

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



**Srovnání účinků dvou typů hnojiva na kulturu buku lesního
v lesní školce Věcov**

Diplomová práce

Autor: Bc. Tomáš Jiráček

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Kuneš, Ph.D.

Praha 2020



Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Tomáš Jiráček
Studijní program:	Lesní inženýrství
Obor:	Lesní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Ivan Kuneš, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra pěstování lesů
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Srovnání účinků dvou typů hnojiva na kulturu buku lesního v lesní školce Věcov
Název anglicky:	Comparison of the effects of two types of fertilizers on growth of European beech in a forest nursery Věcov
Cíle práce:	Porovnat účinky rychle a pomalu rozpustného komplexního hnojiva na prosperitu kultury buku lesního a jeho výživu
Metodika:	Navažte na šetření provedená v rámci experimentu, který byl založen v rámci Vaší bakalářské práce. Rozšířte datovou řadu o další období sledování. Experiment završte a vyhodnoťte. Zaměřte se na výškový a tloušťkový růst kultury buku na jednotlivých variantách (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo) a na stav výživy bukových výsadeb. Hodnocení můžete doplnit o některé doprovodné veličiny (chemismus půdy, obsah chlorofylu).
Doporučený rozsah práce:	min. 35 stran
Klíčová slova:	pomalou rozpustné hnojivo; rychle rozpustné hnojivo; výživa dřevin; půda
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. GEORGE E., STOBER C. and SEITH B. (1999). The use of different soil nitrogen sources by young Norway spruce plants. <i>Trees</i> 13: 199–2052. KOPINGA J. and VAN DEN BURG J. (1995). Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees. <i>Journal of Arboriculture</i> 21, (1): 17–243. KUBELKA L. (2001). Silvamix - moderní hnojivo pro lesní hospodářství. <i>Lesnická práce</i>, Kostelec nad Černými lesy. 39 p.4. NÁROVEC V. (2001). 100× o hnojení v lese. <i>Lesnická práce</i>, Kostelec nad Černými lesy. 32 p.
Předběžný termín obhajoby:	2019/20 LS - FLD
	Elektronicky schváleno: 5. 6. 2019 prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc. Vedoucí katedry

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Srovnání účinků dvou typů hnojiva na kulturu buku lesního v lesní školce Věcov I.“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivanem Kunešem, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Bořené Hoře, dne 4. 6. 2020

Bc. Tomáš Jiráček

Poděkování

Velké poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Ivanu Kunešovi, Ph.D., v první řadě za odborné vedení po celou dobu práce, dále za pomoc při plnění úkolů a za mnohé konzultace. Další velké poděkování patří panu Ing. Martinu Balášovi, Ph.D., za pomoc při plnění úkolů a při měření dat v laboratoři Katedry pěstování lesů Fakulty lesnické a dřevařské na Trubech. Zároveň také chci poděkovat panu Ing. Rostislavovi Lindovi za odbornou spolupráci při měření koncentrace a fluorescence chlorofylu v listech na kultuře buku lesního v lesní školce Věcov I.

Poděkování také patří jednatelům firmy Lesní společnost Vltava s.r.o. panu Ing. Silvestru Arpovi a Tomáši Jiráčkovi za poskytnutí semenného materiálu a následné kultury buku lesního v lesní školce Věcov I.

Rád bych také touto cestou chtěl poděkovat svým rodičům a prarodičům za vytrvalou podporu při zpracování této diplomové práce a při terénním měření vypěstovaného sadebního materiálu. Zvláštní poděkování patří mému dědovi Ing. Františku Jiráčkovi za pomoc při založení výzkumné plochy v lesní školce Věcov I.

Abstrakt

Práce se zabývá srovnáním účinku pomalu rozpustného hnojiva s pozvolným účinkem a rychle rozpustného hnojiva ve školkařském provozu u kultury buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) v lesní školce Věcov I. nedaleko obce Miličín. Byla zjišťována výška nadzemní části, tloušťka kořenového krčku, obsah chlorofylu, objem nadzemní a kořenové části semenáčků a hmotnost nadzemní a kořenové části semenáčků. Výsledkem této práce je statistické vyhodnocení růstových parametrů kultur zaznamenaných na jednotlivých variantách a jejich porovnání vůči sobě navzájem a vůči kontrole bez aplikace hnojiv.

Název práce

Srovnání účinků dvou typů hnojiva na kulturu buku lesního v lesní školce Věcov

Klíčová slova

pomalu rozpustné hnojivo; rychle rozpustné hnojivo; výživa dřevin; půda

Abstract

This work compares the effects of two types of fertilizers in a forest nursery. An environment friendly slow-release fertilizer as well as a conventional fast release fertilizer were applied on a nursery culture of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the forest nursery Věcov I. near the village of Miličín. The height of the above-ground part, root-collar diameter, chlorophyll content, fresh biomass volume and drymass weight of the above-ground parts and roots of the seedlings were determined. The outcomes recorded on the assessed experimental treatments (control, slow-release fertilizer and fast-release fertilizer) were confronted and the results were discussed.

The name of the work

Comparison of the effects of two types of fertilizers on growth of European beech in a forest nursery Věcov

Nutrition keywords

slowly-release fertilizer; fast-release fertilizer; tree nutrition; soil

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce	3
3 Literární rešerše.....	4
3.1. Charakteristika dřeviny	4
3.2. Ekologické nároky dřeviny	5
3.3. Prostokořenný sadební materiál	6
3.3.1. Historie	6
3.3.2. Půda ve školkách produkujících sadební materiál na venkovních záhonech.....	8
3.3.3. Způsob pěstování sadebního materiálu	10
3.3.4. Výhody a nevýhody prostokořenného sadebního materiálu	13
3.4. Druhy hnojení sadebního materiálu	13
3.4.1. Základní hnojení.....	14
3.4.1.1. Rychle rozpustné hnojivo	16
3.4.1.2. Pomalu rozpustná hnojiva	16
3.4.2. Přihnojování sadebního materiálu.....	17
3.5. Nároky sadebního materiálu na živiny.....	18
3.6. Měření fluorescence a koncentrace chlorofylu	19
4 Metodika	21
4.1. Lokalizace a popis stanoviště lesní školky.....	21
4.1.1. Poměry klimatické.....	22
4.1.2. Poměry geologické	23
4.1.3. Poměry pedologické	24
4.2. Založení experimentu.....	25
4.3. Charakteristika použitých hnojiv	27
4.3.1. Rychle rozpustné hnojivo	27
4.3.2. Pomalu rozpustné hnojivo	27
4.4. Původ sadebního materiálu	28
4.5. Způsob měření.....	29
4.5.1. Měření výšky semenáčku	29
4.5.2. Měření tloušťky kořenového krčku	30
4.5.3. Měření parametrů chlorofylu v listech	30
4.5.4. Objem nadzemní části a kořenového systému	31
4.5.5. Hmotnost nadzemní části a kořenového systému.....	31
4.5.6. Použité statistické metody	32

5 Výsledky 33

5.1. Statistické porovnání nadzemní výšky sazenic a tloušťky kořenového krčku	33
5.1.1. Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2017.....	33
5.1.2. Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018.....	34
5.1.3. Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2019.....	35
5.1.4. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2017.....	36
5.1.5. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2018.....	37
5.1.6. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2019.....	38
5.2. Porovnání přírůstu nadzemní části a kořenového krčku sazenic za sledované období	39
5.2.1. Porovnání ročního přírůstu nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018..	39
5.2.2. Porovnání ročního přírůstu nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2019..	40
5.2.3. Porovnání ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2018	41
5.2.4. Porovnání ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2019	42
5.3. Statistické porovnání mortality sazenic	43
5.3.1. Mortalita sazenic za rok 2018	43
5.3.2. Mortalita sazenic za rok 2019	43
5.3.3. Mortalita sazenic za období od roku 2017 do roku 2019.....	44
5.4. Statistické porovnání chlorofylu v listech sazenic	45
5.4.1. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2017	45
5.4.2. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2018	46
5.4.3. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2019	47
5.4.4. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2017.....	48
5.4.5. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2018.....	49
5.4.6. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2019.....	50
5.4.7. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2017.....	51
5.4.8. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2018.....	52
5.4.9. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2019.....	53
5.5. Porovnání objemu kořenové části a nadzemní části sazenic.....	54
5.6. Statistické porovnání hmotnosti sazenic	55
5.6.1. Hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního za rok 2017.....	55
5.6.2. Hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního za rok 2018.....	56
5.6.3. Hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2017	57
5.6.4. Hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018	58
5.7. Porovnání klimatických poměrů	59
5.7.1. Porovnání průměrné měsíční teploty ve sledovaném období 2017–2019.....	59
5.7.2. Porovnání měsíčního úhrnu srážek ve sledovaném období 2017–2019.....	60
5.7.3. Porovnání měsíční průměrné teploty za sledované období a dlouhodobého teplotního normálu.....	61
5.7.4. Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období a dlouhodobého srážkového normálu.....	62
5.8. Stanovení živin v půdě metodikou podle Mehlicha.....	62

6 Diskuse	64
7 Závěr	69
8 Seznam literatury a použitých zdrojů.....	70
9 Seznam příloh	74

Seznam obrázků

Obrázek 1: Školkování semenáčků na záhon při produkci sazenic. Rostliny, které školkovací stroj umístí zpátky na záhon, již prošly protříděním a manuální úpravou kořenového systému.	12
Obrázek 2: Lokalizace lesní školky (zdroj: mapy.cz)	21
Obrázek 3: Lokalizace lesní školky-ortofoto (zdroj: mapy.cz)	21
Obrázek 4: Geologická mapa	24
Obrázek 5: Příprava zapracování hnojiva do půdy. Hnojivo bylo zapraveno do rývek patrných na obrázku	25
Obrázek 6: Dávka rychle rozpustného hnojiva vlevo a pomalu rozpustného hnojiva vpravo. 26	
Obrázek 7: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.	33
Obrázek 8: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	34
Obrázek 9: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	35
Obrázek 10: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.	36
Obrázek 11: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	37
Obrázek 12: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	38
Obrázek 13: Porovnání průměrného ročního přírůstu výšky nadzemních částí sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. za rok 2018.	39
Obrázek 14: Porovnání průměrného ročního přírůstu výšky nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	40
Obrázek 15: Porovnání průměrného ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	41
Obrázek 16: Porovnání průměrného ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	42
Obrázek 17: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.	45
Obrázek 18: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	46
Obrázek 19: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	47
Obrázek 20: Porovnání poměru mezi variabilní a maximální fluorescence v jednotlivých variantách pro rok 2017 v lesní školce Věcov I.	48
Obrázek 21: Porovnání poměru variabilní a maximální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	49
Obrázek 22: Porovnání poměru variabilní a maximální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.	50
Obrázek 23: Porovnání koncentrace chlorofylu v litech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.	51
Obrázek 24: Porovnání koncentrace chlorofylu v listech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.	52

Obrázek 25: Porovnání koncentrace chlorofylu v listech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019.....	53
Obrázek 26: Porovnání objemu kořenové a nadzemní části buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. za roky 2017 a 2018.....	54
Obrázek 27 Porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.....	55
Obrázek 28: Porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.....	56
Obrázek 29: Porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017.....	57
Obrázek 30: Porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018.....	58
Obrázek 31: Porovnání průměrné měsíční teploty za sledované období 2017–2019 vždy v době vegetačního období od března do září. Průměrné měsíční teploty jsou z meteorologické stanice ČHMÚ v Nadějkově. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.	59
Obrázek 32: Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období 2017–2019 vždy v době vegetačního období od března do září.....	60
Obrázek 33: Porovnání měsíční průměrné teploty za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého teplotního normálu za roky 1981–2010 vždy v době vegetačního období od března do září.....	61
Obrázek 34: Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého srážkového normálu za roky 1981–2010 vždy v době vegetačního období od března do září.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Měsíční průměrná teplota (°C) zdroj ČHMÚ.....	22
Tabulka 2: Měsíční úhrn srážek (mm) zdroj ČHMÚ	23
Tabulka 3: Půda-základní rozbor (pH, analyzátor CNS, přístupný fosfor).....	24
Tabulka 4: Půda-přístupné živiny ve výluhu chloridem amonným	25
Tabulka 5: Půda-celkový obsah prvků ve výluhu lučavkou královskou.....	25
Tabulka 6: Mortalita sazenic za rok 2018	43
Tabulka 7: Mortalita sazenic za rok 2019	43
Tabulka 8: Mortalita sazenic za období od roku 2017 do roku 2019.....	44
Tabulka 9: Stanovení živin v půdě podle Mehlicha.....	63

Seznam zkratk

- ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav
- ČSN – Česká státní norma
- LVS – lesní vegetační stupeň
- PLO – přírodní lesní oblast
- ÚHÚL – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů

1. Úvod

Vzhledem k nutnosti zvyšování podílu listnatých dřevin v našich lesích s ohledem na měnící se klimatické podmínky (sucho a zvyšování teplotního průměru) je snahou omezit zejména smrkové monokultury a přiblížit se přirozené druhové skladbě lesů.

Tento požadavek byl promítnut i do lesního zákona č. 289/1995 Sb. a dále do následných prováděcích vyhlášek. Nově zejména do vyhlášky č. 298/2018 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů.

Minimální podíl listnatých dřevin je v běžné lesnické praxi dosahován hlavně výsadbou dvou listnatých dřevin: buku a dubu. Pro zabezpečení dostatku zdravých a vyspělých sazenic je třeba přizpůsobit technologii pěstování ve školkařské praxi. Buk je v dnešní době oblíbená lesní dřevina, která je na řadě stanovišť schopná plnit mimoprodukční i produkční funkci a poskytovat dřevo vhodné pro široké spektrum použití.

K činitelům, které významně ovlivňují růst školkařských výpěstků, patří mimo jiné i výživa. Samotnou výživu semenáčků a později sazenic nelze chápat izolovaně. Vedle ní musejí být zajištěny ve správném poměru všechny růstové činitele, jako je i teplo, světlo a voda. Usměrnit jednotlivé růstové činitele harmonicky, dle potřeby semenáčků, musí být naší snahou po celou dobu pěstování sadebního materiálu. Z uvedených růstových činitelů může lesní školkař v běžných provozních podmínkách nejnadhěji ovlivňovat vláhu (voda) a výživu v praktickém významu „hnojení“.

Dusík je podstatný prvek, který rostlina potřebuje k tomu, aby mohla přetvářet cukr na bílkovinné látky, které vlastně umožňují růst, a chlorofyl nutný pro fotosyntézu. Dusík a jeho ionty, které teprve rostlina může přijímat, jsou ale v půdě značně pohyblivé. Minerální sloučeniny dusíku jsou v půdě poměrně slabě poutány, a tak může dojít k jeho vyplavování (Aarnio, 1995).

Z těchto důvodů se začínají uplatňovat hnojiva s pomalu rozpustným dusíkem, které mají dvě podstatné výhody, a to jak pro rostliny, tak i pro životní prostředí.

- a) Dusík se postupně uvolňuje, a tak jej může rostlina z hnojiva daleko efektivněji využít.
- b) Tím, že v půdním roztoku nedochází k silnému hromadění dusičnanů, je sníženo nebezpečí jejich vyplavení do podzemních vod při větších srážkách, což znamená ztrátu pro rostliny i zvýšení zátěže pro životní prostředí.

K naplnění těchto požadavků autor zamýšlí přispět i předkládanou prací, kdy v praxi porovnává účinky použití běžných komplexních hnojiv s účinky hnojiva s pomalu rozpustným dusíkem (na bázi močovinoformaldehydu) v rámci základního hnojení sadebního materiálu buku lesního.

2. Cíl práce

Cílem této práce je porovnat účinky rychle rozpustného a pomalu rozpustného komplexního hnojiva na prosperitu sadebního materiálu buku v lesní školce Věcov I. v porovnání se základním hnojením. Porovnání bylo provedeno na základě zjištěných údajů o výšce sazenic, tloušťce kořenového krčku, množství chlorofylu v listech, objemu nadzemní a kořenové části, hmotnosti nadzemní a kořenové části a v neposlední řadě poměru živin u sazenic. Výsledkem této práce by mělo být optimalizovat hnojení sadebního materiálu v lesních školkách. Jak z hlediska prosperity a vitality sadebního materiálu, tak i z hlediska ohleduplnosti vůči životnímu prostředí.

3. Literární rešerše

3.1. Charakteristika dřeviny

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) má přirozený výskyt ve střední, západní, jižní a východní Evropě, kde na něho navazuje buk východní (*Fagus sylvatica* subsp. *orientalis*). Buk lesní je tedy naše původní dřevina. Vyskytuje se od kolinného vegetačního stupně, těžišťě má suprakolinním, submontánním a montánním stupni. Ustupuje v supramontánním vegetačním stupni. Podle Plívy (1987) bukové smrčiny jsou společenstvy vyšších horských poloh, především hercynské oblasti. Vlivem kratšího vegetačního období a vyšší trvalé vzdušné vlhkosti při nižší teplotě a výparu má buk již značně zhoršené podmínky, a proto začal převažovat smrk.

Buk je opadavý, jednodomý strom s válcovým kmenem a hladkou borkou; dřevo má roztroušeně pórovité bez jádra. Buky dorůstávají výšky 35–45 metrů výšky a dožívají se ojediněle až 400 let, většinou však výrazně méně. Borka kmenu je šedá a hladká. Letorosty jsou tenké a prohnuté se špičatými pupeny, které mají skořicové zbarvení. Plody jsou hnědé, lesklé a trojboké, které rostou v nažkách. Listy jsou řapíkaté, laločnaté, široce vejčité a zašpičatělé (Koblížek 1990).

Semena buku lesního klíčí epigeicky. To znamená, že děložní lístky vyrůstají nad povrch půdy a osvobozují se z osemení. Po dobu, než vyrostou kmínek s normálními listy, děložní lístky plní asimilační funkci. Jsou velmi náchylné na pozdní jarní mrazy.

U nás je buk jedna nejrozšířenějších listnatých dřevin, která je pěstována pro lesnické účely. Současné zastoupení buku v České republice je 8,3 % lesní půdy (údaje pro rok 2016). Když porovnáme s hodnotou z roku 2010, kdy bylo zastoupení buku 7,3 %, lze konstatovat nárůst o jedno procento za dobu 6 let. Podle Plívy (1987) v původních porostech převládal buk, přimíšena byla jedle, v některých typech cenné listnáče, v nižších polohách dozníval dub zimní.

Přirozené zastoupení buku je 40,2 %. Podle Ministerstva zemědělství (2018) přirozená druhová skladba byla rekonstruována jako skladba přirozených lesních společenstev, které by se v daných přírodních podmínkách za současného klimatu vyvinuly bez zásahu člověka.

Doporučený průměrný podíl buku v druhové skladbě lesů ČR je 18,0 %. Podle Ministerstva zemědělství (2018) doporučená dřevinná skladba představuje ekonomicky, ekologicky a funkčně optimalizované zastoupení dřevin, které zaručuje vyvážené plnění produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa. Nelze vyloučit, že podíl buku v doporučené druhové skladbě bude na řadě stanovišť s ohledem na zkušenosti s vývojem klimatu a ve světle dopadů kůrovcové kalamity dále navýšen.

Buk lesní je ve velké části cílových lesních dřevin hospodářských souborů klasifikován jako melioračně zpevňující dřevina. Řadí se mezi dřeviny se středním melioračním účinkem (Válek 1977).

3.2. Ekologické nároky dřeviny

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je dřevinou oceánického a suboceánického klimatu. Je citlivý k suchu, ale naopak nesnáší přemokřené půdy, na kterých odumírají kořeny. Buk je náchylný k poškození pozdními jarními mrazy, které dřevině poškodí nové jarní letorosty. Mladé kultury buku jsou zranitelné vůči ohryzu hlodavci (Flousek 1999). Nejlépe buk roste na čerstvých, vlhkých a humózních půdách, které jsou bohaté na minerály.

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je pomalu rostoucí dřevina, která toleruje i velké zastínění. Vůči zastínění je buk jedním z nejtolerantnějších druhů mezi našimi listnáči. Na druhou stranu buk má i jasné stanovištní požadavky. Válek (1977) uvádí, že pomalý růst buku, jeho slabá výmladnost a značná citlivost dřevních pletiv vůči letnímu zranění mu nedává ani možnost růst v březích erozních toků. Nesnáší zaplavení. Není vhodný na sesuvných úbočích.

Buk lesní je klimaxová dřevina, která má všechny předpoklady k přirozenému obnovování ve starších porostech a fungujících ekosystémech v pokročilé fázi sukcesního vývoje. Naopak na otevřených plochách buk trpí pozdními mrazy a velkým růstem buřeně.

Současné vylišování lesních vegetačních stupňů využívané v lesnické typologii je odvozeno od systému podle Zlatníka (1979), ale není se Zlatníkovými stupni zcela totožné. Česká republika je podle současného typologického pojetí rozdělena do 9 zonálních lesních

vegetačních stupňů, pojmenovaných podle lesních dřevin s hospodářským významem, které by byly pro přirozené lesy v daném stupni typické (ÚHÚL 2010). V nejsušších oblastech prvního vegetačního stupně, které jsou neovlivněné vodou, buk lesní chybí. Produkční optimum pro buk je čtvrtý lesní vegetační stupeň. Mezi druhým a sedmým vegetačním stupněm buk mění svoji vitalitu a podíl v přirozené skladbě lesa. V osmém lesním vegetačním stupni podíl buku klesá a buk se zde vyskytuje pouze v podúrovni.

3.3. Prostokořenný sadební materiál

Hlavním cílem lesních školek je dostatečná produkce kvalitního sadebního materiálu pro umělou obnovu lesa. Produkce prostokořenného sadebního materiálu je tradiční způsob pěstování lesních dřevin. Prostokořenný sadební materiál se pěstuje ve formě semenáčků, sazenic, poloodrostků a odrostků. Tento sadební materiál se pěstuje v různých substrátech na venkovních záhonech, případně ve foliových krytech v lesních školkách pro potřeby obnovy lesa. Sadební materiál se vyzvedává se záhonů vždy na jaře před rašením nebo u listnáčů ideálně na podzim, kdy už je sadební materiál ve vegetačním klidu a rostliny mají zdřevnatělé (vyzrálé) letorosty.

Velikost kořenového systému sadebního materiálu musí být úměrná výšce nadzemní části. Kořenový systém musí být dostatečně bohatý na svazčité kořeny, ale jeho absolutní velikost by neměla být příliš velká kvůli výsadbě. Podle Juráska a kol. (2010) při optimální velikosti kořenového systému sadebního materiálu se snižuje riziko deformací kořenů při výsadbě.

Vyzvednutý sadební materiál by neměl být mechanicky poškozen. Podle Juráska a kol (2010) se za mechanické poškození sadebního materiálu považuje přetrhání kořenové části sazenice (například při vyzvedávání ze zmrzlé nebo příliš mokré půdy), případně zlom nadzemní části sazenice.

3.3.1. Historie

Počátky lesního semenářství a školkařství u nás jsou spojené s Franz-Josefem Matzem (1755–1841). Po vyučení byl přijat do Schwarzenberských služeb v Českém Krumlově. V roce 1796 Matz založil „lesní plantáž“ o rozloze 2,5 ha a později lesní školku na panství

ve Zlaté Koruně. Lesní školka tehdy sloužila k pěstování 1–3letých semenáčků. Tímto krokem inspiroval lesníky k dalšímu zakládání školkařských středisek.

V roce 1890 byly založeny první velkoškolky v Kladrubech nad Labem. Školky se dále rozšiřovaly v roce 1903 pod vedením lesmistra Rakušana v Řečanech nad Labem. Výměra těchto středisek se pohybovala okolo 30 hektarů.

V 50. letech minulého století byl velký nedostatek lesních sazenic. Proto byly zakládány četné lesní školky často na velice nevhodných stanovištích. Školkařské kultury byly navíc tehdy pěstovány ve velkých hustotách, a proto byl produkovaný sadební materiál často velmi nekvalitní. Situaci měly zlepšit normy ČSN 48 2310 – lesní školka (platná od 1. 4. 1955) a ČSN 48 2320 – práce v lesních školkách (platná od 1. 4. 1959). V 60. letech minulého století byly tyto normy novelizovány. Novelizované normy stanovovaly základní kritéria produkčních ploch a jejich minimální velikost.

Do roku 1989 bylo soustředěno pěstování sadebního materiálu do velkých školkařských areálů. Po roce 1989 došlo k výrazné diverzifikaci školkařství vznikem většího množství menších soukromých školkařských areálů.

V roce 1995 bylo několik fyzických osob, soukromých a veřejnoprávních subjektů provozující školkařskou činnost.

V roce 1998 vstoupila v účinnost norma ČSN 48 2115 – sadební materiál lesních dřevin. Norma stanovuje požadavky na kvalitu semenáčků, sazenic a poloodrostků. Tato norma byla v rámci dvou revizí (tzv. změn a oprav provedených v roce 2002 a 2010) postupně doplňována. V roce 2012 došlo k zásadnějším úpravám normy ČSN 48 2115 a přepracovaný dokument byl znovu vydán pod stejným označením, ale s aktualizovaným obsahem a novým vročením, čímž ukončil účinnost a platnost původní verze z roku 1998. V současné době je k aktuální verzi normy z roku 2012 k dispozici jedna změna (1 03.13).

3.3.2. Půda ve školkách produkujících sadební materiál na venkovních záhonech

Klíčová role pro správné pěstování sadebního materiálu je příprava půdy. Podle Duška (1997) základní příprava půdy na plochách s tradičním postupem pěstování semenáčků a sazenic zahrnuje: orbu, vpravení hnojiv, předosevní půdní dezinfekci, hubení plevelů a závěrečnou přípravu ploch pro výsevy a školkování.

Pro správné pěstování sadebního materiálu a pro správnou přípravu půdy v lesní školce je také důležitá zrnitost půdy. Nejvhodnější zrnitostí druhy pro školkařskou výrobu jsou hlinito-písčité a písčito-hlinité půdy s podílem písčitých částic (0,05–2,0 mm) nepřevyšujícím 75 % a současně s podílem jílnatých částic (<0,01 mm) nepřesahujícím 40 %. Mezní zrnitostní druhy, které lze ještě označit jako použitelné pro školkařskou produkci, jsou drobné středně těžké hlinité zeminy na jedné straně a na druhé straně humózní hlinité písky (Nárovec 2003).

Pro příznivý vodovzdušný režim půd je rovněž žádoucí, aby granulometrická skladba zemin vykazovala více méně rovnoměrné zastoupení zrnitostních frakcí skupiny středních, jemných i práškových písků (tj. částic >0,05 mm) v jemnozemi. Souhrnný podíl písčitých frakcí v jemnozemi obvykle u testovaných půd nabýval hodnot od 47 do 74 %. Podíl skeletu (tj. částic >2,00 mm) je nutné udržet co možná nejnižší (max. do 20 %), přičemž by jej měly tvořit hlavně částice hrubého písku (o velikosti 2–4 mm). Příměs šterku (tj. částic 4–30 mm) je přípustná jen ve zcela zanedbatelném podílu, resp. v ojedinělých případech (Burda a kol. 2015).

Z hlediska fyzikálně-chemického lze předpokládat, že mezi rostlinou a půdou neustále probíhá výměna iontů, ať už jsou k dispozici v půdních roztocích anebo koloidních částicích půd. Parametry půdního sorpčního komplexu patří mezi nejdůležitější půdní vlastnosti.

Základem sorpčního komplexu jsou půdní koloidy, tj. velmi malé částice, ať už organické (humózní) či anorganické (minerální vzniklé z mateční horniny), které mají vzhledem k svému objemu exponenciálně větší povrch. Celkový povrch půdních koloidů a jejich vlastnosti (to je stabilita koloidního systému a výměnná sorpce iontů) závisí:

- na jejich tvaru (jílovité mají tvar plátek či tyčinek, organické mají tvar koule),
- na jejich elektrickém náboji (záporný = acidoid, kladný = bazoid),
- na velikosti elektrického potenciálu (zeta potenciál),
- na okolním prostředí (pH půdního roztoku),

Jednou z nejdůležitějších funkcí půdních koloidů v závislosti na velikosti jejich elektrického náboje je výměnné poutání kationtů a aniontů. Protože přístupné formy většiny důležitých živin v lesních půdách mají charakter kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), je pro půdní vlastnosti důležitá schopnost poutat právě kationty. Tuto schopnost popisuje charakteristika nazývaná kationtová sorpční výměnná kapacita (KVK, příp. T). Velikost KVK je podmíněna záporným nábojem koloidních částic (acidoidů), na něž budou kationty živin výměně poutány.

Většina lesních půd má výměnu kationtů závislou na obsahu organické hmoty a jílových minerálů. Rovněž je výměna kationtů podstatně závislá na pH prostředí. Při nízkém pH půdy, které v podmínkách Středočeské pahorkatiny většinou převládá, bývá výměnná kapacita nižší, a to až o dvě třetiny oproti neutrálnímu prostředí.

Navíc je tato hodnota významně diferencována v jednotlivých částech půdního profilu. Pokud máme v lesní školce písčitou půdu s nízkou kationtovou výměnou, mělo by se počítat s její úpravou přidáním kompostu, případně jiného vhodného organického materiálu, nebo zeleným hnojivem. Jinak je efektivnost hnojení snížena zejména tím, že živiny dodané v hnojivu jsou vymývány mimo kořenovou zónu rostlin. Zde by taky mělo význam použití hnojiva s pomalu rozpustným dusíkem.

Vlastní výměna kationtů mezi půdním roztokem a povrchovými vrstvami půdních částic má určité zákonitosti. Na jedné straně záleží na vlastnostech samotných kationtů (velikosti jejich náboje), na druhé straně je výměna kationtů také podstatně závislá na vlastnostech jednotlivých sorpce schopných koloidů. Většina lesních půd (mimo vápencových podkladů) má tzv. nenasycený sorpční komplex, což úzce souvisí s půdní kyselostí. V těchto půdách je kationtová sorpční výměnná kapacita půd obsazena z velké části kyselými kationty (H^{+} nebo Al^{3+}); bazických kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) je zde

méně. Zastoupení jednotlivých kationtů v sorpčním komplexu a vlastnosti koloidů ovlivňují i fyzikální vlastnosti půdy, a to zejména půdní strukturu, a tím i pórovitost a propustnost pro vodu.

Poutání kationtů je u většiny lesních půd daleko významnější, ale je nutné se zmínit i o poutání aniontů. K jejich poutání je nutná přítomnost kladně nabitých koloidů. Z látek obsahujících živiny, které se chovají jako anionty, lze uvést například sulfát, fosfát, molybdát, borát, ale i například nitráty.

Půdní reakce je dána výskytem volných vodíkových iontů v půdním roztoku. Koncentrace vodíkových iontů se vyjadřuje číslem pH (potentia hydrogenii), které představuje záporný logaritmus jejich koncentrace. Když tedy půdní roztok bude obsahovat 0,0000001 gramu H^+ na jeden litr vody, bude mít pH 7. V tomto stavu má půdní roztok vyrovnanou koncentraci H^+ a OH^- iontů. To jsou půdy neutrální a z menším pH označujeme půdy kyselé (když převažuje aktivita H^+ iontů) a půdy s vyšším pH označujeme jako zásadité (když v půdním roztoku převažují OH^- ionty).

Půdní reakce má vliv:

- Na přístupnost živin pro rostliny (kyselé půdy brání přístupnosti živin)
- Na výskyt patogenních organismů (hub)
- Na průběh půdotvorných procesů (při zvětrávání hornin)

3.3.3. Způsob pěstování sadebního materiálu

Sadební materiál produkovaný z osiva při pěstování prochází několika fázemi. První fází jsou formou semenáčků. To jsou rostliny generativního původu, u nichž během růstu nebyl některak upravován kořenový systém. Osivo může vysévat na jaře, v létě a na podzim. Poleno (2009) uvádí, že výsev semene se provádí zpravidla na jaře; v létě se vysévá osivo osiky, jilmů a břízy; pro semena jedle bělokoré, douglasky, vejmutovky, limby, dubů, a buku je nejvýhodnější výsev ihned po sběru, tj. na podzim. Při této biologicky správné podzimní síji však hrozí nebezpečí zničení semen černou zvěří, hraboši apod.

Výsev osiva na záhoně se provádí formou proužků, rýh nebo eventuálně můžeme provádět plnou síji. Správnost výsevové dávky proužku můžeme vypočítat podle jakosti osiva a jeho klíčivosti:

$$N = \frac{10 \times V \times A}{K \times \check{C}}, \text{ kde}$$

N = výsevová dávka (v gramech) na 1 běžný metr proužku nebo rývky

V = požadovaný počet klíčivých semen na 1 běžný metr proužku nebo rývky

A = absolutní hmotnost 1 000 semen (v gramech)

K = klíčivost (%)

Č = čistota (%)

Produkce sadebního materiálu v lesní školce může ve fázi semenáčku končit. To znamená, že školky mohou vyzvedávat rostliny bez zásahu do kořenového systému a (pokud takové rostliny splňují požadavky dané vyhláškou č. 29/2004 Sb.) mohou semenáče uvádět do oběhu (tj. prodávat zákazníkům).

Často se ale v lesních školkách produkují sazenice. Ty vznikají ze semenáčků záměrným zásahem do kořenového systému během školkařské produkce a následným dopěstováním, nebo (spíše zřídka) vegetativním množением reprodukčního materiálu. Obvykle po roce se u semenáčků upravuje kořenový systém, a to školkováním, podřezáváním kořene nebo přesazením do obalu. A tímto se ze semenáčků dostáváme do druhé fáze sazenic.

Sazenice získáváme ze semenáčků úpravou kořenového systému. Semenáčky roztřídíme (dle velikostí, poškození, nemoci nebo málo vyvinuté jedince) a přesadíme pomocí operace nazývané školkování (obr. 1). Školkování lze provádět ve třech obdobích v roce, a to na jaře, v létě nebo na podzim, do předem připravené a vyhnojené půdy.



Obrázek 1: Školkování semenáčků na záhon při produkci sazenic. Rostliny, které školovací stroj umísťuje zpátky na záhon, již prošly protříděním a manuální úpravou kořenového systému.

Kořenový systém lze také upravit podřezáváním, což je mechanická úprava kořenů pěstovaného materiálu přímo na záhoně speciálním adaptérem neseným na traktoru. Účelem je zakrátit kosterní kořeny a vytvořit soustředěný kořenový systém, který je bohatý na koncové jemné (svazčité) kořeny. Metodu podřezávání lze použít u kořenového systému dřevin s kůlovým kořenem (např.: borovice, buku a dubů), u sazenic školovaných nebo u poloodrostků, u kterých jím nahradíme první nebo druhé školování. Jako nouzový zásah jej lze uplatnit u kultur, které chceme přidržet ve školce na další rok.

Kořenový systém lze podřezávat ve vodorovné i svislé rovině, případně kombinovaně. Slouží k tomu podřezávače sazenic konstruované k horizontálnímu a vertikálnímu podřezávání (Poleno 2009). Relativně nově jsou na trhu podřezávače vybavené čepelími ve tvaru „J“, které ve dvou zásazích umožňují kombinované (horizontální i vertikální) podříznutí kultury na záhoně s využitím jediného adaptéru.

Poloodrostky jsou rostliny větších rozměrů, které pěstujeme obvykle dvojitým zásahem do kořenového systému během produkce ve školce (školováním, podřezáváním kořenů nebo přesazením do obalu). Výška nadzemní části poloodrostků je obvykle 51 až 120 cm.

Odrostky pěstujeme obdobně jako poloodrostky, ale odrostky mají výšku 121 až 250 cm. Je u nich požadavek (nikoliv pouze doporučení) na dvojí zásah do kořenového systému během pěstování a rovněž na tvarování nadzemní části. Bližší specifikace na parametry jednotlivých typů sadebního materiálu z pohledu právní úpravy definuje vyhl. č. 29/2004 Sb. a pro standardní sadební materiál pak norma ČSN 48 2115 v aktuálním znění.

3.3.4. Výhody a nevýhody prostokořenného sadebního materiálu

Výhody a nevýhody prostokořenného sadebního materiálu podle ÚHUL (2017)

Výhody:

- menší nároky na technologii pěstování a nižší cena sadebního materiálu;
- nižší náklady na dopravu a další manipulaci;
- často snazší výsadba na stanovišti

Nevýhody:

- při vyzvedávání sadebního materiálu existuje větší riziko mechanického poškození;
- při vyzvedávání často dochází ke ztrátě většího množství kořenů;
- omezená doba pro realizaci zalesňování (potřeba vegetačního klidu); jarní výsadby nutno ukončit před začátkem rašení pupenů, podzimní výsadby je možné zahájit po vyžrání prýtu a přechodu rostlin do dormance
- větší nároky na péči o sadební materiál během dopravy a uskladňování před výsadbou;
- po výsadbě často probíhá šok z přesazení a vzniká nutnost regenerace a obnovy fyziologických funkcí kořenů;
- větší závislost sadebního materiálu na průběhu povětrnostních podmínek.

3.4. Druhy hnojení sadebního materiálu

Ovlivnit úrodnost půdy z hlediska nabídky živin lze hnojením. Hlavním cílem hnojení v lesních školkách je úprava či udržení produkční schopnosti půd a dosažení optimální výživy pěstovaného sadebního materiálu. Nedostatek živin vede k omezenému růstu pěstovaného

sadebního materiálu. Naopak při nadměrně vysokém množství některých živin dochází k nevyvážené výživě, někdy až k lokální toxicitě (přehnojení), přílišnému růstu prýtů rostlin způsobujícímu nepoměr mezi kořenovým systémem a nadzemní částí nebo minimálně ke zbytečným nákladům a zatěžování životního prostředí v důsledku vyplavování přebytečných živin z půdy školkařských záhonů.

Cílem lesního školkařství musí být vypěstovat zdravé odolné sazenice, které co nejdříve překonají šok z přesazení a budou odolné proti abiotickému a biotickému poškození. Toho by mělo být dosaženo při udržení půdní úrodnosti v lesních školkách, s rozumnou mírou vstupů a nákladů a s minimálními dopady na životní prostředí.

Hnojení musí reagovat na fakt, že odčerpávání živin z půd lesních školek je velmi intenzivní a srovnatelné se zemědělsky využívanými půdami (Poleno 2009). I při střední intenzitě školkařské produkce se ročně v biomase sadebního materiálu ukládá kolem 70 kg draslíku, 110 kg vápníku, 10 kg fosforu a 160 kg dusíku. K tomu je nutné přičíst, že se sazenicemi při jejich vyzvedávání se odjímá i určitá část velmi úrodné zeminy a část živin se vyplavuje. Bez náhrady odčerpaných živin by se půda ve školce rychle vyčerpala.

3.4.1. Základní hnojení

Základní hnojení používáme při přípravě půdy před setím nebo školkováním sadebního materiálu na základě půdního rozboru, který je zapotřebí opakovat nejdéle v pětiletých intervalech. Období mezi dvěma základními rozbory je třeba realizovat alespoň jeden doplňující rozbor nejlépe před novou kulturou. Lze jej použít jako podklad i pro takzvané doplňkové hnojení během pěstování semenáčků a sazenic zejména v případě výskytu růstových anomálií, barevných změn a podobně.

Cílem základního hnojení půd v lesních školkách podle Nárovce (2003) je dosažení „optimální“ koncentrace příslušné živiny v půdě. Za vyhovující se pak zpravidla považují půdy středně nebo dobře zásobené rostlinám přístupnými živinami.

Mezi prvotní základní hnojivo pro lesní školku je důležitý kvalitní kompost, protože mimo živiny obsahuje i organickou hmotu. Dalšími používanými zdroji organické hmoty v lesních školkách jsou:

- Zelené hnojení: jsou to rostliny, která vypěstujeme za účelem následného zaorání do půdy (nejlépe v době květu)
- Kompost: produkt přeměny organických látek za přístupu vzdušného kyslíku
- Rašelina: která je bohatým zdrojem organických látek, zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy, sorpční kapacitu a upravuje celkové zásoby živin

Zelené hnojivo samo o sobě nemůže organická hnojiva rovnocenně nahradit. Nicméně má přinejmenším potenciál přispívat ke stabilizaci obsahu humusu v půdě (Nárovcová a kol. 2016).

Obsah organické hmoty v půdě podle Kopinga a Van den Burga (1995) se hodnotí podle suchého spalování nebo chemickou oxidací, ale obsah organické hmoty v půdě by neměl být menší než 3,0 %. Pod 3,0 % je „nízký“ a nad „dostačující“.

Dále používáme minerální hnojiva dle výsledků půdních rozborů. Průmyslově vyráběná hnojiva, které jsou jednosložková (ve vodě rozpustné soli, např.: močovina, K_2SO_4) nebo kombinovaná obsahující vícero živinových prvků, případně hnojiva komplexní obsahující vždy tři základní živiny: dusík, fosfor, draslík (NPK) + zpravidla hořčík (Mg), případně mikroprvky jako bor (B).

Základním hnojením podle Nárovce (2001) dodáváme do půdy hnojivé látky za účelem úpravy nevyhovujících půdních vlastností, eventuálně ke zlepšení růstových poměrů (úrodností) daného stanoviště. Cílem je zpravidla aktivizace a intenzifikace koloběhu živin v lesním ekosystému.

Udržovací hnojení by mělo zajistit kompenzaci živin, které byly ze školky odebrány s vyzvednutými rostlinami, nebo došlo k jejich ztrátě při pěstebních činnostech (mineralizace, vyplavování atd.). Správně nastavené udržovací hnojení by v ideálním případě mělo udržovat

dlouhodobě optimální stav půdního chemismu, aby nebylo potřeba přistupovat k jeho nápravě prostřednictvím základního hnojení.

3.4.1.1.Rychle rozpustné hnojivo

Průmyslově vyráběná hnojiva první generace živiny uvolňují velmi rychle. Uvolňování proběhne okamžitě s působením půdní vody. To zvyšuje riziko přechodně výrazně zvýšených až pro rostliny toxických koncentrací živin v půdním roztoku. Při deštivém počasí se naopak často stává, že část živin, které tato hnojiva obsahují, se bez užítku vyplaví do spodních půdních horizontů mimo dosah kořenů. Pro rychlé uvolňování živin, ale nasazení těchto hnojiv může mít význam při řešení akutních deficitů ve výživě kultur, v intenzivních kontrolovaných provozech. Po nasazení rychle rozpustných hnojiv lze očekávat i rychlejší reakci pěstované kultury.

Rychle rozpustná hnojiva jsou vyráběna formou prášku, granulí nebo tablet. Některá lze aplikovat rovněž jako rozpuštěná ve vodě se závlahou (tzv. aplikace na list).

3.4.1.2.Pomalou rozpustná hnojiva

Průmyslově vyráběná moderní hnojiva druhé generace uvolňují živiny postupně. Pozvolné a dlouhodobé uvolňování živin probíhá v řádu měsíců až let po aplikaci. U nejmodernějších hnojivých preparátů je intenzivní výdej živin probíhá zejména v období, kdy rostliny aktivně rostou a jsou schopny živiny intenzivně přijímat. Uvolňování živin u těchto preparátů neprobíhá pouze v závislosti na obsahu půdní vody, ale je kontrolováno rovněž teplotou půdy.

Mezi nejznámější pomalu rozpustná hnojiva používaná v lesnictví patří hnojiva řady Silvamix. Kubelka (2001) uvádí, že hnojiva obsahují dusík převážně ve formě močovinoaldehydových kondenzátů (Ureaform). Tyto kondenzáty vznikají reakcí mezi močovinou a formaldehydem. Jejich vlastnosti jsou závislé na délce polykondenzátového řetězce, mají omezenou rozpustnost ve vodě a představují zdroj pozvolna působící dusíkaté výživy. Dusík se zde uvolňuje rozpadem z polykondenzátových řetězců, který způsobují půdní bakterie. Ty jsou nejaktivnější v období, kdy je půda teplá a vlhká, tedy v období, které je optimální i pro růst rostlin. V zimě je aktivita bakterií rozkládajících polykondenzátové řetězce utlumená, protože půda je chladná. Zpomaleno je tedy i uvolňování dusíku.

Při uplatnění hnojiv s těmito vlastnostmi proto nedochází k nežádoucímu hromadění vysoké koncentrace dusíku v půdním roztoku. Minimalizuje se tím potenciální unik dusíkatých sloučenin z půdy, snižuje riziko přehnojení a zvyšuje se účinnost využití hnojením dodaného dusíku rostlinami (Jahns 1999).

Další významnou předností řady Silvamix je pozvolné uvolňování i ostatních základních biogenních prvků, tj. fosforu, draslíku a hořčíku. Tyto makroelementy jsou v hnojivech Silvamix obsaženy ve formě pomalu rozpustných podvojných fosforečnanů draselnohořečnatých, což zaručuje pozvolné uvolňování všech prvků do půdy

3.4.2. Přihnojování sadebního materiálu

Přihnojování semenáčků a sazenic lesních dřevin se provádí zpravidla jeden až dva měsíce před obdobím růstu kořenů. V průběhu roku existují dvě období růstu kořenů dřevin. Hlavní období začíná přibližně koncem března a trvá do poloviny června. Druhé období pak začíná kolem první poloviny měsíce září a trvá přibližně do konce října (Nárovec 2001). Podmínkou účinnosti při hnojení je, aby v období růstu kořenů byly již živiny z hnojiv obsaženy v půdě.

Přihnojení by se ve školkách mělo provádět při jakémkoliv zjištění nedostatku živin, při změně barvy listu a jehlic v důsledku nedostatečné výživy, dále případně podle chemického rozboru listů a jehlic.

Tekutá hnojiva se aplikují přidáním do závlahové dávky pomocí závlahového systému. Dále se hnojiva aplikují granulami tak, že se správná dávka rovnoměrně rozhází po záhoně.

Při školkování nebo podřezávání semenáčků Poleno (2009) přihnojování semenáčků přispívá k překonání následků redukce kořenu. Přihnojuje se jednorázově, nejdříve 7 až 10 dnů po podřezávání, a to zpravidla průmyslovým hnojivem.

Při stanovení doby přihnojování dusíkatými hnojivy Nárovec (2001) uvádí, že se musí brát v úvahu fakt, že se nesmí hnojit ve vegetační době příliš pozdě, aby letorosty dřevin mohly na podzim řádně ukončit růst a zdřevnatět. Nejzazším uváděným termínem

na venkovních nekrytých minerálních záhonech je zpravidla druhá polovina července. Vápenatá a fosforečnatá hnojiva lze aplikovat po celý rok. Otázka jejich případné aplikace na sníh musí být pečlivě zvážena, aby nedocházelo k přemístění hnojiv v důsledku pohybu sněhu.

3.5. Nároky sadebního materiálu na živiny

Sadební materiál potřebuje všechny druhy živin jak pro normální vývoj, tak pro růst. Soukup a kol. (1979) uvádějí, že mezi deseti biogenními prvky jsou: uhlík (C), kyslík (O), fosfor (P), vápník (Ca), vodík (H), dusík (N), draslík (K), hořčík (Mg), síra (S) a železo (Fe). Těchto deset prvků přijímají rostliny z prostředí a při chemickém rozboru rostlinné hmoty je vždy nalézáme v poměrně značném množství. Jsou také označovány jako makroelementy. Biogenní prvky jsou pro růst všech rostlin nezbytné a nepostradatelné. Některé z biogenních prvků (C, O, H) jsou rostlinám v normálních podmínkách dostupné v dostatečném množství, dostupnost jiných (P, K, Ca, Mg, S) bývá závislá na půdním prostředí. Lze je ale rostlinám dodat prostřednictvím hnojení. Mezi jednotlivými živinami probíhá v rostlině neustále vzájemné působení. Rostlina také intenzivně komunikuje s vnějším prostředím: přijímá zvenčí látky, chemicky je přeměňuje, přičemž získává energii, a zplodiny vylučuje ven, což označujeme za látkovou výměnu. Když je tato výměna narušena, rostlina strádá jak na růstu, tak i vývoji a dochází k anomáliím (např.: chloróza, nekróza a další).

Mezi další skupinu prvků nutných pro výživu rostlin, které jsou však v rostlinách přítomny jen v nepatrných množstvích, jsou tzv. mikroelementy (tzv. prvky stopové nebo oligobiogenní) patří: bor (B), měď (Cu), molybden (Mo), mangan (Mn), zinek (Zn), kobalt (Co), chlór (Cl) a sodík (Na) (Soukup a kol. 1979). I když rostliny potřebují stopové prvky pouze v malém množství, jejich dostupnost je pro rostliny důležitá. V některých případech se může stát, že zásobením některým ze stopových prvků se dostane na deficitní úroveň. Pokud je ale toto odhaleno a příčina správně určena, lze tento problém relativně snadno odstranit.

Další skupinou jsou takzvané abiogenní prvky. Tyto prvky nejsou pro růst rostlin nezbytné, ale v některých případech a po určitou dobu mohou nahradit některé důležité prvky. Mezi tyto prvky patří brom (Br), jód (I), fluor (F), nikl (Ni) a wolfram (W).

Hlavní příjem minerálních živin se odehrává přes kořenový a mykorrhizní systém, kterým rostlina tyto živiny přijímá z půdního roztoku ve formě iontů. Další zdrojem biogenních prvků (uhlík a kyslík) je ovzduší. Rostlina přijímá tyto živiny přes list nebo jehličí. I minerální živiny (P, K, Ca, Mg) ve formě iontů mohou za určitých podmínek do rostliny vnikat přes asimilační aparát. Soukup a kol. (1979) uvádí, při ovlhčení se vosková blána na povrchu listové čepele (kutikula) rozpíná, zvětšuje se vzdálenost mezi voskovými plátky, která se taškovitě překrývají a rozpuštěné látky mohou vnikat dovnitř. Tento typ příjmu živin se ve významnější míře uplatňuje při tzv. hnojení na list.

3.6. Měření fluorescence a koncentrace chlorofylu

Zatímco morfologické nedostatky sadebního materiálu (např. kořenové deformace, netvárnost nadzemních částí) lze snadno vizuálně indikovat, odhalení nedostatků spojených s fyziologickou kvalitou je daleko obtížnější a provádí se většinou laboratorně nebo speciálními přístroji přímo v terénu. Mezi nejčastěji zjišťované fyziologické charakteristiky patří posouzení kvality sadebního materiálu pomocí fluorescence a koncentrace chlorofylu.

Stanovení fluorescence a koncentrace chlorofylu odráží pokles aktivity fotosyntetického aparátu listu a slouží k indikaci stresu sadebního materiálu. Fluorescence chlorofylu je vhodná k indikaci krátkodobého stresu, např.: vlivem stresových podmínek sucha, horka a nedostatku vláhy, zatímco obsah chlorofylu může odhalit dlouhodobý diskomfort rostlin (chronický stres).

Měření fluorescence i koncentrace chlorofylu je vhodné provádět 3×, lépe 5× na jednom vzorku (na různých místech) a analyzovat průměrnou hodnotu pro každého jedince. Měření fluorescence se provádí po minimálně 30 minutách adaptace na tmu, koncentrace chlorofylu je měřena bez předchozí adaptace. Měření není vhodné provádět na přímém slunci (Linda a kol. 2019).

Obecně platí, že za optimálních podmínek je výrazně větší část absorbované energie slunečního záření využita pro fotosyntézu než za podmínek stresových (Krause & Weis, 1991).

Fluorescence chlorofylu je v těsném vztahu s průběhem fotosyntézy. O celkové fotosyntetické kapacitě vypovídá i obsah chlorofylu v aktivních pletivech. Princip měření spočívá ve zjištění obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů. Po přijetí kvanta světelné energie molekulou chlorofylu je energie buď absorbována a převedena do procesu fotosyntézy, nebo dochází k převedení energie na teplo či zpětnému vyzáření fotonů (Špulák a kol. 2011).

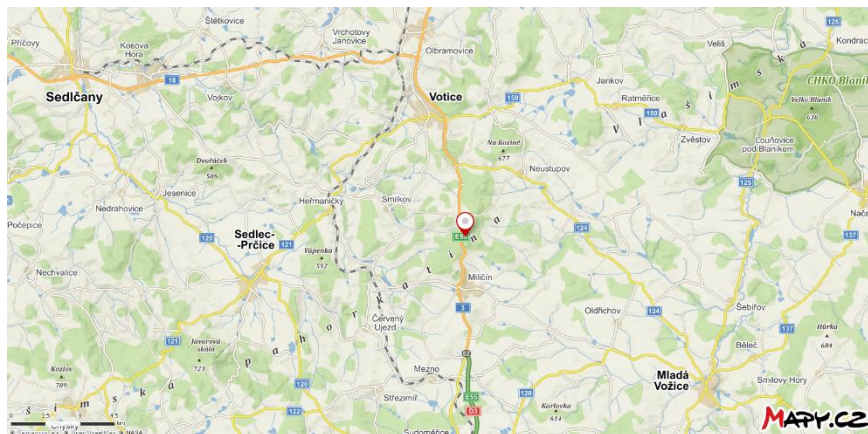
Množství fluorescence chlorofylu je $F_v/F_m < 0,7$ naznačuje to, že je sadební materiál stresovaný vysokými či nízkými teplotami, nedostatkem zálivky či kombinací zmíněných stresorů. Naopak, když je množství fluorescence chlorofylu $F_v/F_m > 0,7$ naznačuje to, že sadební materiál netrpí v důsledků nedostatku vody, světla či extrémními teplotami a lze jej považovat za vitální (Linda a kol. 2019)

Změny ve výtěžku fluorescence chlorofylu jsou také závislé na převodu rostlinného materiálu ze tmy do světla. Tento nárůst je vysvětlován jako důsledek redukce elektronových akceptorů ve fotosyntetické dráze (Maxwell, Johnson 2000).

4. Metodika

4.1. Lokalizace a popis stanoviště lesní školky

Výzkumná plocha je situována v lesní školce Věcov I. nacházející se přibližně 2 km severně od obce Miličín u silnice číslo 3 (N 49°35.46672', E 14°39.74297'). Lesní školka „Věcov I.“ leží nedaleko Babí hory ve Vlašimské pahorkatině v jižní části Středočeského kraje. Lesní školka byla založena v 80. letech 20. století a disponuje produkční plochou 1,30 hektaru. Leží v přírodní lesní oblasti (PLO) 16 Českomoravská vrchovina, v nadmořské výšce 640 m n. m. v pátém lesním vegetačním stupni (LVS). Lesní školka se nachází v lesním porostu. Ve školce se pěstují hlavně listnaté dřeviny (dub letní, dub zimní a dub červený, buk lesní, javor klen a mleč, třešň ptačí a habr obecný), ale dále také jedli bělokorou, jedli obrovskou a douglasku tisolistou. V okolí školky se nacházejí další dvě lesní školky s názvy „Věcov II.“ a „Nuzov“.



Obrázek 2: Lokalizace lesní školky (zdroj: mapy.cz)



Obrázek 3: Lokalizace lesní školky-ortofoto (zdroj: mapy.cz)

4.1.1. Poměry klimatické

Pro charakterizování klimatických podmínek byl požádán ČHMÚ o poskytnutí datových podkladů k odvození průměrné měsíční teploty (°C) a denního úhrnu srážek (mm). Poskytnuta byla data z meteorologické stanice v Nadějkově, která je vzdálená od lesní školky Věcov I. přibližně 17 kilometrů. Data se vztahují k době vegetačního období od března do září, a to po celou dobu výzkumu, tedy pro roky 2017, 2018 a 2019. Tato meteorologická data jsou uvedena v tabulkách číslo 1 a číslo 2. Meteorologická stanice v Nadějkově se nachází ve stejné PLO 16 a LVS 5, při přibližně stejné nadmořské výšce (616 m n. m.) jako školka Věcov I.

Data ze sledovaného období (2017–2019) lze konfrontovat s dlouhodobým normálem za periodu 1981 až 2010. Dlouhodobý teplotní a srážkový normál je opět vztažen k meteorologické stanice v Nadějkově.

Tabulka 1: Měsíční průměrná teplota (°C) zdroj ČHMÚ

Meteorologická stanice ČHMÚ v Nadějkově				
měsíc	měsíční průměrná teplota [°C] rok 2017	měsíční průměrná teplota [°C] rok 2018	měsíční průměrná teplota [°C] rok 2019	dlouhodobý teplotní normál 1981–2020 [°C]
březen	5,8	0,7	5,6	2,4
duben	6,1	12,8	9,5	7,3
květen	13,4	15,9	10,1	12,3
červen	18,0	16,5	20,3	14,9
červenec	17,9	19,1	18,5	17,0
srpen	18,7	20,6	18,8	16,8
září	11,3	14,8	13,3	12,5

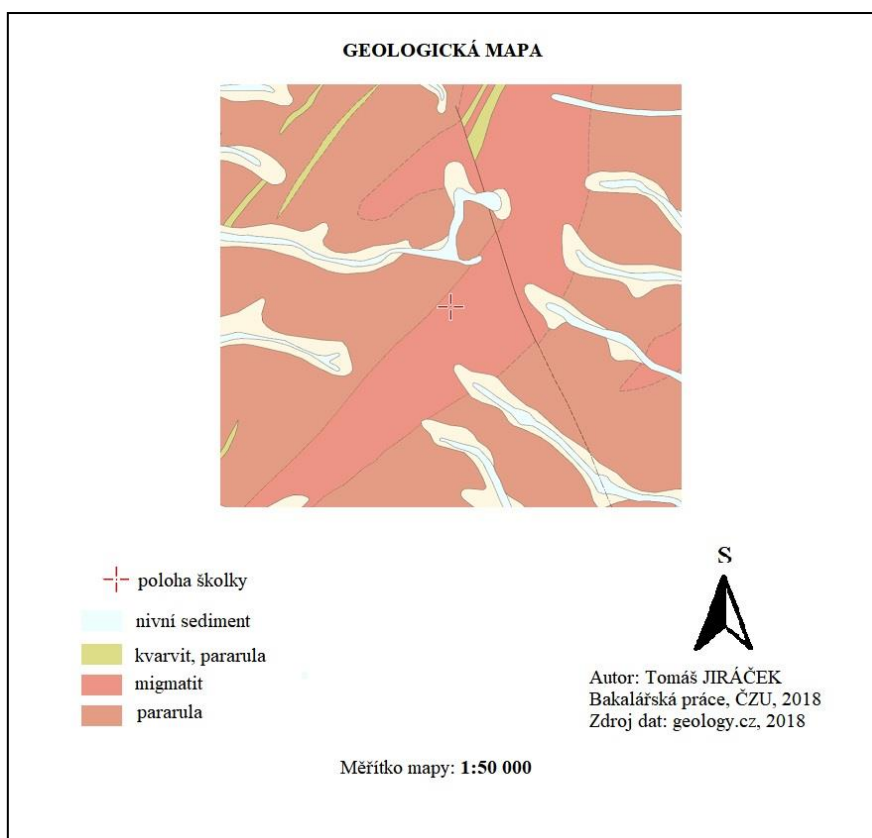
Tabulka 2: Měsíční úhrn srážek (mm) zdroj ČHMÚ

Meteorologická stanice ČHMÚ v Nadějkově				
měsíc	měsíční úhrn srážek [mm] rok 2017	měsíční úhrn srážek [mm] rok 2018	měsíční úhrn srážek [mm] rok 2019	dlouhodobý srážkový normál 1981–2010 [mm]
březen	47,6	33,1	42,0	48,0
duben	104,6	17,1	27,3	42,9
květen	61,0	95,9	73,3	72,9
červen	59,0	103,8	60,4	80,6
červenec	86,9	31,7	76,5	92,2
srpen	91,3	30,4	52,4	86,6
září	34,6	49,3	34,8	53,0

Celkové denní úhrny srážek pro měsíce od března do září pro roky 2017, 2018 a 2019 jsou v příloze číslo 1, 2 a 3 této diplomové práce. V kapitole výsledky bylo provedeno porovnání jednotlivých měsíčních průměrných teplot a úhrnu srážek za sledované období.

4.1.2. Poměry geologické

Geologickým podkladem lesní školky Věcov I. je hornina migmatit, což je přeměněná hornina složená ze dvou složek – granitu a ruly. Migmatit patří mezi horniny metamorfované, které vznikly smíšením s magmatem a ztuhnutím. Hlubinou regionální metamorfózou vznikly například přeměněné horniny v jižních a jihovýchodních Čechách. Směrem do vyšších poloh někdejšího vrásnatého horstva pozorujeme dokonalou břidličnatost jako znak působnosti jednostranného horotvorného tlaku.



Obrázek 4: Geologická mapa

4.1.3. Poměry pedologické

Dne 29. 7. 2015 byl Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti ve Strnadlech proveden rozbor půdy v lesní školce Věcov I. s následujícím výsledkem. Půda ve školce vykazuje hodnoty středně kyselé, s hodnotami pH (H₂O) 5,17 a pH (KCl) 3,95.

Koncentrace analyzovaných hlavních živin (tj. Ca, K, Mg, P, N, S) jsou dostatečné až velmi dobré s výjimkou koncentrace fosforu v přístupné formě. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách číslo 3, číslo 4 a číslo 5.

Tabulka 3: Půda-základní rozbor (pH, analyzátor CNS, přístupný fosfor)

Odběrové místo	Sušina hm.% navážky	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C _{tot} mg/100 mg sušiny	N _{tot} mg/100 mg sušiny	S _{tot} mg/kg sušiny	P _{př.} mg/kg sušiny
Věcov I.	97,05	5,17	3,95	1,42	0,107	140	11,3

Tabulka 4: Půda-přístupné živiny ve výluhu chloridem amonným

Odběrové místo	Ca mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny
Věcov I.	869	269	51,6

Tabulka 5: Půda-celkový obsah prvků ve výluhu lučavkou královskou

Odběrové místo	Ca mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny	P mg/kg sušiny
Věcov I.	1086	13726	9599	386

4.2. Založení experimentu

Experiment byl založen 27. 10. 2016, kdy bylo záhon zorán a připraven kultivátorem k správnému provzdušnění a srovnání záhonu. Po provedení přípravy půdy byl záhon o šířce 100 cm naznačený pro pět proužků a oset s výsevovou dávkou přibližně 30 g bukvic na běžný metr jednoho proužku. Osetí záhonu bylo provedeno dne 9. 11. 2016. Na jaře dne 21. března 2017 byla mezi osivo aplikována hnojiva, která byla mezi rývky zapracována do země do hloubky přibližně 6 cm (obr. 5).



Obrázek 5: Příprava zapracování hnojiva do půdy. Hnojivo bylo zapraveno do rývek patrných na obrázku

Experiment sestává ze tří variant. První byla ošetřena pomalu rozpustným hnojivem Recultan 80 TE se složením NPK(MgO) 20-10-10(2) od firmy ECOLAB Znojmo, spol.

s r. o., aplikovaným v dávce 50 g na 1 m² záhonu (obr. 6). Druhá varianta byla ošetřena rychle rozpustným běžně prodávaným průmyslovým hnojivem NPK 10-10-10+13S od firmy Lovochemie, a. s., v dávce 100 g na 1 m² záhonu (obr. 6) a poslední variantou je kontrola bez přihnojení. Bližší charakteristika hnojiv je uvedena v narýsované formě v příloze číslo 4 této diplomové práce.



Obrázek 6: Dávka rychle rozpustného hnojiva vlevo a pomalu rozpustného hnojiva vpravo

Dávka použitých hnojiv byla přizpůsobena obsahu dusíku v obou srovnávaných materiálech. Recultan 80TE obsahuje 20 % celkového dusíku, u rychle rozpustného hnojiva z Lovochemie činí obsah celkového dusíku 10 %. Proto byla dávka rychle rozpustného hnojiva zdvojnásobena oproti Recultanu.

Každá varianta zahrnuje celkem čtyři opakování. Jednotlivá opakování srovnávaných variant se na záhoně střídají, přičemž mezi každým opakováním je vytvořena pufrální mezera půl metru.

Vysetý semenný materiál začal klíčit na počátku měsíce dubna roku 2017. Záhon s bukem lesním byl ihned ošetřen proti plísni fungicidním přípravkem Previcur energy, dále přibližně každé dva týdny až do konce měsíce srpna 2017. Mezi 16. a 19. dubnem 2017 byly silné pozdní mrazy, které by mohly ohrozit děložní lístky buku, proto z tohoto hlediska byl záhon s bukem přikryt netkanou textilií, která částečně chrání rostliny proti mrazu.

V následujícím roce 2018 byl semenáčkům buku lesního upraven kořenový systém podřezáváním. Mechanické podřezání bylo provedeno 14. května roku 2018 v hloubce přibližně 10 cm podřezáváním adapterem taženým univerzálním kolovým traktorem. Následující rok 2019, byl opět sazenicím upraven kořenový systém podřezáním.

Podřezávání sazenic bylo provedeno 9. května roku 2019. Z důvodu chybějící závlahy v lesní školce Věcov I. podřezávání probíhalo vždy za probíhajících srážek.

Po celou dobu pěstování sadebního materiálu buku lesního byly sazenice kontrolovány a chráněny před plísňemi a před hlodavci, kteří sazenicím ožirají kořeny.

Z důvodu správného vyhodnocení použitých hnojiv byly sazenice buku lesního přihnojeny pouze 21. března 2017, proto po celou dobu po uvedeném datu nebyly sazenice buku lesního přihnojovány listovým ani komplexním hnojivem.

4.3. Charakteristika použitých hnojiv

4.3.1. Rychle rozpustné hnojivo

NPK(S) 10-10-10-(13) je rychle rozpustné průmyslově vyráběné hnojivo ve formě granulí. Je to vícesložkové hnojivo se základními živinami (dusík, fosfor a draslík). Hnojivo je určené pro základní hnojení, které je zapotřebí zapravit do země. Základní složení je 10 % dusík, 10 % fosfor a 10 % draslík. Originální příbalový leták od firmy Lovochemie, a. s., je k nahlédnutí v příloze číslo 5 této diplomové práce.

4.3.2. Pomalu rozpustné hnojivo

NPK(MgO) 20-10-10(2) je pomalu rozpustné hnojivo na bázi močovinoformaldehydu, pro hnojení a dohnojení sazenic v lesních školkách. Hnojivo bylo dodáno ve formě drtě, která se aplikuje posypem s následným zapravením do půdy doporučeným opakováním v dalším roce o poloviční dávku. Základní složení je 20 % dusík, 10 % fosfor a 10 % draslík o přidaný 2 % oxid hořečnatý. Aplikace hnojiva se nedoporučuje na sněhovou pokrývku a do vodní zálivky z důvodu malé rozpustnosti. Originální příbalový leták od firmy ECOLAB Znojmo, spol. s r. o., je k nahlédnutí v příloze číslo 6 této diplomové práce.

4.4. Původ sadebního materiálu

Použitý semenný materiál má evidenční číslo: CZ-2-2B-BK-06298-10-4-C-G21-1 s potvrzením o původu CZ/202/134/2016.

Složení evidenčního čísla CZ-2-2B-BK-06298-10-4-C-G21-1

CZ znak pro Českou republiku

2 číselný kód kategorie reprodukčního materiálu (selektovaný)

2B číselný kód zdroje (porost) a fenotypovou třídu (B)

BK zkratka dřeviny (buk lesní)

06298 číselný kód zdroje

10 přírodní lesní oblasti (10 Středočeská pahorkatina)

4 lesního vegetačního stupně (bukový 550–600 m n. m.)

C označení kraje, ze kterého pochází uznaná jednotka (C Jihočeský kraj)

G21-1 označení genové základny uznané jednotky

Složení potvrzení o původu CZ/202/134/2016

CZ znak pro Českou republiku

202 kód pro ÚHUL (České Budějovice)

134 pořadové číslo potvrzení

2016 rok potvrzení

Tento sadební materiál byl nakoupen v semenářském závodě Týništi nad Orlicí, který patří Lesům České republiky, státní podnik. Rok zrání je 2016. Průvodní list pro semenný materiál je v příloze číslo 7 této diplomové práce.

4.5. Způsob měření

Mezi všemi sledovanými vegetačními období byly na jednotlivých variantách experimentální výsadby posuzovány následující parametry:

- a) výška nadzemní části (cm),
- b) tloušťka kořenového krčku semenáčku (mm),
- c) mortalita sadebního materiálu,
- d) obsah chlorofylu v listech,
- e) objem nadzemní části a kořenového systému (ml),
- f) hmotnost sušiny nadzemní části a kořenového systému,

4.5.1. Měření výšky semenáčku

Na každé opakování (každé varianty) bylo změřeno 100 kusů semenáčků, tj. celkem bylo změřeno 400 ks semenáčků na každou ze tří variant, z nichž výsadbový experiment sestává. Měření probíhalo s přesností na 1 mm.

Změřené semenáčky byly označeny pružnou páskou, aby je bylo možné znovu změřit i v příštích letech. Každý 20. semenáček byl označen pružnou páskou odlišné barvy pro lepší orientaci u měřených semenáčků ve variantě. Semenáčky v jednotlivých rývkách byly k měření zařazeny v odstupech přibližně po 7,5 cm. Měření probíhalo tak, že semenáček přibližně po 7,5 cm byl označen páskou, změřen od země po vrcholový terminál semenáčku. Když v rývce došlo na mezeru, měřil se semenáček bližší nebo vzdálenější, popřípadě semenáček nebyl vůbec změřen. Z těchto důvodů nebylo možno označit a změřit 34 kusů semenáčků buku lesního. Měření probíhala ve dnech od 27. září do 11. října roku 2017, od 22. září do 6. října roku 2018 a od 28. září do 9. října 2019. Oproti roku 2017 bylo z důvodu mortality v roce 2018 měřeno o 46 kusů sazenic a v roce 2019 o 132 kusů sazenic buku lesního méně.

Naměřené výšky sazenic buku lesního pro jednotlivé roky jsou statisticky vyhodnoceny v následující kapitole výsledky. Dále byl u naměřených výšek sazenic odvozen tloušťkový přírůst v letech 2018 a 2019. Naměřené výšky sazenic jsou zapsány do tabulky v příloze 8 pro rok 2017, 2018 a 2019 této diplomové práce.

4.5.2. Měření tloušťky kořenového krčku

Měření tlouštěk probíhalo obdobně jako měření výšek semenáčků. U jednotlivých opakování a variant byl změřen krček semenáčků posuvným měřítkem pro s přesností na 1 mm. Pod termínem kořenový krček je v této práci chápána báze kmínku bezprostředně nad povrchem záhonu. Měření tloušťky krčků probíhalo na totožných semenáčcích a ve stejných termínech jako měření výšek. Dále byl z naměřených tlouštěk krčku sazenic odvozen tloušťkový přírůst pro roky 2018 a 2019. Naměřené tloušťky sazenic jsou zapsány do tabulky v příloze 9 pro rok 2017, 2018 a 2019 této diplomové práce.

4.5.3. Měření parametrů chlorofylu v listech

Pro měření chlorofylu v listech byly odebrány vzorky listů z jednotlivých variant ve dne 18. září 2017. V roce 2018 měření chlorofylu v listech probíhalo 13. září. Odebrané vzorky byly vyhodnoceny v laboratoři Katedry pěstování lesů Fakulty lesnické a dřevařské na Trubech vyhodnoceny. V roce 2019 měření chlorofylu v listech probíhalo 21. srpna. Oproti předchozím rokům vyhodnocení probíhalo přímo ve školce Věcov I. Dřívější termín měření koncentrace chlorofylu v roce 2019 byl dán tím, že současně proběhlo rovněž měření fluorescence chlorofylu, viz další text.

Měření fluorescence chlorofylu v listech buku lesního bylo provedeno za pomoci přenosného přístroje Opti-Sciences OS30p+. Měření fluorescence chlorofylu se provádí pomocí svorky pro adaptaci vzorku na tmu. Ten se jednoduše nasadí na vzorek a posuvnou částí svorky se vzorek zatemní na dobu alespoň 30 minut (Linda et al. 2019).

Měření koncentrace chlorofylu v listech buku lesního bylo provedeno za pomoci přenosného přístroje Opti-Sciences CCM-300. Přístroj CCM-300 využívá fluorescenci chlorofylu, přesněji emisi fluorescenčního světla o vlnové délce 735 nanometru ku emisi fluorescenčního světla o vlnové délce 700 nanometru (Linda et al. 2019).

Následně byl vyhodnocen poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí a poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí. U koncentrace chlorofylu byla statisticky vyhodnocena jeho koncentrace chlorofylu v jednotlivých variantách.

Naměřené hodnoty parametrů fluorescence chlorofylu v listech sazenic buku lesního pro jednotlivé roky jsou uvedeny v tabulce v příloze 10 pro rok 2017, v příloze 11 pro rok 2018 a v příloze 12 pro rok 2019 této diplomové práce.

Naměřené koncentrace chlorofylu v listech buku lesního pro jednotlivé roky jsou uvedeny v tabulce v příloze 13 pro rok 2017, v příloze 14 pro rok 2018 a v příloze 15 pro rok 2019 této diplomové práce.

4.5.4. Objem nadzemní části a kořenového systému

Pro zjišťování objemu nadzemní části a kořenového systému pro rok 2017 bylo odebráno 60 kusů semenáčků na každou variantu (15 ks na každé opakování v každé variantě). Odebrané vzorky byly v jednotlivých variantách výzkumné plochy vybrány náhodně. V roce 2018 bylo pro stejný účel odebráno a analyzováno 40 ks semenáčků na každou variantu (10 ks na každé opakování v každé variantě). Důvod poklesu odebraných sazenic je v náročnosti odběru u starších sazenic při současné potřebě zachovat při odběru celý kořenový systém vzorníkových stromů. Sazenice již měly v roce 2018 (po úpravě kořenového systému, ale i po celkovém nárůstu kořenových systémů s věkem) vzájemně prorostlé kořeny.

Vzorky byly očištěny od zbytků zeminy a svázané po jednotlivých opakováních po 15 kusech (v roce 2017), resp. po 10 kusech (v roce 2018). Měření objemu nadzemní části a kořenového systému proběhlo xylometricky v odměrném válci v laboratoři Katedry pěstování lesů Fakulty lesnické a dřevařské na Trubech. V první řadě u vzorků byl změřen objem nadzemní části a poté objem kořenového systému. Naměřené vzorky byly měřeny s přesností na 1 ml. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze 16 této diplomové práce pro rok 2017 a 2018.

4.5.5. Hmotnost nadzemní části a kořenového systému

Hmotnosti nadzemní části a kořenového systému byly v roce 2017 změřeny u 60 kusů rostlin na variantu (15 ks na každé opakování) a pro rok 2018 u 40 kusů na variantu (10 ks na každé opakování). Hmotnost sušiny byla stanovována u totožných vzorníkových jedinců, které byly měřeny xylometricky. Odebrané vzorky jak v roce 2017, tak i v roce 2018 byly v laboratoři Katedry pěstování lesů Fakulty lesnické a dřevařské na Trubech usušeny

při 103 °C do konstantní hmotnosti. Svázané vzorky byly rozděleny a byl oddělen kořenový systém od nadzemní části. Oddělení nadzemní části a kořenového systému bylo provedeno v místě kořenového krčku. U rozdělených a vysušených semenáčků a sazenic byla změřena hmotnost zvlášť nadzemní části a zvlášť kořenového systému. Stanovení hmotnosti bylo provedeno s přesností na 0,01 g.

Celkem byla tedy stanovena hmotnost pro 180 kusů semenáčků v roce 2017 a pro 120 kusů sazenic buku lesního v roce 2018. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze 17 pro rok 2017 a v příloze 18 pro rok 2018 této diplomové práce. V následující kapitole výsledky jsou naměřené hodnoty statisticky vyhodnoceny pro jednotlivé varianty a roky.

4.5.6. Použité statistické metody

Pro statistické vyhodnocení byl použit software „STATISTICA 12“, konkrétně pro porovnání nadzemní výšky a tloušťky kořenového krčku, pro přírůst nadzemní části a kořenového krčku, pro poměr fluorescence a koncentrace chlorofylu a pro porovnání hmotnosti nadzemní a kořenové části. Dále byl použit software „R Studio 3. 4. 3.“ pro porovnání mortality sazenic.

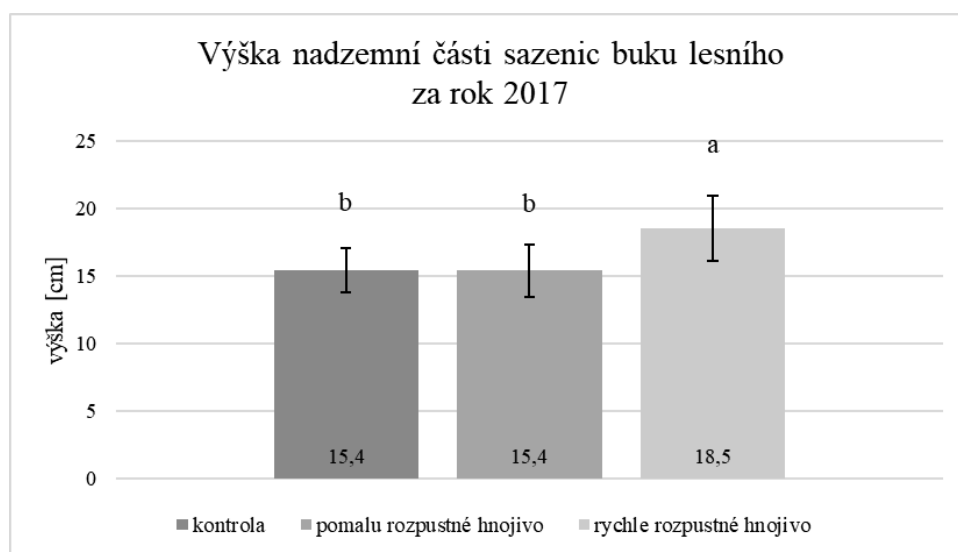
Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly porovnány neparametrickým testem Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním, dále analýza variance (ANOVA) s následným Tukeyho mnohonásobným porovnáním a mortalita sazenic byla vyhodnocena pomocí testu homogenity binomických rozdělení. Statistické rozdíly mezi variantami byly u všech testů hodnoceny za průkazné na hladině významnosti $\alpha \leq 0,05$.

5. Výsledky

5.1. Statistické porovnání nadzemní výšky sazenic a tloušťky kořenového krčku

5.1.1. Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2017

Pro statistické porovnání výšky nadzemní části sazenice mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl z důvodu nesplnění podmínek pro shodu rozptylů použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním (data nesplňují podmínky homogenitu rozptylu; Leveneův test $p < 0,05$).



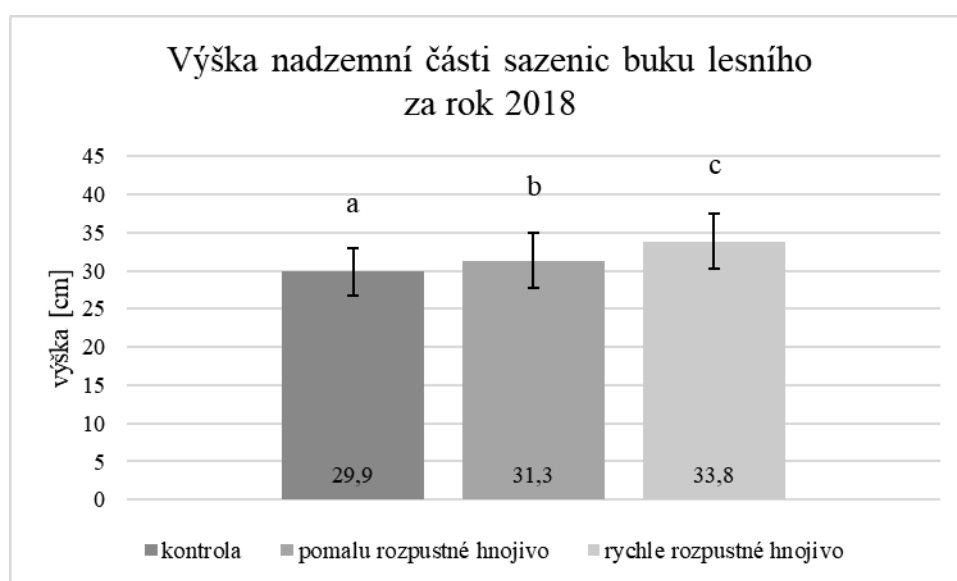
Obrázek 7: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 112,4$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 7). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva. Dále mezi variantou rychle a pomalu rozpustného hnojiva. Rozdíl mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva není statisticky významný. Průměrná naměřená výška sazenice v roce 2017 byla 15,4 cm pro variantu kontrola, stejně jako pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 18,5 pro variantu rychle rozpustného hnojiva.

Nejmenší naměřená výška nadzemní části ze všech sazenic (7,2 cm) byla zaznamenána ve variantách pomalu a rychle rozpustného hnojiva a největší naměřena výška nadzemní části (36,2 cm) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.1.2 Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání výšky nadzemních částí sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl z důvodu nesplnění podmínky shody rozptylů použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním (data nesplňují podmínky homogenitu rozptylu; Leveneův test $p < 0,05$).



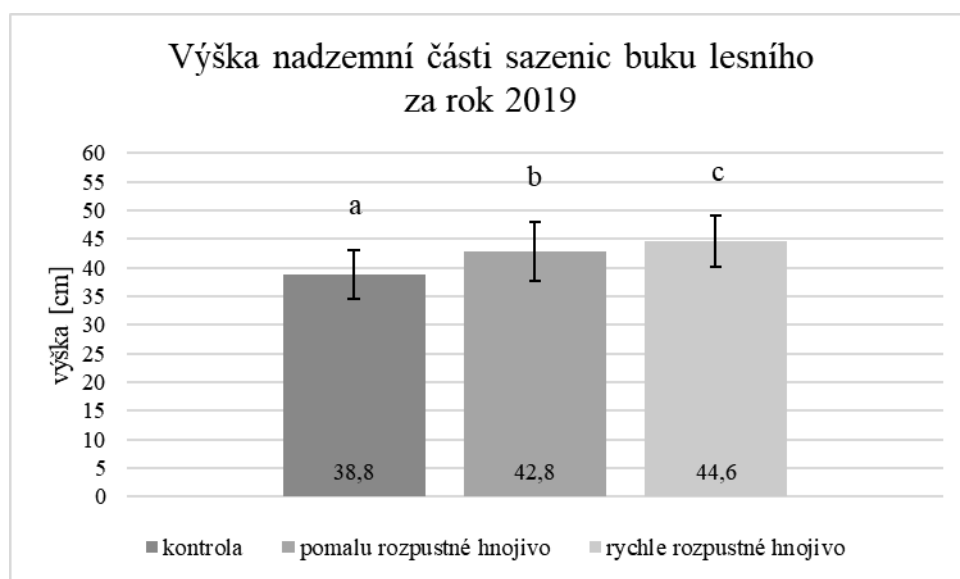
Obrázek 8: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 67,7$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 8). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Na obrázku číslo 8 je patrné, že mezi všemi variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná naměřená výška sazenice v roce 2018 byla 29,9 cm pro variantu kontrola, 31,3 cm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 33,8 cm pro variantu rychle rozpustného hnojiva. V roce 2018 byla nejmenší naměřená hodnota (10,1 cm) pro variantu rychle

rozpustného hnojiva. Naopak největší naměřená hodnota byla zaznamenána u varianty pomalu rozpustného hnojiva (55,8 cm).

5.1.3 Porovnání výšky nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2019

Pro statistické porovnání výšky nadzemní části sazenice mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl z důvodu nesplnění podmínky shody rozptylů použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním (data nesplňují podmínky homogenity rozptylu; Leveneův test $p < 0,05$).



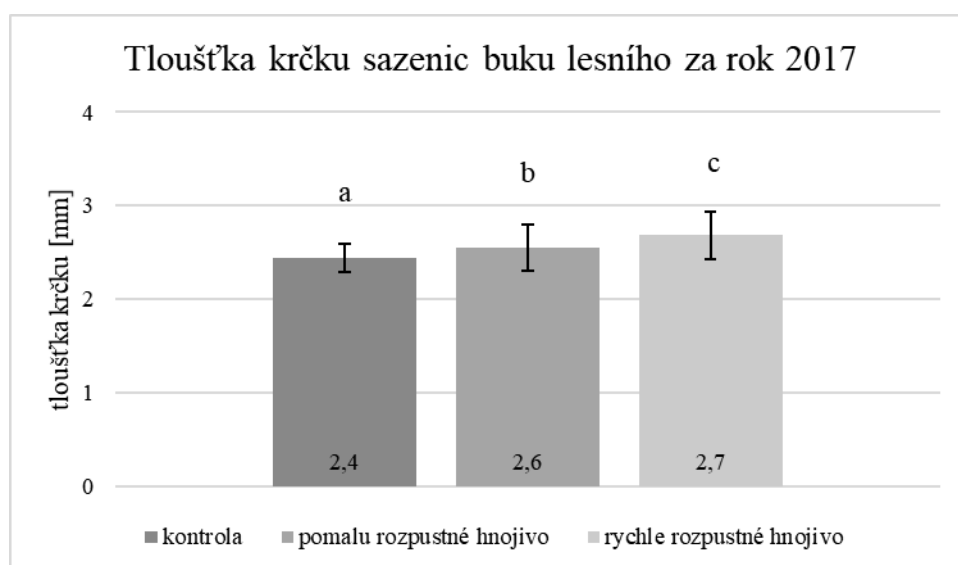
Obrázek 9: Porovnání výšek buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 83,1$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 9). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z obrázku číslo 9 je patrné, že mezi všemi variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná naměřená výška sazenice v roce 2019 byla 29,9 cm pro variantu kontrola, 31,3 cm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 33,8 cm pro variantu rychle rozpustného hnojiva. V roce 2019 byla nejmenší naměřená výška sazenice (17,5 cm),

kteřá byla zaznamenána u varianty pomalu rozpustného hnojiva, a největší naměřená výška sazenice (75,1 cm), která byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.1.4. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2017

Pro statistické porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl z důvodu nesplnění podmínek pro shodu rozptylů použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním (data nesplňují podmínky homogenitu rozptylu; Leveneův test $p < 0,05$).



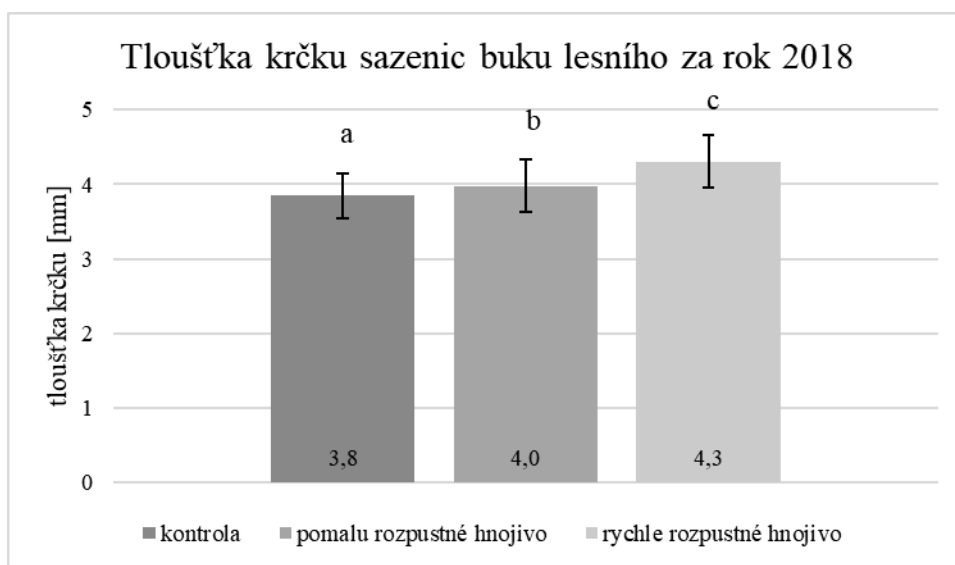
Obrázek 10: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 43,5$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 10). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z obrázku číslo 10 je patrné, že mezi všemi variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná naměřená tloušťka krčku sazenice v roce 2017 byla 2,4 mm pro variantu kontrola, 2,6 mm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 2,7 mm pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřená hodnota tloušťky kořenového krčku ze všech sazenic

(1,0 mm) byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřená hodnota tloušťky v krčku (4,5 mm) byla opět zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.1.5. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl z důvodu nesplnění podmínek pro shodu rozptylů použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním (data nesplňují podmínky homogenitu rozptylu; Leveneův test $p < 0,05$).



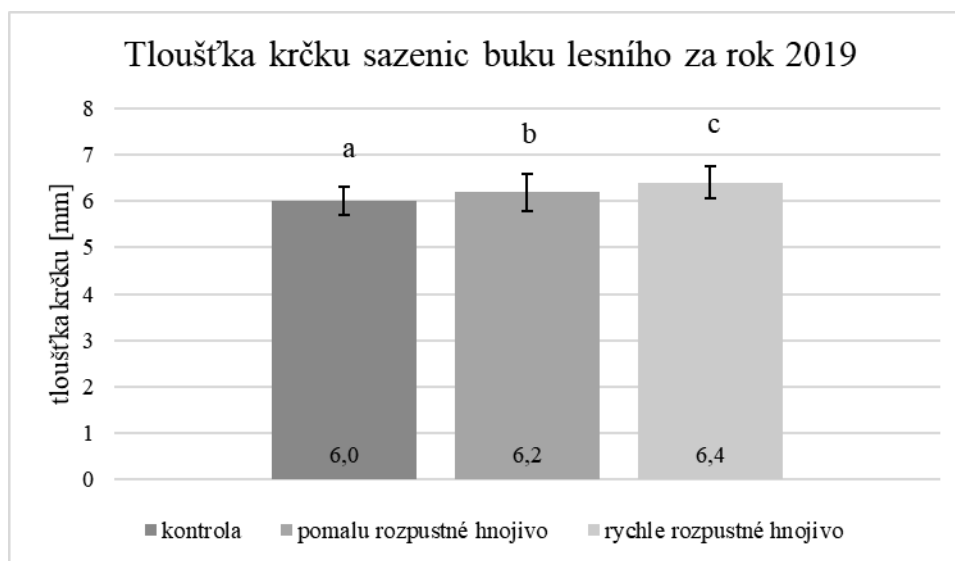
Obrázek 11: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 82,7$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 11). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z obrázku číslo 11 je patrné, že mezi všemi variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná naměřená tloušťka krčku sazenice v roce 2018 byla 3,8 mm pro variantu kontrola, 4,0 mm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 4,3 mm pro variantu rychle rozpustného hnojiva.

Nejmenší naměřené tloušťka kořenového krčku ze všech sazenic (2,2 mm) byla v roce 2018 zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřené tloušťka kořenového krčku sazenice (6,0 mm) ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.1.6. Porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2019

Pro statistické porovnání tloušťky kořenového krčku sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



Obrázek 12: Porovnání tloušťky krčku buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

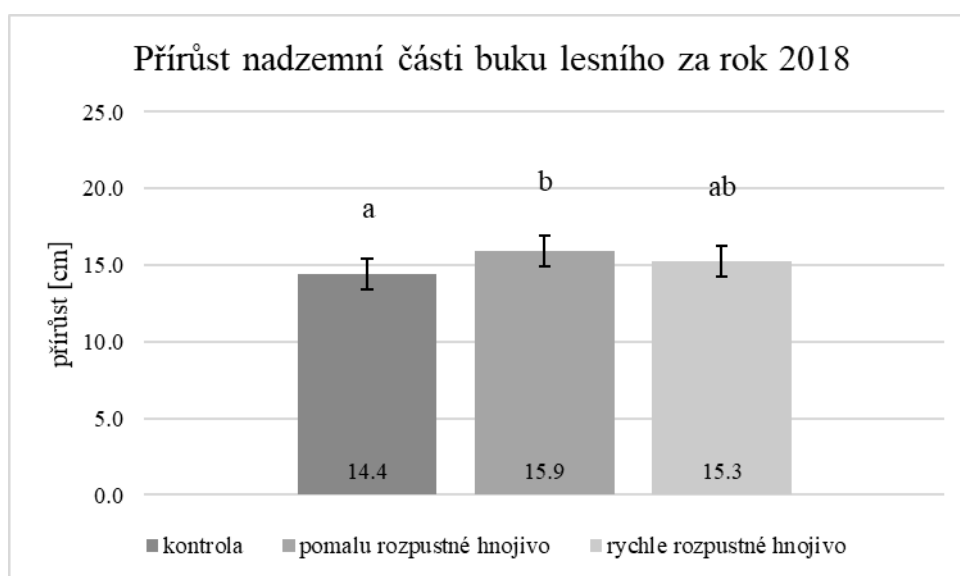
Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 82,7$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je uvedeno na (obr. 12). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z obrázku číslo 12 je patrné, že mezi všemi variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná tloušťka krčku sazenice v roce 2019 byla 6,0 mm pro variantu kontrola, 6,2 mm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 6,4 mm pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřené tloušťka kořenového krčku ze všech sazenice v roce 2019 (2,8 mm) byla zaznamenána

ve variantě pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřená tloušťka kořenového krčku sazenice (8,3 mm) ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.2. Porovnání přírůstu nadzemní části a kořenového krčku sazenic za sledované období

5.2.1. Porovnání ročního přírůstu nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání přírůstu výšky nadzemních částí sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



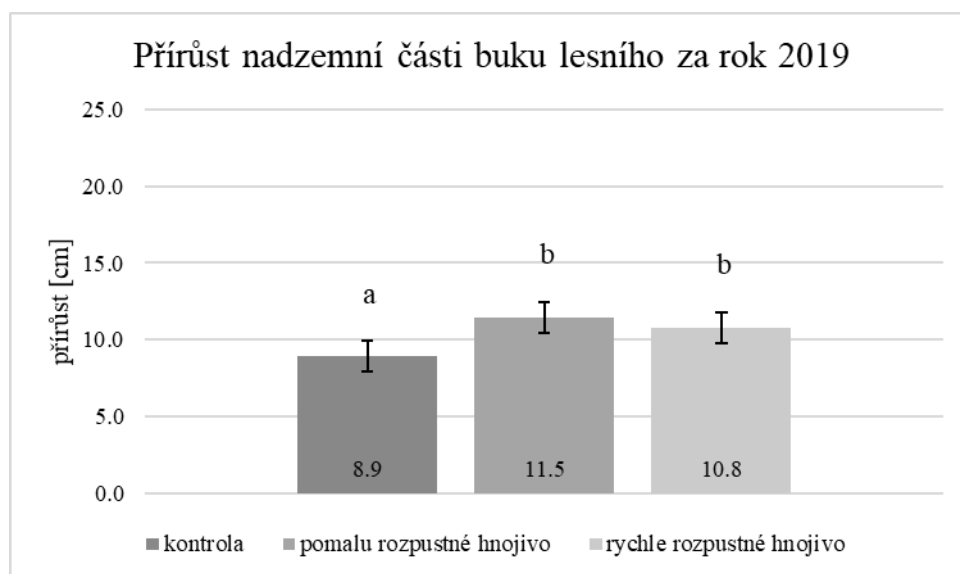
Obrázek 13: Porovnání průměrného ročního přírůstu výšky nadzemních částí sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. za rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 13,0$; $df = 2$; $p = 0,015$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je na (obr. 13). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva. Mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva a dále mezi variantou rychle a pomalu rozpustného hnojiva statisticky významný rozdíl není. Průměrný roční přírůst nadzemní části sazenic buku lesního v roce 2018 je 14,4 cm pro variantu kontrola,

15,3 cm pro variantu rychle rozpustného hnojiva a 15,9 pro variantu pomalu rozpustného hnojiva.

5.2.2. Porovnání ročního přírůstu nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2019

Pro statistické porovnání přírůstů nadzemních částí sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.

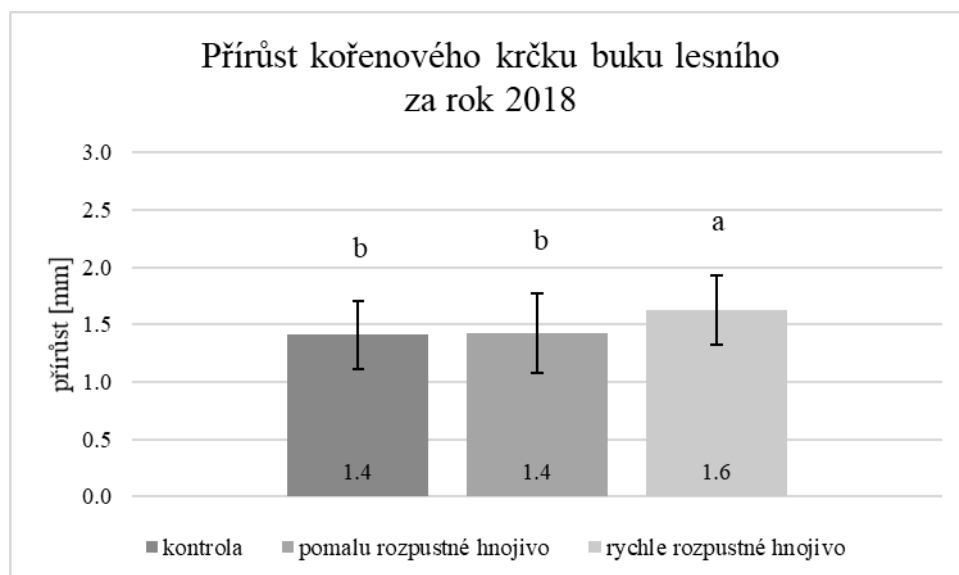


Obrázek 14: Porovnání průměrného ročního přírůstu výšky nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 17,7$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 14). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva a dále mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva. Rozdíl mezi variantou pomalu a rychle rozpustného hnojiva není statisticky významný. Průměrný roční přírůst nadzemní části sazenic buku lesního v roce 2019 je 8,9 cm pro variantu kontrola, 10,8 cm pro variantu rychle rozpustného hnojiva a 11,5 cm pro variantu pomalu rozpustného hnojiva.

5.2.3. Porovnání ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání přírůstů kořenového krčku sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl v roce 2018 použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.

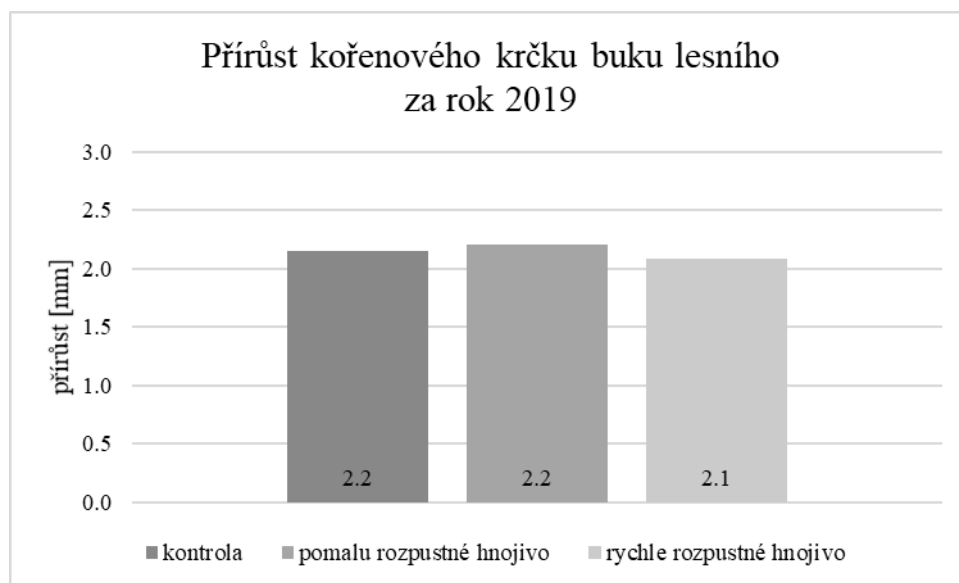


Obrázek 15: Porovnání průměrného ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 28,6$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 15). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva a dále mezi variantou rychle a pomalu rozpustného hnojiva. Rozdíl mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva není statisticky významný. Průměrný roční přírůst tloušťky kořenového krčku sazenic buku lesního v roce 2018 je 1,4 mm pro variantu kontrola a pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 1,6 mm pro variantu rychle rozpustného hnojiva.

5.2.4. Porovnání ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního za rok 2019

Byl porovnáván roční přírůst kořenového krčku sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo). Shoda rozptylu byla testována Leveneovým testem ($p > 0,05$). Pro následné testování byla tedy použita parametrická ANOVA s výsledkem $p > 0,05$. Nulovou hypotézu můžeme na hladině $\alpha = 0,05$ zamítnout. Mezi zvolenými variantami není statisticky významný rozdíl.



Obrázek 16: Porovnání průměrného ročního přírůstu kořenového krčku sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Přestože rozdíly v tloušťkovém přírůstu nejsou průkazné, můžeme na (obr. 16) nalézt drobné odchylky. U varianty rychle rozpustného hnojiva je průměrný roční přírůst neprůkazně menší než mezi zvolenými variantami kontrola a pomalu rozpustné hnojivo. Naopak mezi variantou kontrola a rychle rozpustné hnojivo se průměrný roční přírůst neliší. Průměrný roční přírůst kořenového krčku buku lesního za rok 2019 je 2,1 mm pro variantu rychle rozpustného hnojiva a shodně 2,2 mm pro variantu kontrola a variantu pomalu rozpustného hnojiva.

5.3. Statistické porovnání mortality sazenic

5.3.1. Mortalita sazenic za rok 2018

Mortalita sazenic je uvedena v tabulce 6. U varianty kontrola je mortalita nejnižší, a to 8 sazenic (2,0 %). Naopak největší mortalita je u varianty rychle rozpustného hnojiva, a to 24 sazenic (6,1 %). Mezi mortalitou buku lesního u jednotlivých zvolených variant je statistický významný rozdíl. Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statistický významný rozdíl byl zaznamenán mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva. Rozdíl mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva a mezi variantou pomalu a rychle rozpustné hnojivem není statisticky významný.

Tabulka 6: Mortalita sazenic za rok 2018

Mortalita sazenic za rok 2018			
Varianta	Mortalita sazenic	Rostoucí sazenice	Celkem
Kontrola	8	385	393
Pomalou rozpustné hnojivo	14	364	378
Rychle rozpustné hnojivo	24	371	395

5.3.2. Mortalita sazenic za rok 2019

Mortalita sazenic je uvedena v tabulce 7. U varianty pomalu rozpustné hnojivo je mortalita nejnižší, a to 25 sazenic (6,9 %) naopak největší mortalita je u varianty rychle rozpustného hnojiva, a to 33 sazenic (8,9 %). Celková mortalita je 7,7 %. Mezi mortalitou buku lesního u jednotlivých zvolených variant není statistický významný rozdíl, proto nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant nelze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statistický významný rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou zvolenou variantou.

Tabulka 7: Mortalita sazenic za rok 2019

Mortalita sazenic za rok 2019			
Varianta	Mortalita sazenic	Rostoucí sazenice	Celkem
Kontrola	28	357	385
Pomalou rozpustné hnojivo	25	339	364
Rychle rozpustné hnojivo	33	338	371

5.3.3. Mortalita sazenic za období od roku 2017 do roku 2019

Mortalita sazenic je uvedena v tabulce 8. U varianty kontrola je mortalita nejnižší, a to 36 sazenic (9,2 %) naopak největší mortalita je u varianty rychle rozpustného hnojiva, a to 57 sazenic (14,4 %). Celková mortalita mezi zvolenými variantami je 11,3 %. Mezi mortalitou buku lesního u jednotlivých zvolených variant je není statistický významný rozdíl, proto nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant nelze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statistický významný rozdíl nebyl zaznamenán mezi žádnou zvolenou variantou.

Tabulka 8: Mortalita sazenic za období od roku 2017 do roku 2019

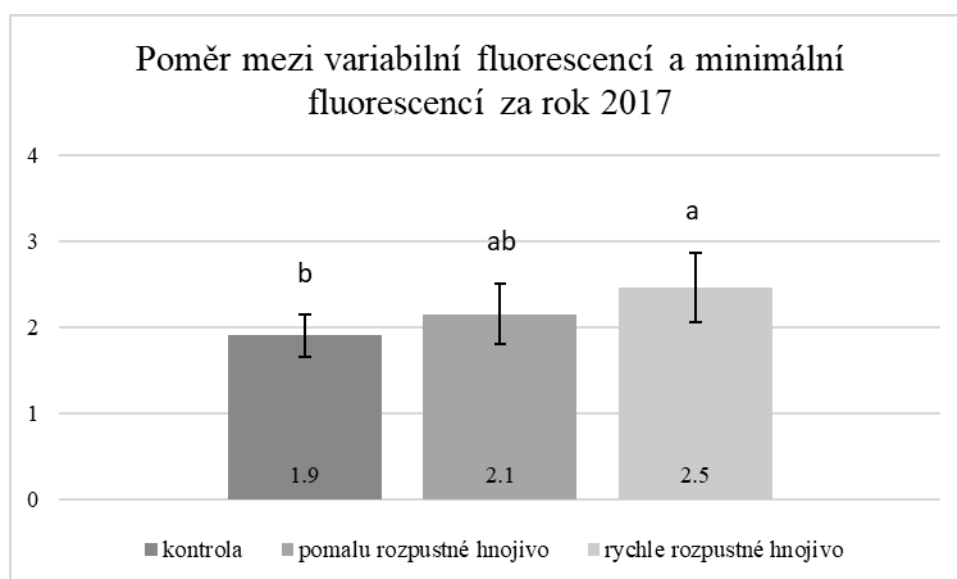
Mortalita sazenic za období od roku 2017 do roku 2019			
Varianta	Mortalita sazenic	Rostoucí sazenic	Celkem
Kontrola	36	357	393
Pomalu rozpustné hnojivo	39	339	378
Rychle rozpustné hnojivo	57	338	395

5.4. Statistické porovnání chlorofylu v listech sazenic

Nejprve bylo provedeno porovnání poměru mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí, dále mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí, a nakonec v koncentraci chlorofylu v mg/m^2 , to vše za roky 2017 až 2019.

5.4.1. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2017

Pro statistické porovnání poměru variabilní a minimální fluorescence mezi variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



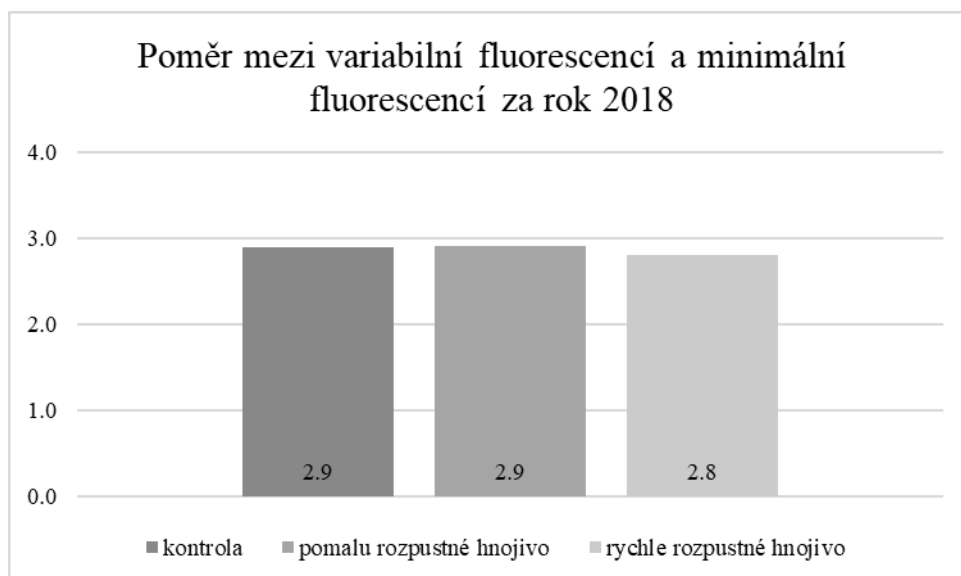
Obrázek 17: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescence v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 13,0$; $df = 2$; $p = 0,002$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 17). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Z obrázku 17 je patrné, že mezi kontrolou a variantou rychle rozpustného hnojiva je statisticky významný rozdíl. Mezi variantami pomalu a rychle rozpustného hnojiva, dále mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva statisticky významné rozdíly nejsou. Průměrný poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí pro rok 2017 byl 1,9 pro variantu

pomalu rozpustného hnojiva, 2,1 pro variantu kontrola a 2,5 pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí ze všech měření (0,8) byla zaznamenána u varianty kontrola a největší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí (4,1) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustné hnojivo.

5.4.2. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2018

Byl porovnáván poměr variabilní a minimální fluorescence mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo). Shoda rozptylu byla testována Leveneovým testem ($p > 0,05$). Pro následné testování byla tedy použita parametrická ANOVA s výsledkem $p > 0,05$. Nulovou hypotézu můžeme na hladině $\alpha = 0,05$ zamítnout. Mezi zvolenými variantami není statisticky významný rozdíl.



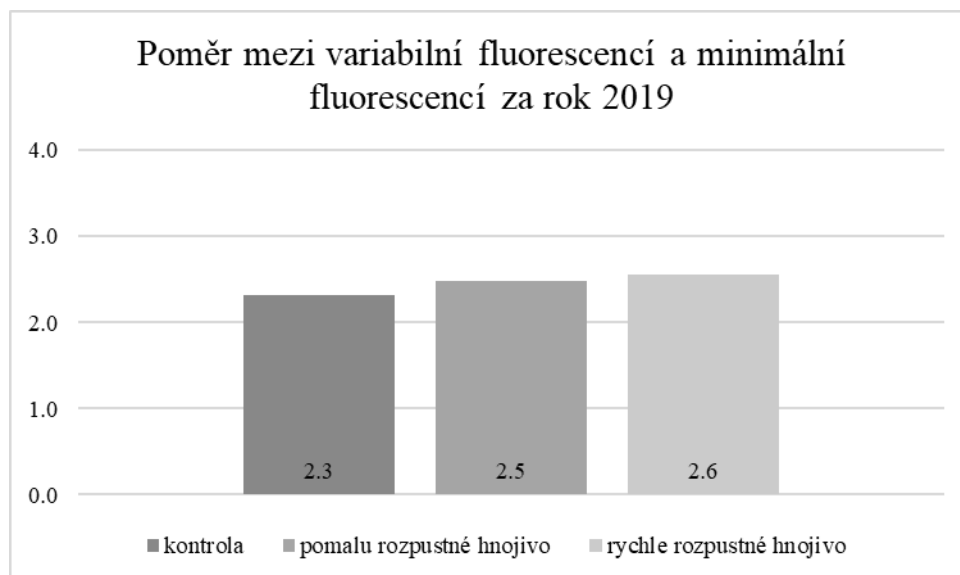
Obrázek 18: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescencí v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

I přes neprůkazné statistické rozdíly můžeme na (obr. 18) nalézt mírné odchylky. U varianty rychle rozpustného hnojiva je průměrný poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí nepatrně menší než mezi zvolenými variantami kontrola a pomalu rozpustné hnojivo. Naopak mezi variantou kontrola a rychle rozpustné hnojivo je průměrný poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí stejný. Průměrný poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí je 2,9 pro všechny tři varianty (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle

rozpuštěné hnojivo). Nejmenší poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí ze všech měření (1,6) a největší poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí ze všech měření (4,5) byla v obou případech zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.4.3. Poměr mezi variabilní fluorescencí a minimální fluorescencí za rok 2019

Byl porovnáván poměr variabilní a minimální fluorescence mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo). Shoda rozptylu byla testována Leveneovým testem ($p > 0,05$). Pro následné testování byla tedy použita parametrická ANOVA s výsledkem $p > 0,05$. Nulovou hypotézu můžeme na hladině $\alpha = 0,05$ zamítnout. Mezi zvolenými variantami není statisticky významný rozdíl.



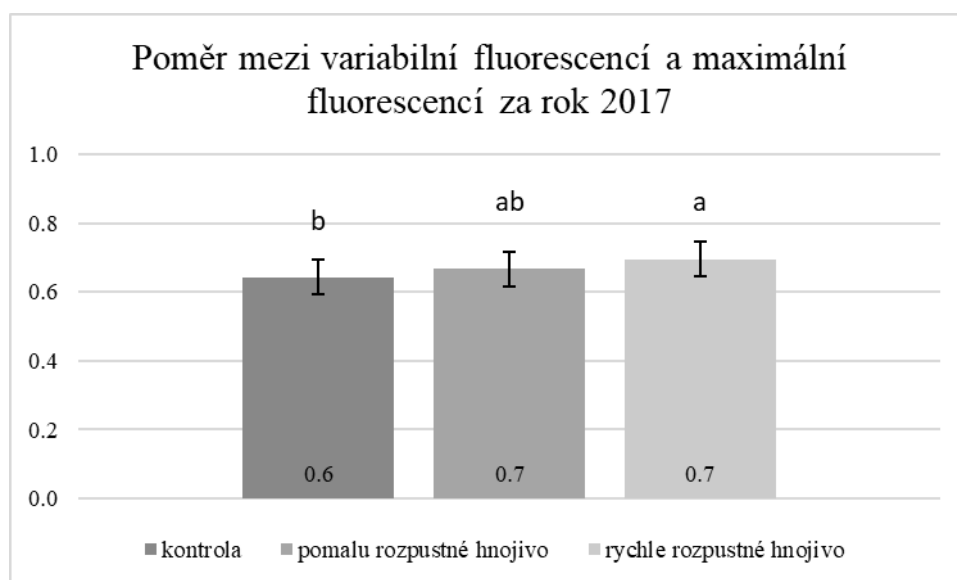
Obrázek 19: Porovnání poměru variabilní a minimální fluorescencí v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

I přes neprůkazné statistické rozdíly můžeme na (obr. 19) nalézt mírné odchylky. U varianty rychle rozpustného je poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí největší naopak u varianty kontrola je poměr variabilní a minimální fluorescence nejmenší. Průměrný poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí je 2,3 pro variantu kontrola, 2,5 pro variantu rychle rozpustné hnojivo a 2,6 pro variantu rychle rozpustné hnojivo. Nejmenší poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí ze všech měření (0,7) byla zaznamenána u varianty kontrola. Naopak největší naměřený

poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí je (3,8), která byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustné hnojivo.

5.4.4. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2017

Pro porovnání poměru variabilní a maximální fluorescence v listech sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo) byla použita analýza variance (ANOVA) s následným Tukeyho mnohonásobným porovnáním.



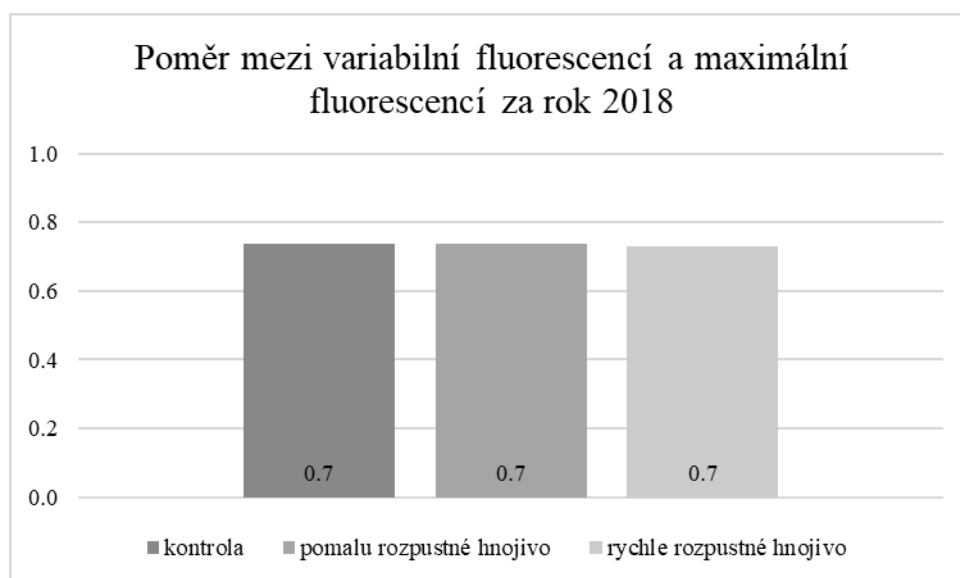
Obrázek 20: Porovnání poměru mezi variabilní a maximální fluorescencí v jednotlivých variantách pro rok 2017 v lesní školce Věcov I. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Tukeyův test ukázal statisticky významné rozdíly ($df = 2$; $df = 150$; $p = 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání jsou na (obr. 20). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ lze konstatovat, že mezi variantami existují statisticky významné rozdíly, i když reálné rozdíly jsou zanedbatelné. Statisticky významné rozdíly jsou mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustné hnojivo. Mezi variantami kontrola a pomalu rozpustné hnojivo a mezi variantami pomalu a rychle rozpustné hnojivo významné statistické rozdíly nejsou. Průměrný poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí byl 0,6 pro variantu kontrola a 0,7 pro variantu pomalu rozpustné hnojivo,

stejně tak pro variantu rychle rozpustné hnojivo. Nejmenší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí ze všech měření (0,4) byl zaznamenán u varianty kontrola a největší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí (0,8) byl zaznamenán ve variantě rychle rozpustné hnojivo.

5.4.5. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2018

Byl porovnáván poměr variabilní a maximální fluorescence mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo). Shoda rozptylu byla testována Leveneovým testem ($p > 0,05$). Pro následné testování byla tedy použita parametrická ANOVA s výsledkem $p > 0,05$. Nulovou hypotézu můžeme na hladině $\alpha = 0,05$ zamítnout. Mezi zvolenými variantami není statisticky významný rozdíl.



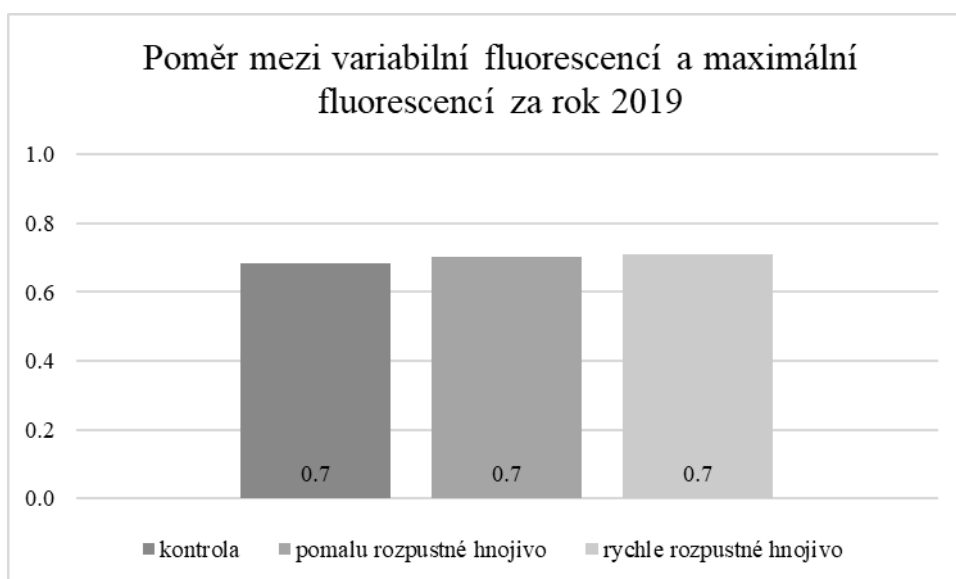
Obrázek 21: Porovnání poměru variabilní a maximální fluorescencí v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Na (obr. 21) ukazují číselné hodnoty na bázi sloupců aritmetický průměr. U všech variant je poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí je stejný. Průměrný poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí je 0,7 pro všechny tři varianty (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo). Nejmenší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí ze všech měření je (0,6) a tato hodnota byla zaznamenána ve všech variantách (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné

hnojivo). To stejné platí u největší naměřené hodnoty (0,8), která je ve všech třech variantách stejná.

5.4.6. Poměr mezi variabilní fluorescencí a maximální fluorescencí za rok 2019

Byl porovnáván poměr variabilní a maximální fluorescence mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo). Shoda rozptylu byla testována Leveneovým testem ($p > 0,05$). Pro následné testování byla tedy použita parametrická ANOVA s výsledkem $p > 0,05$. Nulovou hypotézu můžeme na hladině $\alpha = 0,05$ zamítnout. Mezi zvolenými variantami není statisticky významný rozdíl.

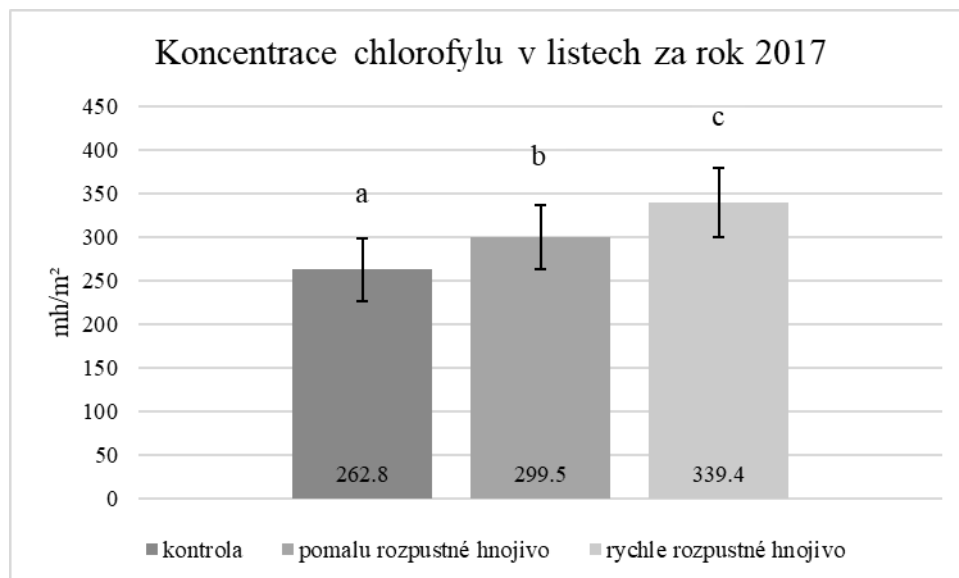


Obrázek 22: Porovnání poměru variabilní a maximální fluorescencí v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Na (obr. 22) ukazují číselné hodnoty na bázi sloupců aritmetický průměr. U všech variant je poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí stejný. Průměrný poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí je 0,7 pro všechny tři varianty (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo). Nejmenší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí ze všech měření (0,4) byl zaznamenán ve variantě pomalu rozpustného hnojiva. Naopak největší poměr mezi variabilní a maximální fluorescencí (0,8) byl zaznamenán ve všech variantách (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo).

5.4.7. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2017

Pro porovnání koncentrace chlorofylu v listech sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo) byla použita analýza variance (ANOVA) s následným Tukeyho mnohonásobným porovnáním.

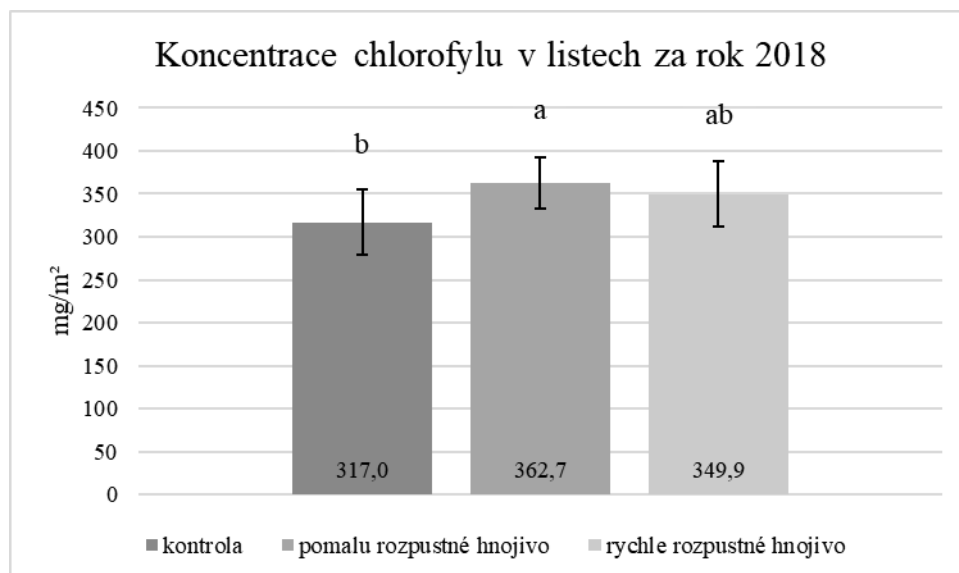


Obrázek 23: Porovnání koncentrace chlorofylu v listech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Tukeyův test ukázal statisticky významné rozdíly ($df = 2$; $df = 177$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání, viz (obr 23). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ lze konstatovat, že mezi všemi zvolenými variantami jsou statisticky významné rozdíly. Průměrná koncentrace chlorofylu byla 262,8 mg/m² pro variantu kontrola, 299,5 mg/m² pro variantu pomalu rozpustné hnojivo a 339,4 mg/m² pro variantu rychle rozpustné hnojivo. Nejmenší koncentrace chlorofylu ze všech měření (122 mg/m²) byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřená koncentrace chlorofylu (494 mg/m²) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.4.8. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2018

Pro porovnání koncentrace chlorofylu v listech sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo) byla použita analýza variance (ANOVA) s následným Tukeyho mnohonásobným porovnáním.

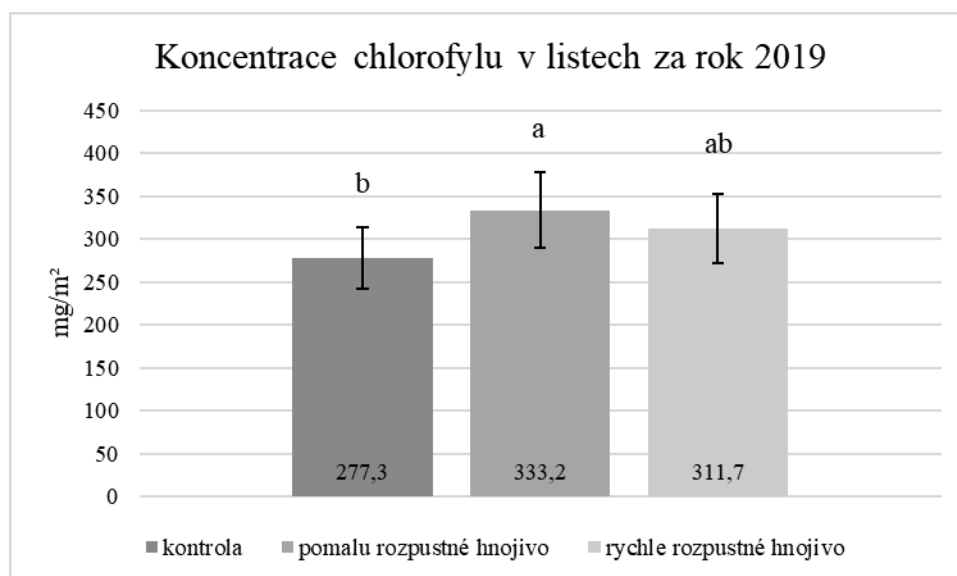


Obrázek 24: Porovnání koncentrace chlorofylu v listech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Tukeyův test ukázal statisticky významné rozdíly ($df = 2$ a $df = 140$; $p = 0,006$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání, viz (obr. 24). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ lze konstatovat, že mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustné hnojivo existuje statisticky významný rozdíl. Rozdíl mezi variantou kontrola a rychle rozpustné hnojivo a dále mezi variantou pomalu a rychle rozpustné hnojivo statisticky významný není. Průměrná koncentrace chlorofylu v listech buku lesního byla 317,0 mg/m² pro variantu kontrola, 349,9 mg/m² pro variantu rychle rozpustného hnojiva a 362,7 mg/m² pro variantu pomalu rozpustného hnojiva. Nejmenší koncentrace chlorofylu ze všech měření (173 mg/m²) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva a největší naměřená koncentrace chlorofylu (558 mg/m²) byla zaznamenána opět ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.4.9. Koncentrace chlorofylu v listech za rok 2019

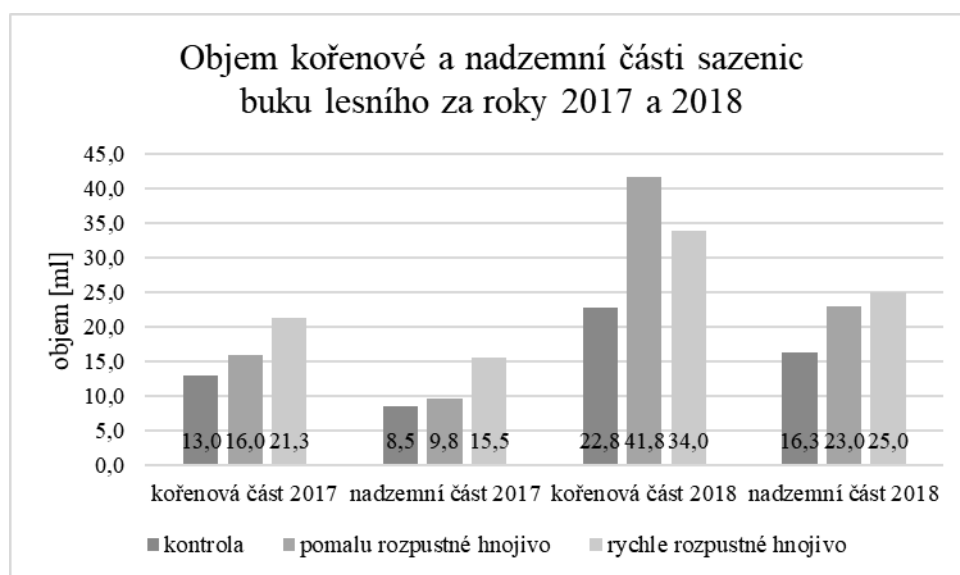
Pro porovnání koncentrace chlorofylu v listech sazenic mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo, rychle rozpustné hnojivo) byla použita analýza variance.



Obrázek 25: Porovnání koncentrace chlorofylu v listech buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2019. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významný rozdíl. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Tukeyův test ukázal statisticky významné rozdíly ($df = 2$ a $df = 140$; $p = 0,003$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 25). Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ lze konstatovat, že mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustné hnojivo existuje statisticky průkazný rozdíl. Rozdíl mezi variantou kontrola a rychle rozpustné hnojivo a dále mezi variantou pomalu a rychle rozpustné hnojivo statisticky průkazný není. Průměrná naměřená koncentrace chlorofylu je $277,3 \text{ mg/m}^2$ u varianty kontrola, $311,7 \text{ mg/m}^2$ u varianty rychle rozpustného hnojiva a $333,2 \text{ mg/m}^2$ u varianty pomalu rozpustného hnojiva. Nejmenší koncentrace chlorofylu v listech ze všech měření ($103,0 \text{ mg/m}^2$) byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřená hodnota ($537,0 \text{ mg/m}^2$), která byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.5. Porovnání objemu kořenové části a nadzemní části sazenic za rok 2017–2018



Obrázek 26: Porovnání objemu kořenové a nadzemní části buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. za roky 2017 a 2018. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Po grafickém porovnání objemu kořenové a nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2017 na obrázku 26 je patrné, že největší objem kořenové části sazenic buku lesního je ve variantě rychle rozpustné hnojivo (21,3 ml) a největší nadzemní část sazenic buku lesního je opět u varianty rychle rozpustného hnojiva (15,5 ml). Nejmenší kořenová část sazenice buku lesního je u varianty kontrola (13,0 ml) a nejmenší část nadzemní části sazenice buku lesního je opět u varianty kontrola (8,5 ml). Největší naměřený objem kořenové části svazku sazenic buku lesního je (35,0 ml) pro variantu rychle rozpustného hnojiva a největší naměřený objem nadzemní části svazku sazenic buku lesního je (20,0 ml) opět pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřený objem kořenové části svazku sazenic buku lesního je (9,0 ml) pro variantu kontrola a nejmenší naměřený objem nadzemní části svazku sazenic (6,0 ml) buku lesního je opět pro variantu kontrola.

Z grafického porovnání objemu kořenové a nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018 na obrázku 26 je patrné, že největší objem kořenové části sazenic buku lesního je ve variantě pomalu rozpustné hnojivo 41,8 ml a největší nadzemní část sazenic buku lesního je u varianty rychle rozpustného hnojiva 25,0 ml. Nejmenší kořenová část sazenice buku lesního je u varianty kontrola 22,8 ml a nejmenší část nadzemní části sazenice buku lesního

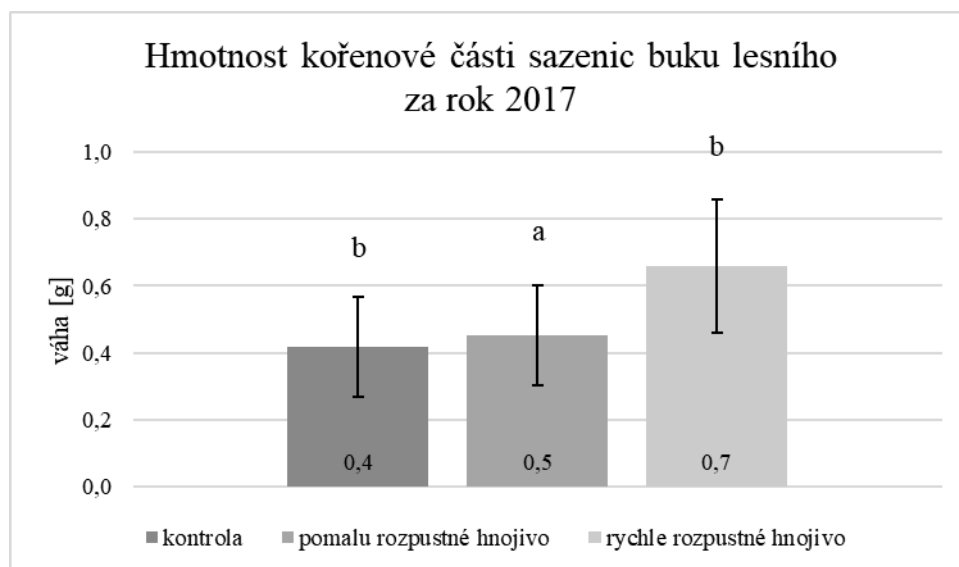
je opět u varianty kontrola 16,3 ml. Největší naměřený objem kořenové části svazku sazenic buku lesního je (59,0 ml) pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a největší naměřený objem nadzemní části svazku sazenic buku lesního (41,0 ml) je opět pro variantu pomalu rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřený objem kořenová část svazku sazenic buku lesního (15,0 ml) je pro variantu kontrola a nejmenší naměřený objem nadzemní části svazku sazenic buku lesního (6,0 ml) je opět pro variantu kontrola.

5.6. Statistické porovnání hmotnosti sazenic

Nejprve si statisticky porovnáme naměřenou hmotnost kořenové části sazenic, dále si porovnáme naměřenou hmotnost nadzemní části sazenic buku lesního za roky 2017 a 2018.

5.6.1. Hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního za rok 2017

Pro statistické porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



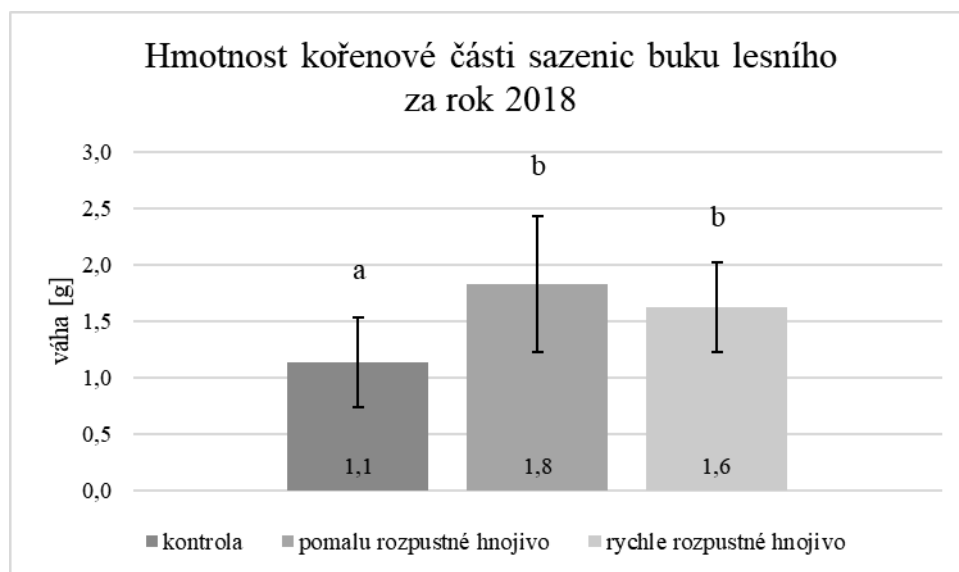
Obrázek 27 Porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 11,5$; $df = 2$; $p = 0,003$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 27). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých

variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Na obrázku 27 je patrné, že statisticky významný rozdíl jsou mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva, dále mezi variantou pomalu a rychle rozpustného hnojiva. Mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva statisticky významný rozdíl není. Průměrná naměřená hmotnost kořenové části sazenice byla 0,4 g pro variantu kontrola, 0,5 g pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 0,7 g pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřená hmotnost kořenové části ze všech sazenic (0,04 g) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva a nejmenší naměřená hmotnost kořenové části ze všech sazenic (1,84 g) a byla opět zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.6.2. Hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



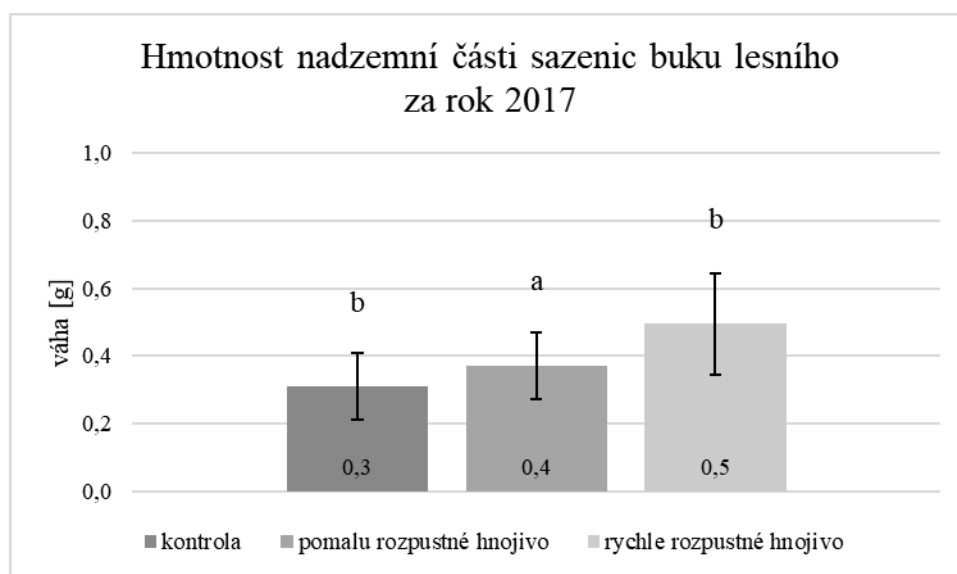
Obrázek 28: Porovnání hmotnosti kořenové části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významný rozdíl ($\chi^2 = 13,4$; $df = 2$; $p = 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání je na (obr. 28). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu

jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Na obrázku 28 je patrné, že statisticky významný rozdíl je mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva, dále mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva. Mezi variantou pomalu a rychle rozpustného hnojiva statisticky významný rozdíl není. Průměrná naměřená hmotnost kořenové části sazenice byla 1,1 g pro variantu kontrola, 1,6 g pro variantu rychle rozpustného hnojiva a 1,8 g pro variantu pomalu rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřená hmotnost kořenové části ze všech sazenic (0,25 g), která byla zaznamenána pro variantu kontrola a největší naměřená hmotnost kořenové části ze všech sazenic (5,92 g) byla zaznamenána pro variantu pomalu rozpustného hnojiva.

5.6.3. Hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2017

Pro statistické porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



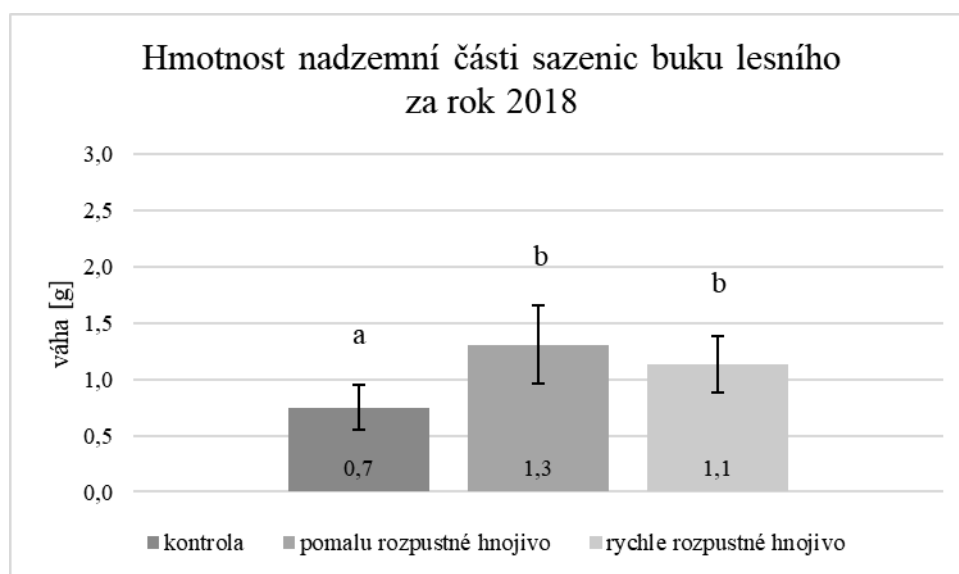
Obrázek 29: Porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2017. Chybové úsečky znázorňují aritmetický průměr \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 21,9$; $df = 2$; $p < 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 29). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,01$. Lze konstatovat,

že statisticky významný rozdíl byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva, dále mezi variantou pomalu a rychle rozpustného hnojiva. Naopak mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva statisticky významný rozdíl není. Průměrná naměřená hmotnost nadzemní části sazenic buku lesního byla 0,3 g pro variantu kontrola, 0,4 g pro variantu pomalu rozpustného hnojiva a 0,5 g pro variantu rychle rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřená hmotnost nadzemní části ze všech sazenic (0,09 g) byla zaznamenána ve variantách pomalu a rychle rozpustného hnojiva. Naopak největší naměřená hmotnost nadzemní části (1,24 g) byla zaznamenána ve variantě rychle rozpustného hnojiva.

5.6.4. Hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního za rok 2018

Pro statistické porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního mezi zvolenými variantami (kontrola, pomalu rozpustné hnojivo a rychle rozpustné hnojivo) byl použit Kruskal-Wallisův test s následným mnohonásobným porovnáním.



Obrázek 30: Porovnání hmotnosti nadzemní části sazenic buku lesního v jednotlivých variantách v lesní školce Věcov I. pro rok 2018. Chybové úsečky znázorňují aritmetický průměr \pm směrodatnou odchylku. Odlišné indexy nad příslušnými sloupci grafu znázorňují statisticky významné rozdíly. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

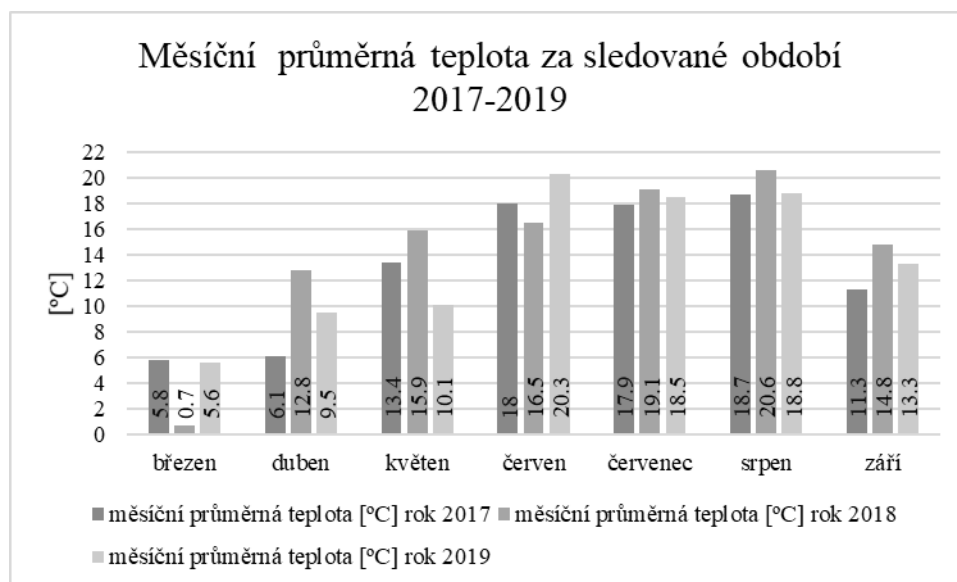
Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly ($\chi^2 = 19,7$; $df = 2$; $p = 0,001$), grafické znázornění včetně výsledků mnohonásobného porovnání viz (obr. 30). Nulovou hypotézu o rovnosti mediánu jednotlivých variant lze zamítnout na hladině významnosti $\alpha = 0,01$.

Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi variantou kontrola a variantou pomalu rozpustného hnojiva, dále mezi variantou kontrola a variantou rychle rozpustného hnojiva. Rozdíl mezi variantou pomalu a rychle rozpustného hnojiva není statisticky významný. Průměrná naměřená hodnota nadzemní části sazenice buku lesního je 0,7 g pro variantu kontrola, 1,1 g pro variantu rychle rozpustného hnojiva a 1,3 g pro variantu pomalu rozpustného hnojiva. Nejmenší naměřená hmotnost nadzemní části ze všech sazenic (0,17 g) byla zaznamenána ve variantě kontrola a největší naměřená hmotnost nadzemní části za všech sazenic (3,85 g) byla zaznamenána ve variantě pomalu rozpustného hnojiva.

5.7. Porovnání klimatických poměrů

Nejprve byly porovnány průměrné teploty a průměrný měsíční úhrn v jednotlivém sledovaném období 2017–2019, dále byly porovnány měsíční průměrné teploty a průměrné srážky ve sledovaném období 2017–2019 a dlouhodobý teplotní a srážkový normál za roky 1981–2010. Vždy ve vegetační době od března do září.

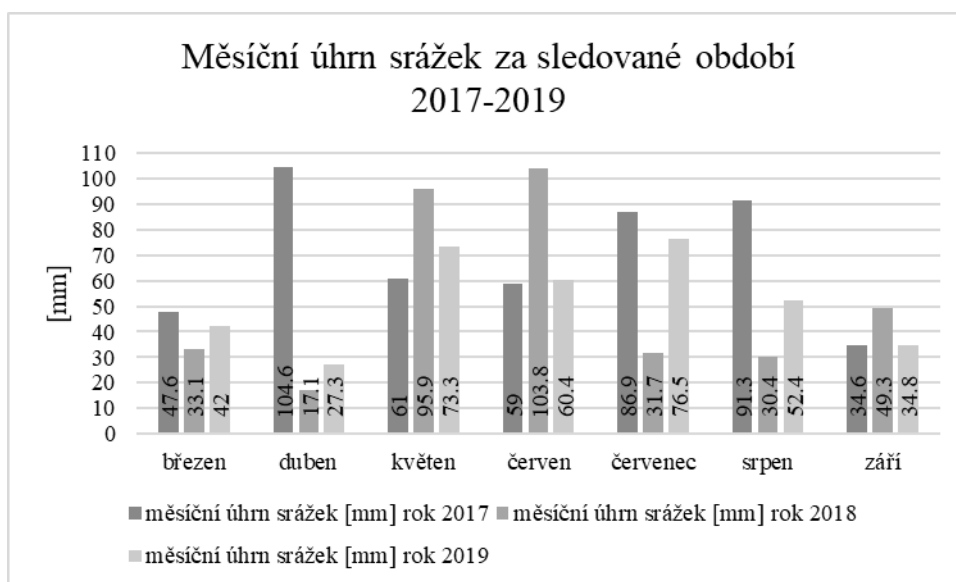
5.7.1. Porovnání průměrné měsíční teploty ve sledovaném období 2017–2019



Obrázek 31: Porovnání průměrné měsíční teploty za sledované období 2017–2019 vždy v době vegetačního období od března do září. Průměrné měsíční teploty jsou z meteorologické stanice ČHMÚ v Nadějkově. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Z grafického porovnání měsíční průměrné teploty za sledovaného období na obrázku 31 je zřejmé, že největší průměrná teplota byla v roce 2018. Naopak nejchladnější rok za sledované období byl rok 2017. Dále je patrné, že nejvyrovnanější teplotní průměry jsou v měsíci v červenci, kde mezi rokem 2017 a 2018 je průměrný měsíční teplotní rozdíl 1,2 °C, a naopak největší průměrný teplotní rozdíl je v měsíci dubnu opět mezi roky 2017 a 2018, a to 6,7 °C. Nejmenší měsíční průměrná teplota za sledované období byla v březnu roku 2018 a to 0,7 °C a největší měsíční průměrná teplota byla opět v roce 2018, a to v měsíci srpnu, kdy průměrná teplota byla 20,6 °C.

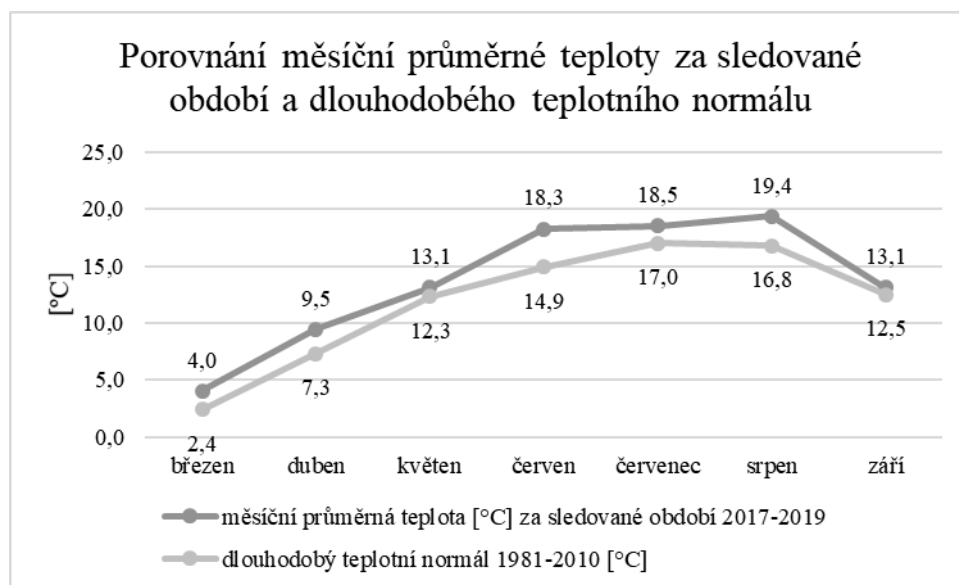
5.7.2. Porovnání měsíčního úhrnu srážek ve sledovaném období 2017–2019



Obrázek 32: Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období 2017–2019 vždy v době vegetačního období od března do září. Průměrné měsíční teploty jsou z meteorologické stanice ČHMÚ v Nadějkově. Číselné hodnoty na bázi sloupců jsou aritmetické průměry.

Z grafického porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledovaného období na obrázku 32 je zřejmé, že největší úhrn srážek byl v roce 2017. Naopak nejmenší měsíční úhrn srážek za sledované období byl rok 2018. Za sledované období (vždy březen až září) v letech 2017 až 2019 byl největší úhrn srážek v roce 2017, a to 485,0 mm, naopak nejmenší úhrn srážek za sledované měsíce byl v roce 2018 a to 361,5 mm. Nejmenší měsíční úhrn srážek za sledované období byl v dubnu roku 2018, a to 17,1 mm. Největší měsíční úhrn srážek byl v roce 2017, a to v měsíci březnu, kdy úhrn srážek byl 104,6 mm.

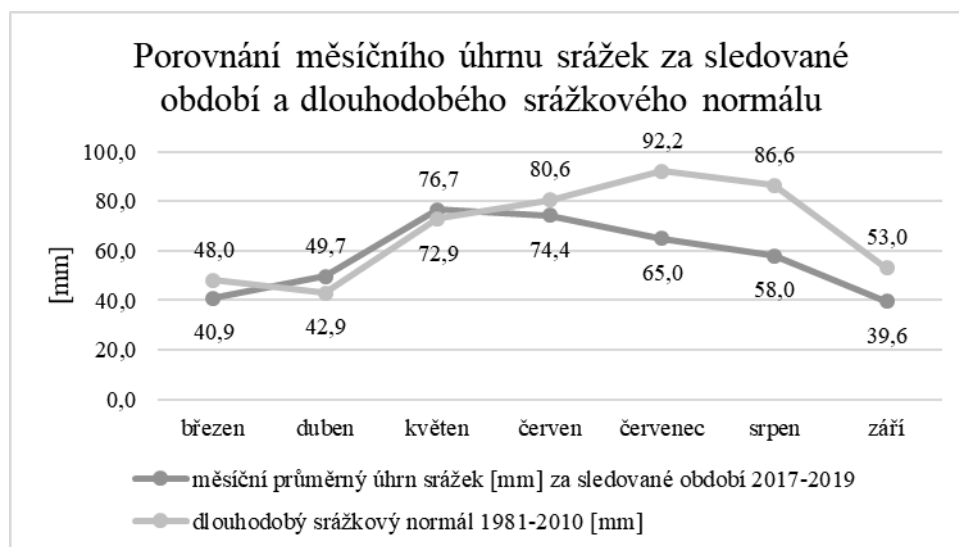
5.7.3. Porovnání měsíční průměrné teploty za sledované období a dlouhodobého teplotního normálu



Obrázek 33: Porovnání měsíční průměrné teploty za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého teplotního normálu za roky 1981–2010 vždy v době vegetačního období od března do září. Průměrné měsíční teploty jsou z meteorologické stanice ČHMÚ v Nadějkově. Číselné hodnoty u zobrazených bodů jsou aritmetické průměry.

Z grafického porovnání měsíční průměrné teploty za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého teplotního normálu za rok 1981–2010 na obrázku 33 je patrné, že teplotní průměry oproti dlouhodobému normálu se zvyšují hlavně v období od června do srpna a také v jarním období od března do dubna. Naopak v měsíci květnu a září je zvýšení teploty oproti dlouhodobému teplotnímu normálu nejmenší. Největší teplotní rozdíl za sledované období oproti dlouhodobému teplotnímu normálu je v měsíci v červnu, a to o 3,4 °C. Naopak nejmenší teplotní rozdíl je v měsíci září, a to o 0,6 °C.

5.7.4. Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období a dlouhodobého srážkového normálu



Obrázek 34: Porovnání měsíčního úhrnu srážek za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého srážkového normálu za roky 1981–2010 vždy v době vegetačního období od března do září. Průměrný úhrn srážek je z meteorologické stanice ČHMÚ v Nadějkově. Číselné hodnoty na bázi bodů jsou aritmetické průměry.

Po grafickém porovnání měsíčního srážkového úhrnu za sledované období 2017–2019 a dlouhodobého srážkového normálu za rok 1981–2010 na obrázku 34 je na první pohled patrné, že průměrného úhrnu srážek velmi ubývá hlavně v období od června do září tedy do konce vegetačního období. Ubytek srážek je i v měsíci březnu naopak nepatrný přírůstek srážek lze registrovat v měsíci dubnu a květnu oproti dlouhodobému srážkovému normálu. Největší rozdílný průměrný úhrn srážek za sledované období a dlouhodobý srážkový normál je v měsíci srpnu, a to 28,6 mm. Naopak rozdílný průměrný úhrn srážek za sledované období a dlouhodobý srážkový normál je v měsíci květnu a to 3,8 mm.

5.8. Stanovení živin v půdě metodikou podle Mehlicha

Stanovení živin v půdě v lesní školce Věcov I. metodikou podle Mehlicha jsou uvedeny v tabulce číslo 9. Na první pohled je patrné, že mezi variantami existuje rozdíl v obsahu živin v půdě. Varianta kontrola zaostává v obsahu (fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku). Největší obsah fosforu se nachází u varianty pomalu rozpustného hnojiva a nejmenší obsah fosforu je u varianty kontrola. U obsahu draslíku je významně největší obsah u varianty rychle rozpustného hnojiva a nejmenší opět u varianty kontrola. Obsah vápníku je opět

největší u varianty rychle rozpustného hnojiva a nejmenší u varianty kontrola. Naopak obsah hořčíku v půdě je největší u varianty pomalu rozpustného hnojiva a nejmenší varianty rychle rozpustného hnojiva.

Tabulka 9: Stanovení živin v půdě podle Mehlicha

Varianta	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Kontrola	13	212	839	112
Pomalou rozpustné hnojivo	28	223	843	123
Rychle rozpustné hnojivo	17	287	854	111

6. Diskuse

Cílem této diplomové práce bylo ověřit a statisticky porovnat účinky pomalu a rychle rozpustného hnojiva na prosperitu sadebního materiálu buku v lesní školce v rámci základního hnojení. Z provedených vyhodnocení téměř ve všech ukazatelích vychází lépe varianta rychle rozpustného hnojiva, a to zejména v první vegetační sezoně. Ve druhém a třetím vegetačním roce opět vycházela ve většině ukazatelů lépe varianta rychle rozpustného hnojiva, ale nebylo tomu už tak všude. Pouze v některých případech měla varianta pomalu rozpustného hnojiva lepší výsledky než varianta rychle rozpustného hnojiva. Toto lze vysvětlit tím, že prvním vegetačním roce došlo rychlému uvolnění obsažených živin z rychle rozpustného hnojiva do půdy ke kořenům rostlin a v následujících letech už hnojivo ztrácelo účinek. Roli mohlo hrát i vyplavování z půdního profilu. Varianta pomalu rozpustného hnojiva v prvním vegetačním roce nevykazovala velké rozdíly od varianty kontrola. Naopak v následujících letech došlo k pomalejšímu uvolnění obsažených živin z pomalu rozpustného hnojiva do půdy a ke kořenům rostlin. Již dříve sledovali efekt na sadebním materiálu (dubu, borovice, smrk a jedle) přihnojeném standardním hnojivem Cererit a práškovým hnojivem Silvamix Podrázský a kol. (1999), kde obě přihnojené varianty jednoznačně prokazovaly větší hodnoty na přírůsty výšky i tloušťky kořenového krčku. Výzkum na výsadbě smrku ztepilého sledovali Kuneš a kol. (2004), kdy kultura smrku byla přihnojena mletým amfibolitem a hnojivem Silvamix. Obě přihnojené varianty opět prokazovaly vyšší přírůsty než kontrola.

U prvního sledovaného ukazatele, kterým byla výška nadzemní části sazenic, je patrné, že na plochách, kde bylo testováno rychle rozpustné hnojivo, jsou zjištěné výšky větší než u následujících variant. Naopak u kontroly, kde nebylo testováno žádné hnojivo, jsou naměřené hodnoty nejmenší ve všech sledovaných vegetačních obdobích. U varianty pomalu rozpustného hnojiva byly nejprve naměřené hodnoty velmi podobné jako u varianty kontrola. V následujících vegetačních obdobích (druhé vegetační období) naměřené hodnoty rostly, a v posledním sledovaném období (třetí vegetační období) byly průměrné hodnoty podobné variantě rychle rozpustného hnojiva. Jak už bylo řečeno, toto lze vysvětlit tím, že u varianty rychle rozpustného hnojiva se během první růstové sezóny rychle uvolnilo větší množství dusíku než u varianty pomalu rozpustného hnojiva. Naopak u

varianty pomalu rozpustného hnojiva se během následujících dvou růstových sezón uvolnilo postupné množství dusíku, které už u běžného rychle rozpustného hnojiva chybělo.

Dalším testovaným ukazatelem byla tloušťka kořenového krčku. Nejsilnější kořenový krček se nachází opět u rychle rozpustného hnojiva ve všech sledovaných obdobích. Naopak nejslabší kořenový krček se nachází opět u varianty kontrola. Toto lze vysvětlit tím, že živiny z dodaných hnojiv pozitivně ovlivnily nejen výškový, ale i tloušťkový přírůst sadebního materiálu. Varianta s rychle rozpustným hnojivem v první sezóně po přihnojení těžila z vyšší nabídky uvolněných živin z hnojiva, ale u varianty pomalu rozpustného hnojiva se uvolnění živin dostavilo až ve druhém a třetím sledovaném období, kdy opět naměřené hodnoty byly srovnatelné s rychle rozpustným hnojivem. Ve všech sledovaných případech byl průměr kořenového krčku hnojených variant větší než u nehnojené kontrolní varianty (Kubelka 2001).

Dalším sledovaným kritériem byl průměrný přírůst sadebního materiálu za druhé a třetí sledované období. U výškového přírůstu byl ve druhém i třetím roce největší roční přírůst u varianty pomalu rozpustného hnojiva a nejmenší byl opět u varianty kontrola. I když průměrné naměřené hodnoty ve všech sledovaných obdobích vycházely lépe pro variantu rychle rozpustného hnojiva, tak i přesto průměrný roční přírůst byl lepší u varianty pomalu rozpustného hnojiva. Lze se domnívat, že v roce 2017 u varianty rychle rozpustného hnojiva došlo k rychlému uvolnění dusíku a v důsledku toho i k intenzivnímu růstu. Z toho lze vyvozovat, že v roce 2018 a 2019 byl právě roční průměrný přírůst lepší u varianty pomalu rozpustného hnojiva, u kterého se dusík uvolňuje postupně, a tím ho sadební materiál lépe využije k růstu v delším časovém intervalu po aplikaci. Naopak roční průměrný tloušťkový přírůst už vykazoval odlišnou dynamiku, kdy v druhém sledovaném období v roce 2018 byl ještě největší tloušťkový přírůst u varianty rychle rozpustného hnojiva. V následujícím roce 2019 byl u varianty rychle rozpustného hnojiva tloušťkový přírůst nejmenší u varianty kontrola a u pomalu rozpustného hnojiva byl tloušťkový přírůst ve srovnání s rychle rozpustným hnojivem nepatrně větší. Podobné výsledky měla i studie autorů Podrázský a kol. (1999), která uvádí, že ve druhém roce byl vliv pomalu rozpustného hnojiva ještě výraznější. U sadebního materiálu smrku ztepilého se významně zvýšila celková výška, patrný byl vliv na zvýšení běžného přírůstu i přírůstu tloušťky sazenic. Stejný výsledek na smrku ztepilém a buku lesním

uvádějí Remeš a kol. (2005), kteří popisují, že hnojivé tablety Silvamix podpořily výškový přírůst sazenic až v roce následujícím po aplikaci hnojiv, tj. ve 2. vegetačním období. Dále se domnívám, že u varianty kontrola je velká tloušťka krčku zapříčiněna následkem stresových podmínek (sucho) v roce 2019, proto sadební materiál nerost do výšky, ale kmínek sílil.

Další provedenou studií vlivu aplikace rychle a pomalu rozpustného hnojiva bylo posouzení mortality sadebního materiálu. Průkazně největší mortalita sazenic byla u varianty rychle rozpustného hnojiva. Naopak výrazně nejmenší mortalita sadebního materiálu byla u varianty kontrola. Mortalita u varianty pomalu rozpustného hnojiva byla mírně větší než u varianty kontrola. Lze se domnívat, že rychlé uvolnění dusíku mělo vliv na rychlý růst nadzemní části sazenice, ale sazenice měly menší kořenový systém a ve zhoršených klimatických podmínkách (mimořádně suché roky 2018 a 2019) se některé rostliny nedokázaly vyrovnat s přechodným nedostatkem vláhy a zaschly.

Hodnocení obsahu chlorofylu a fluorescence chlorofylu podle Špuláka a kol. (2011) umožňuje komplexnější vhled do fotosyntetických pochodů uvnitř asimilačního aparátu. Obě metody v našem případě poskytly údaje, které jsou výsledkově konzistentní s přírůstem kultury buku. Největší koncentrace chlorofylu byla v prvním roce zaznamenána u rychle rozpustného hnojiva, střední u pomalu rozpustného hnojiva a nejmenší u kontroly. Ve druhém a ve třetím sledovaném období se už výsledky mění, takže největší koncentrace fotosyntetického pigmentu je u pomalu rozpustného hnojiva, střední u rychle rozpustného hnojiva a nejmenší u kontroly. Poměr mezi variabilní a minimální fluorescencí vychází tak, že v prvním sledovaném období je opět výrazný rozdíl u rychle rozpustného hnojiva. Ve druhém roce je největší rozdíl mezi variantou pomalu rozpustného hnojiva a variantou kontrola, kde jsou výsledky totožné a ve třetím roce je opět největší rozdíl u varianty rychle rozpustného hnojiva. Pro poměr variabilní a maximální fluorescence je významný rozdíl pouze v prvním sledovaném období: největší rozdíl v tomto parametru je mezi variantou kontrola a pomalu rozpustným hnojivem (obr. 20). Ve druhém a ve třetím roce jsou mezi všemi variantami výsledky totožné. Tento výsledek mohlo v prvé řadě ovlivnit důsledek nedostatku vody či extrémních teplot, které v letech 2018 a 2019 panovaly. Výsledek za první sledované období (2017) může být rozdílný např. díky dostatku vláhy. Rok 2017 byl klimaticky výrazně příznivější než další dvě sledovaná období (2018 a 2019).

Poměr chlorofylu také významně závisí na ozáření listů. U stinných listů spadá až ke spodní hranici stanoveného rozmezí (Sarijeva a kol. 2007). Pro minimalizaci tohoto jevu byly pro měření použity pouze osluněné listy buku lesního. Ve všech sledovaných obdobích můžeme určitě zamítnout podezření na herbicid, kterým sadební materiál nemohl být poškozen, protože žádný herbicidní přípravek nebyl ve školce použit.

Proporce ve velikostech parametrů objemu i hmotnosti nadzemní a kořenové části sadebního materiálu se mezi jednotlivými variantami během sledovaného období postupně měnily. Objem v prvním sledovaném období byl jak u nadzemní, tak i u kořenové části lepší výsledek u varianty rychle rozpustného hnojiva (obr. 26). Naopak ve druhém sledovaném období byl v případě nadzemní části lepší výsledek opět u varianty rychle rozpustného hnojiva, ale u kořenové části byl lepší výsledek u varianty pomalu rozpustného hnojiva. Z na měřených hodnot hmotnosti je možné dojít k výsledku, že v prvním sledovaném období je větší hmotnost nadzemní i kořenové části u varianty rychle rozpustného hnojiva, a naopak nejmenší u varianty kontrola. Ve druhém sledovaném období jsou výsledky rozdílné oproti prvnímu sledovanému období. Největší hmotnost nadzemní i kořenové části buku lesního je u varianty pomalu rozpustného hnojiva a nejmenší opět u varianty kontrola. Domnívám se, že rychlé uvolnění dusíku u varianty rychle rozpustného hnojiva mělo příznivý vliv na růst nadzemní části. Přírůst nadzemní části však u vypěstovaného sadebního materiálu není jediné kritérium pro hodnocení kvality. Neméně důležité je mít kvalitní (objemově, ale ne rozměrově mohutný) kořenový systém. V tomto experimentu bylo vyššího přírůstu kořenového systému docíleno přihojením pomalu rozpustným hnojivem, které uvolňovalo dusík po delší dobu. Obdobné zkušenosti (tehdy s hnojivými tablety Preform) zaznamenali a popsali Nárovec a Štěnička (1991). V jejich případě se zpomaleným příjmem živin z pomalu rozpustného hnojiva souvisel stav a vývoj kořenového systému sazenic. Lze tedy vyslovit domněnku, že zpomalením příjmu živin z aplikovaného pomalu rozpustného hnojiva souvisí pozitivně s vývojem kořenového systému sazenic.

Použití pomalu a rychle rozpustného hnojiva mělo na půdu v lesní školce Věcov I. značný vliv (tab. 9). Ve všech případech měly přihojené kultury větší obsah živin v půdě. Největší rozdíl vychází u hořčíku, což je dáno rozdílnou skladbou hnojiva (pomalu rozpustné hnojivo obsahovalo 2 % MgO). Varianty kontrola a rychle rozpustného hnojiva v případě hořčíku vykazovaly skoro totožné výsledky., které byly nižší než u varianty s pomalu

rozpuštěným hnojivem. Pozitivně vycházela varianta s pomalu rozpustným hnojivem rovněž v případě fosforu. U ostatních sledovaných živin vycházela lépe varianta s rychle rozpustným hnojivem.

Školkařská kultura buku na nabídku živin s pomalu anebo s rychle rozpustným hnojivem adekvátně zareagovala. Pozvolnější uvolňování živin u pomalu rozpustného hnojiva v prvním roce po přihnojení způsobilo menší přírůstovou odezvu kultury než u přihnojení s rychle rozpustným hnojivem. Jak již bylo uvedeno, rychle uvolnění dusíku mělo pozitivní výsledek v prvním roce, ale v dalších dvou letech už vliv na přírůst nebyl tak výrazný. U rychle rozpustného hnojiva se v později dostavil efekt „vyčerpání“ rychle dostupných živin dodaných v hnojivu. Varianta pomalu rozpustného hnojiva v pozdější fázi profitovala ze zvýšené nabídky živin, které se uvolňovaly pozvolněji.

Je třeba rovněž uvést předpoklad, že ani pomalu a ani rychle rozpustné hnojivo nemělo žádný vliv na fyziologické poškození, vyvolané použitím hnojiv. Obdobné zkušenosti zaznamenal, a popsal Kubelka (2001), kdy v lesní školce Kladíkov testoval několik druhů hnojiva Silvamix na prosperitě sadebního materiálu jedle bělokoré, buku lesního, douglasky tisolisté a lípy malolisté.

7. Závěr

Šetřením bylo zjištěno, že v krátkodobém horizontu a v režimu s intenzivním odběrem živin, v němž fungují lesní školky, skoro ve všech sledovaných ukazatelích vychází lépe rychle rozpustné hnojivo. Naopak pomalu rozpustné hnojivo se hodí pro svou delší a rovnoměrnější účinnost k iniciální podpoře kultur po výsadbě na cílové stanoviště (les nebo i nelesní prostředí).

V lesní školkařské praxi je potřeba rychlé a kvalitní vypěstování sadebního materiálu, které hnojiva s rychle rozpustným účinkem umožňují. Dále výsledky naznačují, že rychle rozpustná hnojiva by mohla v lesních školkách indukovat iniciační přírůst či napravovat akutní deficity ve výživě v průběhu růstu sadebního materiálu. Odstranit deficit ve výživě během školkařského roku s použitím pomalu rozpustného hnojiva by v lesní školce nebylo možné.

Výše uvedená zjištění současně poukazují na potřebu klást důraz na přesné a cílené dávkování hnojiv v lesních školkách, protože rychle rozpustná hnojiva při nevhodné aplikaci mohou vést k vyplavování živin, případně ke stresu kultur v důsledku přechodně vysokých koncentrací některých složek hnojiva v půdě (půdním roztoku).

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

Aarnio T., Martikainen P. J., 1995. Mineralization of C and N and nitrification in Scots pine forest soil treated with nitrogen fertilizers containing different proportions of urea and its slow-releasing derivative ureaformaldehyde. *Soil Biology and Biochemistry* 27, (10): 1325-1331.

Burda P., Nárovcová J., Nárovec V., Kuneš I., Baláš M., Machovič I., 2015. Technologie pěstování listnatých poloodrostků a odrostků nové generace v lesních školkách. Certifikovaná metodika. 1. vydání. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Lesnický průvodce 3/2015. 56 s. ISBN 978-80-7417-097-3.

Dušek V., 1997. *Lesní školkařství – vydání I.* Písek: Matice lesnická. 139 s.

Flousek J., 1999. Hraboš mokřadní (*Microtus agrestis*) v lesním hospodářství Krkonoš. In SLODIČÁK M. (ed.): *Obnova a stabilizace horských ekosystémů. Sborník z celostátní konference konané v Bedřichově v Jizerských horách 12. – 13. 10. 1999.* VÚLHM VS Opočno., s. 49-53.

Jahns T., Schepp R., Siersdorfer Ch., Kaltwasser H., 1999. Biodegradation of Slow-Release Fertilizers (Methyleneureas) in Soil. *Journal of Environmental polymer Degradation* 7, (2): 75-82

Jurásek A., Martincová J., Leugner J., 2010. Manipulace se sadebním materiálem lesních dřevin od vyzvednutí ve školce až po výsadbu. Certifikovaná metodika. 1. vydání. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Lesnický průvodce 5/2010. 34 s. ISBN 978-80-7417-035-5.

Koblížek J., 1990. *Fagus L. – buk*, s. 17-20 In: Hejný S, Slavík B [eds], *Květena České republiky II.* Academia, Praha, 540 s.

Kolektiv autorů, 2018. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018.* Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky. 109 s. ISBN 978-80-7434-530-2

Kopinga J. and van den Burg J., 1995. Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees. *Journal of Arboriculture* 21, (1): 17-24.

Kuneš I., Balcar V., Čížek M. 2004. Influence of amphibolite powder and Silvamix fertiliser on Norway spruce plantation in conditions of air polluted mountains. *Journal of Forest Science*, 50: 366–373.

Krause GH & Weis E 1991 Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 313-349.

Kubelka L., 2001. *Silvamix – moderní hnojivo pro lesní hospodářství*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. 39 s. ISBN 80-86386-14-7.

Linda R., Zádrapová D., Křížová K., Kuneš I., 2019. Měření obsahu a fluorescence chlorofylu v listech sadebního materiálu vybraných dřevin pomocí přenosných přístrojů. Certifikovaná metodika. 1. vydání. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Lesnický průvodce 2/2019. 46 s. ISBN 978-80-7417-172-7

Maxwell K. & Johnson GN., 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.

Nárovcová J., Nárovec V., Němec P., 2016. Optimalizace hnojení a hospodaření na půdách lesních školek. Certifikovaná metodika. 1. vydání. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Lesnický průvodce 7/2016. 60. s. ISBN 978-80-7417-116-1.

Nárovec V., 2001. 100× o hnojení v lese. Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. 31s. ISBN 80-86386-16-3.

Nárovec V., 2003. O půdách v lesních školkách. Půdní podmínky v lesních školkách, jejich kontrola a vyhodnocení výsledků půdních rozborů. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. 27 s. ISBN 80-86386-36-8.

Nárovec V., Štěnička S., 1991. Zkušenosti s hnojivými tabletami Preform. Lesnická práce. č. 12, s. 365-368.

Plíva K., 1987. *Typologický klasifikační systém ÚHÚL*. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. 52 s.

Podrázský V., Remeš J., Kratochvíl J., 1999. Výsledky aplikace hnojiv řady Silvamix. Lesnická práce, 78, 1999, č. 2, s. 70-72.

Poleno Z., Vacek S a Podrázský V., 2009. *Pěstování lesů III*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. 952 s. ISBN 978-80-87154-34-2.

Remeš J., Zahradník D., Podrázský V., Kubíček J., Nárovec V. 2005. Účinky pomalu rozpustných tabletovaných hnojiv. Lesnická práce, 84, 2005, č. 6, s. 312-314.

Sarijeva G., Knapp M., Lichtenhaler H. K. 2007. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus. *Journal of Plant Physiology*, 164: 950- 955.

Soukup J. a kol, 1979. *Výživa rostlin substráty voda v okrasném zahradnictví*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 288 s.

ÚHÚL, 2010. *Rádce vlastníka lesa do výměry 50 ha-IV*. Vydání první. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. 31 s.

ÚHÚL, 2017. *Rádce vlastníka lesa do výměry 50 ha III*. Čtvrté aktualizované vydání. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. 39 s. ISBN 978-80-88184-09-6.

Špulák O., Vítámvás J., Kacálek D. & Kuneš I., 2011. Fluorescence chlorofylu, chemismus a obsah fotosynteticky aktivních pigmentů listů buků vápněných do jamky. *Zprávy lesnického výzkumu* 56: 301-309.

Válek Z., 1978. *Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 203 s.

Zlatník A., 1976. *Lesnická fytocenologie*. Vydání první. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 495 s.

9. Seznam příloh

Příloha č. 1: Meteorologická data ČHMÚ v Nadějkově pro rok 2017

Příloha č. 2: Meteorologická data ČHMÚ v Nadějkově pro rok 2018

Příloha č. 3: Meteorologická data ČHMÚ v Nadějkově pro rok 2019

Příloha č. 4: Schéma navržené výzkumné plochy

Příloha č. 5: Příbalový leták NPK 10-10-10+13S

Příloha č. 6: Příbalový leták NPK(MgO)20-10-10(2)

Příloha č. 7: Průvodní list pro semenný materiál

Příloha č. 8: Měření výšky nadzemní části pro rok 2017, 2018 a 2019

Příloha č. 9: Měření tloušťky kořenové části pro rok 2017, 2018 a 2019

Příloha č. 10: Obsah fluorescence pro rok 2017

Příloha č. 11: Obsah fluorescence pro rok 2018

Příloha č. 12: Obsah fluorescence pro rok 2019

Příloha č. 13: Obsah koncentrace chlorofylu pro rok 2017

Příloha č. 14: Obsah koncentrace chlorofylu pro rok 2018

Příloha č. 15: Obsah koncentrace chlorofylu pro rok 2019

Příloha č. 16: Měření objemu nadzemní a kořenové části semenáčků pro rok 2017 a pro rok 2018

Příloha č. 17: Měření hmotnosti nadzemní a kořenové části semenáčků pro rok 2017

Příloha č. 18: Měření hmotnosti nadzemní a kořenové části semenáčků pro rok 2018

Z důvodu rozsáhlosti příloh a měření jsou uvedené data přiloženy pouze v elektronické podobě této diplomové práce.