

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav zakládání a pěstění lesů

## **Hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu dřevin**

Diplomová práce

Brno 2017

Vypracovala Bc. Anna Lázničková

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „**Hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu**“ vypracovala sama a uvedla jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje diplomová práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora Mendelovy univerzity v Brně o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autorka kvalifikační práce se zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně dne 15. 3. 2017

podpis

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala paní Ing. Kateřině Houškové, Ph.D., za odborné vedení, čas a cenné rady při zpracovávání této práce.

Dále děkuji panu prof. Ing. Oldřichu Mauerovi, DrSc., za odbornou pomoc a konzultaci a technickým pracovníkům ÚZPL za podporu při zakládání pokusných ploch.

**Anna Lázníčková**

## **Hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu dřevin**

### **Evaluation of Physiological Quality of Tree Planting Stock**

#### **Abstrakt**

Diplomová práce „Hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu dřevin“ se zabývá testováním 4 metod, které hodnotí fyziologické kvality sadebního materiálu smrku ztepilého a buku lesního, ověřuje jejich objektivnost a využitelnost v terénu přímo v době výsadby. Testovanými metodami je měření hmotnostního úbytku jemných kořenů, měření hmotnostního úbytku kořenových balů, měření vlhkosti kořenových balů a fluorescence chlorofylu. První tři metody se jeví perspektivně a je vhodné je dále rozvíjet. Měření fluorescence chlorofylu dormantních sazenic nevypovídá o jejich aktuálním fyziologickém stavu. Tato metoda se ukázala jako nevhodná. Vývoj použitelných metod určujících fyziologickou kvalitu sadebního materiálu je klíčový pro úspěšnost výsadby ve zhoršených klimatických podmínkách.

**Klíčová slova:** buk lesní, fyziologická kvalita, sadební materiál, smrk ztepilý

#### **Abstract**

The thesis "Evaluation of Physiological Quality of Tree Planting Stock" deals with four testing methods to evaluate the physiological quality of planting stock and verifies their objectivity and usefulness for application in the natural conditions in the terrain at planting Norway spruce and European beech. These checked methods are: measuring of figures out percentage of water losses caused by a constant thermic stress, comparing weight before and after water saturation of close root balls, measuring of root balls humidity and measuring of chlorophyll fluorescence. The first three methods seem to be perspective and should by further testing and observations. The measuring of chlorophyll fluorescence cannot be used for water loss examination before planting. The development of available methods for determining physiological quality of tree planting stock is important for the success of planting in poor weather conditions.

**Keywords:** European beech, Norway spruce, physiological quality, planting stock

## **OBSAH:**

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>2. CÍL PRÁCE</b> .....	<b>8</b>
<b>3. LITERÁRNÍ PŘEHLED</b> .....	<b>9</b>
3.1. Sadební materiál .....	10
3.1.1. Fyziologická kvalita sadebního materiálu .....	11
3.2. Manipulace se sadebním materiálem .....	12
3.2.1. Expedice sadebního materiálu .....	13
3.2.2. Skladování sadebního materiálu .....	13
3.3. Výsadba prostokořenného sadebního materiálu .....	14
3.4. Výsadba krytokořenného sadebního materiálu .....	15
3.5. Stres rostlin .....	15
3.5.1. Reakce rostlin na stres .....	16
3.5.2. Teplota jako stresor .....	17
3.5.3. Voda jako stresor .....	17
3.6. Metody hodnocení .....	18
3.6.1. Možnosti zjišťování kvality sadebního materiálu s ohledem na obsah vody dle ČSN 48 2115 .....	18
3.6.2. Ztráta elektrolytu jako ukazatel fyziologické kvality .....	19
3.6.3. Vizuelní hodnocení asimilačního aparátu .....	20
3.6.4. Vizuelní hodnocení jemných kořenů .....	20
3.6.5. Vliv nesprávné manipulace – pokus .....	21
3.6.6. Elektrická vodivost a elektrický odpor částí rostlin .....	21
3.6.7. Fluorescence chlorofylu rostlin .....	22
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>23</b>
4.1. Pokusná výsadba .....	24
4.1.1. Materiál .....	24
4.1.2. Metody .....	25
4.1.2.1. Měření hmotnostního úbytku jemných kořenů při konstantním tepelném stresu .....	25
4.1.2.2. Měření hmotnostního úbytku kořenových balů .....	27
4.1.2.3. Měření vlhkosti substrátu kořenových balů .....	28
4.1.2.4. Měření fluorescence chlorofylu rostlin .....	29

4.1.3. Průběh výsadby .....	30
4.1.4. Měření po výsadbě .....	32
4.1.4.1. Měření 5 týdnů po výsadbě .....	32
4.1.4.2. Měření na konci vegetačního období .....	33
4.1.4.3. Měření na počátku druhého vegetačního období .....	34
4.2. Laboratorní pokus .....	34
4.2.1. Prostokořenný sadební materiál .....	34
4.2.1.1. Průběh měření .....	35
4.2.2. Krytokořenný sadební materiál .....	36
4.2.2.1. Průběh měření .....	37
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>38</b>
5.1. Klimatické podmínky .....	38
5.2. Porovnání vitality a morfologických znaků výsadby .....	40
5.3. Měření hmotnostního úbytku jemných kořenů .....	45
5.4. Měření hmotnostního úbytku kořenových balů .....	49
5.5. Měření vlhkosti kořenových balů přístrojem WHT 860 .....	50
5.6. Fluorescence chlorofylu .....	51
<b>6. DISKUZE .....</b>	<b>57</b>
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
<b>8. SUMMARY .....</b>	<b>62</b>
<b>9. SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>63</b>

## 1. ÚVOD

V České republice je více než třetina půdního fondu tvořena lesními pozemky. Na našem území se nacházejí lesy, kde dochází k přirozené obnově. Jsou to lesy zejména v národních parcích. Většina lesů je ale využívána hospodářsky a v nich převažuje umělá obnova. K umělé obnově lesa dochází po těžbě při plnění lesního hospodářského plánu, po přírodních katastrofách a při zakládání lesa a dřevinné vegetace v místech, kde se předtím hospodařilo jinak. Cílem umělé obnovy je založení nové generace lesa, která bude vykazovat optimální přírůst v dané oblasti, bude zdravá a odolná vůči povětrnostním vlivům a škůdcům a bude schopná vytvořit vhodné prostředí pro další organismy. Při umělé obnově se tedy vytváří budoucí fungující ekosystém, který udržuje rovnováhu prostředí, je schopen zadržovat vodu v krajině a čistit ovzduší. Funkční ekosystém je základním předpokladem pro život.

Umělá obnova lesa a zalesňování vzhledem k úkolům, které musí splnit, klade vysoké požadavky na sadební materiál, jeho kvalitu, manipulaci se sadebním materiálem od vyzvednutí po výsadbu a časový plán výsadby (jak v ročním tak denním kontextu). Pro usnadnění rozlišení kvality a správnosti manipulace vydal Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví dvě české technické normy: *ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin* a *ČSN 48 2116 Umělá obnova lesa a zalesňování*. Dále byla vydána celá řada odborných publikací, které se zabývají kvalitou reprodukčního materiálu, pěstováním sadebního materiálu ve školkách, vhodnou manipulací se sadebním materiálem, studiem stresových faktorů a různých poškození sadebního materiálu. Při plnění všech nařízení a doporučení lze předejít celé řadě chyb a nedostatků. Díky tomu se zvyšuje pravděpodobnost úspěchu při umělé obnově lesa a podporuje se kvalita zakládaných kultur.

I přes jednoznačné pokyny českých technických norem a ostatní doporučení není umělá obnova lesa a zalesňování 100% úspěšná. Vzhledem k práci se živou přírodou v přírodních podmínkách nejde o nic neobvyklého. Pokud je ale úspěšnost výsadby nízká a je zapotřebí výsadbu doplnit nebo obnovit, poukazuje to na nějakou závažnou chybu. Taková umělá obnova lesa přestává být hospodárná a připouští pochybnosti o kvalitě budoucí generace lesa a funkčnosti lesního ekosystému. Velké ztráty po výsadbě může způsobit průběh počasí – vysoké teploty a nízké srážky, které jsou

v posledních letech čím dál častější, ať už v době výsadby, bezprostředně po ní, nebo v průběhu prvního roku po výsadbě. Chyba však také může nastat v kterékoli části procesu umělé obnovy, ať už při výběru reprodukčního materiálu, pěstování ve školce, nevhodné manipulaci nebo špatném načasování výsadby. Navíc se na umělé výsadbě podílí většinou tři subjekty: vlastník lesa, školka produkující sadební materiál a firma provádějící výsadbu. Vzhledem k ekonomickým ztrátám, které při nízké úspěšnosti výsadby vznikají vlastníkově, je třeba identifikovat viníka, který je za chybu odpovědný. Důležitým momentem je období od vyzvednutí rostlin po výsadbu, kde se zodpovědnost za rostliny přenáší z producenta (školkaře) na toho, kdo provádí výsadbu. Při převzetí sazenic a zodpovědnosti za ně lze pohledem zkontrolovat stav sazenic. Některé nedostatky lze rozpoznat jednoznačně (morfologické parametry, mechanické poškození rostlin), mnohé však zůstávají skryté (fyziologická vitalita, neúměrná ztráta vody), protože výsadba je prováděna v dormanci rostlin. Přitom právě skryté nedostatky jsou rozhodující pro úspěšnost výsadby.

Stávající metody určující obsah vody jsou založeny na zjištění obsahu vody v pletivech rostlin. V současné době jsou však tyto metody subjektivní, protože jsou ovlivněny dalšími skutečnostmi, nebo jsou využitelné pouze v laboratorních podmínkách. Proto nejsou vhodné k běžnému užívání při výsadbě nebo řešení sporů. Je otázkou, jak jednoduše zjistit neúměrnou ztrátu vody v dormantním sadebním materiálu i v terénních podmínkách.

## **2. CÍL PRÁCE**

Neúměrná ztráta vody v dormantním sadebním materiálu negativně ovlivňuje úspěšnost umělé obnovy a zalesňování. V této diplomové práci bude sledován vliv manipulace se sadebním materiálem před výsadbou na jeho následný růst. Při výsadbě bude simulována špatná manipulace se sadebním materiálem s důsledkem stresu suchem, který způsobuje ztrátu vody v pletivech. Cílem této práce je otestovat čtyři metody hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu smrku ztepilého a buku lesního a určit vhodnost těchto metod a využitelnost v praxi. Práce je součástí projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QJ1520080 „Optimalizace umělé obnovy v České republice“, vypsáný na čtyři roky – od roku 2015 do roku 2018.



### 3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

Péče o dřeviny a lesní ekosystémy je významnou součástí péče o životní prostředí. K omezení negativních vlivů špatné péče existují v České republice zákony, které určují pravidla péče o dřeviny a lesní ekosystémy. Hlavními dvěma zákony využívanými k péči o dřevinnou vegetaci a les je zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů a zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů. Postupy umělé obnovy lesa a zalesňování jsou popsány v normě ČSN 48 2116 Umělá obnova lesa a zalesňování (2015), která dále popisuje biologicky vhodné metody manipulace se sadebním materiálem před použitím k obnově lesa a technologické postupy výsadby dřevin. Kvalita sadebního materiálu je určena normou ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin (2012). Sadební materiál je potřeba k umělé obnově lesa a k osázení dřevin do volné krajiny (zejména pro potřebu ÚSES – Územní systém ekologické stability). Umělá obnova lesa je díky poměrně jednoduché realizaci rozhodujícím způsobem obnovy lesa v České republice (Mauer a Vaněk, 2013). Od roku 1992 procházejí Lesy České republiky, s. p. (dále LČR) vývojem v otázce potřeby reprodukčního materiálu lesních dřevin a náhledu na jeho kvalitu (Kotrla a Indra, 2000). Dále Kotrla a Indra (2000) konstatují, že od roku 1998 je snaha zvýšit kvalitu dodávaného reprodukčního a sadebního materiálu jak na straně LČR, tak pěstitelů.

Pro potřebu ÚSES nelze podle Laciny (2016) zobecnit, zda je vhodnější použití lesnických sazenic (malých) a výsadba v hustém sponu jako v lese, nebo individuální rozmístění vzrostlých zahradnických výpěstků. Rozhodnutí ovlivňuje celá řada faktorů, a to zda je přítomna nějaká vegetace, nebo jde o výsadbu na „holé“ ploše, jaké bude další využití plochy, případně je třeba vzít ohled i na stanovištní podmínky a náročnost údržby osázené plochy (Lacina, 2016). Z dlouhodobého hlediska pro růst dřevin ve výsadbách ÚSES není důležité, zda se použijí lesnické nebo velké (odrostky, špičáky) sazenice (Jelínek a Úradníček, 2010). Výsadba sazenic s sebou vždy nese povýsadbový šok. V lese je tento jev poněkud mírnější, protože se sazenice dostanou do přirozenějšího prostředí, chráněného před extrémními výkyvy teplot apod., na druhou stranu sazenice vysázené na volnou „holou“ plochu v rámci ÚSES mají podmínky mnohem těžší, (Jelínek a Úradníček, 2010). Jelínek a Úradníček (2010) dále

uvádějí, že důvodů tohoto stavu je mnoho, například změna chemismu půdy a dostupnost živin, výrazná změna hydrického režimu, která vysazené rostlině může způsobit opakovaný přísušek, nejvýznamnějším faktorem je redukce kořenového systému při vyzvedávání sazenic ve školce. Proto je nesmírně důležité, aby byly používané sazenice kvalitní a bylo s nimi odborně manipulováno. Základním předpokladem úspěšné obnovy lesa je používání kvalitního sadebního materiálu (Kotrla a Indra, 2000). Totéž platí pro sazenice využívané ve výsadbě ÚSES. Úspěšnou obnovou lesa se rozumí kvalitní a efektivně provedená obnova bez zbytečných ztrát (Kotrla a Indra, 2000). Napoprvé obnovený porost bývá porostem nejkvalitnějším, navíc kvalita užitého sadebního materiálu a pečlivost při manipulaci a výsadbě ovlivňují stabilitu a kvalitu založených porostů desítky let (mnohdy ovlivňují založené porosty více než následné výchovné zásahy) (Mauer a Vaněk, 2013). To znamená, že nevhodná kvalita sadebního materiálu je nejčastější příčinou velkých ztrát porostů (Mauer a Mauerová, 2010). Sarvaš (2000) ukazuje, že otázka sadebního materiálu v Evropě je velmi aktuální, protože po uvolnění a liberalizaci obchodování se stal sadební materiál výhodným obchodním zbožím. Bohužel však při tomto obchodování chyběly kontrolní mechanismy, které by zajistili objektivní posouzení kvality sadebního materiálu (Sarvaš, 2000). Již existující testy a hodnocení se zaměřili zejména na morfologické charakteristiky sadebního materiálu (Sarvaš, 2000). Mauer a Mauerová (2010) dokládají, že kvalita použitého sadebního materiálu (genetická, morfologická i fyziologická – a to zejména ve vzájemných vazbách) má přímou souvislost s kvalitou porostu desítky let od jeho založení.

### **3.1. Sadební materiál**

Kromě správné manipulace je důležitá i kvalita sadebního materiálu, což potvrzuje výzkum financovaný Evropskou unií „*Evropský výzkum k určení růstového potenciálu lesních dřevin: Vitalita a dormance sadebního materiálu*“, který započal 1. 3. 1996 v deseti státech (Sarvaš, 2000). Autor dále ukazuje, že cílem projektu byl vývoj metod posuzujících rozdílný stav dormance a vitality, výběr nejvhodnějších fyziologických, morfologických a genetických znaků vitality a dormance. Univerzální metodu k určení kvality sadebního materiálu se podle Sarvaše (2000) v tomto projektu nepodařilo najít, protože bylo zjištěno, že je to velmi náročné stanovit. Výsledky byly přesto zajímavé a přínosné. Kvalita sadebního materiálu je dána souborem vzájemně podmíněných znaků rostlin, které se dělí na znaky genetické, fyziologické

a morfologické, nedílnou součástí je také zdravotní stav sadebního materiálu. Sarvaš (2000) tvrdí, že nejpropracovanější částí výzkumu je určení kvality sadebního materiálu podle morfologických znaků, nicméně tyto znaky nemají jednoznačnou vypovídací schopnost o aktuální kvalitě sadebního materiálu. Sarvaš (2000) uvádí, že snížení fyziologické kvality sadebního materiálu se projevuje až po výsadbě, čímž dochází k velkým finančním ztrátám.

### **3.1.1. Fyziologická kvalita sadebního materiálu**

ČSN 48 2115 uvádí, že fyziologické znaky sadebního materiálu jsou dány zejména obsahem vody v pletivech, obsahem zásobních látek, stupněm vegetačního klidu, stavem termálních pupenů, růstovým potenciálem kořenů a stavem mykorhizy. Na rozdíl od morfologických znaků, které jsou měřitelné nebo vizuálně zjištělné, je zjišťování fyziologických znaků zpravidla destruktivní, a proto se provádí pouze u reprezentativních vzorků sadebního materiálu (ČSN 48 2115, 2012). Norma dále uvádí, že komplexní hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu se provádí jen u reprezentativních vzorků v případě podezření na snížení kvality sadebního materiálu během pěstování, vyzvedávání a další manipulace. Norma určuje dodání reprezentativních vzorků do 48 hodin od vyzvednutí na speciální pracoviště, s tím, že během přepravy musí být vzorky zajištěny proti vysychání a působení vyšších teplot.

Fyziologické charakteristiky sadebního materiálu dle ČSN 48 2115 (2012):

- Stav terminálních pupenů
- Obsah zásobních látek
- Stupeň vegetačního klidu
- Obsah vody

Sarvaš (2000) uvádí, že potřeba testování kvality sadebního materiálu je dána kromě jiného ztrátami, které vznikaly při zalesňování nekvalitním sadebním materiálem. Dobrý fyziologický stav má pro ujmavost a následný růst sazenic klíčový význam (Leugner a kol., 2012). Je zajímavé, že i když je kvalita sadebního materiálu přesně limitována legislativou (s výjimkou právě fyziologické kvality kvůli náročnosti přesného vymezení hranic), více než 40 % v současné době užitého sadebního materiálu této legislativě neodpovídá (Mauer a Mauerová, 2010). Naproti tomu Kotrla a Indra (2000) obecně konstatují, že pokud jsou sazenice pěstovány, ošetřovány a hnojeny standardními agrotechnickými postupy, a dále je se sadebním materiálem manipulováno

od vyzvednutí ve školce až po zalesnění na plochu dle obecně známých postupů, nejsou ve fyziologické kvalitě reprodukčního a sadebního materiálu zaznamenány problémy. Několikaletá snaha o vypěstování vysoce kvalitního sadebního materiálu může být zmařena, pokud jsou sazenice po vyzvednutí vystaveny nevhodné manipulaci (Leugner a kol., 2012). Kotrla a Indra (2000) doufají, že pokud dojde ke sporům, vyřeší se pomocí laboratoře VÚLHM - VS Opočno, kde se provádějí destruktivní analýzy k určení exaktních dat fyziologických charakteristik sadebního materiálu. Nejběžnějším rizikem snížení fyziologické kvality prostokořenného sadebního materiálu během manipulace je ztráta vody, a to zejména proto, že snížení vodního potenciálu rostliny během vyzvedávání ovlivní řadu základních metabolických procesů v rostlině (Leugner a kol., 2012).

Použití sadebního materiálu, který ztratil větší množství vody, způsobuje velké ztráty po výsadbě, sadební materiál zaostává v růstu a nemá pořádně vyvinutý kořenový systém, čímž se vytváří předpoklady ke ztrátě vitality stromu a mechanické nestabilitě (Mauer a Maueroová, 2010).

### **3.2. Manipulace se sadebním materiálem**

Mauer a Houšková (2015) uvádějí, že 90 % ztrát po výsadbě je způsobeno špatnou fyziologickou kvalitou sadebního materiálu (výjimkou je extrémní počasí v době a po výsadbě), a dále že právě manipulace se sadebním materiálem fyziologickou kvalitou významně ovlivňuje. ČSN 48 2116 (2015) specifikuje postupy umělé obnovy lesa pomocí výsadby sadebního materiálu a popisuje biologicky vhodné metody manipulace. Norma ukazuje možnosti ošetření sadebního materiálu před vyzvednutím z lesní školy, při expedici a dopravě, pro skladování, založení a výsadbu. Pokud má odběratel zájem o chemické ošetření sadebního materiálu před expedicí, je možné podle normy sjednat aplikaci fungicidů, přípravků proti klikorohu, repelentů proti okusu, antitranspirantů a pro prostokořenný materiál ještě namáčení kořenů do antidesikantů. Podle Mauera a kol. (2012) je antidesikant gelová látka chránící kořenový systém rostliny před oschnutím, neměla by se používat před dlouhodobým skladováním, protože zvyšuje riziko plísní. Antidesikanty nenahrazují kvalitní ochranný obal a v případě vyschnutí mají negativní vliv na regeneraci kořenů (Mauer a kol., 2012).

### **3.2.1. Expedice sadebního materiálu**

Expedice sadebního materiálu je rozlišena podle typu sadebního materiálu na prostokořenný sadební materiál a krytokořenný sadební materiál (Mauer a kol., 2012). Při expedici a dopravě by měl být kladen důraz na udržení optimální vlhkosti kořenových systémů stromků, čehož lze dosáhnout použitím vhodných přepravních obalů (Jurásek a kol., 2015). Prostokořenný materiál je přesto běžně expedován ve svazcích bez obalu, a tedy bez ochrany kořenů. Převážné obaly musí udržet optimální vlhkost kořenových systémů a zároveň musí zabránit jejich přehřátí nebo zapaření. Jako vhodné obaly jsou v ČSN 48 2116 uvedeny pytle (z fólií, nebo z kombinace fólií a papírových vrstev), kartonové krabice s ochranou před vysycháním a uzavřené přepravy z inertních plastů. Pokud je sadební materiál přepravován na kratší vzdálenosti ve voze chránícím před prouděním vzduchu, je možné obalit pouze kořenový systém např. smršťovací fólií. Dalším opatřením na ochranu sadebního materiálu dle Jurásek a kol. (2015) je určení maximální výšky 60 cm navršení prostokořenného sadebního materiálu, určení dopravního prostředku s krytou korbou a omezení dopravy sadebního materiálu v teplém a slunečném počasí, to znamená, že pokud je teplota nad 20 °C a cesta má trvat déle než dvě hodiny, musí se realizovat ve večerních, nočních nebo ranních hodinách. Jurásek a kol. (2015) podporují používání přepravních obalů, které snižují riziko zhoršení fyziologické kvality sadebního materiálu, tento pozitivní trend podporuje i norma ČSN 48 2116. I použití správných přepravních obalů je podmíněno správnou manipulací, sadební materiál v obalu nesmí být vystaven přímému slunci, aby nedošlo k zapaření nebo jinému poškození sadebního materiálu (Mauer a kol., 2012).

### **3.2.2. Skladování sadebního materiálu**

Skladováním se myslí uchování sadebního materiálu mezi jednotlivými etapami manipulace v takových podmínkách, které zajišťují zachování jeho dobrého fyziologického stavu (ČSN 48 2116, 2015). Dle normy se krátkodobým skladováním rozumí uložení sadebního materiálu mimo záhon před jarní nebo podzimní výsadbou, možnosti skladování sadebního materiálu jsou v klimatizovaných skladech, ve sněžných jámách, v neklimatizovaných prostorách, založení v blízkosti výsadby a založení v lesní školce. Obecné pravidlo pro krátkodobé skladování v neklimatizovaných prostorách a založení sadebního materiálu uvádí, že doba by neměla být delší než 3 týdny (při teplotách do 5 °C maximálně 4 týdny), jak je uvedeno v normě a v Juráskovi a kol.

(2015). Důvodem je souvislost se zvyšující se venkovní teplotou a urychlením ukončení dormance sadebního materiálu (při vyšších teplotách se přípustný čas skladování a uložení zkracuje, při teplotách nad 20 °C může být sadební materiál skladován v neklimatizovaných prostorách nebo založen pouze tři dny) (Jurásek a kol., 2015). Existují metody, které umožňují sadební materiál skladovat dlouhodobě v klimatizovaných prostorách. Dlouhodobé skladování je možné jak v klimatizovaných skladech s teplotou těsně nad bodem mrazu (+0,5 °C až +2 °C), tak i ve skladech s technologií mražení (-2 °C) (Jurásek a kol., 2015, ČSN 48 2116, 2015). Bárta (2015) uvádí, že v lesní školce Lescus Cetkovice, s.r.o., využívají technologii mražení sadebního materiálu, která umožňuje dodávat kvalitní sadební materiál v dormanci po dobu osmi měsíců, díky čemuž mohou odběratelé vysazovat nenarašený sadební materiál od března do července, s minimálně 90% úspěšností zalesnění po výsadbě. Bezeškodný proces mražení vyžaduje mnoho důležitých procedur a postupů, které jsou prováděny před samotným procesem mražení, při nedodržení jakékoli části procesu může být výrazně snížena vitalita sadebního materiálu, což vede ke zvýšeným finančním nákladům na vylepšení kultur, a tyto finanční náklady jdou většinou na vrub dodavatele (Bárta, 2015). Při řádném dodržování postupů dlouhodobého skladování je sadební materiál méně stresován a nedochází k výraznějšímu snížení fyziologické kvality, než když je sadební materiál neúměrně dlouho uložen u místa výsadby (Jurásek a kol., 2015).

### **3.3. Výsadba prostokořenného sadebního materiálu**

Jako biologicky nejvhodnější výsadba prostokořenného sadebního materiálu je jamková sadba (Mauer a kol., 2012). Norma ČSN 48 2116 (2015) uvádí další základní ruční a mechanizované způsoby výsadby. Při výsadbě je třeba dbát na povrch jamky – nesmí vzniknout ohlazené stěny. Zejména při šterbinové výsadbě je třeba se vyvarovat vzniku vzduchových kapes. Důležitou podmínkou výsadby prostokořenného sadebního materiálu je zabránění deformací kořenového systému. Nově je zaveden požadavek na přidání organické hmoty z okolních humusových horizontů ke kořenům a překrytí kořenového krčku dvěma až čtyřmi centimetry půdy (podle období výsadby, při jarní výsadbě stačí 2 cm, při letní výsadbě by měl být půdní překryv 4 cm). V normě jsou v tab. 5 uvedeny minimální rozměry jamek a šterbin pro výsadbu. Začátek výsadby prostokořenného sadebního materiálu probíhá v době, kdy půda již není zmrzlá nebo rozbředlá a teploty jsou nad +5 °C, konec souvisí

s ukončením dormance sadebního materiálu. Letní výsadba je doporučena pouze pro jehličnaté sazenice (kromě modřínu) po ukončení výškového přírůstu a realizované pouze za vlhkého počasí systémem přímé přesadby (bez možnosti skladování nebo založení). Podzimní výsadba je vhodná jen pro výsadbu listnatého sadebního materiálu s nefunkčním asimilačním aparátem. Zimní výsadba je nepřijatelná (pouze v předjaří je možná výsadba poloodrostků topolů a modřínů). (Jurásek a kol., 2015)

### **3.4. Výsadba krytokořenného sadebního materiálu**

Biologicky nejvhodnější výsadbu krytokořenného sadebního materiálu jamkovou sadbu (Mauer a kol., 2012). Krytokořenný sadební materiál může být označen slovem „plug“. Podle ČSN 48 2116 musí být šířka jamky minimálně o deset centimetrů větší, než je šířka kořenového balu, a o pět centimetrů hlubší, než je výška kořenového balu. Sázečí trny jsou k výsadbě krytokořenného sadebního materiálu nevhodné, přípustné jsou pouze na písčitých nebo silně kamenitých půdách, nebo na rašeliništích. V normě jsou uvedeny další způsoby výsadby v tab. 6.

Důležitou součástí výsadby je umístění kořenového balu do minerální půdy (ale nesmí dojít k vytvoření ohlazených stěn jamky), shora musí být kořenový bal překryt alespoň 2 cm půdy. Je důležité bal utěsnit, aby kolem něj nevznikly vzduchové kapsy. Termíny výsadby krytokořenného sadebního materiálu jsou libovolnější. Není vhodné realizovat výsadbu v období intenzivního přírůstu (nesmí se vysazovat sadební materiál s nevyzrálým přírůstem). Omezení výsadby se týká také těžších půd – tam nelze vysazovat při dlouhotrvajících vydatných srážkách a v období půdního sucha. Dalším omezením je teplota během výsadby, pokud je půda zmrzlá nebo rozbahněná a teplota vzduchu klesne pod -2 °C. Sníh není překážkou, naopak je možné po výsadbě stromky sněhem zahrnout (Jurásek a kol., 2015).

### **3.5. Stres rostlin**

Rostliny jsou v průběhu života vystaveny různým podmínkám vnějšího prostředí, které mohou zpomalovat jejich životní funkce, ale také poškozovat jednotlivé orgány a vést až ke smrti rostliny (Sloup, 2011). Autor také uvádí, že nepříznivé vlivy vnějšího prostředí obvykle označujeme jako stresové faktory (stresory). Rostlina je podle Kincla a Krpeše (2000) otevřenou, dynamickou a heterogenní soustavou, která je v rovnováze. Pokud se rostlina nachází pod vlivem stresorů, její stav je většinou dynamickým komplexem mnoha reakcí, tento stav se souhrnně označuje termínem stres

(Sloup, 2011). Podstata stability otevřeného systému, kterým rostlina je, je schopnost udržovat vlastní dynamickou rovnováhu a vracet se do výchozího rovnovážného stavu bez podstatných změn ve struktuře rostliny, jakmile pomine stresový faktor, který vychýlení otevřeného systému způsobil (Sloup, 2011). Stresorem se může stát celá řada faktorů, nedostatek nebo nadbytek vody, nedostatek kyslíku, mráz, vysoká teplota, působení imisí atd., jakmile stresory svou intenzitou a trváním překročí kapacitu dynamické rovnováhy živého systému, dojde v systému k nevratným a někdy a fatálním změnám (Sloup, 2011).

Existují dva základní okruhy stresorů, abiotické a biotické. Abiotické stresory se dále člení na fyzikální (kam patří mechanické účinky větu, extrémní záření (UV a viditelné), extrémní teploty (horko, mráz)) a chemické (kam řadí nedostatek vody, kyslíku a živin v půdě, nebo nadbytek iontů solí, toxických kovů, organických látek v půdě a toxických plynů ve vzduchu) (Gloser a Prášil, 1998).

### **3.5.1. Reakce rostlin na stres**

Sloup (2011) tvrdí, že bezprostředně po začátku působení stresoru dochází v rostlině k narušení buněčných struktur a funkcí a nazývá tuto fázi poplachovou. Pokud v této fázi nedojde k akutnímu poškození buněk (kolapsu), brzy dojde k mobilizaci kompenzačních mechanismů a rostlina se dostává do restituční fáze (Sloup, 2011). Podle Glosera a Prášila (1998) vedou procesy, které probíhají v restituční fázi, ke zvýšení odolnosti rostliny a ke stabilizaci, díky čemuž se rostlina dostává do fáze rezistence. Pokud ale stresový faktor působí dlouhodobě a intenzivně, rostlina se může dostat do fáze vyčerpání, která je charakteristická chronickým poškozením rostliny (Sloup, 2011). Hlavní příčinou šoku z přesazení je vodní stres (Leugner a kol., 2012). Rostliny na abiotické stresy odpovídají nespécifickou reakcí, navíc většina reakcí probíhá na buněčné či orgánové úrovni a není tedy okem viditelná (Sloup, 2011). Pokud se projeví okem viditelné změny na rostlinách (např. nekrózy na listech), jedná se podle Sloupa (2011) většinou o pokročilá a nevratná stadia působení stresoru. Vzhledem k výše uvedenému je jasné, že stresové faktory působící na rostlinu se sčítají, případně násobí, a proto může i na první pohled bezvýznamná skutečnost významně ovlivnit úspěch umělé výsadby.



### 3.5.2. Teplota jako stresor

Dřeviny patří mezi eurytermní rostliny snášející teploty od  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až po  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přičemž optimální teplota pro většinu dřevin rostoucích u nás se nachází mezi  $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Sloup, 2011). Tyto hodnoty platí pro dřeviny nacházející se v přirozeném prostředí, platí tedy hlavně pro nechráněnou nadzemní část s kořeny chráněnými půdním krytem. Leugner a kol. (2012) uvádějí, že kořeny reagují na stres suchem citlivěji než nadzemní část rostliny. Vysoké teploty mohou způsobit významné škody při výsadbě, kde vlivem slunečního záření dochází k přehřátí půdního povrchu a tím i poškození kořenového krčku a následnému podlamování nebo odumírání semenáčků (Sloup, 2011). Poškození rostlin mrazem je většinou spojeno s krystalky ledu v mezibuněčných prostorech a tím pádem s nedostatkem vody a tedy s dehydratací buněk (Kincl a Krpeš, 2000). Ledové krystalky způsobují téměř vždy neobnovitelné poškození struktur a rychlé odumírání (Gloser a Prášil, 1998). Sloup (2011), Vaněk a kol. (2014) tvrdí, že odolnost rostlin vůči mrazu je založena na schopnosti zabránit vzniku ledu uvnitř buněk a tolerovat jejich dehydrataci, toho rostliny při mírných mrazech dosahují snížením bodu tuhnutí, což je umožněno přítomností osmoticky aktivních látek (cukrů, aminokyselin, polyalkoholů). Mnohem významnější je schopnost rostlin po dlouhou dobu udržovat vodu v tekutém stavu i pod očekávaným bodem tuhnutí (Gloser a Prášil, 1998). Sloup (2011) uvádí, že citlivost dřevin je ovlivněna kromě příslušnosti k určitému taxonu také klimatickými, pedologickými a hydrologickými stanovištními podmínkami.

### 3.5.3. Voda jako stresor

Voda má v ekosystémech velmi rychlý koloběh a její zásoba je v půdě i v rostlinách poměrně malá, vystačí tedy jen na krátkou dobu. Doplnění zásob vody srážkami je náhodné a nepravidelné, což způsobuje i delší periody sucha. Nedostatek vody je hlavním abiotickým faktorem, který omezuje růst a produktivitu rostlin (Gloser a Prášil, 1998). Sucho je způsobeno především poměrem srážek a výparu na stanovišti v určitém období, což znamená, že pokud je množství vypařené vody vyšší, než množství vody srážkové, nastává sucho (Sloup, 2011). Autor dále uvádí, že nedostatek vody má u dřevin vliv na tvorbu biomasy a všechny druhy růstových procesů, limituje absorpci základních živin z půdy, omezuje translokaci metabolitů, zhoršuje možnosti dýchání a fotosyntézy a indukuje biochemické, anatomické i morfologické změny. Vodní potenciál vzduchu je téměř vždy velmi nízký, a proto jsou rostliny při přesazování ohroženy vodním stresem (Gloser a Prášil (1998). Podle Sloupa (2011) listy

a jemné kořeny obsahují v růstovém období kolem 80 % vody. Proto je zapotřebí při přesazování dbát na dormanci rostlin a zabezpečení kořenového systému před vysycháním vlivem nízkého vodního potenciálu volného prostředí. Nejvýraznější reakce na nedostatek vody je dlouhivý růst buněk postižených orgánů, což způsobuje předčasné zastavení růstu těchto orgánů, čímž vznikají tzv. zakrslé rostliny (Kincl a Krpeš, 2000).

V období zimního klidu jsou buňky odolnější, než ve vegetačním období, kdy jsou naopak buňky k vysychání velmi citlivé. Kořenový systém dřevin odolává suchu mnohem hůř než pupeny. Sucho má v prvotní fázi za následek odumírání životně důležitých vlásečnicových kořenů, s čímž souvisí omezení spektra mykorhizních hub. Mykorhiza může pozitivně ovlivňovat stav rostliny a do značné míry eliminovat vliv ostatních stresových faktorů. Řada autorů dospěla k závěru, že existují výrazné rozdíly mezi rostlinou mykorhizní a rostlinou nemykorhizní (Sloup, 2011).

### **3.6. Metody hodnocení**

Při stanovování fyziologické kvality sadebního materiálu je třeba dodržet požadavky na rychlost, přesnost a malou finanční náročnost měření. Požadavek na rychlost je významný především v jarním období, kdy je třeba v krátké době stihnout celou řadu prací, ideální by byla metoda hodnocení, která by měla okamžitou vypovídací hodnotu, v současnosti je však přijatelná hranice 48 hodin na získání informací. Maximální náklady na testování fyziologické kvality jsou 3 % z celkových nákladů na zalesnění (Sarvaš, 2000).

#### **3.6.1. Možnosti zjišťování kvality sadebního materiálu s ohledem na obsah vody dle ČSN 48 2115**

První možností zjišťování kvality sadebního materiálu s ohledem na obsah vody dle normy je zjišťování obsahu vody pomocí elektrických charakteristik kmínku. Zjišťovaným kritériem je elektrický odpor (impedance) nebo vodivost pletiv kmínku. Výhodou je, že výsledky měření jsou získány okamžitě. Metoda je použitelná jak ve školce, tak v laboratoři, a je vhodná pro všechny druhy dřevin. Nevýhodou je malá vypovídací hodnota měření. Pro možnost hodnocení změny vitality rostliny je třeba měření provádět opakovaně.

Druhá možnost zjištění kvality sadebního materiálu je metoda gravimetrická, která posuzuje rozdíl obsahu vody v pletivech před manipulací a v době hodnocení. Výhodou je, že tuto metodu lze použít pro všechny druhy dřevin. Nevýhodou je, že

metoda je použitelná pouze v laboratoři a výsledky jsou známy až po dvou dnech. Navíc je podmínkou znalost hmotnosti „čerstvých“ rostlin.

Třetí možností je metoda tlakové nádoby, tedy hodnocení vodního potenciálu. Kritériem této metody je vizuální zjišťování výronu při zvyšujících se hodnotách tlaku. Měření se provádí tak, že měřená část rostliny je ponořena do tlakové nádoby. Výhodou je možnost použití pro všechny dřeviny a okamžitý výsledek, nevýhodou je v našich podmínkách použitelnost pouze v laboratorních podmínkách. Měření v terénu zatím nebylo důkladně ověřeno v praxi a je velmi nákladné. Navíc přístroje, které toto měření provádějí, nejsou v EU přípustné z bezpečnostních důvodů.

Poslední čtvrtou možností uvedenou v normě je vizuální posouzení desikačních dutinek. Při tomto posuzování se hodnotí tvar a velikost desikačních dutinek a barevné změny na podélném řezu dormantních pupenů. Výhodou je okamžité zjištění výsledků a kromě laboratorního hodnocení možnost měření provést i ve školce. Nevýhodou je omezené využití, metoda je vhodná pro smrk ztepilý a jedli bělokorou, a to zejména po dlouhodobém skladování.

### **3.6.2. Ztráta elektrolytu jako ukazatel fyziologické kvality**

Sarvaš (2000) tvrdí, že možnou metodou k určení fyziologické kvality sadebního materiálu je měření ztráty elektrolytu z kořenového systému. Tato metoda funguje na principu porovnání vodivosti poškozeného a nepoškozeného xylému, existuje velmi těsná korelace mezi ztrátou elektrolytu kořenového vlášení (REL – root electrolyte leakage) smrkových a douglaskových semenáčků a jejich následnou ujímavostí a růstem (Sarvaš, 2000). Autor zdůrazňuje, že dosud chybí jednotná metodika postupu měření, navíc výsledky této metody jsou do značné míry ovlivněny i podmínkami pěstování sadebního materiálu. Vaněk a kol. (2014) využívají měření vodivosti elektrolytu k posouzení poškození asimilačního aparátu rostliny jehličnatých dřevin pozdními mrazíky (SEL – shoot electrolyte leakage), a to v nálevu vytvořeném destilovanou vodou a asimilačním aparátem. Protože je únik elektrolytu z poškozených buněk specifický pro každou hodnocenou rostlinu, je třeba změřit hodnotu elektrolytu u poškozených rostlin a u stejných vzorků zcela destruovaných vysokou teplotou (kdy dochází k maximálnímu úniku elektrolytu z buněk). Porovnáním těchto hodnot se získá míra poškození rostlinného pletiva (Vaněk a kol., 2014). Metoda SEL je prováděna v laboratorních podmínkách a trvá 48 hodin (jsou zapotřebí zkumavky s destilovanou vodou, třepačka, digitální konduktometr a autokláv), a proto je metoda nejčastěji

využívána hlavně k vědeckým účelům, pro provozní praxi se příliš nepoužívá, i když je přesná a přináší exaktně měřitelné výsledky (Vaněk a kol., 2014).

### **3.6.3. Vizualní hodnocení asimilačního aparátu**

Vaněk a kol. (2014): „Poškození asimilačního aparátu rostlin mrazem lze hodnotit jednoduchým vizualním hodnocením, které je v praxi běžně využíváno. Během několika dnů lze pozorovat u poškozených rostlin změnu barvy, kdy se ze zelené stává žlutá až hnědá, kvůli oxidaci fenolů, ke které dochází u rostlinných pletiv poškozených mrazem. Navíc destruované části mají brzy po poškození měkký, vodnatý vzhled.

Pro vizualní vyhodnocení poškození vzorků rostlin mrazem potřebujeme terminální výhony z minimálně šesti rostlin. Ty označíme a zabalíme do balíčku. Balíček sestává z vnější alobalové vrstvy a vnitřní vlhké vrstvy (látka, papírové ubrousky). Balíčky po dobu působení mrazu budou uzavřené jenom z vrchní strany, bočními otvory tak může k vzorkům proudit vzduch. Po provedení mrazového testu jsou balíčky zabaleny úplně tak, aby nedocházelo k vysychání vzorků a navlhčené vrstvy. Pak jsou balíčky ponechány 6 až 7 dní při laboratorní teplotě (cca 21 °C), po uplynutí této doby jsou již plně vyvinuty symptomy poškození částí asimilačního aparátu“.

### **3.6.4. Vizualní hodnocení jemných kořenů**

Steinhübel (1982): „Metoda posouzení obsahu vody je vizualní, je založena na viditelných následcích vysychání jemného rostlinného pletiva. K této metodě je zapotřebí pouze ostrá žiletka a lupa zvětšující 5 × – 20 ×. Na obr. 1 je znázorněn podélný řez terminálním zimním pupenem sazenice smrku v dormantním stavu, který názorně ukazuje nepoškozený dřevňový parenchym. Metoda hodnotí množství a velikost desikačních dutinek, které indikují vysychání. Znázornění jednotlivých fází vývoje desikačních dutinek je vidět na obr. 2.

Využitelnost pomůcky byla testována v laboratoři na kontrolních sazenicích v dobrém fyziologickém stavu a na sazenicích vystavených vysychání. Dále byla určena ztrátovost a ta byla ověřena výsadbou sazenic. Nevýhodou je podmínka přítomnosti vyvrátého zimního pupenu v dormanci. Výsledky ověřovacích pokusů ukázaly, že přítomnost, tvar a rozměry dřevňových dutinek přímo souvisí se stupněm desikace smrkových sazenic. Navíc lze díky této metodě udělat prognózu ujímavosti, pokud bude laboratorně stanoven obsah vody“.

### **3.6.5. Vliv nesprávné manipulace – pokus**

Leugner a kol. (2012) se zabývali vlivem ponechání obnažených kořenů sazenic na jejich fyziologický stav a další vývoj. Byla simulována nesprávná manipulace při výsadbě, a to ponecháním obnažených kořenů sazenic před výsadbou.

„V roce 2011 na jaře byl založen pokus s běžně pěstovanými sazenicemi (pěstební vzorec 1,5 + 2,5, výška 26–35 cm, průměr kořenového krčku 5 mm). Bylo vysazeno šest variant, první bez vysychání, druhá byla vystavena 60 minut vysychání a třetí byla vystavena 120 minut vysychání, na záhon zastíněný a na záhon nechráněný. Z každé varianty bylo před výsadbou odebráno 20 ks sazenic pro laboratorní zjištění obsahu vody odděleně v kořenovém systému a nadzemní části. Jednotlivé sazenice byly zváženy v čerstvém stavu a po vysušení a díky hmotnosti sušiny byl vypočítán obsah vody. Dále bylo prováděno fenologické hodnocení u sazenic vysazených v pokuse. Navíc byl u vysazených sazenic hned po výsadbě a na konci vegetačního období změřen výškový přírůst a průměr kořenového krčku, a na podzim byly navíc vyhodnoceny ztráty a zdravotní stav.

Výsledky pokusu ukázaly, že ztráty vody byly statisticky vysoce průkazné, vysychání kořenů bylo mnohem výraznější. Kořenový systém vysychal 2 × rychleji než nadzemní část. Vysychání sazenic při výsadbě ovlivnilo také průběh rašení, které se zpozdilo. Prostředí po výsadbě (zastíněnost) nemělo na průběh rašení výrazný vliv, na rozdíl od ujímavosti a ztrát. Vliv prostředí spojený s vysycháním se nejvýrazněji projevil u varianty nejdéle vystavené vysychání (120 minut) s následnou výsadbou na osluněnou (nestíněnou) plochu, kde byly ztráty nejvýraznější. Výsledky prokázaly, že expozice sazenic před výsadbou se projevila opožděným rašením pupenů, zvýšením ztrát po výsadbě a významným omezením výškového a tloušťkového přírůstu v prvním roce po výsadbě“.

### **3.6.6. Elektrická vodivost a elektrický odpor částí rostlin**

Vaněk a kol. (2014) popisují princip metody hodnocení odporu, respektive vodivosti poškozených rostlin: „Při mechanickém poškození buněčných membrán mrazovými teplotami dojde k úniku buněčného elektrolytu do mezibuněčných prostor. Čím je větší poškození vzorku, tím menší je odpor, a tím větší je elektrická vodivost vzorku. Protože je míra vodivosti specifická pro každou rostlinu, je možné tuto metodu využít při mrazových testech před vystavením vzorku mrazovým teplotám a pak

po působení mrazu. Výpočtem poměru hodnot vodivosti před a po vystavení mrazu je usuzováno na rozsah poškození rostliny.

Metoda měření odporu či vodivosti je vhodná jak pro celé rostliny, tak pro části rostlin. Pokud je pracováno pouze s částí rostliny, maximální doba skladování je 24 h v teplotě +5 °C. Je zapotřebí mít alespoň 6 označených vzorků. Měření je třeba provádět na vzorcích adaptovaných na laboratorní teplotu (adaptace minimálně jednu hodinu), dle pokynů výrobce přístroje k měření elektrického odporu či vodivosti. Po provedení mrazového testu se měření opakuje až po hodinové adaptaci vzorků na laboratorní teplotu. Poměrem odporu (R) nebo vodivosti (G) vzorku před mrazovým testem a po něm získáme výsledné hodnoty, které nám umožní posoudit míru poškození rostlinných pletiv mrazovými teplotami. Nepoškozené pletivo má hodnotu poměrů  $R1/R2$  a  $G1/G2$  blízkou 1,0, vzrůstající poškození hodnotu  $R1/R2$  (odpor) zvyšuje a hodnotu  $G1/G2$  (vodivost) snižuje“.

### **3.6.7. Fluorescence chlorofylu rostlin**

Vaněk a kol. (2014) uvádí: „Měření fluorescence chlorofylu je známo již poměrně dlouhou dobu, jeho využití v praxi však nedovolovala nedostupnost technického vybavení (vysoká cena a imobilita). V poslední době se však již začaly vyrábět přenosné fluorimetry, které spolehlivě slouží při ambulantním měření v terénu, a proto se nyní jedná o poměrně moderní metodu lesnického výzkumu pro hodnocení fyziologického stavu dřevin. Další výhodou této metody je, že není destruktivní, a proto je využitelná opakovaně na stejných rostlinách. To umožňuje zaznamenat dynamické působení stresorů na konkrétní jednotlivou rostlinu.

Základními fotoreceptory podílejícími se na procesu fotosyntézy jsou fotosynteticky aktivní pigmenty, zejména chlorofyly. Světelná energie dopadající na asimilační aparát je molekulami chlorofylu absorbována, a je využívána ke třem procesům, které si vzájemně konkurují – tedy pokles jednoho procesu znamená nárůst druhého procesu. Prvním procesem je fotosyntéza (fotochemické zhášení), využívající světelné energie u zdravých rostlin asi z 80 %. Asi 15 % je vyzářeno v podobě tepla (nefotochemické zhášení) a zbytek energie je zpětné vyzáření fotonů s vlnovou délkou větší než 650 nm (fluorescenční zhášení, fluorescence chlorofylu). Principem metody je měření fotochemických reakcí fotosyntézy, což nám ukazuje využití světelné energie rostlinou.

Nejčastěji sledovaným parametrem pro vyhodnocení působení stresových faktorů je poměr  $F_v/F_m$ , neboli maximální kvantový výtěžek fluorescence chlorofylu vzorku adaptovaného na tmu. Asimilační orgán po adaptaci na tmu má minimální hodnotu fluorescence  $F_0$ , následně po silném saturačním ozáření se hodnota fluorescence zvýší na maximální hodnotu  $F_m$ . Rozdíl mezi těmito hodnotami je variabilní fluorescence, tedy  $F_v$ . Poměr  $F_v/F_m$  ukazuje přesný odhad fotosyntetické aktivity, je snadno měřitelný a je tedy dobrým ukazatelem fyziologického stavu asimilačního aparátu. Nestresované rostliny mají tuto hodnotu v rozmezí 0,75-0,85, stresovaným rostlinám hodnota tohoto poměru razantně klesá.

Rostlinám je potřeba na dobu 20-40 minut zatemnit asimilační aparát. Přístroj Fluorpen FP 100, který je pro svou kompaktnost a jednoduchost často používaný v lesnické praxi, je dodáván s adaptéry k tomu určenými, tzv. „klipsami“. Tyto klipsy s pohyblivou clonou, která zajišťuje zatemnění a odtemnění části asimilačního aparátu, se nasadí na jehlice výhonu a clona se zatemní. Je důležité do klipsy vložit alespoň tři jehlice, případně celou listovou plochu. Po uplynutí doby zatemnění se na klipsu nasadí měřicí přístroj, odsune se clona, na přístroji se navolí měření parametru  $F_v/F_m$ , změří se a hodnota se zaznamená. Hodnota přímo ukazuje na fyziologický stav rostliny či vzorku. Vzorky zcela destruované mrazovými teplotami mají tuto hodnotu obvykle nulovou“.

#### 4. METODIKA

V pokusu byla simulována výsadba v nepříznivých podmínkách počasí (teplo, sucho). Se sadebním materiálem bylo nesprávně manipulováno, byl ponechán na povrchu půdy různě dlouhou dobu a vystaven vysychání. Poté byl testován na úbytek vody a vysázen. Bylo zjišťováno, která expozice vysycháním je pro rostliny kritická a hodnoceno, kolik rostlin nevhodnou manipulací přežije, a kdy je výsadba ještě perspektivní.

Před zahájením pokusu byly stanoveny základní principy a hypotézy na základě informací z odborné literatury a porady všech zúčastněných pracovníků. Vytipovanými a ověřovanými metodami hodnocení kvality sadebního materiálu byly:

- a. Měření hmotnostního úbytku jemných kořenů při konstantním tepelném stresu;

- b. Měření hmotnostního úbytku kořenových balů;
- c. Měření vlhkosti substrátu kořenových balů;
- d. Měření fluorescence chlorofylu rostlin.

Bylo rozhodnuto o výsadbě sazenic na pokusnou plochu a ověření metod na sazenicích v laboratorních podmínkách.

#### **4.1. Pokusná výsadba**

##### **4.1.1. Materiál**

V roce 2015 byla v pozdním jarním termínu založena pokusná plocha s cílem ověřit reakci sadebního materiálu na stres suchem po různě dlouhou dobu expozice. Výsadba byla provedena 27. 4. 2015 (dosadba krytokořenného sadebního materiálu byla kvůli nutnosti delšího vlivu stresu suchem provedena 28. 4. 2015), při výsadbě byly sazenice hodnoceny ověřovanými metodami. Po pěti týdnech po výsadbě byla pokusná plocha zhodnocena z hlediska vitality a fenologie, byla zhodnocena každá rostlina. Na konci vegetačního období bylo opět provedeno hodnocení všech rostlin z hlediska vitality a fenologie. Pokusná plocha byla hodnocena od 27. 4. 2015 do 18. 9. 2015, pro úplnost bylo u všech rostlin v následující sezóně ověřeno (4. 4. 2016), zda jsou živé, či mrtvé.

Pokusná plocha je v lesní školce Mendelovy univerzity v Brně. Lesní školka se nachází ve Školním lesním podniku (ŠLP) Masarykův les Křtiny (49°15'N, 16°35'E), v polesí Vranov, HS 225, lesní typ 2S4. Lesní školka navazuje na okraj porostu 78 A 12. Výzkumná plocha je oplocená, chráněna před okusem zvěří.

Vybraným sadebním materiálem (SAMA) se stal smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karsten) a buk lesní (*Fagus sylvatica* L.). Poskytovatelem sadebního materiálu byla lesní školka LESCUS Cetkovice s.r.o. Jeden den před výsadbou byl SAMA vyzvednut ze záhonů a sadbovačů a na převoz na místo výsadby byl umístěn do PVC pytlů. V pokusu byl využit prostokořenný i krytokořenný sadební materiál, konkrétně šlo o prostokořenný sadební materiál (PK SAMA) – smrk ztepilý (2+2) a buk lesní (1-1), krytokořenný sadební materiál (KK SAMA) – smrk ztepilý (fv1+v1) a buk lesní (fv1).

Pro pěstování krytokořenného sadebního materiálu smrku ztepilého byly použity sadbovače HIKO V-350, s charakteristikou substrátu:



- Struktura: jemná až střední;
- Složení: bílá rašelina (85 %), perlit 0-6 mm (7 %), cocopeat, gewaschen+gepuffert (8 %);
- Hnojivo: Radigen (100 g/m<sup>3</sup>);
- pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,2 až 4,8 (cílové 4,5);
- Bez smáčedla a vláken.

Pro pěstování krytokořenného sadebního materiálu buku lesního byly použity sadbovače HIKO V-265, s charakteristikou substrátu:

- Struktura: střední;
- Složení: bílá rašelina (70 %), perlit 0-6 mm (5 %), černá rašelina (15 %), cocopeat, gewaschen (10 %);
- Hnojivo: PG-Mix 14/16/18 (0,3 kg/ m<sup>3</sup>), Radigen (100 g/m<sup>3</sup>);
- pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,6 až 5,4 (cílové 5,0);

#### **4.1.2. Metody**

Na pokusné ploše byly použity čtyři ověřované metody, které by mohly sloužit k určení životaschopného sadebního materiálu. Tyto metody byly využity při výsadbě (kromě fluorescence chlorofylu u buku). Navíc byly využity další metody, které hodnotily výsadbu v průběhu vegetačního období a po něm, aby ukázaly, které rostliny jsou vitální a perspektivní.

##### **4.1.2.1. Měření hmotnostního úbytku jemných kořenů při konstantním tepelném stresu**

Nejcitlivějším orgánem sadebního materiálu na stres suchem je kořenový systém, který ztrácí vodu až třikrát rychleji než nadzemní část. Jemné kořeny při vysoušení nejrychleji odumírají. Živá pletiva mají lepší schopnost poutat vodu, a proto živá pletiva nasycená vodou ztrácí vodu pomaleji než mrtvá pletiva.

Tato metoda vychází z předpokladu, že vitální jemné kořeny mají určitý obsah vody v pletivech. Rostliny stresované suchem a tedy s horší vitalitou a ohroženou fyziologií mají tento původní obsah vody snížený. Předpokladem je, že vyšší obsah vody v kořenech při vyvolaném konstantním tepelném stresu způsobí větší hmotnostní úbytek. Principem metody je vyvolat konstantní tepelný stres jemných kořenů a určení

hmotnostního úbytku po přesně stanovené době. Tato metoda vyžaduje zdroj konstantního tepelného stresu, zdroj elektrické energie a přenosnou váhu s přesností na 0,1 g.



Obr. 1: Měření hmotnostního vzorku jemných kořenů pomocí přesné váhy,  
*autorka Houšková, 2015*

Při tomto pokusu byl použit kvalitní fén na vlasy ROWENTA CV3502FO s příkonem 1 600 W a dvěma stupni rychlosti proudění vzduchu, pokus byl prováděn v místě s elektrickou přípojkou. Pro terénní účely lze využít například benzinový agregát nebo měnič elektrické energie přidaný na autobaterii. Vzorky byly váženy na laboratorní váze Ohaus Scout Pro SPU601 do 600g s přesností 0,1 g.

Metoda je destruktivní. Z testovaného sadebního materiálu odstříhneme 4-6 g jemných kořenů (podle stáří sazenic obvykle ze tří až pěti sazenice), takto odebrané jemné kořeny zvážíme, vyvoláme u nich konstantní tepelný stres fénováním ze vzdálenosti 10 cm po určitou dobu a znovu kořeny zvážíme. Konstantního tepelného stresu dosáhneme fémem se stejnými parametry, na stejný stupeň proudění vzduchu a ze stejné vzdálenosti. Podle procentuálního úbytku hmotnosti (vody) lze posoudit stav rostliny. Metoda byla testována na prostokořenném sadebním materiálu. Po ověření je metoda využitelná i pro krytokořenný sadební materiál.



Obr. 2: Působení konstantního tepelného stresu fénováním na vzorek jemných kořenů,  
*autorka Houšková, 2015*

#### **4.1.2.2. Měření hmotnostního úbytku kořenových balů**

Metoda porovnává hmotnost balů před výsadbou a hmotnost balů plně nasycených vodou. Tato metoda je určena pouze pro krytokořený sadební materiál a je destruktivní. Testovaným sazenicím odstříhneme nadzemní část v místě kořenového krčku a zbylý kořenový bal zvážíme. Pak jej ponoříme do vody, po 10 minutách vytáhneme a necháme dalších 10 minut okapat. Po okapání kořenový bal opět zvážíme. Tak zjistíme hmotnost kořenového balu plně nasyceného vodou. Rozdíl hmotností nám ukáže, kolik procent hmotnosti vody bylo v kořenovém balu před výsadbou a máčením. Toto měření by mělo zjistit fyziologický stav rostliny.

K měření hmotnostního úbytku kořenového balu je zapotřebí přenosná váha s přesností na 0,1 g, nádoba na vodu schopná pojmout měřené kořenové baly a zdroj vody.



Obr. 3: Měření hmotnostního úbytku balů v laboratoři, *autorka Lázničková, 2015*

#### 4.1.2.3. Měření vlhkosti substrátu kořenových balů

Tato metoda je určena pouze pro krytokořený sadební materiál, není destruktivní a měřené sazenice se dají bez obav vysadit. Metoda zjišťuje pomocí měřicího přístroje vlhkost substrátu kořenových balů sazenic. Cílem je určit minimální vlhkost substrátu, při které ještě budou vysazené sazenice prosperovat.



Obr. 4: Měření vlhkosti kořenových balů pomocí přístroje WHT 860, *autorka Houšková, 2015*

Vlhkost substrátu kořenového balu byla prováděna pomocí přístroje WHT 860, který je však primárně určen pro měření vlhkosti dřeva. Princip spočívá v měření elektrického odporu mezi elektrodami měřicí sondy. Přístroj měření ihned vyhodnocuje a výsledek je zobrazen v procentech objemové vlhkosti na displeji přístroje.

#### 4.1.2.4. Měření fluorescence chlorofylu rostlin

Tato metoda je nedestruktivní, v době výsadby je však využitelná pouze u stálezelených rostlin (protože výsadba by měla probíhat u dormantního sadebního materiálu, a v tomto stavu listnaté dřeviny nemají listy, a proto fluorescence měřit nelze). Při měření fluorescence je možné opakovaně měřit na stejných rostlinách a prokázat tak působení stresových faktorů (stres suchem, mráz, poškození toxickými faktory či nedostatek živin). Nejčastěji sledovaným parametrem při vyhodnocování měření fluorescence chlorofylu je poměr  $F_v/F_m$ , neboli maximální kvantový výtěžek fluorescence chlorofylu (QY) u vzorku adaptovaného na tmu. V optimálním stavu se hodnota  $F_v/F_m$  pohybuje v rozmezí 0,75-0,85 (u nestresovaných rostlin). Při stresu se tato hodnota výrazně snižuje. Díky tomu nám dává přesnou informaci o stavu asimilačního aparátu rostliny a udává nám poměrně přesný odhad fotosyntetické aktivity.



Obr. 5: Měření fluorescence chlorofylu přístrojem Fluorpen FP 100 pro hodnocení celkové fyziologické kvality sadebního materiálu, *autorka Houšková, 2015*

Pro testování byl použit přístroj Fluorpen FP 100. Měření probíhalo tak, že se na asimilační aparát testované sazenice umístil klip pro zatemnění. Pokud jsou testovány smrky, je vhodné, aby byly v klipu umístěny alespoň tři jehlice. Po 20 až 40 minutách byla přístrojem změřena a zaznamenána hodnota QY ( $F_v/F_m$  – maximální kvantový výtěžek fluorescence).



Obr. 6: Sazenice smrku připravená k odečtu maximálního kvantového výtěžku (QY), fluorpen FP 100, klip pro zatemnění, *autorka Lázničková, 2015*

#### 4.1.3. Průběh výsadby

Sadební materiál byl před výsadbou ponechán bez ochrany před vysycháním položený na povrchu půdy ve stínu v místě výsadby. Sadební materiál byl exponován v časovém harmonogramu uvedeném v tab. 1. Vzhledem k požadavku na zachycení postupného osychání vysazovaných rostlin byla délka expozice volena subjektivně dle aktuálních povětrnostních podmínek. Každý typ sadebního materiálu (tedy smrk prostokořenný, smrk krytokořenný, buk prostokořenný i buk krytokořenný) byl vysazen v kontrolní, tzv. nulté, variantě, ve které byly sazenice vysazeny ihned po vyjmutí z transportních ochranných obalů. Každá vysazená varianta obsahovala 20 ks vysázených rostlin. Bylo vysazeno 180 ks sazenic prostokořenného smrku, 120 ks sazenic krytokořenného smrku, 120 ks sazenic prostokořenného buku a 140 ks semenáčků krytokořenného buku. Celkem tedy bylo vysazeno 300 ks prostokořenného sadebního materiálu a 260 ks krytokořenného sadebního materiálu, v celkovém součtu to činí 560 ks vysazených rostlin na pokusné ploše.



Na pokusné ploše byla v průběhu výsadby a po celou dobu vegetačního růstu sledována teplota a vlhkost vzduchu pomocí čidla Minikin THI.



Obr. 7: Vlhkostní senzor Minikin Thi, zdroj <http://www.emsbrno.cz/>, 2016

Tab. 1: Časový harmonogram výsadby, přehled délky expozice sadebního materiálu

Prostokořenný sadební materiál					Krytokořenný sadební materiál				
Expozice	Smrk ztepilý		Buk lesní		Expozice	Smrk ztepilý		Buk lesní	
	Čas výsadby	Délka expozice (hod)	Čas výsadby	Délka expozice (hod)		Čas výsadby	Délka expozice (hod)	Čas výsadby	Délka expozice (hod)
0	9:00	0,00	9:30	0,00	0	11:30	0,00	11:00	0,00
1	9:45	0,75	10:45	1,25	1	12:15	0,75	14:30	3,50
2	10:10	1,17	12:00	2,50	2	14:00	2,50	11:00*	24,00
3	10:30	1,50	13:00	3,50	3	15:00	3,50	12:30*	25,50
4	11:30	2,50	13:40	4,17	4	16:00	4,50	14:15*	27,25
5	12:15	3,25	14:05	4,58	5	11:30*	24,00	15:15*	28,25
6	12:45	3,75			6			16:15*	29,25
7	14:15	5,25							
8	15:00	6,00							

\* výsadba následující den

Každá varianta vysazovaných rostlin byla při výsadbě hodnocena pomocí ověřovaných metod měření:

- Prostokořenné sazenice smrku a buku podstoupily hodnocení jemných kořenů. Při konstantním tepelném stresu byly zjištěny úbytky hmotnosti (tedy byl zjišťován obsah vody). Při výsadbě každé varianty bylo u 3–5 rostlin odstriženo 4–6 g

jemných kořenů, jemné kořeny pak byly vloženy do drátěné misky se známou hmotností a zváženy. Pak byly jemné kořeny 1 minutu fénovány na první stupeň výkonnosti fénu a opět zváženy. Po zvážení byly jemné kořeny fénovány další minutu na stejný výkon a naposledy zváženy. Jemné kořeny tedy byly zváženy třikrát, při výsadbě dané varianty, po jedné minutě fénování a po druhé minutě fénování. Toto měření bylo realizováno vždy ve třech opakováních.

- Krytokořenný sadební materiál smrku a buku byl hodnocen z hlediska hmotnostního úbytku kořenových balů. Při výsadbě každé varianty byly vybrány tři průměrné rostliny, těm byla odštrihnuta nadzemní část a poté byly kořenové baly zváženy. Na deset minut byly kořenové baly ponechány ve vodě, aby se mohly plně saturovat vodou. Pak byly kořenové baly na dalších deset minut vytaženy a nechány okapat. Po těchto dvaceti minutách byly kořenové baly opět zváženy a tím byla zachycena tendence snižování vlhkosti kořenových balů.

- U krytokořenného sadebního materiálu smrku i buku byla v době výsadby každé varianty měřena vlhkost substrátu přístrojem WHT 860. Vlhkost substrátu byla měřena nedestruktivním způsobem v polovině kořenového balu 1 cm pod povrchem a uprostřed (uvnitř) kořenového balu.

- U všech variant sadebního materiálu smrku (jak krytokořenného, tak prostokořenného) byla změřena hodnota fluorescence chlorofylu hodnotou QY. Pomocí zatemňovacích klipů, které byly nasazeny na minimálně tři jehlice smrkové sazenice (tedy na asimilační aparát), byla po 20-40 minutách odečtena a zaznamenána hodnota QY ( $F_v/F_m$  – maximální kvantový výtěžek fluorescence). Sadební materiál buku byl v dormanci, neměl tedy ještě vytvořen asimilační aparát, a proto nemohla být tato hodnota zjištěna.

#### **4.1.4. Měření po výsadbě**

Všechny rostliny byly po výsadbě třikrát zkontrolovány a změřeny. První měření proběhlo pět týdnů po výsadbě. Druhé měření proběhlo na konci vegetačního období a poslední měření proběhlo před začátkem následujícího vegetačního období (po zimě). Každé měření hodnotilo rostliny z hlediska vitality, první dvě měření byla obsáhlejší.

##### **4.1.4.1. Měření 5 týdnů po výsadbě**

Hodnocení vitality proběhlo u všech rostlin. Hodnotil se celkový stav rostliny a byly rozlišeny tři typy. Prvním typem byla rostlina vitální, která nejevila žádné



známky chřadnutí. Druhým typem byla rostlina chřadnoucí, tento typ vykazoval známky poškození suchem. Tedy zejména barevné změny na asimilačním aparátu, nebo jeho opad. Posledním typem byla rostlina mrtvá, která byla bez funkčního asimilačního aparátu.



Obr. 8: Sazenice smrku: zleva vitální, chřadnoucí, mrtvá, autorka Houšková, 2015

Dalším kritériem byl přírůst terminálu. Pokud byl terminál poškozen, hodnotil se boční přírůst (a tak to bylo i zaznamenáno). Pokud rostlina vůbec nepřiřostla, bylo pouze konstatováno, zda raší, nebo neraší. Rašící rostlina měla pukající pupeny. U všech rostlin smrku a u vyrašených rostlin buku (v případě, že měly listy) byla změřena a zaznamenána fluorescence chlorofylu. V případě poškození rostliny bylo zaznamenáno, o jaké poškození se jedná.

Celkem tedy byla každá rostlina hodnocena podle tří kritérií a bylo zaznamenáno, jestli a jak je rostlina poškozená.

#### 4.1.4.2. Měření na konci vegetačního období

Po ukončení přírůstu byla v každé variantě u všech rostlin měřena vitalita rostlin (rozlišeny byly tři typy – vitální, chřadnoucí a mrtvá, viz výše 4.1.4.1.). Dalším měřením byl přírůst terminálu. U všech rostlin, u kterých to bylo možné (záleželo na asimilačním aparátu), byla změřena fluorescence chlorofylu. Pokud byla rostlina poškozena, bylo zaznamenáno, o jaké poškození se jedná. Další hodnocenou veličinou byla délka nadzemní části, měřená s přesností na 1 mm. Délka byla měřena od země po terminální pupen. Dále byla hodnocena tloušťka kořenového krčku s přesností na 0,1 mm, která se měřila 1 cm nad půdním povrchem. Také byl hodnocený asimilační aparát. U rostlin smrku byla zaznamenána délka tří jehlic uprostřed terminálního

přirůstu. U rostlin buku byla zaznamenána délka a šířka průměrného listu. Rozměry asimilačního aparátu (jehlice, listu) byly měřeny s přesností na 1 mm.

Celkem tedy byla každá rostlina hodnocena podle šesti kritérií a bylo zaznamenáno poškození (pokud byla rostlina poškozená).

#### **4.1.4.3. Měření na počátku druhého vegetačního období**

Poslední sledování pokusných rostlin proběhlo před začátkem další vegetační sezony. Cílem tohoto měření bylo zaznamenat, kolik rostlin přežilo a kolik je mrtvých.

U každé rostliny byla hodnocena pouze vitalita s rozlišením dvou typů – rostlina živá a rostlina mrtvá. Pro rozlišení byl každé rostlině odebrán pupen, který po rozloupnutí byl buď úplně suchý a indikoval tedy rostlinu mrtvou, nebo byl vevnitř zelený a připravený na následující vegetační období a indikoval tak rostlinu živou.

## **4.2. Laboratorní pokus**

Aby bylo možné ověřit funkčnost metod zjišťujících fyziologické kvality sadebního materiálu, bylo nutné realizovat laboratorní pokus. Díky tomu bylo možné ověřit, jak reagují jemné kořeny smrku a buku na špatnou manipulaci, která má za následek neúměrné vysychání jemných kořenů. Navíc bylo zkoumáno, jakým způsobem je nejvhodnější působit na jemné kořeny, aby bylo možné reakci jemných kořenů na konstantní tepelný stres interpretovat. Jemné kořeny tedy byly vystaveny rovnoměrnému stresu suchem a v různých časových odstupech byla jejich reakce zaznamenána a následně byly tyto hodnoty porovnány. Všechny vzorky byly nakonec umístěny v sušárně a vysoušeny do konstantní hmotnosti vzorku. Tato hmotnost určuje sušinu vzorku. Po odečtení sušiny od počáteční hmotnosti vzorku získáme obsah vody ve vzorku, který lze porovnat s ostatními výsledky.

Laboratorní pokus měl za úkol porovnat výsledky různých variant, proto byl v červenci uskutečněn tento pokus na výsadby schopném sadebním materiálu.

### **4.2.1. Prostokořenný sadební materiál**

V laboratorním pokusu bylo využito prostokořenného sadebního materiálu dvou odlišných dřevin. Prvním z nich je smrk ztepilý, druhým buk lesní. Tyto dřeviny byly zvoleny kvůli jejich využití při pokusné výsadbě na jaře téhož roku.

Rozdílné podklady poskytla různá délka expozice vysycháním. Sadební materiál byl stresován suchem 0, 1, 2 a 3 hodiny. Po tuto dobu byl sadební materiál uložen

v inkubátoru, kde byla přesně nastavena teplota vzduchu, která rovněž umožnila dvě odlišné varianty – exponování při 15 °C a při 20 °C. Díky inkubátoru byly zajištěny srovnatelné podmínky expozice pro všechny varianty pokusu.

Pro podchycení reakcí kořenového systému sadebního materiálu máčeného těsně před výsadbou byla při laboratorním pokusu rovněž zvolena varianta namočení kořenového systému na 10 minut do vody a poté byl 10 minut nechán okapat. Až po máčení a okapání byly odštířeny a testovány jemné kořeny. Naproti tomu byl testován kořenový systém rostlin vystavených pouze expozici, po které byly ihned odebrány a testovány jemné kořeny.

Různá intenzita konstantního tepelného stresu mohla napomoci odhalit nejvhodnější metodu ověřování výsadbyschopnosti sadebního materiálu. Proto byly jemné kořeny testovány různou intenzitou fénování. Rozdíl mezi 1. a 2. stupněm fénu spočíval v odlišné teplotě a rychlosti proudícího vzduchu působícího na jemné kořeny. Ze stejného důvodu byla zvolena i různá délka fénování. Jemné kořeny byly po každém fénování váženy. Délka fénování jemných kořenů byla 0, 1, 2, 3, 4 a 5 minut.

Pro určení správné hmotnosti jemných kořenů byla zvolena různě velká navážka, první variantou bylo cca 25 g, druhou variantou bylo cca 2 g.

Přehled variant:

- Dřevina: smrk ztepilý, buk lesní;
- Délka expozice vysýcháním: 0, 1, 2, 3 hod;
- Teplota vzduchu při expozici: 15 °C, 20 °C;
- Ovlivnění kořenového systému máčením ve vodě po expozici před odběrem jemných kořenů: nemáčen, máčen;
- Intenzita konstantního tepelného stresu (teplota a rychlost proudění vzduchu): stupeň fénování 1, stupeň fénování 2;
- Délka fénování: 0, 1, 2, 3, 4, 5 min;
- Velikost navážky: 2 g, 25 g.

#### **4.2.1.1. Průběh měření**

Po exponování rostlin (případně po jejich namočení a okapání) byl z několika kusů odštířnut vzorek jemných kořenů dle velikosti navážky. Jemné kořeny byly umístěny do drátěné misky o známé hmotnosti a zváženy. Pak byl vzorek vystaven konstantnímu tepelnému stresu fénováním a v jednotlivých variantách vážen. U všech

vzorků jemných kořenů byla po ukončení tepelného stresu zjištěna počáteční vlhkost. Počáteční vlhkost byla zjištěna pomocí hmotnosti sušiny vzorků.

#### 4.2.2. Krytokořenný sadební materiál

V laboratorních podmínkách bylo cílem určit, jak rychle vysychají kořenové baly různých velikostí při odlišné teplotě. Vzhledem k mnoha okolnostem krytokořenného sadebního materiálu není možné pouze pomocí měření hmotnostního úbytku kořenových balů jednoduše zjistit, jaké je již neúnosné vysychání při manipulaci. Záleží samozřejmě na počáteční vlhkosti balů, na jejich velikosti a na typu substrátu. To znamená, že je zapotřebí realizovat více testů a jejich výsledky upřesnit v dalších letech.

V rámci této diplomové práce byly testovány krytokořenné semenáčky buku lesního. Semenáčky pocházely z lesní školky LESCUS Cetkovice s.r.o., pěstební substrát pocházel od firmy Gramoflor (střední struktura; složení: bílá rašelina (70 %), černá rašelina (15 %), gewaschen (10 %), perlit 0-6 mm (5 %), cocopeat; hnojivo PG Mix 14/16/18 (0,3 kg/m<sup>3</sup>), Radigen (100 g/m<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,6 až 5,4 – cílové 5,0). Rozdílnými parametry byla velikost kořenových balů (265 ml a 1 200 ml), teplota při exponování balů v inkubátoru (20 °C, 25 °C a 30 °C) a délka expozice (první měření po exponování proběhlo po 0,5 h, další 1-29 h po exponování, poslední byla měřena sušina vzorků).

Byl ověřován způsob zjišťování vlhkosti kořenových balů pomocí čidla WHT 860 v kořenových balech o velikosti 4x4x15 cm (265 ml) se substrátem uvedeným výše pro buk lesní. To bylo zajištěno různými způsoby zasunutí čidla do kořenového balu. Měření proběhlo v různých variantách – čidlo zasunuté shora, zespodu, z boku na povrchu nahoře, uprostřed a dole, z boku 1 cm pod povrchem nahoře, uprostřed a dole a do zhutněného substrátu kořenového balu.

Přehled variant:

- Velikost kořenových balů: 265 ml, 1 200 ml;
- Teplota při expozici: 20 °C, 25 °C a 30 °C;
- Délka expozice: 0, ½, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 22, 23, 24, 25 a 26 h + určení sušiny;

- Umístění čidla WHT 860 vůči kořenovému balu: čidlo zasunuté shora, zespondu, zboku na povrchu nahoře, uprostřed a dole, zboku 1 cm pod povrchem nahoře, uprostřed a dole, do zhutněného substrátu kořenového balu + určení sušiny.

#### 4.2.2.1. Průběh měření

Nadzemní část rostlin byla odstřižena v místě kořenového krčku. Kořnové baly byly zváženy a umístěny do inkubátoru, kde byly exponovány vysychání ve stanovených podmínkách. V určitých časových intervalech byly kořnové baly opět váženy. Po ukončení exponování byla zjištěna sušina všech kořnových balů.

Druhým měřením bylo měření vlhkosti pomocí přístroje WHT 860. Testovaným rostlinám byla odstřižena nadzemní část a kořnový bal byl v čerstvém stavu zvážen. Poté byla pomocí čidla změřena vlhkost substrátu kořnového balu v určených místech. Všechny baly pak byly vysušeny v sušárně a byla zvážena jejich sušina pro určení počáteční vlhkosti kořnových balů.



Obr. 9: Vážení kořenového balu v laboratoři po exponování při 20 °C,  
*autorka Lázničková, 2015*

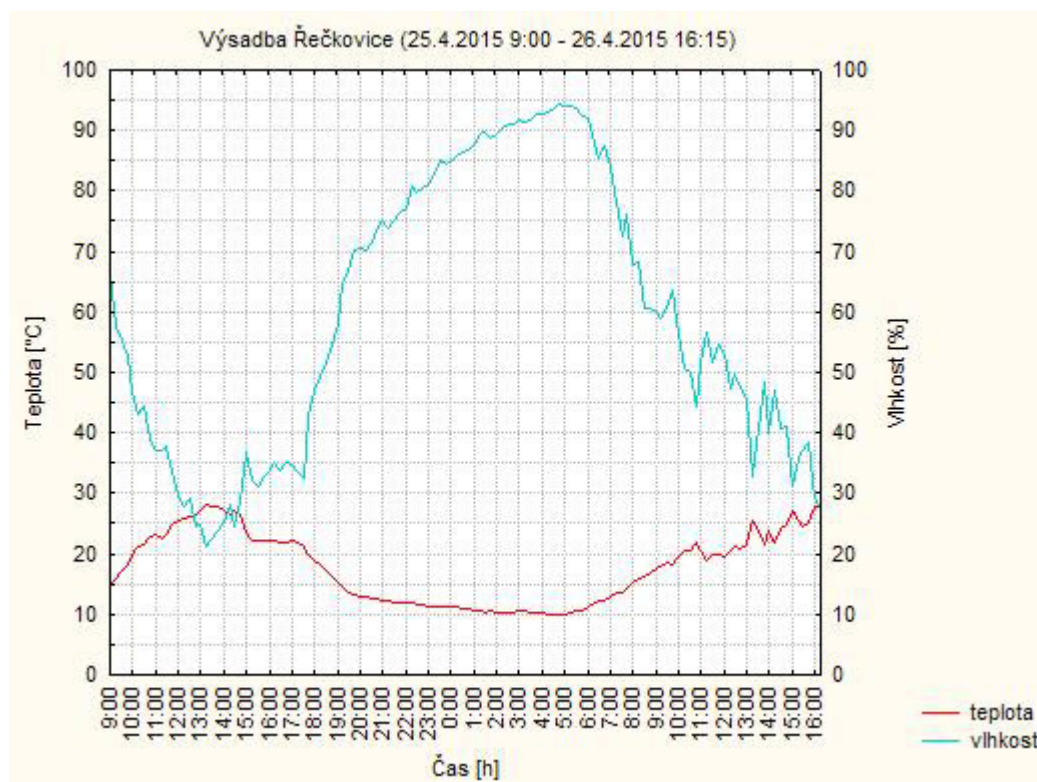
Všechna získaná data byla zpracována v programu Microsoft Excel a Statistica. Srovnání morfologických parametrů a fluorescence chlorofylu bylo provedeno pomocí jednofaktorové ANOVY s post-hoc Fisherovým testem, případně neparametrickým Kruskal-Wallis testem.

Práce byla vypracována v rámci projektu QJ1520080 „Optimalizace umělé obnovy lesa v České republice“, s cílem vypracovat nové postupy a systémy opatření v lesním hospodářství na podporu odolnosti při zalesňování vůči extrémním vlivům počasí a klimatickým změnám s dobou aplikovaného výzkumu 4 roky (2015–2018.).

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1. Klimatické podmínky

Teplotní a vlhkostní podmínky během pokusné výsadby v Řečkovících v roce 2015 jsou uvedeny na obr. 10. Teplota první den výsadby stoukala až k 28 °C, zatímco vlhkost vzduchu klesala k 20 %. Přes noc (od 19:00 do 8:00) teplota klesala pod 15 °C, zatímco vlhkost stoukala k 95 %. Druhý den teplota opět stoukala k 28 °C, zatímco vlhkost klesala pod 30 %.



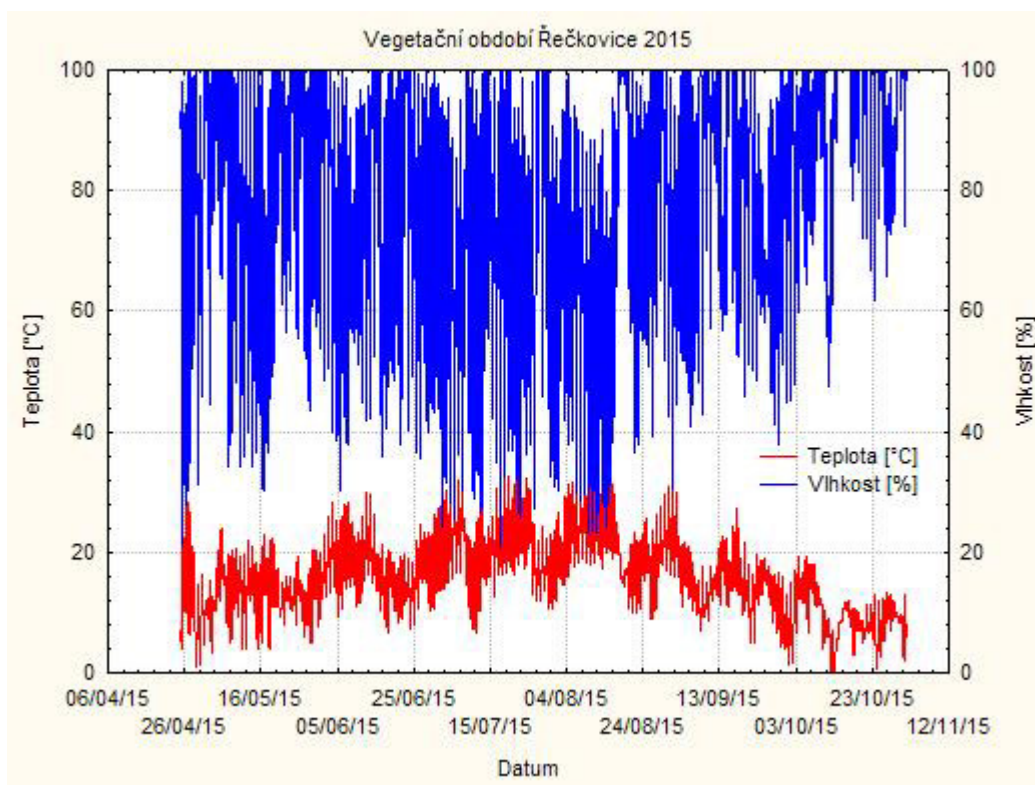
Obr. 10: Teplota a vlhkost vzduchu v době výsadby (25.4.2015 – 26.4.2015)

Počasí v průběhu vegetačního období roku 2015 bylo pro výsadby nepříznivé. Jak je vidět na obr. 11, teplota vzduchu se opakovaně po několik dní držela kolem 30 °C, naopak vlhkost v těchto dnech klesala k 20 %, vyšší nárůst vlhkosti lze zaznamenat až na konci srpna.

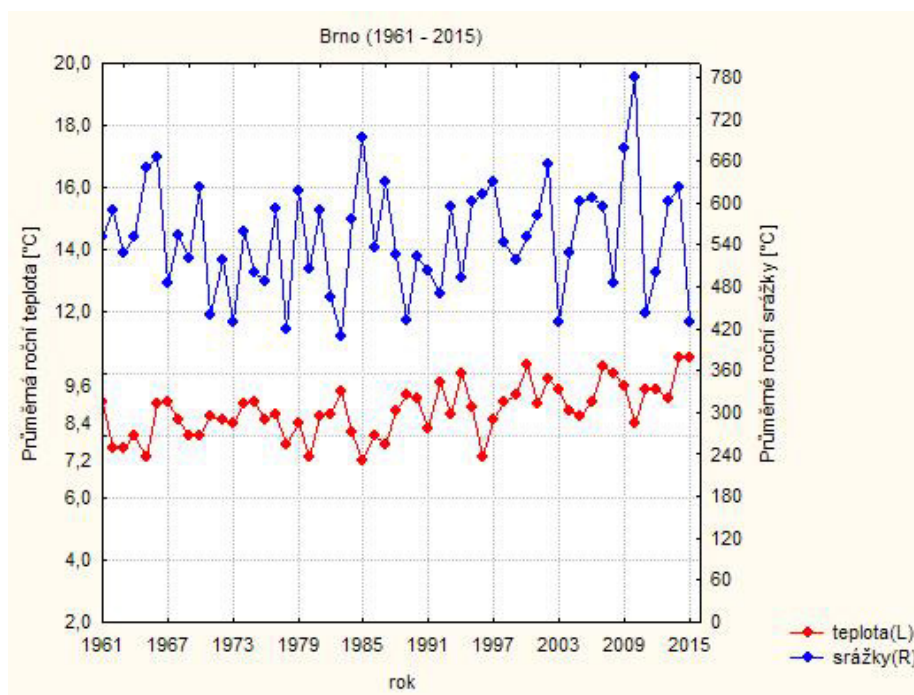
Při srovnání dlouhodobého průměru teploty z období 1961–2015 na obr. 12 je možné konstatovat, že rok 2015 byl v průměru teplejší a sušší, než většina ostatních let. Jak uvádí ČHMÚ (2016), průměrná teplota v roce 2015 byla v Brně 10,5 °C, zatímco dlouhodobý teplotní normál je 8,3 °C. Dlouhodobý srážkový normál



ve sledovaném období (1961 – 2015) je 543 mm, ale v roce 2015 byl pouhých 430 mm, jak je uvedeno na ČHMÚ (2016).



Obr. 11: Teplota a vlhkost ve vegetačním období 2015 na výzkumné ploše Řečkovice



Obr. 12: Základní klimatické charakteristiky pro Brno v letech 1961 – 2015, zdroj ČHMÚ, 2016

## 5.2. Porovnání vitality a morfologických znaků výsadby

Expozice vysýcháním před výsadbou měla vliv na průběh rašení rostlin a na jejich vitalitu a úmrtnost (tab. 2, 3, 4 a 5).

Tab. 2: Průběh rašení a vitalita prostokořenného sadebního materiálu smrku ztepilého

		Typ SAMA		Prostokořenný SM							
		Délka expozice [h]		0,00	0,75	1,17	1,50	2,50	3,25	3,75	5,25
5 týdnů po výsadbě	podíl sazenic v %	rašící	100	100	100	100	95	100	100	55	35
		nerašící	0	0	0	0	5	0	0	45	65
		vitální	100	100	90	90	95	95	95	45	5
		chřadnoucí	0	0	10	10	0	5	5	10	50
		mrtvé	0	0	0	0	5	0	0	46	45
Konec veget. období	podíl sazenic v %	vitální	95	55	50	40	50	45	65	5	0
		chřadnoucí	0	10	5	0	10	10	15	0	0
		mrtvé	5	35	45	60	40	45	20	95	100
Poč. 2. veget. období	podíl sazenic v %	živé	95	55	55	40	50	55	80	5	0
		mrtvé	5	45	45	60	50	45	20	95	100

Tab. 3: Průběh rašení a vitalita prostokořenného sadebního materiálu buku lesního

		Typ SAMA		Prostokořenný BK				
		Délka expozice [h]		0,00	1,25	2,50	3,50	4,17
5 týdnů po výsadbě	podíl sazenic v %	s listy	100	100	100	95	85	30
		rašící	0	0	0	5	0	0
		nerašící	0	0	0	0	15	70
		vitální	100	100	100	100	85	30
		mrtvé	0	0	0	0	15	70
Konec veget. období	podíl sazenic v %	vitální	90	75	65	60	75	5
		chřadnoucí	10	10	5	10	15	35
		mrtvé	0	15	30	30	10	60
Poč. 2. veget. období	podíl sazenic v %	živé	80	75	70	65	80	30
		mrtvé	20	25	30	35	20	70



Tab. 4: Průběh rašení a vitalita krytokořenného sadebního materiálu smrku ztepilého

		Typ SAMA	Krytokořenný SM					
		Délka expozice [h]	0,00	0,75	2,50	3,50	4,50	24,00
5 týdnů po výsadbě	podíl sazenic v %	rašící	100	100	100	100	100	95
		nerašící	0	0	0	0	0	5
		vitální	100	100	100	100	100	85
		chřadnoucí	0	0	0	0	0	15
		mrtvé	0	0	0	0	0	0
Konec veget. období	podíl sazenic v %	vitální	30	40	55	40	20	15
		chřadnoucí	35	10	15	10	5	10
		mrtvé	35	50	30	50	75	75
Poč. 2. veget. období	podíl sazenic v %	živé	30	40	60	45	25	20
		mrtvé	70	60	40	55	75	80

Tab. 5: Průběh rašení a vitalita krytokořenného sadebního materiálu buku lesního

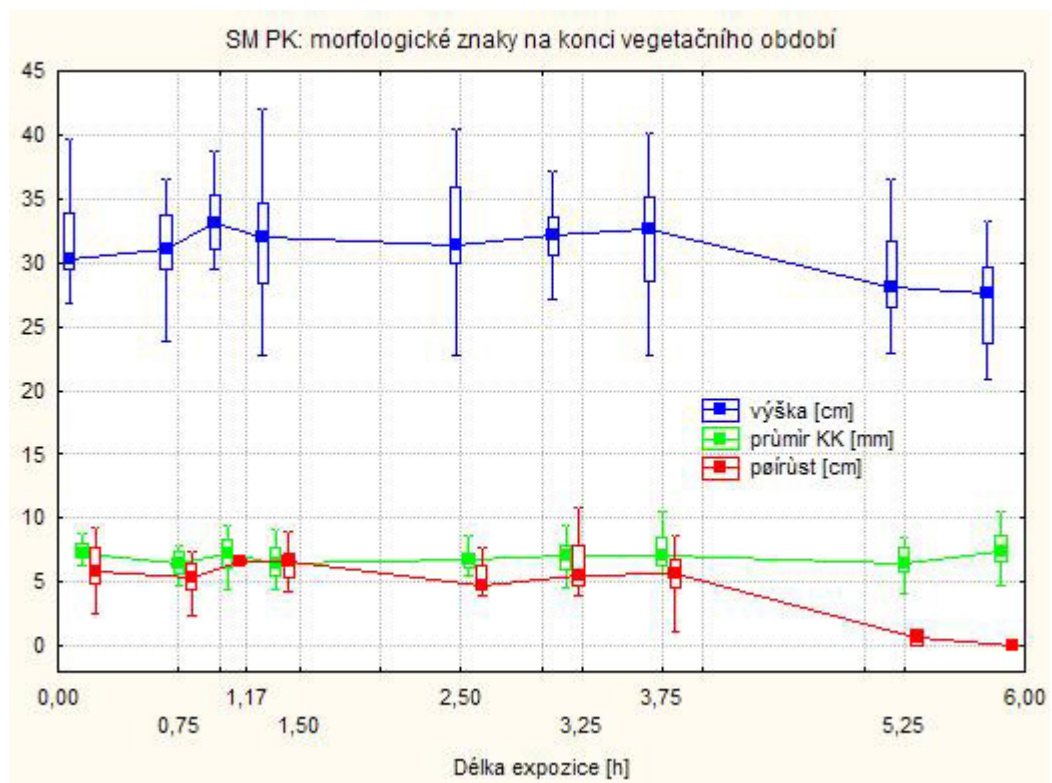
		Typ SAMA	Krytokořenný BK						
		Délka expozice [h]	0,00	3,50	24,00	25,50	27,25	28,25	29,25
5 týdnů po výsadbě	podíl sazenic v %	s listy	100	95	85	60	75	60	15
		rašící	0	0	0	0	0	0	85
		nerašící	0	5	15	40	25	40	40
		vitální	100	95	85	60	75	60	60
		mrtvé	0	5	15	40	25	40	40
Konec veget. období	podíl sazenic v %	vitální	0	0	5	5	10	0	0
		chřadnoucí	90	15	10	0	15	10	5
		mrtvé	10	85	85	95	75	90	95
Poč. 2. veget. období	podíl sazenic v %	živé	40	15	10	5	20	5	5
		mrtvé	60	85	90	95	80	95	95

V tab. 2–5 jsou neperspektivní varianty označeny žlutou barvou. Ztráty, které u těchto variant nastaly po výsadbě, jsou v lesnické praxi neakceptovatelné. U prostokořenných variant se poškození projevilo již při měření po pěti týdnech. Všechny krytokořenné varianty se jeví 5 týdnů po výsadbě jako perspektivní, rostliny přirůstaly bez známek poškození, na konci vegetačního období byly varianty smrku s expozicí 4,5 h a 24 h a všechny exponované varianty buku (expozice 3,5 h až 29,25 h) z velké části poznamenány známkami chřadnutí nebo byly rostliny mrtvé.

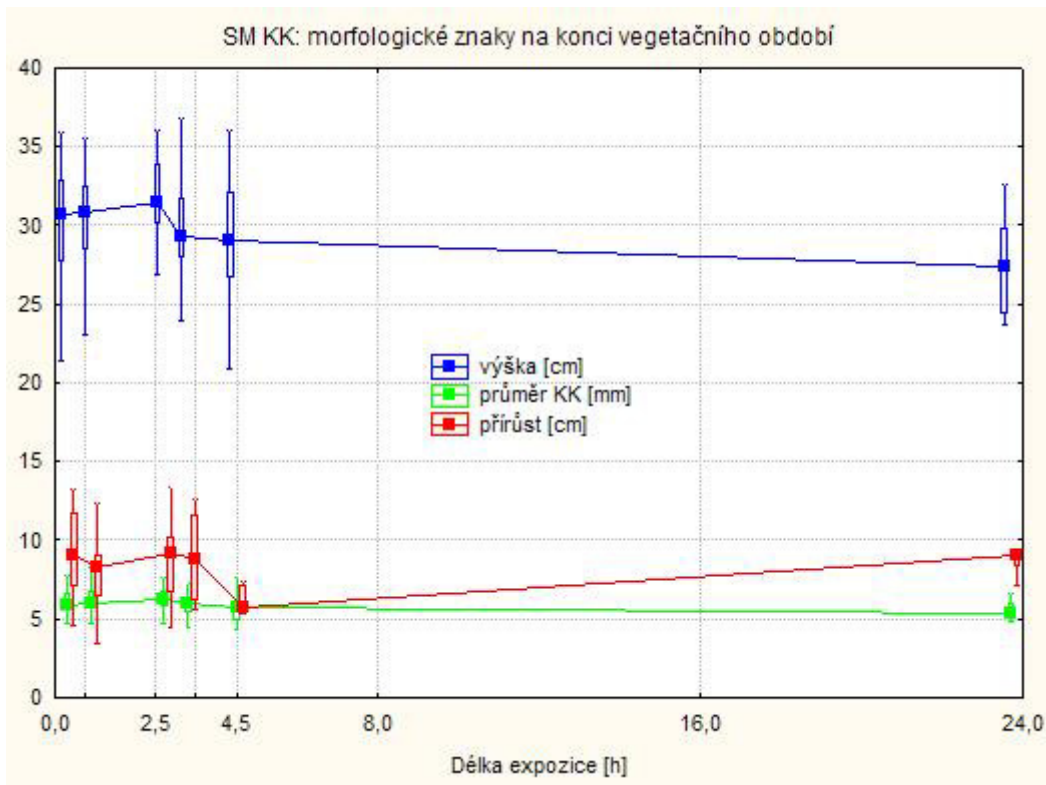
Na pokusných plochách je možno za hlavní příčinu chřadnutí a ztrát označit manipulaci a extrémní sucho, protože plochy jsou chráněny proti zvěři a buření.

Porovnání základních morfologických charakteristik na konci vegetačního období ukázalo na statisticky významné rozdíly ve výškovém přírůstu smrku a buku,

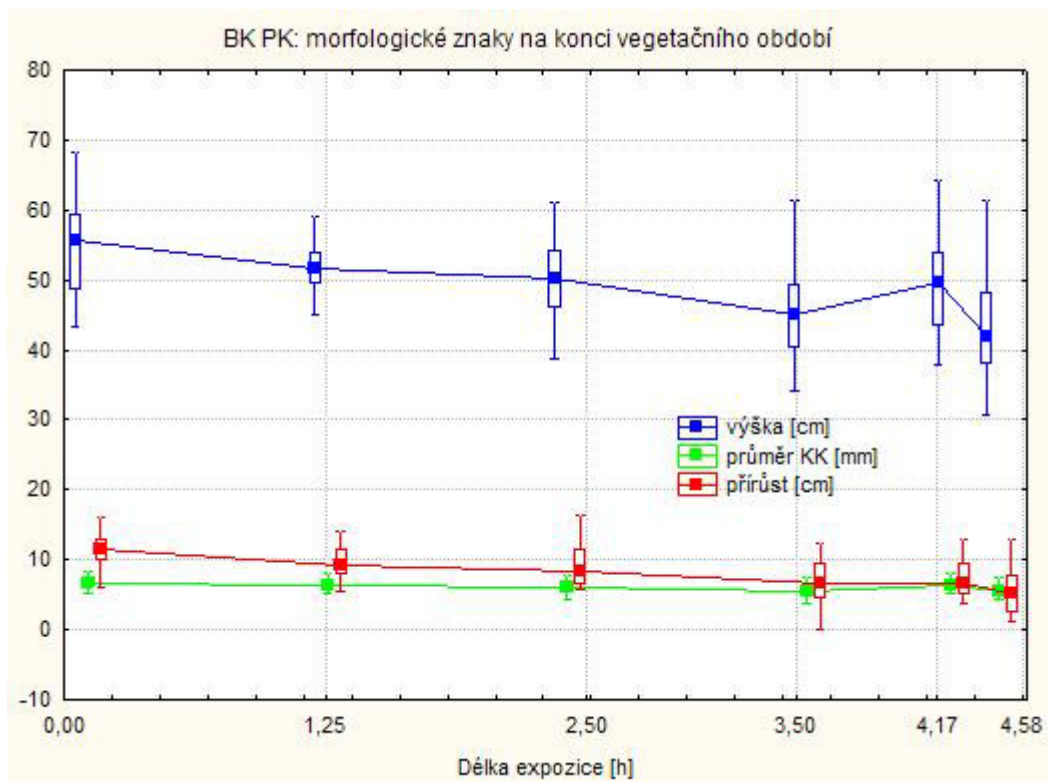
při použití jak prostokořenného, tak krytokořenného sadebního materiálu. Prostokořenný smrk (obr. 12) na expozici do 1 h (bez expozice a s expozicí 0,75 h) nereagoval sníženým přírůstem, jeho přírůst byl 5 až 7 cm, a tato expozice tedy neměla na přírůst statisticky významný vliv. Delší expozice délku přírůstu snižovaly o zhruba 2 až 4 cm, při expozici delší než 4 hodiny rostliny nepřirůstaly téměř vůbec, což je možné pozorovat na celkové výšce rostlin, která je u nejvíce stresovaných rostlin výrazně nižší než u ostatních variant. Krytokořenný smrk (obr. 13) při expozicích do 4 hodin nevykazuje výrazné omezení přírůstu (taková expozice neměla na výškový růst vliv), ale při expozici nad 4 hodiny začínají rostliny vykazovat minimální přírůst a snižují výšku výsadby. Prostokořenný a krytokořenný buk (obr. 14, 15) prospíval ve variantě bez expozice, expozicemi stresované varianty měly statisticky významně snížený přírůst. Minimální přírůst byl u prostokořenného buku zaznamenán ve variantě s expozicemi nad 4,5 h. Krytokořenný buk nepřirůstal ani při nejkratší, 3,5 hodinové expozici.



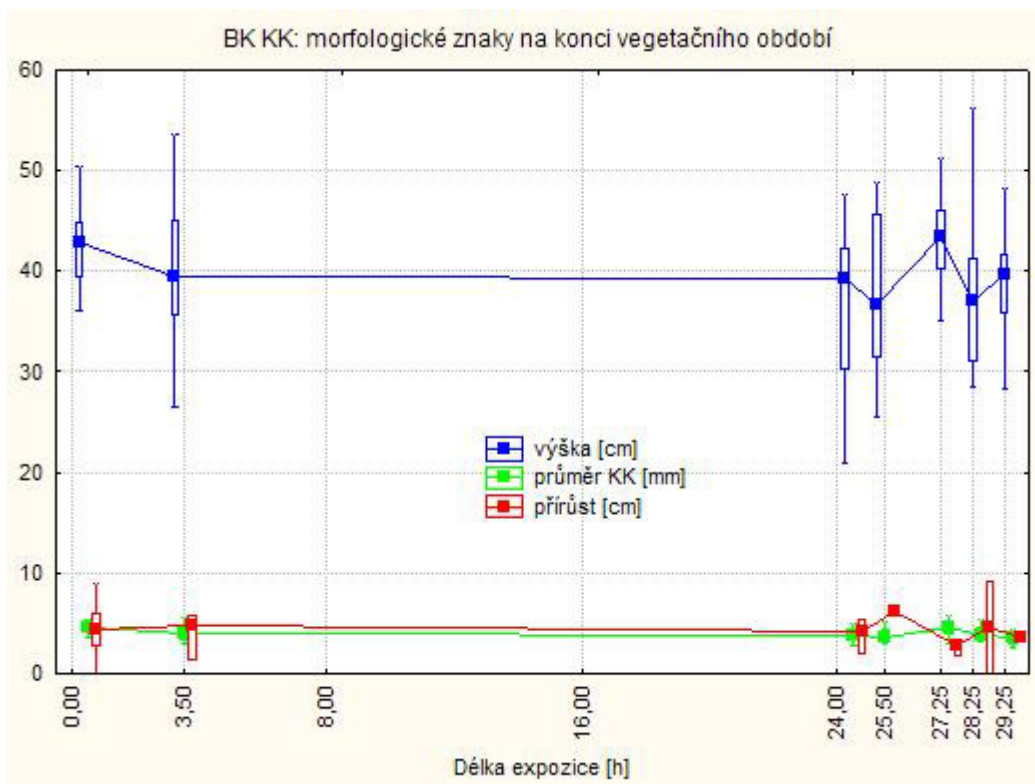
Obr. 12: Morfologické znaky prostokořenného smrku ztepilého na konci 1. vegetačního období po výsadbě s různou délkou expozice vysycháním před sadbou



Obr. 13: Morfologické znaky krytokořenného smrku ztepilého na konci 1. vegetačního období po výsadbě s různou délkou expozice vysycháním před sadbou

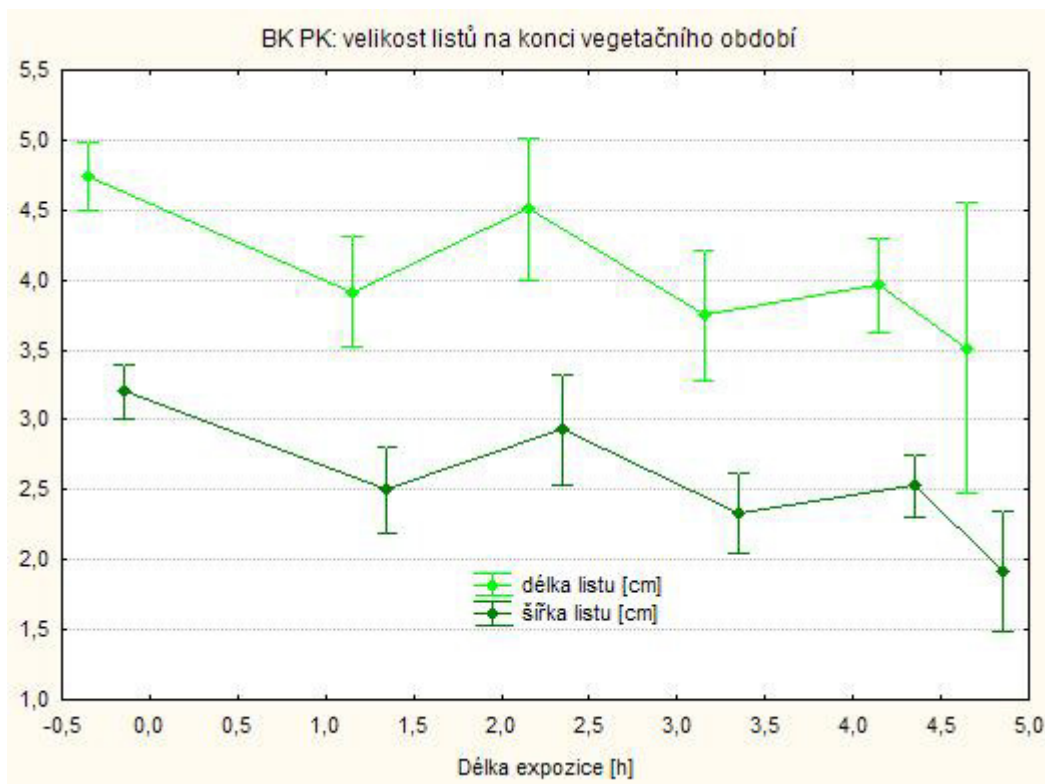


Obr. 14: Morfologické znaky prostokořenného buku lesního na konci 1. vegetačního období po výsadbě s různou délkou expozice vysycháním před sadbou



Obr. 15: Morfologické znaky krytokořenného buku lesního na konci 1. vegetačního období po výsadbě s různou délkou expozice vysycháním před sadbou

Tloušťka kořenového krčku rostlin nebyla v prvním roce výsadby délkou expozice suchem před výsadbou statisticky významně ovlivněna. Délka jehlic smrku nebyla délkou expozice ovlivněna ( $p > 0,05$ ), ale suchem stresované buky vytvářely prokazatelně menší listy (obr. 16).



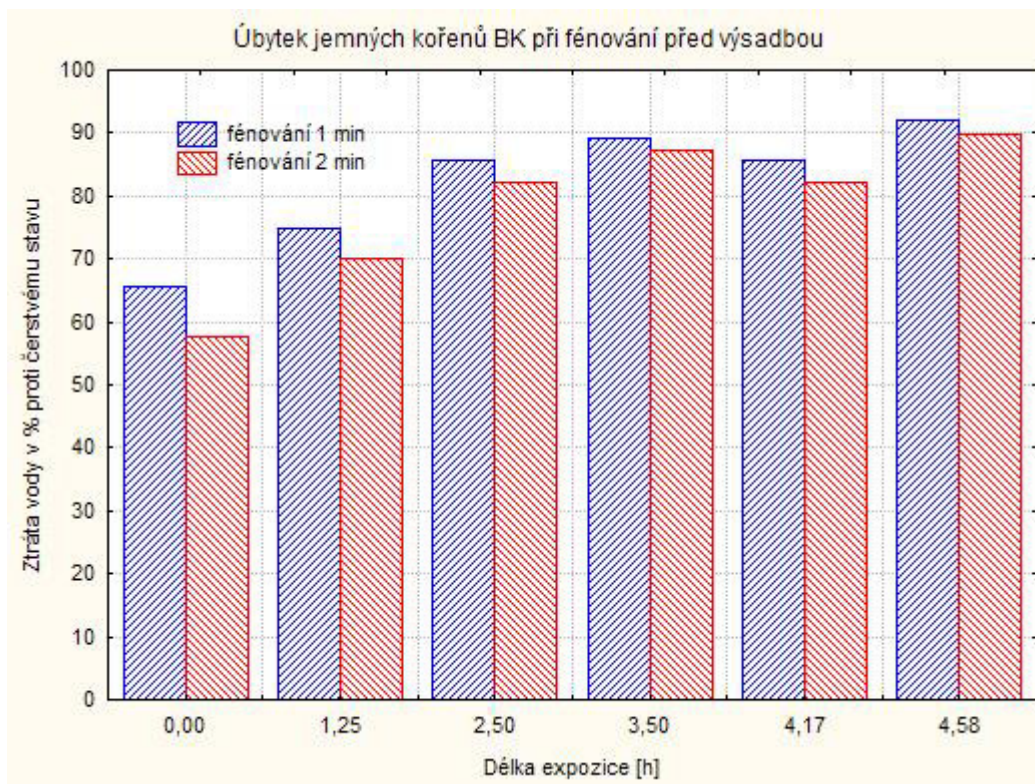
Obr. 16: Velikost listu prostokořenného buku lesního na konci 1. vegetačního období po výsadbě s různou délkou expozice vysycháním před sadbou

### 5.3. Měření hmotnostního úbytku jemných kořenů

Výsledky měření (tab. 6) ukazují spojitost mezi délkou expozice suchem vzorku a ztrátou vody při působení konstantního tepelného stresu. Čím delší je působení expozice suchem před testem, tím nižší je ztráta vody po fénování jemných kořenů.

S ohledem ke ztrátám (do 10 % dle tab. 2 a 3) je možné považovat za perspektivní pouze varianty smrku a buku bez expozice před výsadbou, jak je vyznačeno zeleně v tab. 6. Jsou to varianty, kde jemné kořeny smrku i buku ztratily působením konstantního tepelného stresu nejvíce vody.





Obr. 17: Hmotnost jemných kořenů buku lesního v průběhu fénování (% hmotnosti čerstvých kořenů) před výsadbou (průměr ze tří opakování)

Tab. 6: Hmotnost jemných kořenů rostlin v průběhu fénování (% hmotnosti čerstvých kořenů) před výsadbou (průměr ze tří opakování)

SM PK - fénování při výsadbě				BK PK - fénování při výsadbě			
Délka expozice [h]	Hmotnost jemných kořenů (%)			Délka expozice [h]	Hmotnost jemných kořenů (%)		
	čerstvé kořeny	po 1 min fénování	po 2 min fénování		čerstvé kořeny	po 1 min fénování	po 2 min fénování
0,00	100,0	73,7	62,7	0,00	100,0	65,5	57,7
0,75	100,0	86,2	78,9	1,25	100,0	74,9	70,1
1,25	100,0	84,3	78,6	2,50	100,0	85,7	82,3
1,50	100,0	83,5	77,3	3,50	100,0	89,2	87,1
2,50	100,0	85,6	78,4	4,25	100,0	85,7	82,0
3,25	100,0	82,6	75,4	4,50	100,0	92,2	89,9
3,75	100,0	85,8	78,0				
5,25	100,0	90,2	87,8				
6,00	100,0	93,1	90,4				

Tab. 7: Hmotnost jemných kořenů smrku ztepilého v průběhu fénování (% hmotnosti čerstvých kořenů) v laboratoři (průměr ze tří opakování)

Délka a teplota vysychání	Máčení před fénováním	Intenzita fénování	Délka fénování				
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
Bez expozice	ne	I. stupeň fénu	3%	4%	5%	5%	6%
	ne	II. stupeň fénu	4%	5%	6%	7%	8%
	ano	I. stupeň fénu	4%	8%	10%	12%	13%
	ano	II. stupeň fénu	7%	12%	15%	17%	19%
1 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	2%	2%	3%	3%	3%
	ne	II. stupeň fénu	3%	4%	5%	6%	6%
	ano	I. stupeň fénu	3%	6%	8%	9%	11%
	ano	II. stupeň fénu	4%	7%	7%	8%	9%
2 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	1%	2%	3%	3%	4%
	ne	II. stupeň fénu	2%	3%	4%	5%	5%
	ano	I. stupeň fénu	4%	6%	9%	11%	12%
	ano	II. stupeň fénu	7%	12%	15%	16%	17%
3 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	2%	2%	2%	3%	3%
	ne	II. stupeň fénu	2%	3%	4%	4%	5%
	ano	I. stupeň fénu	4%	6%	8%	10%	11%
	ano	II. stupeň fénu	5%	7%	8%	9%	10%
1 h expozice při 20 °C	ne	I. stupeň fénu	2%	3%	4%	4%	5%
	ne	II. stupeň fénu	3%	4%	5%	5%	6%
	ano	I. stupeň fénu	2%	4%	6%	7%	8%
	ano	II. stupeň fénu	4%	6%	7%	8%	9%
2 h expozice při 20 °C	ne	I. stupeň fénu	2%	2%	3%	3%	4%
	ne	II. stupeň fénu	2%	2%	3%	3%	3%
	ano	I. stupeň fénu	3%	5%	7%	8%	9%
	ano	II. stupeň fénu	4%	7%	8%	9%	10%

Po první minutě fénování dosáhly jemné kořeny smrku asi 74 % počáteční vlhkosti, u buku to bylo asi 65 % počáteční vlhkosti. Po druhé minutě fénování dosáhly jemné kořeny asi 63 % počáteční vlhkosti a u buku asi 58 % počáteční vlhkosti. Pokud byla ztráta vody z jemných kořenů menší, vedlo to k nepřijatelným ztrátám po výsadbě (> 10 % dle tab. 2, 3). Úplně nevyhovující varianty jsou ty, kde došlo po výsadbě k větším než 80 % ztrátám (tab. 2, 3). Tyto varianty jsou v tab. 6 vyznačeny žlutě. V těchto variantách ztratily jemné kořeny při fénování po jedné minutě do 10 % počáteční vlhkosti a po druhé minutě do 13 % počáteční vlhkosti.

Tab. 8: Hmotnost jemných kořenů buku lesního v průběhu fénování (% hmotnosti čerstvých kořenů) v laboratoři (průměr ze tří opakování)

Délka a teplota vysychání	Máčení před fénováním	Intenzita fénování	Délka fénování				
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
Bez expozice	ne	I. stupeň fénu	7%	10%	13%	14%	15%
	ne	II. stupeň fénu	10%	15%	18%	20%	22%
	ano	I. stupeň fénu	20%	30%	36%	40%	43%
	ano	II. stupeň fénu	34%	39%	43%	44%	46%
1 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	4%	6%	10%	12%	12%
	ne	II. stupeň fénu	10%	15%	18%	20%	22%
	ano	I. stupeň fénu	22%	36%	43%	46%	48%
	ano	II. stupeň fénu	34%	42%	46%	48%	50%
2 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	8%	14%	15%	16%	17%
	ne	II. stupeň fénu	9%	13%	13%	15%	17%
	ano	I. stupeň fénu	26%	34%	37%	40%	41%
	ano	II. stupeň fénu	34%	40%	44%	46%	47%
3 h expozice při 15 °C	ne	I. stupeň fénu	6%	8%	10%	12%	12%
	ne	II. stupeň fénu	10%	13%	16%	18%	20%
	ano	I. stupeň fénu	26%	33%	39%	41%	43%
	ano	II. stupeň fénu	37%	42%	44%	47%	48%

Testy v laboratoři zaměřené na délku a intenzitu fénování jemných kořenů smrku potvrzují, že neexponované kořeny fénováním ztrácejí vodu nejrychleji (tab. 7). Ovlivňujícím faktorem mohlo být použití většího množství odebraných kořenů pro jednu navážku, cca 25 g. Laboratorní test byl realizován v létě, tedy na rostlinách v době vegetačního růstu, a proto není možné tyto výsledky zcela porovnat s testy realizovanými před výsadbou. Po expozici suchem při 20 °C byla ztráta vody fénováním nižší. Největších rozdílů v úbytku hmotnosti jemných kořenů bylo dosaženo při nejdelší době fénování na 2. stupeň intenzity fénu, pokud byl kořenový systém před fénováním máčen ve vodě.

U buku nebyly mezi délkami expozic významné rozdíly v případě úbytku hmotnosti jemných kořenů, jak je vidět z tab. 8. Výsledky mohou být zkresleny použitím malých semenáčků buku (1,5 + 0), které měly málo jemných kořenů, čímž se prodloužil jejich odběr, bylo možno z nich získat pouze malé množství navážky, obvykle do 2 g.



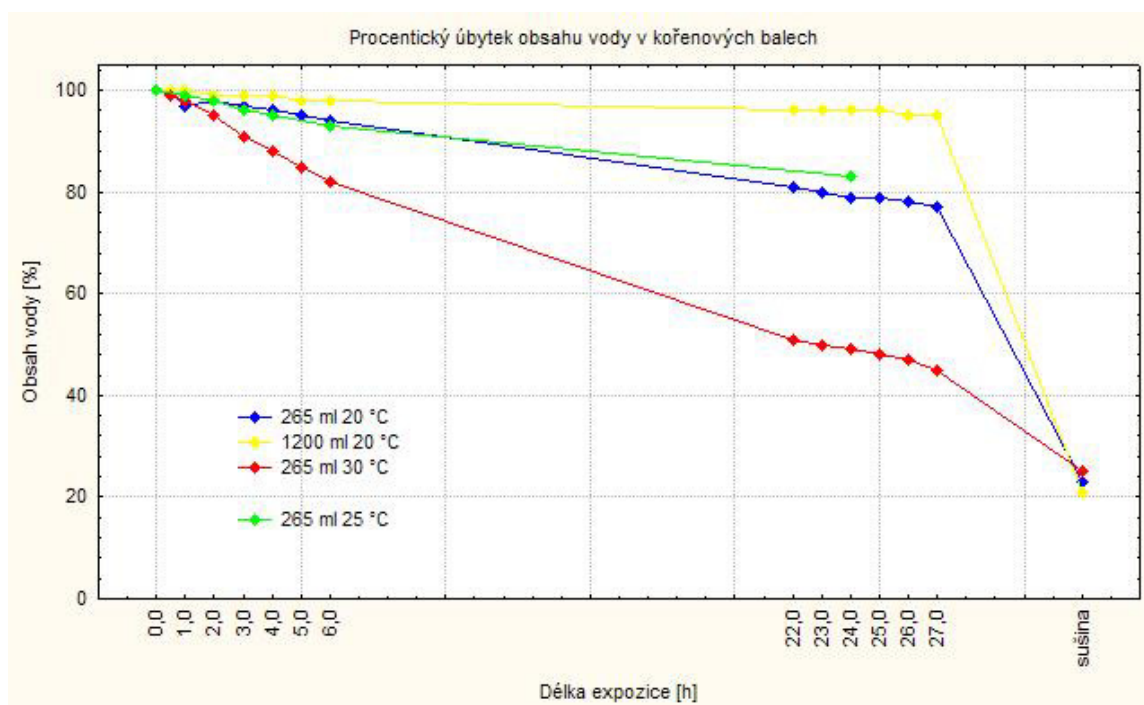
#### 5.4. Měření hmotnostního úbytku kořenových balů

Krytokořený sadební materiál buku lesního byl před expedicí řádně provlhčen a během transportu si kořenové baly vlhkost podržely, zatímco kořenové baly sazenic smrku ztepilého byly sušší. Je to patrné i z tab. 9, kde jsou perspektivní varianty vyznačeny zeleně (do 10 % ztrát dle tab. 4, 5) a zcela nevyhovující žlutě (dle stejných tabulek). Jako přijatelné varianty byly označeny ty semenáčky, které měly před výsadbou více než 70 % hmotnosti balu při jeho plném nasycení, což jsou v tomto případě pouze semenáčky bukové.

Tab. 9: Vlhkost kořenových balů sadebního materiálů (WHT 860) a jejich váha v průběhu expozice suchem před výsadbou

	SM KK	BK KK	SM KK	BK KK	SM KK	BK KK
	Vlhkost 1 cm pod povrchem balu		Vlhkost uprostřed balu		Výchozí hmotnost [g]	
					78,4	165,7
	Výchozí vlhkost dle WHT 860 [%]				Hmotnost při plném nasycení vodou [g]	
	60,0	86,6	69,1	92,6	186,5	194,1
Expozice [h]	Vlhkost (% výchozí vlhkosti dle WHT 860)				Hmotnost (% hm. plného nasycení vodou)	
0,00	100,0	100,0	100,0	100,0	42,0	85,3
0,75	100,1		98,2		41,4	
2,50	90,3		101,2		39,0	
3,50	91,5	96,8	102,4	98,2	37,3	75,7
4,50	82,4		98,5		36,0	
24,00	59,0	89,9	65,2	90,4	32,0	60,8
25,50		88,4		92,0		58,9
27,25		88,7		95,2		56,3
28,25		84,8		92,2		54,5
29,25		86,6		93,4		52,2

Rychlost ztráty vody v balech je závislá na vlastnostech substrátu, velikosti balů a podmínkách vysychání. Exponování balů o velikosti 265 ml (se substrátem charakterizovaným v kapitole Materiál) při teplotě vzduchu do 25 °C 24 hodin neukazuje prakticky žádné rozdíly v rychlosti ztráty vody. Váha balu klesá asi na 80 % počáteční hodnoty (obr. 18). Při exponování balů při 30 °C s ostatními stejnými parametry je však ztráta vody výraznější a po 24 hodinách dosahují baly pouze 50 % počáteční váhy. S přibývajícím objemem kořenového balu klesá rychlost ztráty vody, takže baly o velikosti 1200 ml ztratí ve 20 °C po 24 hodinách pouze 5 % počáteční hmotnosti.



Obr. 18: Obsah vody kořenových balů při expozici suchem

### 5.5. Měření vlhkosti kořenových balů přístrojem WHT 860

Testování přístroje WHT 860 v laboratoři potvrdilo, že uprostřed kořenového balu je vyšší vlhkost než na jeho povrchu (cca 1 cm pod povrchem). Právě tam (tedy cca 1 cm pod povrchem) se nachází největší množství jemných kořenů. Dle tab. 4 a 5 byla výsadba rostlin úspěšná, pokud byla výchozí vlhkost balu 1 cm pod povrchem změřená přístrojem WHT 860 vyšší než 80 %. Ztráta vyšší než 10 % vlhkosti balu v obou místech vedla k neúměrným ztrátám po výsadbě (tab. 4, 5). Nejvýhodnější místo k měření vlhkosti kořenových balů přístrojem WHT 860 se ukázalo z boku balu 1 cm pod povrchem, vlhkost zde dosahuje nejnižších hodnot, které se nejvíce blíží skutečné počáteční vlhkosti. Druhou možností je čidlo umístit shora balu, v tomto místě změřená hodnota také odpovídá reálné vlhkosti. Navíc je možné takto měřit i rostliny umístěné v sadbovači. Zcela nevhodné je substrát jakkoli hutnit nebo mačkat, naměřené hodnoty jsou příliš vysoké a neodpovídají reálné vlhkosti (tab. 10). V tab. 10 je zeleně označena největší shoda průměrné vlhkosti dle místa měření s průměrnou reálnou vlhkostí (u všech vzorků byla zjištěna sušina pomocí vysoušení v sušárně. Hmotnost sušiny pak byla odečtena od počáteční hmotnosti balu a tím byl zjištěn obsah vody balu, z čehož byla dopočítána procentická reálná vlhkost balu)

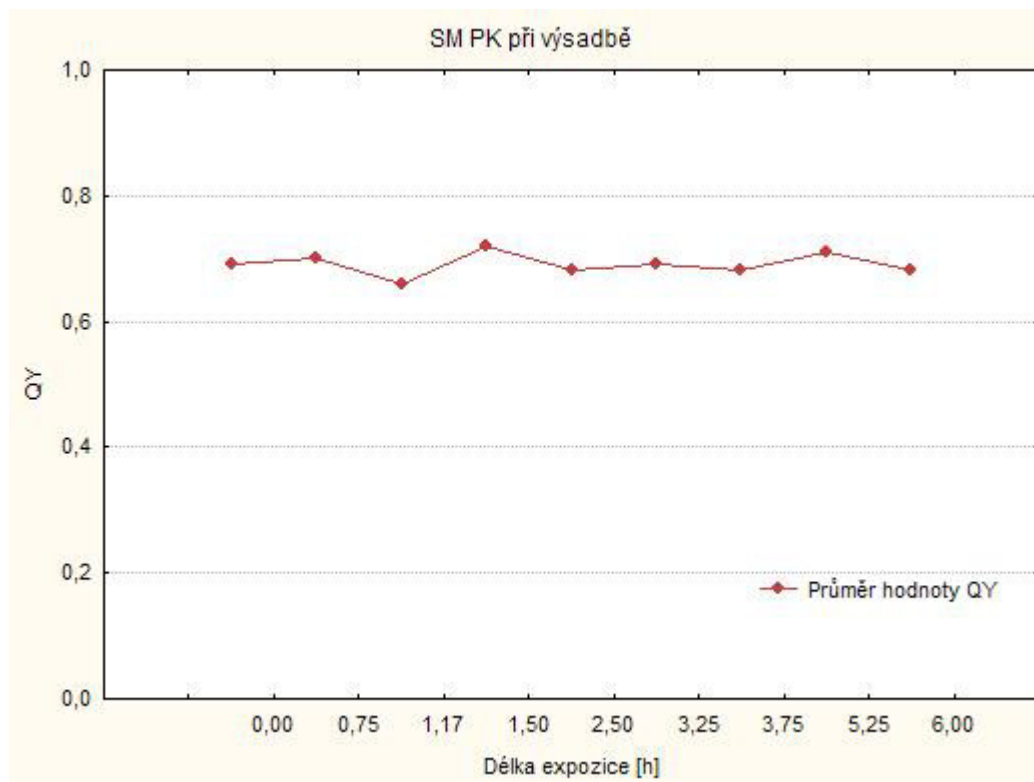
Tab. 10: Vlhkost substrátu v % zjištěná přístrojem WHT 860 při různém umístění čidla

Číslo balu	Vlhkost shora	Vlhkost zesodu	Vlhkost z boku 1 cm pod povrchem	Vlhkost uprostřed balu	Vlhkost substrátu po natlačení do kádinky	Vlhkost substrátu po zmáčknutí balu	Reálná vlhkost*
1	91,0	94,8	87,6	92,7	98,8	93,9	89,2
2	95,0	95,0	92,5	95,2	98,9	97,5	93,0
3	91,2	95,0	90,1	95,7	99,2	96,8	90,6
4	94,0	96,5	92,0	95,9	99,6	97,4	93,2
5	94,4	97,7	90,5	95,7	99,2	96,3	92,1
6	92,4	94,0	87,1	93,0	99,0	94,7	87,9
7	89,5	97,4	90,1	95,3	100,0	97,0	89,9
8	92,7	97,1	93,1	95,9	99,4	97,6	92,1
9	96,0	99,0	93,7	96,8	99,8	98,0	95,4
10	96,8	99,1	97,2	98,3	99,8	98,6	97,8
Ø	<b>93%</b>	<b>97%</b>	<b>91%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>97%</b>	<b>92%</b>

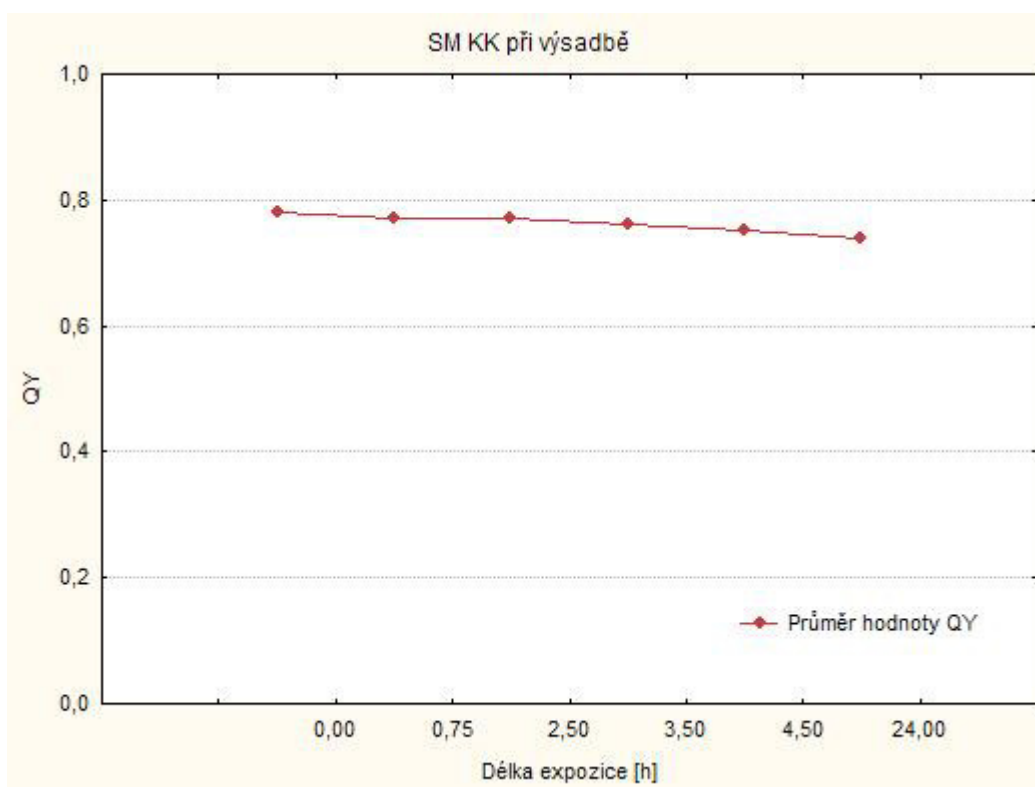
\* reálná vlhkost byla dopočítána pomocí sušiny vzorku

## 5.6. Fluorescence chlorofylu

Během výsadby nebyly mezi sazenicemi smrku různých variant zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly ve fluorescenci chlorofylu ( $p > 0,05$ ). Průměrná hodnota parametru QY byla 0,66-0,72 (obr. 19 a 20).

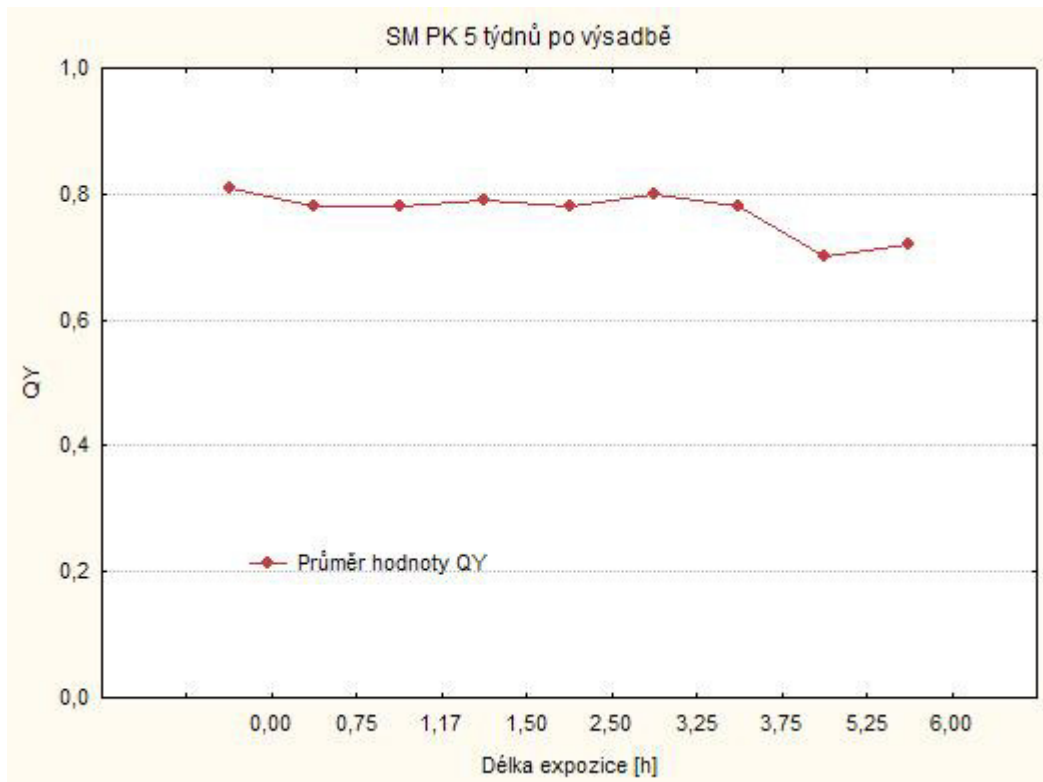


Obr. 19: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u prostokořenného smrku při výsadbě

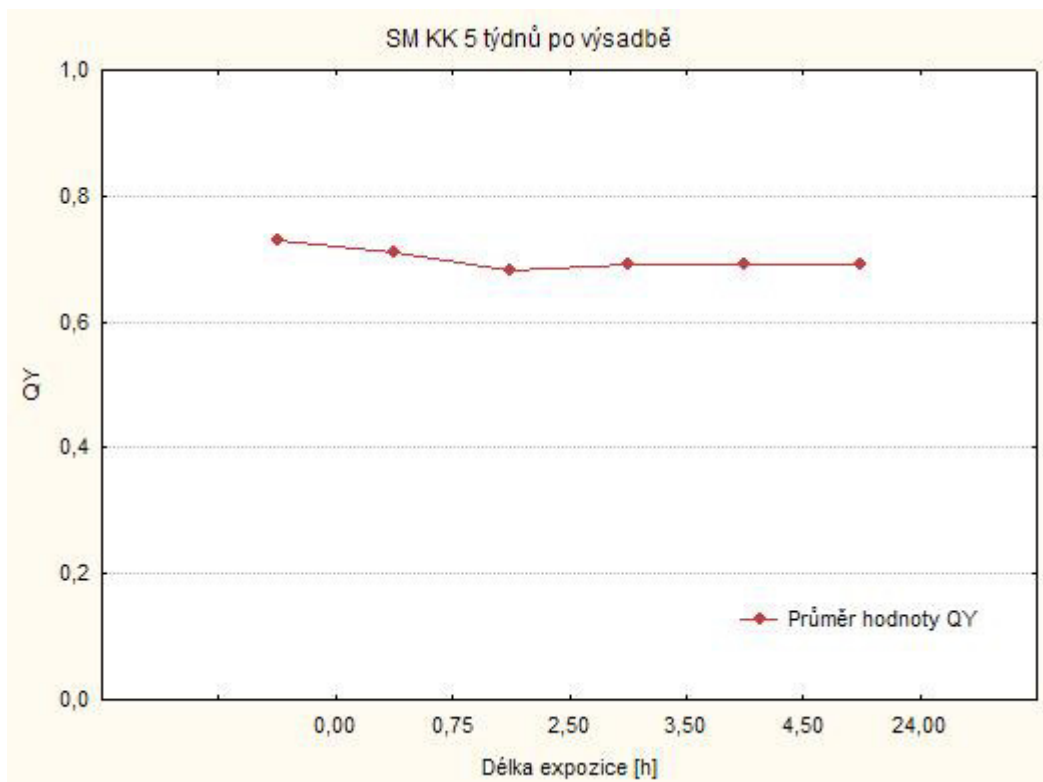


Obr. 20: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u krytokořenného smrku při výsadbě

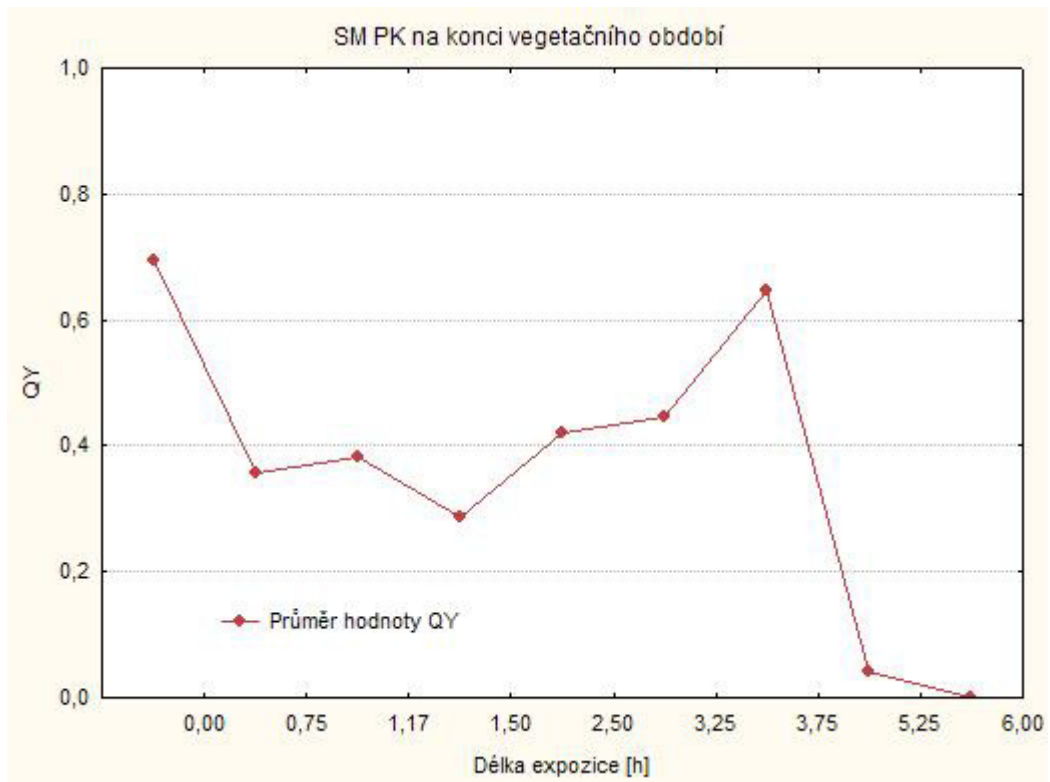
Při hodnocení rostlin pět týdnů po výsadbě ještě nebylo možné hodnotit všechny varianty buku, protože velká část z nich teprve rašila a neměla rozvinuté listy. Rozdíly mezi variantami smrku v této době byly velmi podobné s výsledky porovnání výškového přírůstu rostlin na konci vegetačního období (obr. 12, 13). Hodnoty fluorescence (QY) smrku po 5 týdnech od výsadby jsou znázorněny na obr. 21 a 22.



Obr. 21: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u prostokořenného smrku 5 týdnů po výsadbě

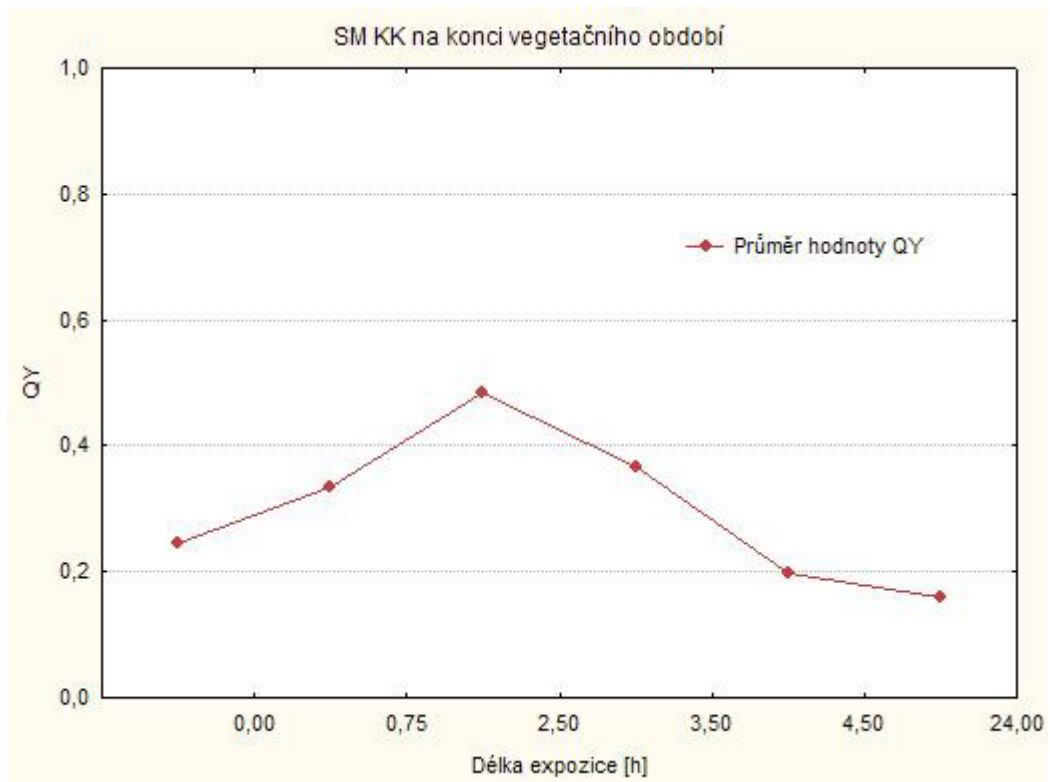


Obr. 22: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u krytokořenného smrku 5 týdnů po výsadbě



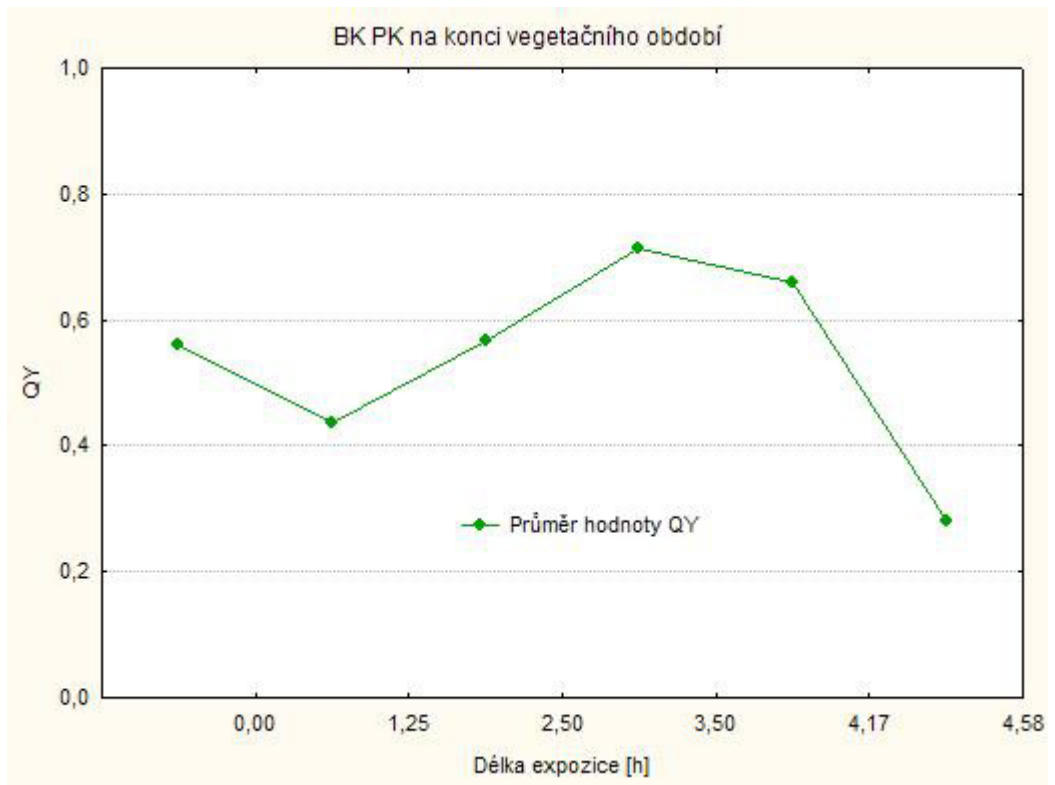
Obr. 23: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u prostokořenného smrku na konci vegetačního období

Na konci vegetačního období již bylo možné hodnotit všechny vysazené varianty. Rostliny, které byly při výsadbě exponované déle než 4 hodiny, buď byly chřadnoucí a měly sníženou fluorescenci, nebo byly mrtvé. Pokud ale nějaká rostlina překonala počáteční stres a přežila vitální až do konce vegetačního období, její hodnoty fluorescence byly srovnatelné s neexponovanými rostlinami. Při srovnání průměrných hodnot (obr. 23 až 26) není tento jev rozpoznatelný.

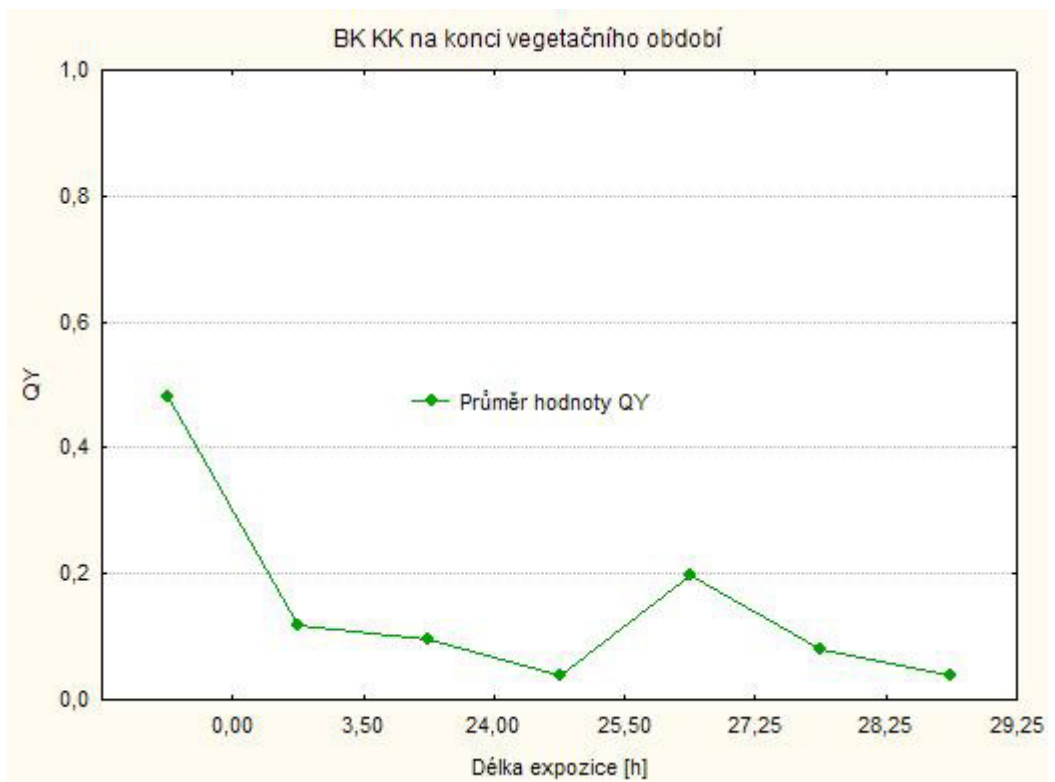


Obr. 24: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u krytokořenného smrku na konci vegetačního období

Na obr. 25 je vidět, že nejnižší hodnotu fluorescence (QY) prostokořenného buku má varianta s nejdělsí expozicí. U buku krytokořenného je vidět, že jedinou perspektivní variantou je varianta bez expozice. Ostatní varianty vykazují sníženou hodnotu fluorescence (QY), což koresponduje s vitalitou hodnocených rostlin. Také zde však platí, že rostliny, které přežily dlouhý stres, mají poměrně vysoké hodnoty QY (nad 0,7), a ostatní rostliny jsou mrtvé (QY je 0,0), a jen zřídka mají rostliny hodnotu mezi 0,0–0,7.



Obr. 25: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u prostokořenného buku na konci vegetačního období



Obr. 26: Průměrná hodnota fluorescence (QY) u krytokořenného buku na konci vegetačního období



## 6. DISKUZE

Extrémní sucho, které bylo v roce 2015, ovlivnilo pozdní jarní výsadbu. V takových podmínkách je možné za perspektivní výsadbu označit pouze sadební materiál bez expozice s pečlivou manipulací a sadbou. Reakce na sucho byla intenzivnější u bukových sazenic a semenáčků. Lepší ujímavost vykazoval po expozici krytokořenný sadební materiál, ale na konci roku již nebyly výsledky porovnání vitality s prostokořenným sadebním materiálem jednoznačné. Prvním rozpoznatelným projevem narušení fyziologického stavu rostlin nevhodnou manipulací bylo opožděné rašení pupenů. Na rozdíl od pokusu Leugnera a kol. (2012) měla expozice vliv pouze na výškový přírůst rostlin, nikoli na tloušťkový růst po výsadbě. Byly potvrzeny závěry mnoha autorů, že účinky vysychání jsou intenzivnější s prodlužující se dobou expozice. I když nedojde vlivem nevhodné manipulace k úhynu rostlin po výsadbě, omezení výškového přírůstu se projeví již v prvním roce a může trvat i několik let od výsadby (Leugner a kol., 2012). Expozice sadebního materiálu před výsadbou neměla prokazatelný vliv na délku jehlic smrků, ale ovlivnila velikost listů buků, které měly při delší expozici menší velikost listů, což odpovídá výraznější reakci na sucho u bukového sadebního materiálu.

Testování působení konstantního tepelného stresu na jemné kořeny se ukázalo vhodnou metodou. Bylo prokázáno, že nestresované rostliny ztrácejí vodu při konstantním tepelném stresu výrazně rychleji než rostliny stresované. Z měření před výsadbou podle Mauera a Houškové (2015) vyplývá, že ztratí-li jemné kořeny po jedné minutě stresu více než 20 % počáteční hmotnosti, je obsah vody v rostlině velmi dobrý, což se shoduje s výsledky této práce. Pokud je ztráta hmotnosti po jedné minutě stresu méně než 10 % počáteční hmotnosti, je kořenový systém rostliny oschlý a celkový stav rostliny je velmi špatný. V takovém případě nastanou nepřijatelné ztráty po výsadbě (80 % a více). Pokud je ztráta počáteční hmotnosti mezi 10 % a 20 %, jedná se o rostliny rizikové, které je potřeba testovat další minutou konstantním tepelným stresem. Pokud je ztráta po druhé minutě alespoň 5 % a více, je stav rostliny přijatelný, pokud je ztráta hmotnosti nižší, je vysoká pravděpodobnost ztrát po výsadbě, tyto výsledky jsou v souladu se závěry Mauera a Houškové (2015). Nejvýraznější rozdíly mezi rostlinami stresovanými vysycháním a nestresovanými se projevily při intenzivnější a delší době fénování. Máčení rostlin před fénováním tento rozdíl ještě

prohloubil, což může být ovlivněno schopností živých kořenových pletiv vázat vodu. To je pro praxi výhodné, protože se vyloučí ovlivnění výsledků při dodatečném provlhčení proschlých kořenových systémů těsně před expedicí sadebního materiálu ze školky. Výsledky měření nejsou dostatečné pro vyslovení jednoznačného doporučení pro praxi, nicméně potvrzují tuto metodu jako vhodnou k rozlišení sadebního materiálu nestresovaného a stresovaného suchem. Další měření by měla ověřit mezní hodnoty ztrát hmotnostního úbytku jemných kořenů a rozlišit ztrátu obsahu vody jemných kořenů podle druhů dřevin.

Měření hmotnostního úbytku kořenových balů ukázalo, že hraniční hodnota pro perspektivní sadební materiál je 40 % hmotnosti kořenového balu plně nasyceného vodou. Pokud je hodnota nižší, kořenové baly jsou příliš suché a jemné kořeny jsou vyschlé, výsadba takového sadebního materiálu je vysoce ztrátová. Problémem této metody může být zanedbání závlahy a provlhčení balů až před expedicí. Takové baly vykazují vysoké procentuální hodnoty hmotnosti kořenového balu, jejich kořenový systém však již nemusí být funkční. Při správném pěstování ve školce je možné za perspektivní sazenice určit ty, jejichž hmotnost je vyšší než 70 % hmotnosti balu plně nasyceného vodou. Je třeba ještě upřesnit limitní hodnoty a rozpoznat faktory ovlivňující tuto metodu (velikost balů, druhy substrátů).

Vlhkost kořenových balů byla testována přístrojem WHT 860, který i přes to, že není primárně určen pro hodnocení vlhkosti půdního substrátu, vykazoval při správném umístění čidla průkazné výsledky. Testováním v laboratoři bylo prokázáno nejvhodnějším místem pro umístění čidla měření balu uprostřed 1 cm pod povrchem, případně měření vlhkosti balu seshora. Limitní hodnoty je vhodné ověřit při dalších měřeních, pro přesnější určení vlhkosti kořenových balů je třeba vyzkoušet další přístroje, které jsou primárně určeny pro zjišťování vlhkosti půdy.

Hodnocení fluorescence chlorofylu rostlin pomocí parametru  $F_v/F_m$  (maximální kvantový výtěžek fluorescence chlorofylu vzorku adaptovaného na tmu), neboli hodnota QY, se ukázalo pro testování ztráty vody rostlin před výsadbou jako nevhodné. První nevýhodou je možnost využití pouze u jehličnatého sadebního materiálu (s výjimkou modřínu), protože metoda hodnotí parametr měřený na asimilačním aparátu rostlin. Ani pro jehličnany však není tato metoda vhodná, protože dormantní rostliny nereagují na akutní stres změnou fluorescence chlorofylu. V době výsadby nebyly zjištěny rozdíly mezi rostlinami nestresovanými a rostlinami ponechanými nejdelší expozici. Prakticky se nedalo rozlišit rostliny jednotlivé varianty. Fluorescence

chlorofylu vyjádřená parametrem QY neodráží akutní stres suchem u dormantních sazenic smrku. Proto se nedoporučuje další testování této metody pro účely hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu při výsadbě. Bylo pokračováno v měření hodnoty QY u sazenic po výsadbě, aby se ukázalo, po jak dlouhé době je možné nevhodnou manipulaci na založené ploše tímto způsobem odhalit. Metodu je tedy možné použít k určení celkové kvality sadebního materiálu, například po dlouhodobém skladování, případně k posouzení vitality sadebního materiálu v době předávání lesnických prací nebo při plánování obnovy zalesňování již pár týdnů po výsadbě. Avšak vzhledem k tomu, že některé silně exponované varianty si i přes většinovou mortalitu zachovaly alespoň jednu živou a vitální rostlinu, která vykazovala stejné parametry jako rostliny ve variantách bez expozice, je možné potvrdit předpoklad, že rostliny jsou schopné se se stresem vyrovnat a vytvořit si obranné mechanismy, zejména pokud dojde k postupnému slabému stresu, jak souhlasí Gloser a Prášil (1998). Takové rostliny nelze jednoznačně odlišit od rostlin nestresovaných, ale zůstává otázkou, zda jsou takové rostliny do budoucna perspektivní. Podle Mauera a Mauerové (2010) má kvalita sadebního materiálu vliv na založené porosty dlouhou dobu a chřadnutí a odumírání nebo mechanickou labilitu porostů může způsobit i řadu let po zajištění porostu.

## 7. ZÁVĚR

Umělá obnova lesa je pro lesní hospodářství České republiky důležitá a lze předpokládat, že její význam poroste s nutností rekonstrukce nestabilních a chřadnoucích porostů. Průběh počasí a klimatické změny způsobují velké ztráty při zalesňovacích pracích. Dalším negativním faktorem je špatná manipulace, která výrazně snižuje fyziologickou kvalitu sadebního materiálu. Proto byl vypsán Národní agenturou pro zemědělský výzkum grant QJ 1520080 „Optimalizace umělé obnovy lesa v České republice“, v rámci kterého je uskutečněn aplikovaný výzkum metod, které by mohly vyhodnotit fyziologický stav sadebního materiálu před výsadbou. Cílem výzkumu je popsat metodu hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu, která by byla použitelná v terénu přímo v době výsadby.

V roce 2015, tedy v prvním roce výzkumu, byly testovány čtyři možné metody k určení fyziologické kvality sadebního materiálu, které byly ověřovány pokusnou výsadbou a dalším měřením v laboratoři. Sadební materiál byl před výsadbou různě dlouhou dobu exponován a vystaven stresu teplem a suchem. Jako modelové dřeviny byly zvoleny smrk ztepilý a buk lesní, zkoumán byl jak prostokořenný sadební materiál, tak krytokořenný sadební materiál. Hodnocení rostlin a jejich výsadba se uskutečnila v areálu lesní školky Mendelovy univerzity v Brně, která je oplocená a upravovaná. Pokusná výsadba byla po celou dobu pozorování ponechána přirozeným klimatickým podmínkám. Aby bylo možné tyto metody zhodnotit, bylo zapotřebí pokusnou výsadbu v průběhu vegetační sezony sledovat a pomocí obvyklých metod určit perspektivnost výsadby. Dále byly v laboratoři ověřovány postupy metod na prostokořenném i krytokořenném sadebním materiálu.

Reakcí sadebního materiálu na expozici v průběhu první vegetační sezony bylo omezení až zastavení přírůstu. Expozice kratší než 1 hodina výrazněji nesnižuje přírůst prostokořenného sadebního materiálu smrku ani buku, při delších expozicích je vliv zřejmý. Výrazné snížení růstu nastává po expozici delší než 3 hodiny. Průměr kořenového krčku nebyl expozicí suchem v prvním roce po výsadbě na pokusných plochách ovlivněn. Expozice sadebního materiálu před výsadbou neměla vliv na délku jehlic na nově vytvořených výhonech smrku. Velikost listů buku ovlivněna byla, sazenice podrobené delší expozici měly menší velikost listů.

První metoda určuje procentuální ztrátu vody v jemných kořenech vyvolanou konstantním tepelným stresem. Metoda je vhodná především pro prostokořenný sadební materiál, na kterém byla testována, mohla by být po ověření použitelná i pro krytokořenný sadební materiál. Z výsledků je patrné, že nestresované rostliny ztrácejí vodu z jemných kořenů rychleji, než rostliny stresované. Jako perspektivní a zdravý sadební materiál se jeví ty rostliny, které při konstantním tepelném stresu ztratí po jedné minutě více než 20 % z hmotnosti v čerstvém stavu. Naopak nepřijatelný sadební materiál je ten, který po jedné minutě fénování neztratí ani 10 % původní hmotnosti. Tato metoda je vhodná k dalšímu ověřování a působí perspektivně.

Další metoda určuje fyziologickou kvalitu krytokořenného sadebního materiálu pomocí hmotnostního úbytku kořenového balu. Vitální rostliny měly hmotnost balu vyšší než 70 % hmotnosti balu při plném nasycení vodou. Vysokou mortalitu vykazovaly rostliny s hmotností balu nižší než 50 % hmotnosti balu při plném nasycení vodou. Metoda se jeví jako perspektivní s nutností dalšího testování a pozorování.

Zjišťování vlhkosti kořenových balů pomocí přístroje WHT 860 (určeného pro měření vlhkosti dřeva) ukázalo nutnost správného umístění čidla. Aby byly naměřené hodnoty relevantní, je nutné čidlo přístroje umístit 1 cm pod povrch do středu balu, kde je situováno největší množství jemných kořenů, nebo seshora balu. Metoda je využitelná, ale je třeba ověřit limitní hodnoty a vyzkoušet další přístroje, které jsou primárně určeny pro zjištění vlhkosti půdy.

Poslední testovanou metodou bylo měření maximálního kvantového výtěžku fluorescence chlorofylu vzorku adaptovaného na tmu (hodnota QY). V době výsadby nebyly zjištěny rozdíly mezi jehličnatými sazenicemi nestresovanými a stresovanými. K posouzení listnatého sadebního materiálu se metoda nedá použít vůbec. Proto není tato metoda vhodná k posouzení možné neúměrné ztráty vody při manipulaci před výsadbou a metoda nebude v tomto výzkumu dále ověřována.

## 8. SUMMARY

The thesis "Evaluation of Physiological Quality of Planting Stock" deals with four testing methods to evaluate the physiological quality of planting stock and verifies their objectivity and usefulness for application at planting Norway spruce and European beech.

Artificial regeneration of woody vegetation and forest is important in the Czech Republic and its importance will increase due to the necessity of reconstruction of damaged forests. Czech National Agency for Agricultural Research (NAZV) published Grant QJ1520080 regarding optimisation of this artificial forest regeneration. One of the goals is finding a relevant method of evaluation of physiological quality of planting material before setting the plants out, valid in the natural conditions in the terrain.

In 2015, when the research was started, four eventual methods were suggested. These methods were checked by laboratory measuring and experimental planting. Norway spruce and European beech were chosen as samples. Planting material with both open root balls and covered root balls was evaluated in natural climatic conditions, in nurseries of Mendel University training forest district.

Method 1 figures out percentage of water loss caused by a constant thermic stress. It was proved that good-quality planting material loses more than 20% of its fresh weight. This method is proper for both open and covered root balls.

Method 2 sets physiological quality of the plants comparing their weight before and after water saturation of their covered root balls. This method seems to be perspective with necessity of further testing and observations.

Method 3 consists in measuring of root balls humidity by device WHT 860. Results of this measurement depend on the right placing of its sensitive unit. This method can be used after attesting limit values and checking other devices designed for evaluation of soil humidity.

Method 4, the last tested one, uses measuring of the maximal chlorophyll fluorescence quantum yield of samples adapted to the darkness. No differences between stressed and unstressed plants of spruce were found, and for beech, a broadleaf species, this method is irrelevant. Method 4 cannot be used for water loss examination before planting and it will be no more considered in the research.

## 9. SEZNAM LITERATURY

- [1] BÁRTA, A.: Zkušenosti se skladováním sadebního materiálu lesních dřevin a jeho manipulací v provozních podmínkách lesní školky LESCUS Cetkovice, s.r.o. In HOUŠKOVÁ, K. (ed): *Manipulace a skladování sadebního materiálu lesních dřevin*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, s. 24-28
- [2] ČHMÚ: Historická data [online] citováno 15. listopadu 2016. Dostupné na World Wide WEB: < <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/>>
- [3] ČSN 48 2115 (482115): *Sadební materiál lesních dřevin*, 2012
- [4] ČSN 48 2116 (482116): *Umělá obnova lesa a zalesňování*, 2015
- [5] GLOSER, J.; PRÁŠIL, I.: Fyziologie stresu. In *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 1998. s. 412-458
- [6] JELÍNEK, B., ÚRADNÍČEK, L.: Malé nebo velké sazenice. In PETROVÁ, A. (ed.): *ÚSES – Zelená páteř krajiny 2010: Sborník z 9. ročníku semináře „ÚSES – Zelená páteř krajiny konaného 8.-9. září 2010 v Brně*, 2010. s. 56-62
- [7] JURÁSEK, A., MAUER, O., HOUŠKOVÁ, K.: Manipulace se sadebním materiálem lesních dřevin a postupy výsadby při umělé obnově lesa a zalesňování. In HOUŠKOVÁ, K. (ed): *Manipulace a skladování sadebního materiálu lesních dřevin*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. s. 29-34
- [8] KINCL, M.; KRPEŠ, V.: *Základy fyziologie rostlin*. 2. vyd. Ostrava: Vydavatelství Montanex a.s., 2000, 221 s
- [9] KOTRLA, P., INDRA, P.: Kvalita reprodukčního materiálu v praxi LČR. s.p. In JURÁSEK, A.: *Kontrola kvality reprodukčního materiálu lesních dřevin: Sborník celost. semináře s mezinárodní účastí - Opočno, 7.-8.3.2000*. Praha: VÚLHM, 2000. s. 21-23
- [10] LACINA, D.: Praktické zkušenosti z projektování a realizace skladebných částí ÚSES. In PETROVÁ, A. (ed.): *ÚSES – Zelená páteř krajiny 2016: Sborník z 15. ročníku semináře „ÚSES – Zelená páteř krajiny konaného 8.-9. září 2016 v Brně*, 2016. s. 60-64
- [11] LEUGNER, J., MARTINCOVÁ, J., JURÁSEK, A.: Vliv vysychání během manipulace a prostředí po výsadbě na růst sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.). In *Zprávy lesnického výzkumu*, 57. Opočno: VÚLHM, 2012. s. 1-7

- [12] MAUER, O. a kol.: *Pěstování speciálního sadebního materiálu*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. 279 s.
- [13] MAUER, O., HOUŠKOVÁ, K.: Zjišťování obsahu vody a celkové fyziologické kvality sadebního materiálu. In HOUŠKOVÁ, K. (ed): *Manipulace a skladování sadebního materiálu lesních dřevin*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. s. 35-41
- [14] MAUER, O., MAUEROVÁ P.: Vliv kvality užitého sadebního materiálu na následnou kvalitu a stabilitu založených porostů. In SUŠKOVÁ, M., DEBNÁROVÁ, G.: *Aktuálne problémy lesného škôľkarstva, semenárstva a umelej obnovy lesa*. Zvolen: Národné lesnícké centrum, 2010. s. 117-122
- [15] MAUER, O., VANĚK, P.: Kvalita zakládaných kultur – základ kvality nových porostů. In *Proceeding of Central European Silviculture*, 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. s. 159-166
- [16] SARVAŠ, M.: Hodnotenie fyziologickej kvality sadbového materiálu na Slovensku. In JURÁSEK, A.: *Kontrola kvality reprodukčného materiálu lesních dřevin*: Sborník celost. semináře s mezinárodní účastí - Opočno, 7.-8.3.2000. Praha: VÚLHM, 2000. s. 29-38
- [17] SLOUP, J.: Studium stresových faktorů ovlivňujících školkařskou produkci. DDP, Mendelova univerzita v Brně, 2011
- [18] STEINHÜBEL, G.: Pomůcka k posouzení nedostatku vody ve smrkových sazenicích. Lesnická práce: VÚLH Zvolen, 1982. s. 414-417
- [19] VANĚK, P., MAUER, O., CAFOUREK, J.: Metodika hodnocení poškození asimilačních orgánů jehličnatých dřevin mrazem a možnosti zvyšování odolnosti sadebního materiálu douglasky tisolisté proti pozdním mrazům. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 30 s.