebo k plošnému dohnojování sazenic (ve fóliovnících či na volné ploše) v lesních i okrasných školkách. Na rozdíl od práškového silvamixu je aplikace tablet bezprašná, umožňuje přesné a cílené dávkování a je tedy ekonomičtější. Hodí se mimo jiné pro svažité a hůře dostupné lokality (Remeš a kol., 2004).

V lesnictví se silvamix uplatňuje při hnojení výsadeb, přihnojování ve školkách i po rekultivacích. S úspěchem se dále používá v okrasném zahradnictví či domácnostech.

Sarvaš a kol. (2001) zaznamenal významný vliv aplikovaného silvamixu (SILVAMIX® MG) hlavně u dubových semenáčků. Úměrně použité dávky hnojiva byl prokázán zvýšený výškový přírůst (150-330 %) i tloušťka kořenového krčku. I při aplikaci vyšší dávky hnojiva došlo k vyžrání nadzemní části a zároveň zachování kvalitního kořenového systému. Ani při ulpění hnojiva na listové nedošlo k jeho poškození.

Podrázský & Slabejová (2012) vyzdvihují účinnost aplikace silvamixu v porovnání s hnojivem cererit (bezchloridové NPK hnojivo) při lesnických melioracích. Výzkum jednoznačně prokázal pozitivní vliv hnojiva silvamix na běžný roční výškový přírůst smrkových sazenic. Oproti tomu jedinci na lokalitách ošetřených cereritem vykazovali nižší přírůsty i nápadně zvýšenou mortalitu.

Možné nevýhody aplikace silvamixu spočívají v nutnosti ošetřování plochy postříky případně vyžínáním, bez kterého dochází k značnému zabuření a tím omezení růstu cílové výsadby (Sarvaš a kol., 2001).

4 Metodika

4.1 Lokalita

Výzkumná oblast se nachází na jihozápadě Středočeského kraje asi 5,5 km vzdušnou čarou od města Beroun na území obce Koněprusy v CHKO Český kras (49°54'53.6"N 14°04'47.2"E). Zkusná plocha leží na území zvlněné pahorkatiny v nadmořské výšce 430 m n. m. na táhlém severovýchodním svahu s mírným sklonem, který pozvolna padá od Lomu na Kobyle k silnici III. třídy 11524 (viz Příloha 1, 2).

Pozemek je ve vlastnictví společnosti Velkolom Čertovy schody a.s., která v rámci memoranda o spolupráci s FLD ČZU zahájila projekt týkající se prvotního zalesnění dřívě trvalého travního porostu (louky) přímo navazujícího na stávající lesní porost s převahou dubu v PR Kobyla. Tento pozemek bude převeden na lesní pozemek spadající do kategorie lesů zvláštního určení. Typologické zařazení je dle typologické mapy 2W1, tedy vápencová buková doubrava modální, a to v rámci HS 25, tedy živná stanoviště nižších poloh.

Geologické podloží na lokalitě tvoří převážně paleozoické vápence pražské pánve překryté především modálními kambizeměmi na svahovinách ve svrchních vrstvách relativně odvápněnými, ale zároveň jílovitými, poměrně těžkými a ulehlými. Z tohoto hlediska jsou poměry na lokalitě lehce suboptimální, ale v rámci Českého krasu přijatelné, respektive ne tak kritické jako na jižních svazích.

Na lokalitě celoročně převládá západní proudění a dle dat dostupných z nejbližších meteorologických stanic ČHMÚ Dobřichovice (14 km) a Beroun (5,5 km) se zde průměrná roční teplota pohybuje okolo 9 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 550 mm s tím, že srážková maxima nastávají většinou v červenci. Značné problémy však tvoří nerovnoměrné rozložení srážek v rámci sezóny a tím způsobené suché periody zcela beze srážek, které přestože se může jednat o rok celkově srážkově průměrný, jsou v lokálních podmínkách Českého krasu zejména v posledních letech klíčové.

4.2 Popis jedinců a design výzkumné plochy

Výzkum probíhal na zkusné ploše o velikosti 1,8 ha, která byla na podzim roku 2022 poprvé zalesněna sazenicemi (jednoletými a dvouletými) a poloodrostky pocházejícími ze školek dodavatelů JACER – CZ, a.s. a Marles s.r.o. Proti zvěři je plocha chráněna dřevěným oplocením o výšce 1,8 metru s lesnickým pozinkovaným uzlíkovým pletivem s rozlišenou

velikostí ok, u povrchu vodorovně zajištěným dřevěnými latěmi. Ve dřevinné skladbě jádrové části plochy převažují sazenice dubu letního (80 %), buku lesního a habru obecného, doplněné o dubové poloodrostky a s nízkým zastoupením další přimíšené druhy dřevin jako dub šípák (*Quercus pubescens* Willd.), javor mléč (*Acer platanoides* L.), javor babyka (*Acer campestre* L.), lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.), bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth), třešeň ptačí (*Prunus avium* (L.) L.), jablonoň lesní (*Malus sylvestris* Mill.), hrušeň obecná (*Pyrus communis* L.) a tis červený (*Taxus baccata* L.). V okrajových částech plochy pak v náhodném designu převažují právě přimíšené druhy stromů a také keře jako líska obecná (*Corylus avellana* L.), růže šípková (*Rosa canina* L.), ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare* L.), trnka obecná (*Prunus spinosa* L.) a dřín obecný (*Cornus mas* L.). Celkem cca 16 000 sazenic bylo vysázeno do předem předvrtaných jamek v pravidelném sponu kopírujícím tvar oplocení s jednotlivými linkami probíhajícími po spádnicí (cca 120 linek).



Obr. 3: Celkový pohled na výzkumnou plochu (Foto autor)

Při výsadbě byly ke kořenovému systému sazenic aplikovány následující varianty:

- (1) **K (kontrola)**
- (2) **S (silvamix)**
- (3) **H (hydrogel)**
- (4) **V (ovčí vlna)**



Obr. 4: Schematická ukázka designu linek na výzkumné ploše (Dostupné z: [26] earth.google.com, upraveno)

Varianty byly aplikovány jednotlivě na výsadbových linkách vždy po spádnicí a design s touto sekvencí byl opakován po celé výzkumné ploše.

Ke každé jednotlivé sazenici byl aplikován vždy jeden půdní kondicionér o daném množství. Jednalo se o 1dl/sazenice ovčí vlny ostříhané z místních ovcí, rozemleté a slisované do pelet (OVIO hnojivo od stříhače Davida Zdrhy); 3 tablety (30 g)/sazenice hnojiva Silvamix C60 kolem kořenového systému; 1 g/sazenice čistého hydrofilního polymeru v prášku, tzv. hydrogelu; kontrolní sazenice. Díky specifickým půdním a klimatickým podmínkám stanoviště bylo vyhodnocení vlivu půdních kondicionérů na výsadbu možné provést již v následující vegetační sezóně roku 2023. Měření probíhalo pomocí přenosných přístrojů.

4.3 Metody měření

Způsobů sledování zdravotního stavu a vitality pomocí nedestruktivních metod měření fyziologických parametrů existuje celá řada a mohou probíhat jak v laboratoři, tak v terénu. V laboratorním prostředí lze využít např. metody hodnocení enzymatických a neenzymatických markerů stresu jako SOD, MDA, POD a podobně, dále stanovení množství prolinu, pigmentů či koncentrace fenolických látek obvykle jako reakce na hmyz nebo houbový organismus či terpeny v případě podkorního hmyzu. V terénu pak lze přistoupit např. ke gazometrickému měření fotosyntézy, měření vodního potenciálu, rychlé a pomalé fáze fluorescenční indukce nebo spektrálních vlastností listoví.

Pro vyhodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního na dané lokalitě byly vybrány nedestruktivní metody měření fyziologických parametrů dřevin pomocí přenosných přístrojů pro terénní měření. V roce 2023, tedy následující rok po zalesnění, proběhla v rámci vegetační sezóny dvě měření v měsíčním intervalu ve dnech 1. srpna a 1. září. Pro výzkum byli stěžejní jedinci dubu letního. Výběr jedinců pro měření (statistického souboru) a jejich výsledný počet (n) se odvíjel od přítomnosti zdravých zelených listů a byl ovlivněn poměrně výraznou mortalitou.

Sběr dat probíhal:

1. Prostřednictvím SPAD hodnot, které přímo korelují s obsahem dusíku v listech pomocí chlorofylmetru SPAD-502Plus od společnosti Konica Minolta. Jedno měření je možné díky jednoduché klipové konstrukci se senzorem, do které je umístěn studovaný list, uskutečnit v rámci několika sekund. Číselný údaj naměřené SPAD hodnoty se zobrazí na výstupní obrazovce přístroje. Tento přístroj se v lesnictví a zemědělství využívá např. k monitoringu růstu a zdraví jedinců a kultur či optimalizaci množství a času hnojení.



Obr. 5: Sběr SPAD hodnot pomocí chlorofylmetru (Foto Ivana Tomášková)

Pro další hodnocení byly naměřené SPAD hodnoty přepočteny na procentuální obsah dusíku v listech pomocí převodní rovnice pro dub letní podle Percival a kol. (2008):

$$y = 0,0003x^2 + 0,0517x + 0,2037 \quad (1)$$

2. Měřením OJIP křivky popisující rychlou fázi fluorescenční indukce pomocí přístroje FluorPen FP 110 společnosti PSI (Photon Systems Instruments), spol. s r.o. Princip měření je založený na umístění svorky na studovaný list, čímž dojde ke kompletnímu zastínění dané části listu. Po přibližně 20 minutách zástinu je přístroj přiložen ke svorce, po jejím otevření a aktivaci přístroje dojde k vyslání paprsku aktinického světla na zastíněnou část. Intenzita fluorescence tak narůstá až na její maximum (rychlá fáze) a následně klesá až do opětovného ustálení (pomalá fáze). Právě rychlou fázi fluorescenční indukce přístroj zaznamenává prostřednictvím OJIP křivky. Tento přístroj umožňuje i měření Ft (kontinuální výtěžek fluorescence), QY (maximální kvantový výtěžek PSII), NPQ (nefotochemické zhášení), QY (světelná křivka) a PAR (fotosynteticky aktivní záření), díky čemuž se v lesnictví a zemědělství uplatňuje v celé řadě činností.



Obr. 6: Umisťování klipu na list a měření OJIP křivky pomocí přístroje FluorPen (Foto Ivana Tomášková)



Obr. 7: Detail měření OJIP křivky (Foto Ivana Tomášková)

Pro účely následného hodnocení byly zvoleny dva fluorescenční parametry (indexy) odvozené z průběhu OJIP křivky. Maximální kvantový výtěžek PSII ve stavu adaptovaném na tmu Φ_{PO} je vyjádřený poměrem variabilní fluorescence (Fv) / maximální fluorescence (Fm) a představuje míru maximální kapacity fotosystému II. Tento index určuje zdravotní stav rostliny a slouží např. jako indikátor fotoinhibice. Jeho průměrná hodnota je v běžných nestresových podmínkách rovna 0,8. Čím více se zjištěná hodnota indexu této hodnotě blíží, tím je rostlina více v pořádku. V opačném případě, tedy u stresovaných rostlin poměr Fv/Fm dosahuje výrazně nižších hodnot, kde míra stresu odpovídá hodnotě indexu. Dále byl vybrán index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}), který koreluje s obsahem vody a čím je jeho relativní hodnota nižší, tím je rostlina z nedostatku vody více stresována. Právě s ohledem na dostupnost vody jako určující faktor rozšíření zranitelných druhů se tak často používá k hodnocení vitality rostlinných populací v jejich přirozeném prostředí (Thach a kol., 2007).

Tyto přístupy sběru dat byly vybrány především pro jednoduchost principu měření, který lze pomocí snadno ovladatelných přenosných přístrojů napájených pouze bateriemi jednoduše aplikovat v terénu i v mírně nepříznivých klimatických podmínkách (mrholení nebo slabý déšť), také pro nepřiliš velkou časovou náročnost jednotlivých měření a možnost ukládání naměřených hodnot přímo do paměti přístroje, což usnadní následné statistické zpracování.

Zjištěný obsah dusíku a indexy odvozené z průběhu OJIP křivky poukazují na vitalitu a zdravotní stav jedinců, čímž umožní vzájemné porovnání použitých půdních kondicionérů s kontrolními sazenicemi a zhodnocení vhodnosti aplikace těchto kondicionérů v daných geomorfologických a klimatických podmínkách stanoviště.

4.4 Statistická analýza

Úprava a uspořádání dat proběhly v tabulkovém procesoru Microsoft Excel (Microsoft, 2024; microsoft.com). Statistická analýza byla provedena pomocí programu Statistica (TIBCO Software Inc., 2024; tibco.com). Předpokladem pro provedení statistické analýzy bylo ověření normality dat pomocí Kolmogorovova-Smirnovova a Shapiro-Wilkova testu a homogenity dat pomocí Brownova-Forsytheova a Levenova testu. Statistická analýza probíhala na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$. Hledání statisticky významných rozdílů v:

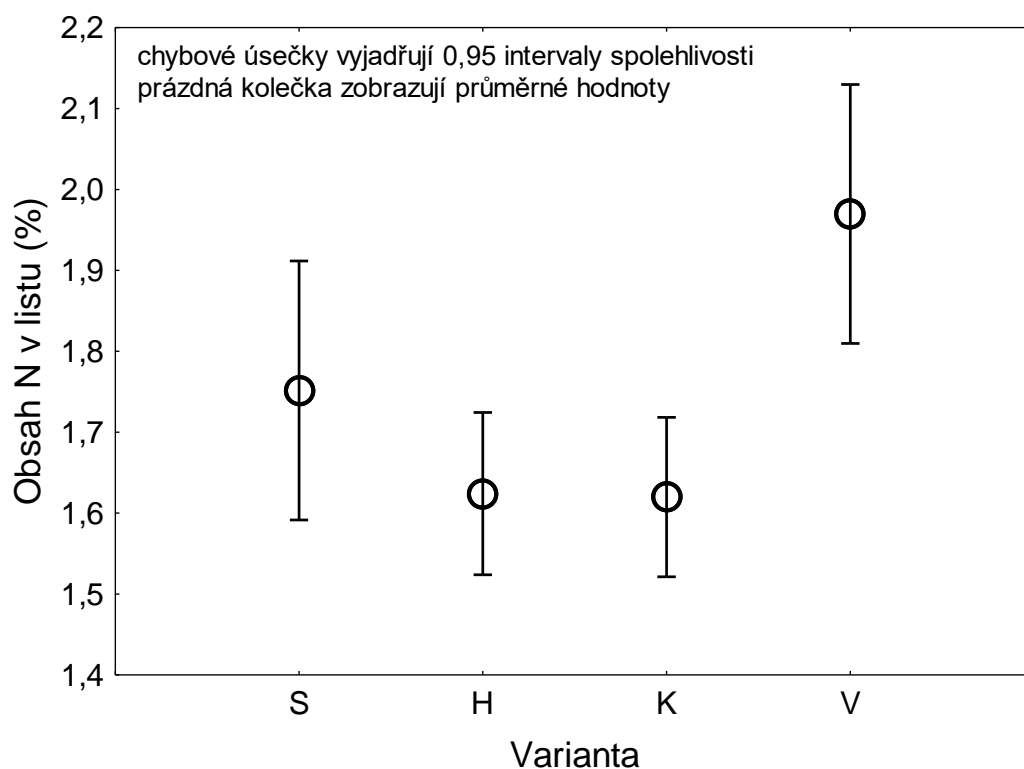
1. procentuálním obsahu dusíku v listech,
2. hodnotách parametrů odvozených z průběhu OJIP křivky,

v závislosti na aplikované variantě a jejich zhodnocení proběhlo pomocí jednofaktorové ANOVY. Při nalezení rozdílů mezi jednotlivými skupinami byl pro určení p-hodnot použit Scheffého post-hoc test. V případě porušení předpokladů homogenity a normality dat byla aplikována neparametrická statistika a analýza provedena pomocí Kruskal-Wallisovy ANOVY.

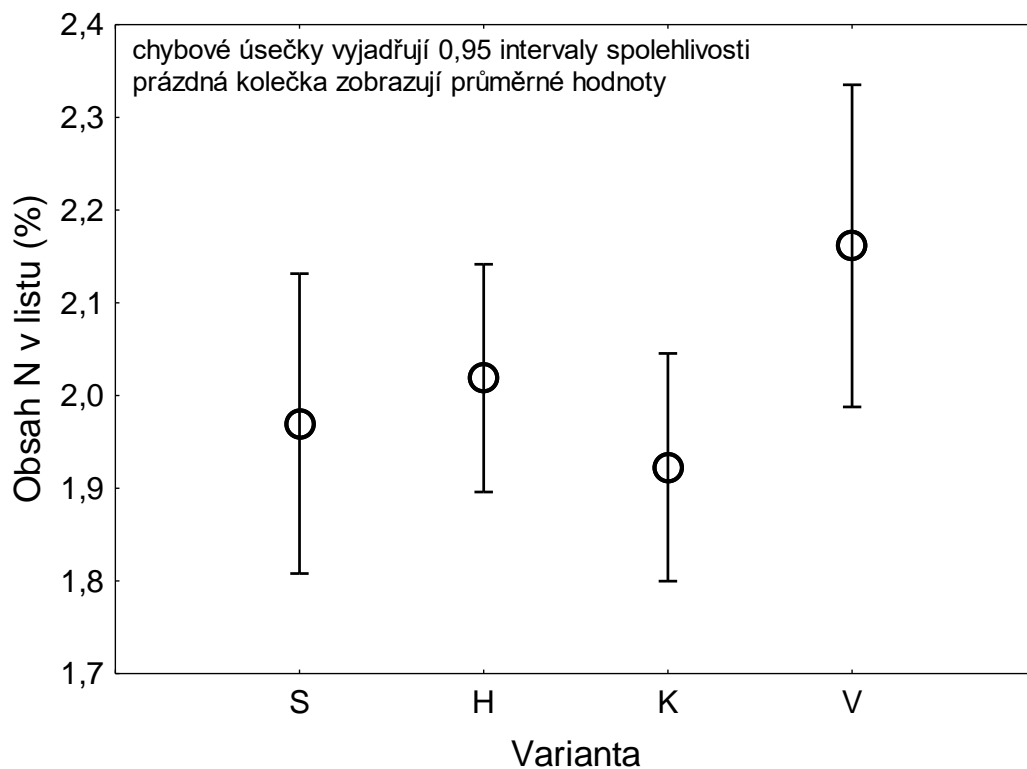
5 Výsledky

5.1 Analýza obsahu dusíku v listech

Prostřednictvím chlorofylmetru (zařízení na měření obsahu dusíku) bylo zjištěno, že 1. srpna se obsah dusíku lišil v závislosti na variantě, která byla k sazenici aplikována (viz Graf 1). Nejvyšší obsah dusíku se nacházel v listech sazenic dubu ošetřených ovčí vlnou, které dosahovaly průměrně 2,0 % obsahu N (SPAD $29,1 \pm 4,3$). Statisticky významný rozdíl byl prokázán ve srovnání se sazenicemi ošetřenými hydrogelem ($p=0,006$) a kontrolními sazenicemi ($p=0,005$). Sazenice ošetřené hydrogelem vykazovaly průměrný obsah N 1,6 % (SPAD $24,0 \pm 4,7$), u kontrolních sazenic dosahoval obsah N průměrně 1,6 % (SPAD $24,0 \pm 3,1$). Nebyl nalezen významný rozdíl v obsahu dusíku mezi sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou a silvamixem s průměrným obsahem N 1,8 % (SPAD $26,0 \pm 3,8$).



Graf 1: Obsah dusíku (N) v listu u jednotlivých variant při prvním měření (1. srpna 2023)
(S = silvamix, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
(S n=11; H n=28; K n=29; V n=11)

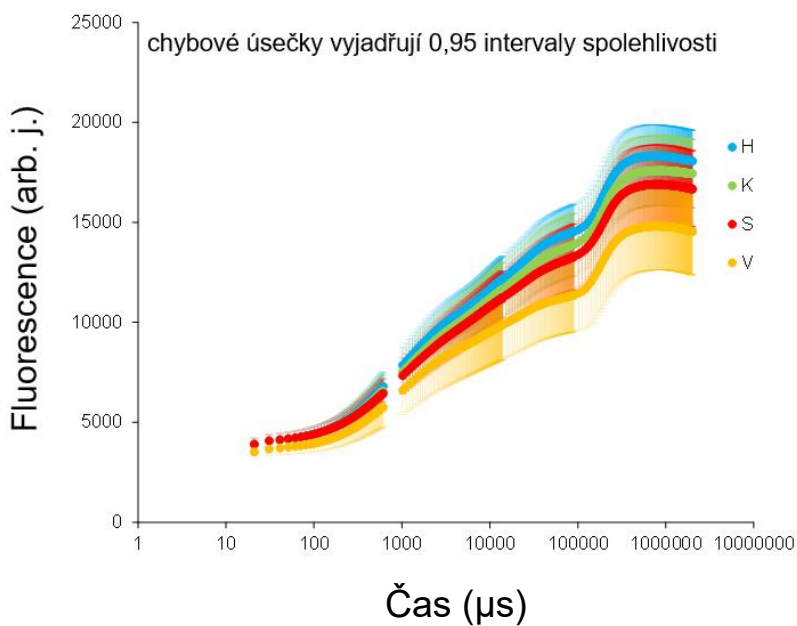


Graf 2: Obsah dusíku (N) v listu u jednotlivých variant při druhém měření (1. září 2023)
 (S = silvamix, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
 (S n=15; H n=26; K n=26; V n=13)

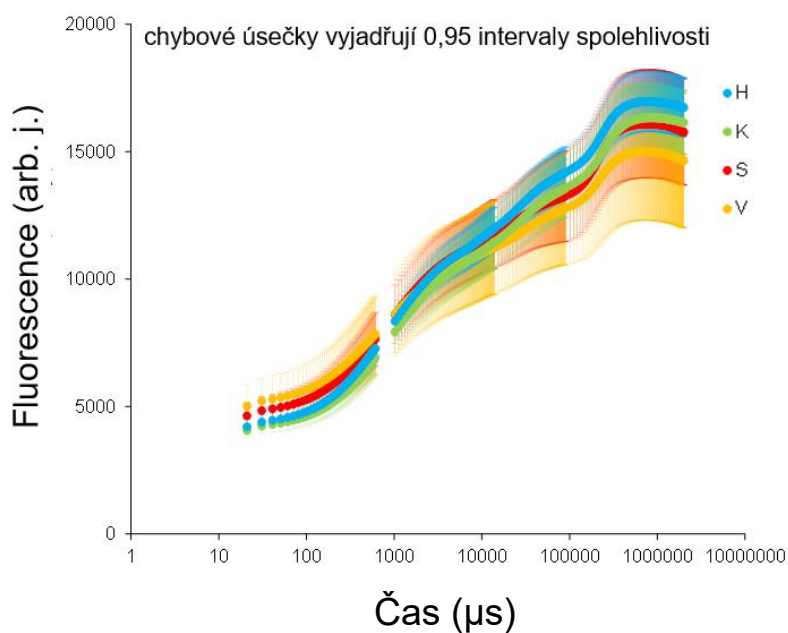
Bylo zjištěno, že 1. září v porovnání s 1. srpem narostl obsah dusíku ve všech listech napříč aplikovanými variantami zhruba o 0,3 % a mírně se lišil v závislosti na variantě, která byla k sazenici aplikována (viz Graf 2). Obdobně jako při měření 1. srpna se nejvyšší hodnoty obsahu dusíku nacházely v listech sazenic dubu ošetřených ovčí vlnou, které průměrně dosahovaly 2,2 % obsahu N (SPAD $31,8 \pm 5,0$), ale v porovnání s obsahem dusíku obsaženém v listech sazenic ošetřených ostatními variantami nebyl oproti měření 1. srpna tento rozdíl statisticky významný.

5.2 Analýza fluorescenčních parametrů odvozených z OJIP křivky

Průběh průměrných OJIP křivek sazenic dubu letního v závislosti na aplikované variantě je možné pozorovat v Grafu 3 a Grafu 4. Z těchto křivek byly odvozeny indexy Φ_{PO} a PI_{ABS} , které jsou podkladem pro hodnocení zdravotního stavu a vitality sazenic v závislosti na aplikované variantě a umožňují i vzájemné porovnání použitých variant.



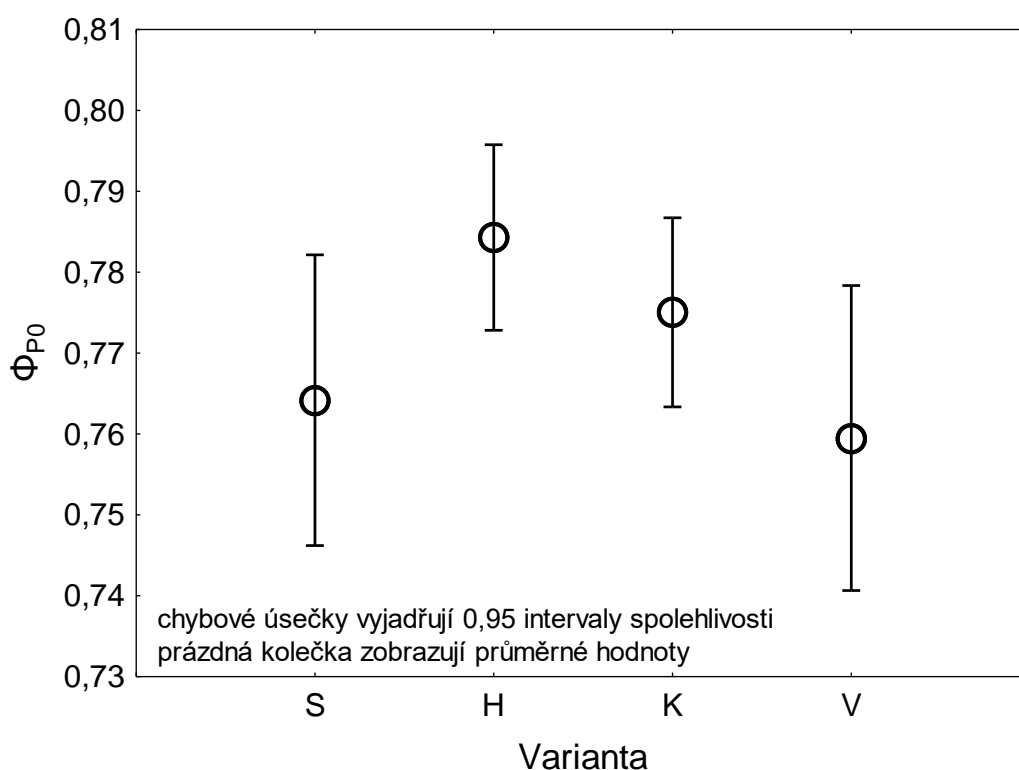
Graf 3: Průběh průměrné OJIP křivky sazenic (plná kolečka) v závislosti na aplikované variantě 1. srpna (S = silvami, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)



Graf 4: Průběh průměrné OJIP křivky sazenic (plná kolečka) v závislosti na aplikované variantě 1. září (S = silvami, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)

5.2.1 Maximální kvantový výtěžek PSII (Φ_{PO})

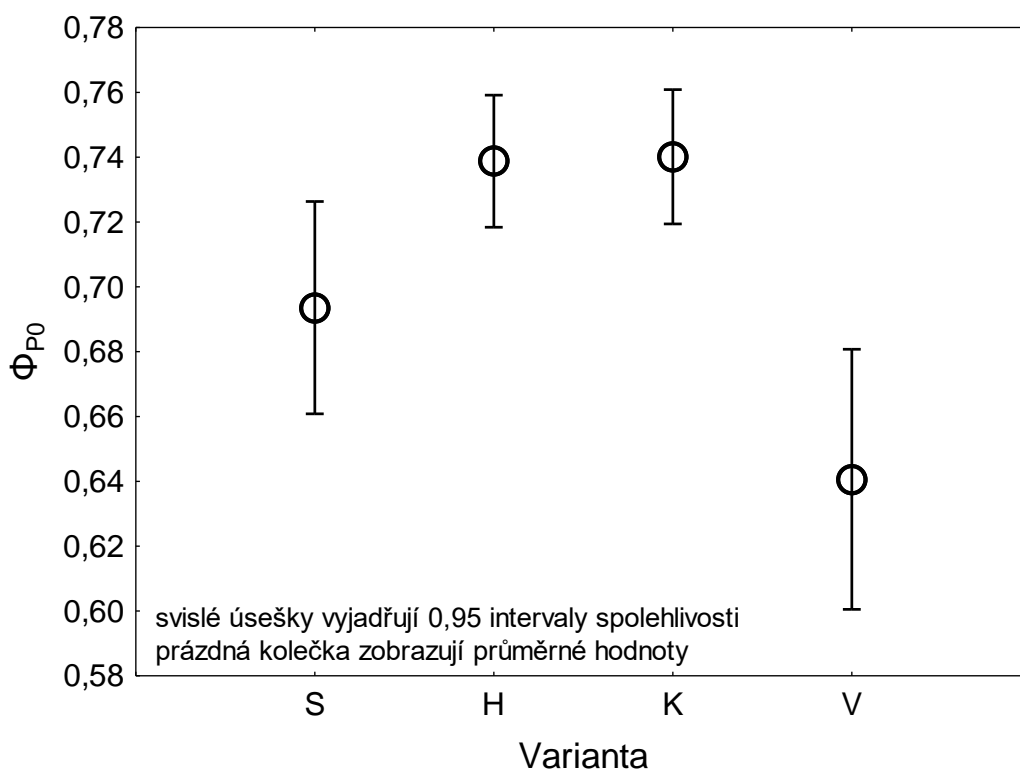
Pomocí přenosného přístroje FluorPen byly z poměru F_v/F_m určeny hodnoty maximálního kvantového výtěžku PSII (Φ_{PO}), které se liší v závislosti na aplikované variantě (viz Graf 5). Nejvyšších hodnot dosahujících průměrně $0,78 \pm 0,03$ nabýval index u dubových sazenic ošetřených hydrogelem. Hodnoty indexu se nejvíce lišily mezi sazenicemi ošetřenými hydrogelem a ovčí vlnou, ale napříč všemi použitými variantami nebyl tento rozdíl prokázán jako statisticky významný. Z porovnání zjištěných hodnot indexu s referenční hodnotou 0,8 vyplývá, že nějaká forma stresu tedy působila na všechny sazenice, nehlédě na aplikovanou variantu, téměř srovnatelně.



Graf 5: Maximální kvantový výtěžek PSII (Φ_{PO}) u jednotlivých variant při prvním měření (1. srpna 2023)
(S = silvamic, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
(S n=11; H n=27; K n=26; V n=10)

Hodnoty Φ_{PO} indexu zjištěné při měření 1. září se v porovnání s hodnotami zjištěnými 1. srpna liší. Trend vztahu mezi hodnotou indexu a aplikovanou variantou je možné pozorovat v Grafu 6. Nejvyšších průměrných hodnot dosahoval index u sazenic ošetřených hydrogelem $0,74 \pm 0,04$ a kontrolních sazenic $0,74 \pm 0,04$. Statisticky významný rozdíl byl prokázán mezi sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou a hydrogelem ($p=0,047$) a mezi sazenicemi ošetřenými ovčí

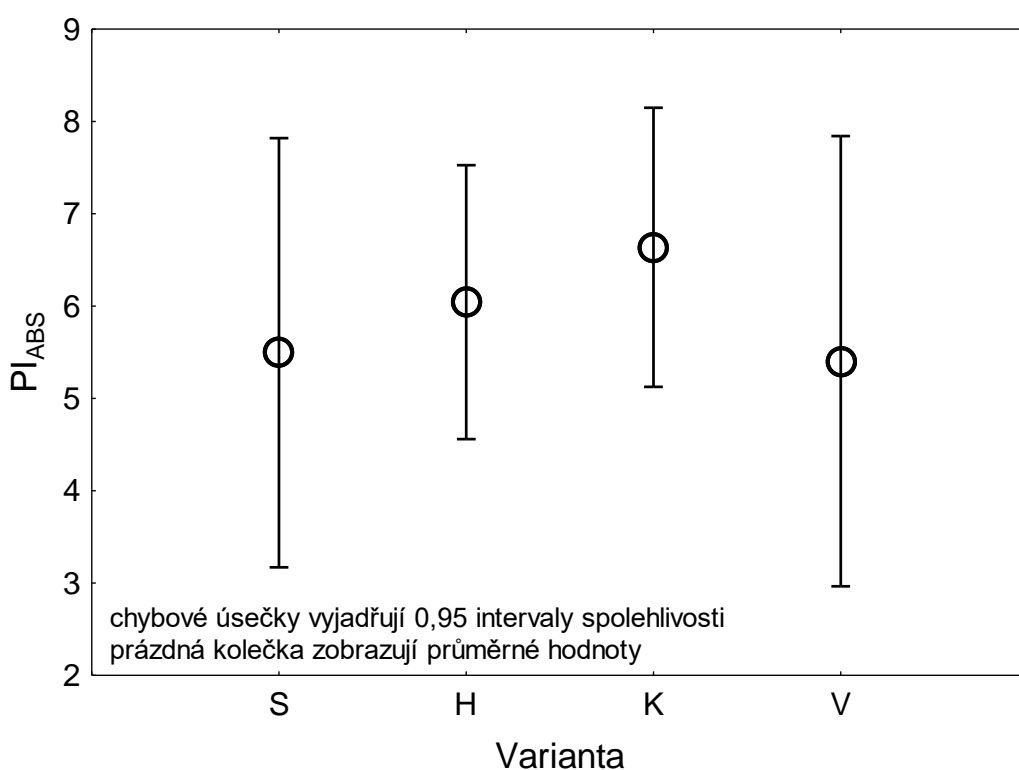
vlnou a kontrolními sazenicemi ($p=0,032$). Index u sazenic ošetřených ovčí vlnou dosahoval průměrně hodnot $0,64 \pm 0,01$. Tyto sazenice byly tedy napříč aplikovanými variantami nejvíce stresovány. Rozdíl naopak nebyl prokázán u sazenic ošetřených hydrogelem a kontrolních sazenic v porovnání se sazenicemi ošetřenými silvamixem. Stejně jako u měření 1. srpna byl 1. září prokázán stres u všech sazenic nehledě na použitou variantu. Odlišnost spočívá pouze v intenzitě stresu (viz srovnání odvozených hodnot indexu s jeho referenční hodnotou 0,8).



Graf 6: Maximální kvantový výtěžek PSII (Φ_{PO}) u jednotlivých variant při druhém měření (1. září 2023)
 (S = silvamix, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
 (S n=12; H n=31; K n=30; V n=8)

5.2.2 Index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS})

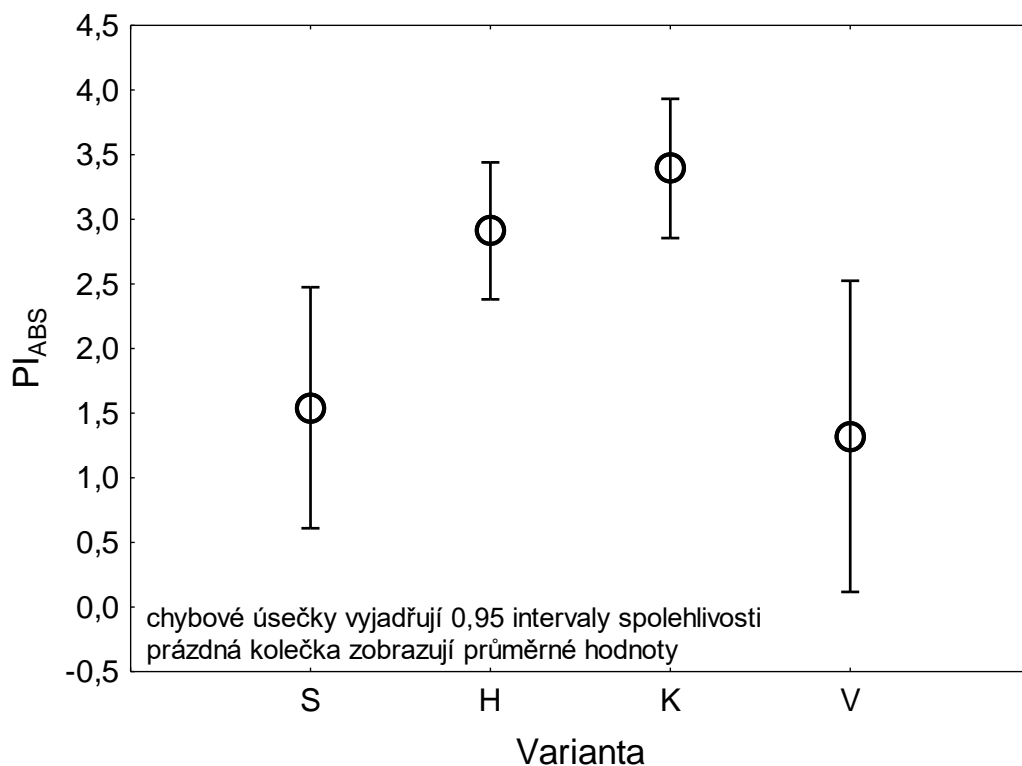
Pomocí přenosného přístroje FluorPen byly také určeny hodnoty indexu odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}), které se mírně liší v závislosti na aplikované variantě (viz Graf 7). Nejvyšších hodnot dosahujících průměrně $6,64 \pm 4,30$ nabýval index u kontrolních dubových sazenic, ale v porovnání se sazenicemi ošetřenými danými variantami byly zjištěné hodnoty indexu téměř totožné a statisticky významný rozdíl nebyl prokázán. Všechny sazenice bez ohledu na aplikovanou variantu byly tedy 1. srpna podrobeny stresu z nedostatku vody srovnatelně.



Graf 7: Index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}) u jednotlivých variant při prvním měření (1. srpna 2023)
(S = silvamix, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
(S n=11; H n=27; K n=26; V n=10)

Hodnoty indexu odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}) zjištěné při měření 1. září jsou v porovnání s hodnotami zjištěnými 1. srpna přibližně 3x nižší a liší se v závislosti na aplikované variantě (viz Graf 8). Nejvyšších hodnot nabýval index shodně jako 1. srpna u kontrolních dubových sazenic, a to průměrně $3,39 \pm 1,73$. Dále index dosahoval nejvyšších průměrných hodnot u sazenic ošetřených hydrogelem $2,91 \pm 1,38$. Statisticky významný rozdíl byl prokázán mezi kontrolními sazenicemi a sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou ($p=0,013$) a také mezi kontrolními sazenicemi a sazenicemi ošetřenými silvamixem ($p=0,010$). U sazenic ošetřených silvamixem dosahoval index hodnot průměrně $1,54 \pm 1$ a u sazenic ošetřených ovčí vlnou $1,32 \pm 1,23$.

Významný rozdíl nebyl prokázán mezi kontrolními sazenicemi a sazenicemi ošetřenými hydrogelem. Z trendu patrného v grafu se tedy jako nejméně stresované z nedostatku vody jeví kontrolní sazenice a následně sazenice ošetřené hydrogelem, u kterých ale v porovnání se sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou a silvamixem statisticky významný rozdíl nebyl prokázán.



Graf 8: Index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}) u jednotlivých variant při druhém měření (1. září 2023)
(S = silvamix, H = hydrogel, K = kontrola, V = ovčí vlna)
(S n=10; H n=31; K n=30; V n=6)

6 Diskuze

K hodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního na zkusné ploše u Koněprus se zvolené nedestruktivní metody terénního měření fyziologických markerů jeví jako optimální varianta. Měření vybraných parametrů pomocí jednoduchých přenosných přístrojů byla možné provádět i při mírném dešti, který v obou termínech měření nastal, a zároveň více méně nezávisle na sobě, díky čemuž bylo možné dosáhnout plynulosti měření. Vypovídající hodnota fyziologických markerů, tedy obsahu dusíku v listu a vybraných fluorescenčních parametrů odvozených z OJIP křivky, je dle mého názoru pro tento experiment nejvhodnější a umožňuje zhodnocení faktorů, které se v daných geomorfologických podmínkách stanoviště jeví jako klíčové (obsah živin, vitalita a vodní stres). Na základě těchto markerů je možné následně porovnat působení aplikovaných variant půdních kondicionérů, a tím pádem určit jejich celkový vliv na výsadbu.

Mezi hlavní prvky výživy rostlin nezbytné pro správnou funkci a průběh všech fyziologických procesů patří společně s fosforem, draslíkem, vápníkem, hořčíkem a sírou také dusík (de Bang a kol., 2021). Díky měření SPAD hodnot jsme byli schopni u sazenic porovnat procentuální zastoupení dusíku v listech a pomocí toho určit, která varianta nejvíce přispívala živinami. Nejvyšší procentuální obsah dusíku v listech byl 1. srpna prokázán u sazenic ošetřených ovčí vlnou a dále u sazenic ošetřených silvamixem, které ale na rozdíl od sazenic ošetřených ovčí vlnou nevykazovaly v porovnání s kontrolními sazenicemi a sazenicemi ošetřenými hydrogelem významné rozdíly. To potvrzuje i názor Petek & Marinsek Logar (2021) na možnost využití odpadní ovčí vlny jako hnojiva a shoduje se i s tvrzením Boehme a kol. (2012), dle kterého je peletovaná ovčí vlna dobrým zdrojem zejména dusíku a v některých rostlinných kulturách může v tomto ohledu úspěšně nahradit jiná hnojiva. Při následném měření 1. září narostl obsah dusíku ve všech sazenicích nehlédě na aplikovanou variantu a to tak, že rozdíly nalezené při měření 1. srpna zde již nebyly prokázány, přestože podobný trend v rozdílnosti mezi variantami je z grafu nadále patrný. Nárůst obsahu dusíku mezi měřeními je možné vysvětlit např. navýšením schopnosti příjmu živin v důsledku doplnění půdní vody množstvím srážek, které se v období mezi jednotlivými měřeními objevily nebo posunem vegetační sezóny. Původní předpoklad, tedy že nejvíce živin bude obsaženo v listech sazenic ošetřených ovčí vlnou a silvamixem byl tedy potvrzen pouze částečně. Jako možný důvod se jeví malý počet měření, který byl ovšem způsoben poměrně výraznou mortalitou jedinců, díky čemuž nebylo počet měření možné navýšit. Z výsledků tedy vyplývá, že k obohacení sazenic dusíkem nejvíce přispěla aplikace peletované ovčí vlny, což doplňuje

i tvrzení Zheljazkova (2005), který považuje za dobrý zdroj živin při bylinných výsadbách ovčí vlnu v surové a neprané formě. Významnost ovčí vlny jako zdroje živin dále podporují i výsledky Lal a kol. (2020), dle kterých došlo k navýšení obsahu dusíku v půdě o více než 30 % ve srovnání s kontrolou, při její aplikaci.

Pomocí analýzy vybraných fluorescenčních parametrů jsme byli dále schopni určit také celkovou vitalitu, přítomnost a míru stresu a zhodnotit vodní stres sazenic. Energie světla absorbovaná molekulou chlorofylu je totiž v rámci rostliny využita buďto fotochemicky v rámci světelné fáze fotosyntézy, disipací rozptýlena na teplo nebo v podobně červeného záření zpětně vyzářena právě v podobě fluorescence (van der Tol a kol., 2009). Tyto procesy jsou dle Govindjee (1995) navzájem provázané a jejich konkurenční vztah se projevuje jako pokles zastoupení jednoho z nich při nárůstu jiného a naopak. Přestože v rámci fluorescence dochází k zpětnému vyzáření pouhých 3-5 % přijaté světelné energie, je toto množství natolik vysoké, že pomocí změn v průběhu fluorescence můžeme mimo jiné posuzovat účinnost dalších výše zmíněných procesů, předně primární fáze fotosyntézy (Stirbet a kol., 2018).

Stejně tak jako není během dne konstantní intenzita fluorescence, tak není nikdy shodný ani výše zmíněný průběh rychlé fáze fluorescenční indukce popisovaný tzv. OJIP křivkou (Akinyemi a kol., 2023). Dle Kalaji a kol. (2016) se liší např. v závislosti na míře stresu působícího na jedince v podobě teplotních extrémů, nadbytku nebo nedostatku živin, sucha, těžkých kovů či ozonové expozice (Bussotti a kol., 2011). Právě takové změny v průběhu OJIP křivky v závislosti na aplikované variantě lze pozorovat v grafech. Z průběhu OJIP křivky lze také odvodit celou řadu parametrů (indexů) reagujících na neoptimální podmínky prostředí popisujících změny ve fotosyntetickém aparátu používaných například při hodnocení stresu (Akinyemi a kol., 2023).

Z analýzy Φ_{PO} indexu odvozeného z OJIP křivky vyplývá, že při měření 1. srpna stres působil na všechny sazenice obdobně a zásadní rozdíly v působení aplikovaných variant tedy nebyly prokázány. Z trendu patrného v grafu se ovšem jako nejméně stresované jeví sazenice ošetřené hydrogelem, u kterých by byl námi očekávaný významný rozdíl pravděpodobně prokázán v případě navýšení počtu měření. Nízký počet měření je v grafu patrný i z velikosti chybových úseček. Při měření 1. září však došlo k prohloubení rozdílů mezi aplikovanými variantami a významný rozdíl byl prokázán mezi kontrolními sazenicemi a sazenicemi ošetřenými hydrogelem v porovnání se sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou. Tyto výsledky se tedy více méně shodují i s tvrzením Varela a kol. (2016), že rostliny ošetřené hydrogelem běžně vykazují relativně vyšší hodnoty parametru Φ_{PO} daného poměrem F_v/F_m . Sazenice ošetřené

ovčí vlnou se tedy jeví jako nejvíce stresované. S přihlédnutím na trend patrný v grafech bylo předpokladem nalezení takového rozdílu i u sazenic ošetřených silvamixem, jehož statistická významnost ovšem nebyla prokázána. Srovnatelně s měřením 1. srpna byl stres prokázán u všech sazenic, ale s odlišnou intenzitou v závislosti na aplikované variantě.

Index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}) je dle Thach a kol. (2007) oproti indexu Φ_{PO} (F_v/F_m) citlivějším indikátorem zejména stresu působeného nedostatkem vody a při měření 1. srpna jeho hodnoty nevykazují napříč aplikovanými variantami významné rozdíly. Přestože aplikace jednotlivých variant tedy nehrála s ohledem na vodní stres významně odlišnou roli, z trendu patrného v grafu se ovšem jako méně stresované jeví kontrolní sazenice a sazenice ošetřené hydrogelem. Při měření 1. září byly hodnoty indexu PI_{ABS} výrazně nižší, ale k prokázání významných rozdílů v ovlivnění vodního stresu v závislosti na aplikované variantě došlo. Významný rozdíl byl nalezen mezi kontrolními sazenicemi v porovnání se sazenicemi ošetřenými ovčí vlnou a silvamixem. Trend v grafu je jinak srovnatelný s měřením 1. srpna, ovšem jednotlivé rozdíly mezi variantami jsou znatelnější. Jako nejméně stresované z nedostatku vody se tedy jeví kontrolní sazenice a následně sazenice ošetřené hydrogelem. Index odolnosti vůči suchu u kontrolních sazenic a sazenic ošetřených hydrogelem nabýval 1. září přibližně o 50 % vyšších hodnot, než u sazenic ošetřených ovčí vlnou a silvamixem, což je i v souladu se závěry Thach a kol. (2007), který u rostlin vystavených vodnímu stresu naměřil hodnoty indexu odolnosti vůči suchu nižší i o více než 60 %. K potvrzení pozitivních účinků hydrogelu jako navýšení schopnosti příjmu živin dle M'barki a kol. (2019), případně s ohledem na vodní stres, jak uvádí Tomášková a kol. (2020) a zvýraznění výše nastíněných rozdílů, by mohlo dle předpokladu opět dojít navýšením počtu měření. Důvodem nenalezení signifikantních rozdílů by mohl být také předpoklad, že účinnost aplikace hydrogelu s ohledem na přidanou retenční schopnost patrně významně závisí i na půdním druhu. V písčitých půdách bylo dle Agaba a kol. (2010) množství vody dostupné pro rostliny v důsledku aplikace hydrogelu navýšeno téměř trojnásobně, v hlinitých a jílovitých půdách byla jeho účinnost ovšem výrazně nižší, což se ale liší od výsledků Akhter a kol. (2004), dle kterého při aplikaci hydrogelu došlo k téměř 100 % navýšení množství vody dostupné pro rostliny i u půd písčito-hlinitých a hlinitých. Z výsledků Agaba a kol. (2010) dále vyplývá, že s množstvím dostupné vody pozitivně koreluje i čas přežití jedinců, který byl v důsledku aplikace hydrogelu ve srovnání s kontrolou vyšší, ale odlišný v závislosti na půdním druhu.

Uvedené očekávané rozdíly nebyly vždy prokázány patrně, jak je již výše uvedeno, z důvodu nízkého počtu měřených jedinců a také z důvodu nestejného počtu měřených jedinců

u jednotlivých variant. Tyto chyby byly způsobeny jednak výraznou mortalitou, díky čemuž nebylo možné nalézt více jedinců vhodných k měření, případně provedením měření na zelených listech, ale již fyziologicky neaktivních, a tím pádem získání neodpovídajících hodnot. V takovém případě musel být vstupní počet jedinců dále snížen o tyto extrémní hodnoty, které bylo nutné za účelem analýzy odstranit. Případně se mohlo jednat o chyby operátora či samotného přístroje nebo chyby z přepisu dat. K prokázání významnějších či jiných signifikantních rozdílů by bylo tedy nutné výrazně navýšit počet měřených jedinců a vyrovnat počty měření u jednotlivých variant.

Z analýzy a trendu zobrazeného v grafech je také patrné, že se vyšší množství dusíku v listech způsobené aplikací ovčí vlny a silvamixu odráží i v míře vodního stresu, který na sazenice působil. Obě varianty totiž vytvářejí prostředí s vyšším množstvím živin, čímž zřejmě došlo ke snížení hodnoty vodního potenciálu půdy tak, že byl nižší než ve dřevině. Sazenice ošetřené těmito variantami tak byly pravděpodobně po přechodnou dobu vystaveny většímu nedostatku vody než ostatní sazenice, což se odrazilo na výrazně vyšší úmrtnosti sazenic ošetřených ovčí vlnou a silvamixem ve srovnání s ostatními variantami. To tedy v tomto případě spíše nepotvrzuje hydroabsorbenční schopnosti vlny, jejíž aplikace v zemědělských výsadbách dle Lal a kol. (2020) přispěla k navýšení výnosů plodin a efektivnosti využití vody o 30 % v porovnání s kontrolními jedinci. Úmrtnost byla okulárně nižší srovnatelně u kontrolních sazenic a sazenic ošetřených hydrogelem, jehož účinnost ve srovnání s kontrolou patrně nebyla s ohledem na přežití jedinců významně vyšší vzhledem k přítomnosti jílovité půdy na stanovišti. To se tedy i částečně shoduje s výše uvedeným pozorováním Agaba a kol. (2010), dle kterého je na jílovitých půdách účinnost hydrogelu s ohledem na přežití jedinců snížena, přesto ovšem vyšší ve srovnání s kontrolou.

Výzkumná plocha se nachází v podmínkách výslunných strání na jihozápadě Českého krasu. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 9 °C a roční úhrn srážek činí 530 mm. Půdy na lokalitě jsou poměrně těžké, značně ulehlé a odvápněné. Jedná o celkově značně vysychavé stanoviště s mělkými půdami, kde jsou podmínky ještě výrazně ztíženy suchými obdobími, způsobenými nerovnoměrným rozložením srážek v rámci sezóny, proto se dub letní nejeví jako nejlepší volba a dub zimní by byl na dané lokalitě pravděpodobně vhodnější variantou pro výsadbu. Je pravděpodobné, že následující rok, tedy již druhý rok po zalesnění budou případné rozdíly ve vlivu aplikovaných variant na výsadbu patrnější. Jako nejlepší možnost ověření těchto předpokládaných změn se jeví provedení téhož měření v následující vegetační sezóně a případně i analýza dalších fyziologických parametrů.

7 Doporučení pro praxi v lesnictví

Z výsledků provedeného experimentu (ošetření výsadby dubu různými druhy půdních kondicionérů na výzkumné lokalitě v Českém krasu) jednoznačné doporučení pro praxi nevyplývá, a to zejména s ohledem na šest klimaticky extrémních týdnů, které nastaly krátce po výsadbě. Na minerální výživě sazenic se významně pozitivně projevuje použití ovčí vlny navýšením obsahu dusíku v asimilačním aparátu. Takoveto navýšení obsahu živin na mělkých vysýchavých půdách však působí spíše kontraproduktivně snížením vodního potenciálu půdy, potažmo navýšováním stresu z nedostatku vody (stejný účinek tak lze předpokládat i u použití silvamixu, případně jiných hnojiv). Sazenice ošetřené hydrogelem měly sice stejnou odezvu v přežívání jako sazenice kontrolní, ale v následujícím roce lze u přeživších sazenic očekávat výrazné zlepšení růstu a vitality.

Z ekonomického hlediska je pro plošou aplikaci v lesnictví nejméně nákladné použití peletované ovčí vlny. Vzhledem k tomu, že je vlna odpadní materiál, do celkových nákladů se tak promítají pouze výrobní náklady na peletu, tj. provoz stroje a lidská práce, a nikoli vstupní materiál. Ve srovnání s tím je použití hydrogelu a silvamixu poměrně nákladné. U hydrogelu se cena pohybuje v rozmezí 350 až 500 Kč s DPH / kg / 1000 sazenic (cca 0,5 Kč / saz.). U silvamixu je cenové rozpětí od 100 do 200 Kč s DPH / kg / 33 sazenic (cca 6 Kč / saz.). Ovšem na trh dodávané produkty z ovčí vlny se cenově pohybují okolo 115 Kč s DPH / 1 / 10 sazenic (cca 11 Kč / saz.) a ve srovnání s hydrogelem a silvamixem jsou tedy finančně dokonce náročnější. Výpočty vychází z dávkování, které bylo použito při experimentu, tedy 1 dl ovčí vlny; 1 g hydrogelu; 3 tablety (30 g) silvamixu na sazenici. Uvedené cenové údaje jsou platné k 1. 3. 2024 a nezahrnují množstevní slevy, které mohou být při odběru většího množství výrazné.

8 Závěr

Duby jsou bezesporu jedny z hlavních dřevin lesů České republiky, v jejichž přirozené skladbě by bez zásahu člověka oproti dnešnímu zastoupení 7,8 % (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství, 2022) zaujímaly dle vědeckých předpokladů 19,4 % (Podrázský a kol., 2014). Úspěšnost výsadby a pěstování dvou na našem území nejvíce zastoupených druhů, dubu letního a zimního, však výrazně závisí na jejich poměrně dosti rozdílných stanovištních nárocích, které jsou mimo jiné podmíněné jejich fyziologickými vlastnostmi. Právě z tohoto důvodu proběhlo vyhodnocení úspěšnosti výsadby dubu letního pomocí vybraných fyziologických markerů. Pro terénní kvantifikaci zvolených markerů, tedy obsahu dusíku v asimilačním aparátu (korelujícího s měřeními SPAD hodnotami) a parametrů odvozených z OJIP křivky (zobrazující průběh rychlé fáze fluorescenční indukce) byly použity nedestruktivní metody měření pomocí přenosných zařízení chlorofylmetru SPAD-502Plus a přístroje FluorPen FP 110. Při výsadbě na výzkumné ploše u Koněprus provedené v roce 2022 byly sazenice ošetřeny třemi variantami půdních kondicionérů s cílem vzájemného porovnání jejich působení a jejich porovnání s kontrolní skupinou bez ošetření. Vzhledem ke specifickým geomorfologickým podmínkám stanoviště (půdy a klima) proběhlo vyhodnocení již v následující vegetační sezóně roku 2023.

Bylo zjištěno, že základním a zároveň poměrně klíčovým předpokladem pro úspěšnost výsadby je stanovištní vhodnost vysazované dřeviny, kdy se především vzhledem k mělkým a vysychavým půdám na daném stanovišti dub letní např. ve srovnání se zimním dubem nejeví jako příliš vhodná volba.

Z analýzy prvního hodnoceného fyziologického parametru, tedy obsahu dusíku v asimilačním aparátu dále vyplývá, že k obohacení živinami ve srovnání s ostatními kondicionéry nejvíce přispěla aplikace peletované ovčí vlny, méně úspěšná byla aplikace silvamixu a hydrogel naopak k navýšení obsahu živin ve srovnání s kontrolou z podstaty téměř nepřispěl. Rozbor druhého měření však ukázal, že došlo k mírnému navýšení obsahu dusíku u všech variant a to tak, že významné rozdíly zde už nebyly zaznamenány a předchozí výsledky tak nebyly stropcentně potvrzeny, přestože z grafu je obdobný trend i nadále patrný.

Pro další hodnocení byly vybrány fluorescenční parametry, a to maximální kvantový výtěžek PSII (Φ_{PO}) hodnotící vitalitu, a tedy celkovou míru stresu a index odolnosti vůči suchu (PI_{ABS}), který pomocí relativních hodnot poukazuje na míru stresu z nedostatku vody. Z hodnot maximálního kvantového výtěžku PSII a jejich porovnání s referenční hodnotou reprezentující

stav bez stresu vyplývá, že stresované byly všechny sazenice bez ohledu na použitý půdní kondicionér, napříč variantami se ovšem lišila míra tohoto stresu. Při obou měřeních se jako nejméně stresované, a tedy nejvitálnější jeví téměř srovnatelně sazenice ošetřené hydrogelem a kontrolní sazenice, větší míra stresu pak působila na sazenice ošetřené silvamixem a nejvíce stresované byly sazenice ošetřené ovčí vlnou.

Obdobné výsledky byly dosaženy i při analýze indexu odolnosti vůči suchu, kdy při druhém měření došlo k prohloubení rozdílů mezi variantami a s přihlédnutím k trendu zobrazeného v grafech se jako nejméně stresované z nedostatku vody jeví sazenice ošetřené hydrogelem a kontrolní sazenice. Sazenice ošetřené silvamixem byly ovlivněny výrazněji a nejvíce stresované tentokrát se zaměřením na stres z nedostatku vody byly opět sazenice ošetřené ovčí vlnou.

Dosažené výsledky tedy mimo jiné poukazují na možnou existenci jisté vazby mezi vyšším obsahem živin a mírou stresu, který na sazenice v daných stanovištních podmínkách působil, což byl pravděpodobně jeden z faktorů poměrně výrazné mortality sazenic. Z výsledků je dále možné usuzovat, že pokud nedojde k měsíčnímu přísušku jako v roce měření, tak se ať už pozitivní či negativní rozdíly ve vlivu jednotlivých půdních kondicionérů pravděpodobně názorněji a reprezentativněji projeví až v následujících letech, tedy ne hned v prvním roce po zalesnění, kdy rostlina sama bojuje se šokem z přesazení, a navíc panují kritické klimatické podmínky v podobě sucha.

Na základě této bakalářské práce, ale i dalších prostudovaných výzkumů se použité půdní kondicionéry: hydrogel, ovčí vlna a silvamix, jeví jako možný způsob minimalizace dopadu klimatických změn na rostlinné výsadby. A to nejen s ohledem na přežívání, růst a vitalitu rostlin, ale i s ohledem na životní prostředí, kde dle dostupných zdrojů dochází k jejich kompletní degradaci bez ponechávání reziduí v půdě. Nevýhodou v lesnické praxi může být ovšem omezená možnost použití na velkých plochách s vysokými počty sazenic kvůli časové a finanční náročnosti. Vzhledem k tomu, že aplikace půdních kondicionérů je stále v poměrně raných fázích výzkumu, bylo by dobré k tématu i nadále směřovat další výzkumnou činnost. Zabývat se jejich dávkováním, vhodností jejich aplikace v daných půdních a klimatických podmínkách stanoviště a sledovat, jak na ně jednotlivé dřeviny reagují. Tyto teoretické výzkumy pak ideálně kombinovat s déletrvajícými praktickými experimenty, díky kterým bude možné jejich účinky lépe zhodnotit.

9 Seznam použité literatury

9.1 Literární zdroje

- ABHISEKH, Saha, Sekharan SREEDEEP a Manna UTTAM. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research* [online]. 2020, 204 [cit. 2023-11-18]. ISSN 0167-1987. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>
- AGABA, Hillary, Lawrence J. B. ORIKIRIZA, John F. O. ESEGU, Joseph OBUA, John D. KABASA a Aloys HUETTERMANN. Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *Clean - Soil, Air, Water* [online]. John Wiley, 2010, 38(4), 328-335 [cit. 2024-02-12]. ISSN 1863-0669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/clen.200900245>
- AKHTER, J., K. MAHMOOD, K. A. MALIK, A. MARDAN, M. AHMAD a M. M. IQBAL. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant, Soil and Environment* [online]. Czech Academy of Agricultural Sciences, 2004, 50(10), 463-469 [cit. 2024-02-12]. ISSN 1805-9368. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/4059-PSE>
- AKINYEMI, Olusegun Olaitan, Jaroslav CEPL, Sarita KESKI-SAARI, Ivana TOMASKOVA, Jan STEJSKAL, Sari KONTUNEN-SOPPELA a Markku KEINANEN. Derivative-based time-adjusted analysis of diurnal and within-tree variation in the OJIP fluorescence transient of silver birch. *Photosynthesis Research* [online]. 2023, 157(2-3), 133-146 [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11120-023-01033-x>
- ANBU, P., S.C.B. GOPINATH, A. HILDA, T. LAKSHMI PRIYA a G. ANNADURAI. Purification of keratinase from poultry farm isolate-*Scopulariopsis brevicaulis* and statistical optimization of enzyme activity. *Enzyme and Microbial Technology* [online]. Elsevier, 2005, 36, 639-647 [cit. 2023-12-01]. ISSN 0141-0229. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1016/j.enzmictec.2004.07.019>

- BOEHME, M., I. PINKER, H. GRUENEGER a S. HERFORT. Sheep wool as fertiliser for vegetables and flowers in organic farming. *Acta Horticulturae* [online]. ISHS, 2012, 933, 195-202 [cit. 2024-02-12]. ISSN 0567-7572. Dostupné z: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.933.23>
- BRANDELLI, Adriano. Bacterial keratinases: useful enzymes for bioprocessing agroindustrial wastes and beyond. *Food Bioprocess Technol* [online]. Springer, 2008, 1, 105-116 [cit. 2023-12-01]. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11947-007-0025-y>
- BROCKLEHURST, Neil, Christian F. KAMMERER a Roger J. BENSON. The origin of tetrapod herbivory: effects on local plant diversity. *Proceedings of the Royal Society B* [online]. 2020, 287 (1928) [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0124>
- BUCHANAN, Bob B., Wilhelm GRUISSEM a Russel L. JONES. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. 2nd ed. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons Inc., 2015, 1280 s. ISBN 9780470714218.
- BULÍŘ, Pavel a Jaroslav ČERVENKA. *Vliv půdních kondicionérů na počáteční růst dřevin vysazených na antropogenních substrátech*. Průhonice: VUKOZ, 2004.
- BULÍŘ, Pavel. Půdní kondicionery a lesnické rekultivace devastovaných ploch. *Lesnická práce* [online]. 2008, 87(2), 22-23 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-87-2008/lesnicka-prace-c-2-08/pudni-kondicionery-a-lesnicke-rekultivace-devastovanych-ploch>
- BUSCOT, François. Implication of evolution and diversity in arbuscular and ectomycorrhizal symbioses. *Journal of Plant Physiology* [online]. 2015, 172, 55-61 [cit. 2023-11-18]. ISSN 0176-1617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.013>
- BUSSOTTI, Filippo, Rosanna DESOTGIU, Chiara CHIARA, Martina POLLASTRINI, Elisabetta GRAVANO, Giacomo GEROSA, Riccardo MARZUOLI a kol. Ozone stress in woody plants assessed with chlorophyll a fluorescence. A critical reassessment of existing data. *Environmental and Experimental Botany* [online].

2011, 73, 19-30 [cit. 2024-02-10]. ISSN 1873-7307. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1016/j.envexpbot.2010.10.022>

COLANGELO, Michele, Jesús J. CAMARERO, Francesco RIPULLONE, Antonio GAZOL, Raúl SÁNCHEZ-SALGUERO, Jonàs OLIVA a Miguel A. REDONDO. Drought decreases growth and increases mortality of coexisting native and introduced tree species in a temperate floodplain forest. *Forests* [online]. 2018, 9(4) [cit. 2023-12-04]. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f9040205>

COX, C. Barry, Peter D. MOORE a Richard J. LADLE. *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*. 9th ed. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons Inc., 2016. ISBN 978-1-118-96857-4.

DE BANG, Thomas Christian, Soren HUSTED, Kristian Holst LAURSEN, Daniel Pergament PERSSON a Jan Kofod SCHJOERRING. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist* [online]. John Wiley & Sons, 2021, 229(5), 2446-2469 [cit. 2024-02-06]. ISSN 1469-8137. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.17074>

DUCOUSSO, Alexis a Sándor BORDÁCS. Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). *EUFORGEN* [online]. Rome, 2004 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.euforgen.org/publications/publication/iquercus-roburi-and-iquercus-petraei-technical-guidelines-for-genetic-conservation-and/>

EATON, Edward, Giovanni CAUDULLO, Sandra OLIVEIRA a Daniele DE RIGO. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats [online]. In: European Atlas of Forest Tree Species. 2016, 160-163 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Giovanni-Caudullo/publication/299471357_Quercus_robur_and_Quercus_petraea_in_Europe_distribution_habitat_usage_and_threats/links/61ee6caf9a753545e2f20044/Quercus-robur-and-Quercus-petraea-in-Europe-distribution-habitat-usage-and-threats.pdf

- GEBEYEHU, Marshet Nigatu a Fekadu Hailu HIRPO. Review on Effect of Climate Change on Forest Ecosystem. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* [online]. 2019, 17(4), 126-129 [cit. 2023-11-18]. ISSN 2572-1119. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.19080/IJESNR.2019.17.555968>
- GOVINDJEE. Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology* [online]. 1995, 22(2), 131-160 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/PP9950131>
- GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* [online]. 1974, 250(5461), 26-31 [cit. 2023-11-18]. ISSN 1476-4687. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/250026a0>
- GRYNDLER, Milan. *Mykorhizní symbióza: O soužití hub s kořeny rostlin*. Praha: Academia, 2004, 366 s. ISBN 8020012400.
- HEJNÝ, Slavomil a Bohumil SLAVÍK (ed.). *Květena České republiky. 2.*, nezm. vyd. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1089-0.
- HISANO, Masumi, Eric B. SEARLE a Han Y. CHEN. Biodiversity as a solution to mitigate climate change impacts on the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* [online]. 2018, 93(1), 439-456 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/brv.12351>
- CHOAT, Brendan, Eleanor C. LAHR, Peter J. MELCHER, Maciej A. ZWIENIECKI a N. Michele HOLBROOK. The spatial pattern of air seeding thresholds in mature sugar maple trees. *Plant, Cell & Environment* [online]. 2005, 28(9), 1082-1089 [cit. 2023-12-04]. ISSN 0140-7791. Dostupné z: <https://doi.org/infozdroje.czu.cz/10.1111/j.1365-3040.2005.01336.x>
- KALAJI, Hazem M., Anjana JAJOO, Abdallah OUKARROUM a kol. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta physiologiae plantarum* [online]. Springer, 2016, 38(4), 1-11 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>

- KOLAŘÍK, Jaroslav. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les. Metodika* (Český svaz ochránců přírody). Vlašim: ČSOP Vlašim. 2005. ISBN 8086327442.
- LAL, B., S. C. SHARMA, R. L. MEENA, Srobana SARKAR, A. SAHOO, Roop Chand BALAI, Priyanka GAUTAM a B. P. MEENA. Utilization of byproducts of sheep farming as organic fertilizer for improving soil health and productivity of barley forage. *Journal of Environmental Management* [online]. Elsevier, 2020, 269 [cit. 2024-02-11]. ISSN 1095-8630. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110765>
- LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. 2011, 217 s. ISBN 978-80-248-2440-6.
- LARCHER, Walter. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th ed. New York: Springer, 2003. ISBN 3-540-43516-6.
- LIŠKA, Jan. *Přehled výskytu lesních hmyzích škůdců v českých zemích*. Lesnický průvodce, 3/1991. Praha: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 1991.
- MARACCHI, Gianpiero, Oleg SIROTENKO a Marco BINDI. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic Change* [online]. 2005, 70, 117-135 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5939-7>
- M'BARKI, Naoura, Feten AISSAOUI, Hechmi CHEHAB, Olfa DABBAGHI, Tommaso DEL GIUDICE, Dalenda BOUJNAH a Beligh MECHRI. Cultivar dependent impact of soil amendment with water retaining polymer on olive (*Olea europaea* L.) under two water regimes. *Agricultural Water Management* [online]. Elsevier, 2019, 216, 70-75 [cit. 2023-11-27]. ISSN 0378-3774. Dostupné z: [https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1016/j.agwat.2019.01.016](https://doi.org/infozdroje.czu.cz/10.1016/j.agwat.2019.01.016)
- MODLINGER, Roman, Jan LIŠKA a Miloš KNÍŽEK. *Hmyzí škůdci našich lesů* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, 2015 [cit. 2023-11-19]. ISBN 978-80-7434-206-6.

Dostupné z:

https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/03/Brozura_Hmyzi_skudci.pdf

NEHLS, Uwe, F. GOEHRINGER, S. WITTULSKY a S. DIETZ. Fungal carbohydrate support in the ectomycorrhizal symbiosis: a review. *Plant biology* [online]. New York: John Wiley & Sons Inc., 2010, 12(2), 292-301 [cit. 2024-01-25]. ISSN 1435-8603. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00312.x>

ORCUTT, David M. a Erik T. NILSEN. *The physiology of plants under stress: soil and biotic factors*. New York: John Wiley & Sons Inc., 2000, 704 s. ISBN 978-0-471-17008-2.

PATŘIČNÝ, Martin. *Velká kniha o dřevě*. Praha: Universum, 2019, 272 s. ISBN 978-80-7617-829-8.

PERCIVAL, Glynn C., Ian P. KEARY a Kelly NOVISS. The potential of a chlorophyll content SPAD meter to quantify nutrient stress in foliar tissue of Sycamore (*Acer pseudoplatanus*), English Oak (*Quercus robur*), and European Beech (*Fagus sylvatica*). *Arboriculture & Urban Forestry* [online]. 2008, 34(2), 89–100 [cit. 2024-01-29]. ISSN 2155-0778. Dostupné z: <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.012>

PETEK, Blaz a Romana MARINSEK LOGAR. Management of waste sheep wool as valuable organic substrate in European Union countries. *JOURNAL OF MATERIAL CYCLES AND WASTE MANAGEMENT* [online]. Springer, 2021, 23(1), 44-54 [cit. 2023-12-01]. ISSN 1438-4957. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s10163-020-01121-3>

PODRÁZSKÝ, Vilém a Karolína SLABEJOVÁ. Možnosti využití hnojení v lesním hospodářství. *Lesnická práce* [online]. 2012, 91(2), 17-19 [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-91-2012/lesnicka-prace-c-2-12/moznosti-vyuziti-hnojeni-v-lesnim-hospodarstvi>

PODRÁZSKÝ, Vilém, Daniel ZAHRADNÍK a Jiří REMEŠ. Potential consequences of tree species and age structure changes of forests in the Czech Republic - Review of forest inventory data. *Wood Research* [online]. 2014, 59(3), 483-489 [cit. 2024-

03-14]. ISSN 1336-4561. Dostupné z:
<http://www.woodresearch.sk/wr/201403/11.pdf>

PRACIAK, Andrew. *The CABI encyclopedia of forest trees*. Wallingford: CABI, 2013. ISBN 978-1-78064-236-9.

RAJCHARD, Josef, Zuzana BALOUNOVÁ a Dušan VYSLOUŽIL. *Ekologie I.: pojem a obsah ekologie, globální prostředí planety a jeho členění, ekologické faktory, působení fyzikálních faktorů na organizmy*. České Budějovice: Kopp, 2002. ISBN 80-7232-189-7.

REMEŠ, Jiří, Jiří VIEWEGH, Vilém PODRÁZSKÝ a Stanislav VACEK. Výsledky aplikace hnojiv řady SILVAMIX v lesních porostech. *Lesnická práce* [online]. 2004, 83(2), 25-27 [cit. 2023-11-27]. Dostupné z:
<https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-83-2004/lesnicka-prace-c-2-04/vysledky-aplikace-hnojiv-rady-silvamix-v-lesnich-porostech>

SÁDLO, Jiří, Milan CHYTRÝ, Jan PERGL a Petr PYŠEK. Plant dispersal strategies: a new classification based on the multiple dispersal modes of individual species. *Preslia* [online]. Česká botanická společnost, 2018, 90, 1-22 [cit. 2023-11-19]. ISSN 0032-7786. Dostupné z: <https://doi.org/10.23855/preslia.2018.001>

SARVAŠ, Milan, Anna TUČEKOVÁ a Vladimír ŠEBEŇ. Vyhodnotenie lesných kultúr a výsevov po aplikácii pomaly rozpustného lesného hnojiva Silvamix® MG. (Správa pre ECOLAB Znojmo, spol. s r. o.). Zvolen: Lesnícky výskumný ústav vo Zvolene, 2001. 13 s.

SLAVÍK, Bohumil, (ed.). *Květena České republiky*. 5., nezm. vyd. Praha: Academia, 1997. ISBN 80-200-0590-0.

SLÁVIK, Martin. *Lesnická dendrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2004. ISBN 80-213-1242-4.

SLOUP, Jakub. *Studium stresových faktorů ovlivňujících školkařskou produkci*. Lednice, 2011. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Petr Salaš.

- STIRBET, A., D. LAZÁR, J. KROMDIJK a GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica* [online]. Springer, 2018, 56, 86-104 [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3>
- STOJANOVIĆ, D. B., T. LEVANIČ, B. MATOVIĆ a S. ORLOVIĆ. Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *European Journal of Forest Research* [online]. Springer, 2015, 134, 555-567 [cit. 2023-12-04]. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s10342-015-0871-5>
- ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě*. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2005. ISBN 80-7040-747-6.
- THACH, Le Buu, Alison SHAPCOTT, Susanne SCHMIDT a Christa CRITCHLEY. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. *Photosynthesis Research* [online]. Springer, 2007, 94(2-3), 423-436 [cit. 2024-02-10]. ISSN 1573-5079. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11120-007-9207-8>
- THOMPSON, Lonnie G., Mary E. DAVIS, Ping-Nan LIN, Ellen MOSLEY-THOMPSON a Henry H. BRECHER. Ice cores from tropical mountain glaciers as archives of climate change. *Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge* [online]. Springer, 2005, 23, 31-38 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/1-4020-3508-X_4
- TOMÁŠKOVÁ, Ivana, Michal SVATOŠ, Jan MACKŮ, a kol. Effect of Different Soil Treatments with Hydrogel on the Performance of Drought-Sensitive and Tolerant Tree Species in a Semi-Arid Region. *Forests* [online]. 2020, 11(2) [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f11020211>
- TREFFLICH, Annette, Stefan KLOTZ a Ingolf KÜHN. Blühphänologie. In: Klotz S., I. Kühn a W. Durka (eds). *BIOLFLOR, eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland, Schriftenreihe für Vegetationskunde*. 2002, 38, 127–131.

- TRENBERTH, KE. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* [online]. 2011, 47(1), 123-138 [cit. 2023-09-21]. ISSN 0936-577X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky. 2.*, přeprac. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.
- ÚRADNÍČEK, Luboš. *Lesnická dendrologie II.: (angiospermae)*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. ISBN 80-7157-760-x.
- VAN DER TOL, C., W. VERHOEF a A. ROSEMA. A model for chlorophyll fluorescence and photosynthesis at leaf scale. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. Elsevier, 2009, 149(1), 96-105 [cit. 2024-02-11]. ISSN 1873-2240. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.007>
- VARELA, Santiago A., Mariana N. WEIGANDT, Priscila WILLEMS a kol. Physiological status of conifer seedlings treated with radiation, drought and frost stress mitigation techniques: a laboratory assessment. *New Forests* [online]. Springer, 2016, 47(1), 87-103 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9485-5>
- VOPRAVIL, Jan a kol. *Půda a její hodnocení v České republice*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2009. ISBN 978-80-87361-02-3.
- VYSKOT, Miroslav. *Pěstění dubu*. Praha: SZN, 1958. 284 s.
- WEIL, Raymond R. a Nyle C. BRADY. *The Nature and Properties of Soils*. 15th ed. London: Pearson Education, 2017. ISBN 978-0133254488.
- ZABLOUDIL, František a Petr KORHON. Ochrana porostů proti škodám zvěří dříve a dnes. *Myslivost* [online]. 2005 [cit. 2023-12-01]. Dostupné z: <https://www.myslivost.cz/Casopis-Myslivost/Myslivost/2005/Rijen---2005/OCHRANA-POROSTU-PROTI-SKODAM-ZVERI-DRIVE-A-DNES>
- ZHELJAZKOV, Valtcho D. Assessment of wool waste and hair waste as soil amendment and nutrient source. *Journal of Environmental Quality* [online]. 2005, 34(6), 2310-

2317 [cit. 2023-12-01]. Dostupné z: <https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.2134/jeq2004.0332>

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství 2022. PDF. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky [online]. 2023 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-80-7434-703-0. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/publikace/Zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-hospodarstvi-CR/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-hospodarstvi-2022-strucna-verze>

9.2 Internetové zdroje

- [1] Změna klimatu: Základní informace. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>
- [2] Co jsou meliorační a zpevňující dřeviny? *Info o lese: vše co vlastník potřebuje vědět o lese* [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://infolese.cz/faq/co-jsou-melioracni-a-zpevnujici-dreviny.html>
- [3] Dub letní, křemelák (*Quercus robur*). *Pyly.cz* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.pyly.cz/rostliny/dub-letni-kremelak/>
- [4] *Quercus robur* – dub letní (křemelák). *Pladias – databáze české flóry a vegetace* [online]. c2014–2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/data/Quercus%20robur>
- [5] HOSKOVEC, Ladislav. QUERCUS FRAINETTO Ten. – dub balkánský / dub balkánský. *BOTANY.CZ* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/quercus-frainetto/>
- [6] Dub letní (*Quercus robur* L.). *Biogeografie: Multimediální výuková příručka* [online]. c2010 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Que_rob.html
- [7] Dub zimní (*Quercus petraea* Matt., Liebl.). *Biogeografie: Multimediální výuková příručka* [online]. c2010 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_Que_pet.html
- [8] Dub. *Lesy ČR* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://lesy-cr.cz/drevo/charakteristika-dreva-jednotlivych-drevin/dub/>

- [9] Vlastnosti a využití jednotlivých dřevin. *MeziStromy.cz* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/vlastnosti-dreva-a-drevostaveb/vlastnosti-a-vyuziti-jednotlivych-drevin2/odborny>
- [10] Lesy a klimatické změny. *Forests for all forever* [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://myslinalesy.cz/lesy-a-klimaticke-zmeny/>
- [11] Půdní kondicionéry: klíč k zdravé a úrodné půdě. *Grown s.r.o.* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://grown.eu/pudni-kondicionery-klic-k-zdrave-a-uroodne-pude/>
- [12] *Hydrogel: šetří vodu* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.hydrogel.cz/>
- [13] Hydrogel na pěstování rostlin – použití a zkušenosti. *OSLAVAN a.s.* [online]. c2023 [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://eshop.oslavan.cz/hydrogel-na-pestovani-rostlin-pouziti-a-zkusenosti>
- [14] *Silvamix* [online]. [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: <https://cz.silvamix.com/>
- [15] Ovčí vlna jako hnojivo. *COMPO®* [online]. [cit. 2023-12-01]. Dostupné z: <https://www.compo.com/cz/rady-a-tipy/pece-o-rostliny/zaklady/hnojiva-ochrana-rostlin/ovci-vlna-jako-hnojivo>
- [16] OVIO: hnojivo z české ovčí vlny. *OVIO* [online]. c2022 [cit. 2023-12-01]. Dostupné z: <https://www.oviohnojivo.cz/>
- [17] *NašeVlna* [online]. c2024 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://www.nasevlna.cz/>
- [18] Charakteristika oblasti. *CHKO Český kras* [online]. c2024 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://ceskykras.nature.cz/charakteristika-oblasti>
- [19] Mapa typologická. *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem* [online]. [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOpri.html>
- [20] Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>
- [21] Geologická mapa České republiky 1 : 50 000 (GEOČR50). *ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA* [online]. c2023 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z:

https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa50/MapServer/WMS/Server

- [22] SPAD-502Plus. *KONICA MINOLTA* [online]. c2024 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/measuring-instruments/colour-measurement/chlorophyll-meter/spad-502plus>
- [23] FluorPen FP 110 and PAR-FluorPen FP 110-LM. *Photon Systems Instruments* [online]. c2016 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://handheld.psi.cz/products/fluorpen-and-par-fluorpen/#details>
- [24] *Quercus robur* - Pedunculate oak. *EUFORGEN - European Forest Genetic Resources Programme* [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: <https://www.euforgen.org/species/quercus-robur/>
- [25] *Quercus petraea* - Sessile oak. *EUFORGEN - European Forest Genetic Resources Programme* [online]. [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://www.euforgen.org/species/quercus-petraea/>
- [26] Google Earth. *Google Earth* [online]. [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://earth.google.com/web/@49.91557736,14.08037425,412.47565096a,515.4643862d,35y,-36.00898149h,44.99913638t,0r/data=OgMKATA>
- [27] Marushka. *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. c2004-2024 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=669032&MarQParamCount=1>
- [28] Letecká mapa. *Mapy.cz* [online]. c2024 [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=14.0749820&y=49.9188197&z=15>

9.3 Legislativní dokumenty a normy

Zákon č. 289/1995 Sb. Zákon o lesích a o změně některých zákonů (lesní zákon). In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2010-2023 [cit. 2023-20-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-289>

Zákon č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd

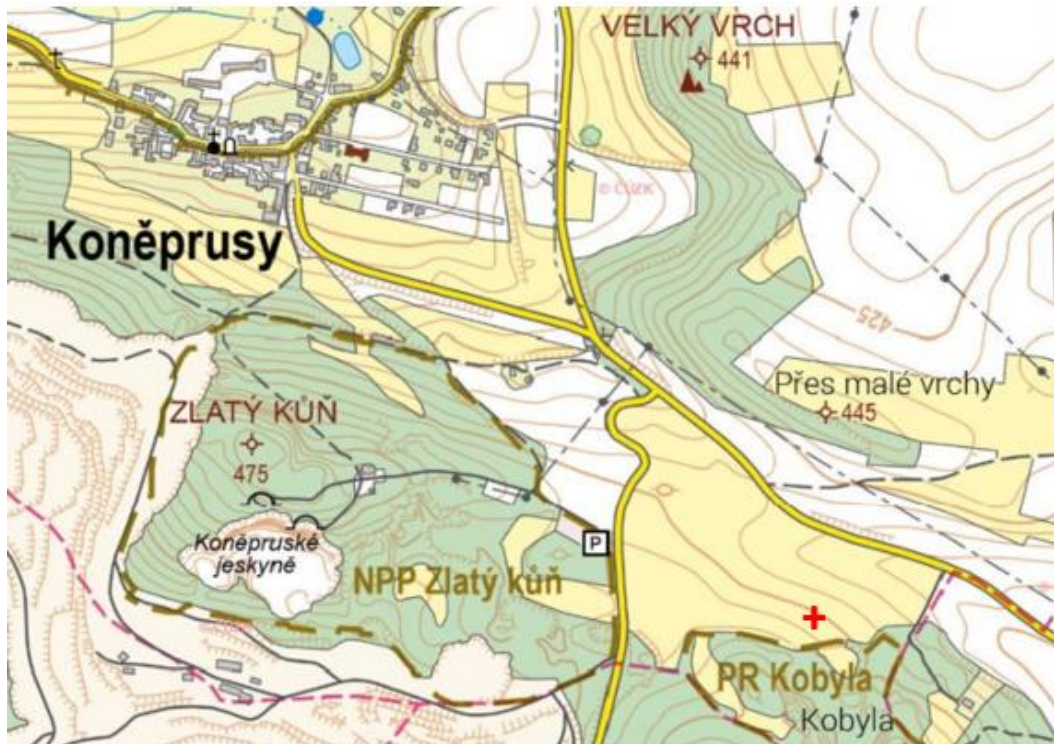
(zákon o hnojivech). In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2010-2023 [cit. 2023-25-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156>

Zákon č. 299/2021 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2010-2023 [cit. 2023-25-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-299>

ČSN 83 9011. *Technologie vegetačních úprav v krajině – Práce s půdou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006, 20 s. Třídící znak 83 9011.

10 Přílohy

Příloha 1: Snímek katastrální mapy lokality s umístěním plochy (Dostupné z: [27] <https://sginahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/>, upraveno)



Příloha 2: Letecký snímek lokality s umístěním plochy (Dostupné z: [28] mapy.cz, upraveno)

