

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
ÚSTAV GEOLOGIE A PEDOLOGIE**

**Možnosti využití hnojení při zalesňování nelesních půd v PLO 31
Českomoravské mezihorí**

Diplomová práce

2016/2017

Bc. Petr Dujka

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci Možnosti využití hnojení při zalesňování nelesních půd v PLO 31 Českomoravské meziohří zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách) ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V..... dne:..... podpis.....

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli k tomu, abych svou bakalářskou práci dokončil. Zejména pak vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Janu Pecháčkovi, Ph.D., konzultantovi mé práce panu Ing. Peteru Dundekovi, panu doc. Dr. Ing. Dušanu Vavříčkovi a Ing. Aleši Kučerovi, Ph.D., kteří mi věnovali svůj čas a pomohli se zdárným průběhem při sběru dat a pomohli mi objasnit mnoho souvislostí spojených s terénním i laboratorním zpracováním pedologické části práce. Dále, panu prof. Ing. Oldřichu Mauerovi, DrSc. za poskytnutí literárních materiálů a cenných rad V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své budoucí ženě, své rodině a přátelům za psychickou a finanční podporu při zpracování práce.

Srdečně vám děkuji.

Abstrakt

Petr Dujka

Možnosti využití hnojení při zalesňování nelesních půd v PLO 31 Českomoravské mezihorí

Zalesňování nelesních půd má na území ČR mnohaletou tradici a do budoucna se uvažuje o zalesňování několika tisíc hektarů nelesní půdy. Cílem práce je výzkum možností využití hnojení při zalesňování nelesních půd v přírodní lesní oblasti (PLO) 31 Českomoravské mezihorí. Praktická část práce analyzuje vliv čtyř testovaných hnojiv na výzkumné ploše Letovice – Kochov na zlepšení pedochemických charakteristik, nutričních poměrů asimilačního aparátu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karsten), vývoj morfologických veličin a zdravotní stav, to vše v závislosti na klimatu v roce 2016. U testovaných hnojiv byl zjištěn různě pozitivní vliv a to i přes srážkově podprůměrný rok. Nejlepší výsledky byly zaznamenány u pomalu rozpustného hnojiva Silvamix®R30. Hnojivo Silvamix®R30 bylo pro svoje výsledky doporučeno pro praktické užití při zalesňování nelesních půd v PLO 31.

Klíčová slova: zalesňování, hnojiva, zemědělská půda, smrk ztepilý, *Picea abies*, přírodní lesní oblast, Českomoravské mezihorí, Silvamix®30

Abstract

Petr Dujka

Possibilities of fertilisation usage in process of agricultural lands afforestation in Natural forest area 31 Českomoravské mezihorí

An afforestation of agricultural lands in the Czech Republic has a long tradition. In the future, a few thousands of hectares of agricultural lands is considered to be afforested. The aim of this thesis is to research possibilities of fertilisation usage in process of agricultural lands afforestation within Natural forest area (NFA) 31 Českomoravské mezihorí. The research part of the thesis contains results of soil and nutrition analyses applied in Letovice – Kochov research area. The main goal of analyses was to find the impact of fertilisation on chemical soil characteristics, on nutrition of Norway spruce's needles (*Picea abies* (L.) Karsten), on the development of morphological quantity, and on the health of specimen. All of the characteristics are assessed in the context of climate in 2016. The positive effects of fertilisers were researched despite a low-humid year. The best effects were spotted at fertiliser Silvamix®R30. To the results, Silvamix®R30 fertilizer could be used in praxis, especially for agricultural lands afforested in named NFA.

Key words: afforestation, fertilizers, agricultural land, Norway spruce, *Picea abies*, Natural forest area, Českomoravské mezihorí, Silvamix®30

Úvodní poznámka

Tento výzkum byl financován z projektu NAZV č. QJ1320040: Revitalizace ekosystémových jednotek s využitím ekologických přístupů na stanovištích v minulosti antropogenně ovlivňovaných lokalit a extrémních lokalit současnosti.

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	11
3	Literární rešerše	12
3.1	Historie účelného zalesňování nelesních půd na území ČR	12
3.2	Charakteristika zájmového území PLO 31 – Českomoravské mezíhoří	16
3.2.1	Základní charakteristika	16
3.2.2	Geologické a pedologické poměry	16
3.2.3	Klimatické poměry	17
3.2.4	Přírodní poměry a dřevinná skladba	17
3.2.5	Historický vývoj v oblasti	18
3.3	Užití hnojivých prostředků při zalesňování nelesních půd	19
3.4	Makroprvky a jejich nutriční význam	19
3.4.1.	Dusík (N)	19
3.4.2	Fosfor (P)	20
3.4.3	Draslík (K)	20
3.4.4	Vápník (Ca).....	21
3.4.5	Hořčík (Mg)	21
3.4.6	Síra (S).....	22
3.5	Zalesňování nelesních půd v současné praxi	22
3.5.1	Volba dřevinné skladby	23
3.5.2	Vhodnost dřevinné skladby na půdní poměry	25
3.6	Možnosti zlepšení půdních vlastností	26
3.7	Možnost zlepšení výživy dřevin	26
3.8	Acidita, trofnost a fytotoxicita stanoviště	27
4	Materiály	29
4.1	Výzkumná plocha.....	29
4.1.1	Lokalizace	29
4.1.2	Geologické poměry	29
4.1.3	Geomorfologické poměry	30
4.1.4	Pedologické poměry	30
4.1.5	Klimatické podmínky	32

4.1.6	Ekotypové a typologické poměry.....	32
5	Metodika.....	34
5.1	Založení plochy.....	34
5.2	Aplikace hnojiva	34
5.3	Terénní průzkum a odběr vzorků	35
5.4	Příprava vzorků pro laboratorní analýzu	35
5.5	Kritéria vyhodnocení půdních analýz	36
5.5.1	Fyzikální vlastnosti půdy.....	36
5.5.2	Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy	38
5.5.3	Chemické vlastnosti půdy.....	39
5.6	Kritéria vyhodnocení listových analýz.....	41
5.7	Biometrická měření a zjišťování zdravotního stavu	41
5.8	Analýza zjištěných dat.....	41
5.9	Monitoring klimatických charakteristik	41
6	Výsledky	42
6.1	Vyhodnocení terénního průzkumu půdních poměrů.....	42
6.1.1	Lokalita Z.....	42
6.1.2	Lokalita L.....	44
6.2	Vliv hnojiv na pedochemické vlastnosti půdy	46
6.2.1	Vyhodnocení fyzikálních vlastnosti půdy	46
6.2.2	Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy	47
6.2.2.1	Půdní reakce (pH).....	47
6.2.2.2	Půdní sorpce a stupeň nasycení sorpčního komplexu	48
6.2.2.3	Celkové vyhodnocení fyzikálně-chemických vlastností	49
6.2.3	Chemické a nutriční vlastnosti půdy	50
6.2.3.1	Oxidovatelný uhlík (Cox) a poměr C:N	50
6.2.3.2	Obsah makroživin (P, K, Ca, Mg) v půdě	51
6.2.3.3	Celkové vyhodnocení chemických vlastností.....	53
6.3	Vliv hnojiv na nutriční poměry asimilačního aparátu.....	54
6.3.1	Obsah makroživin v asimilačním aparátu	54
6.3.2	Celkové vyhodnocení nutričních poměrů asimilačního aparátu.....	57
6.4	Vliv hnojiv na vývoj morfologických veličin.....	58
6.4.1	Výškový přírůst.....	58

6.4.2	Tloušťka kořenového krčku.....	59
6.4.3	Hmotnost 100 jehlic	59
6.4.4	Zdravotní stav	60
6.4.5	Vyhodnocení biometrických analýz	61
6.5	Klimatické podmínky v roce 2016.....	62
6.5.1	Teplota a srážky	62
6.5.2	Vlhkost půdy a půdní hydrolimity	63
7	Diskuse.....	65
8	Závěr.....	67
9	Literatura a zdroje informací.....	68
10	Summary	74
	Přílohy.....	75

1 Úvod

V minulosti docházelo na našem území k několika vlnám samovolného i cíleného zalesňování. Příčinami samovolného zalesňování byla v minulosti zejména společensky nestabilní období, která narušovala kontinuitu zemědělských činností. V důsledku toho docházelo na zemědělsky obdělávaných půdách mimo jiné k neřízené sukcesí a tvorbě nového lesa. Účelové zalesňování nelesních půd na našem území probíhalo od raného novověku. K velkým vlnám účelového zalesňování docházelo zejména ve druhé polovině 20. století a v současné době se v dlouhodobé koncepci lesního hospodářství hovoří o zalesňování až stovek tisíc hektarů nelesních (a to zejména v minulosti zemědělsky obhospodařovaných) půd. Úspěch zalesnění závisí na mnoha faktorech a úspěšné odrůstání nově zalesněných ploch nemusí být vždy úspěšné.

Možností jak zlepšit predispozice pro úspěšné zalesnění nelesní půdy, a zároveň i ujímání sadebního materiálu je zlepšení půdních vlastností, úprava nutričního potenciálu stanoviště a následné zlepšení nutričního stavu vysazovaných jedinců.

V současné době často dochází k volbě stanoviště nevhodné cílové dřevinné skladby, která nevyhovuje ekologickým požadavkům stanoviště, ale je ekonomicky podporována z dotačních programů. Jedná se zejména o smrkové porosty v nižších polohách, u nichž sice dochází k úspěšnému odrůstání, ale v budoucnu nezaručují statickou ani ekologickou stabilitu.

Ověření možnosti využití hnojiv jako podpůrného prostředku pro zalesňování nelesních půd za účelem podpořit úspěšné odrůstání kultur a dobrý zdravotní stav je předmětem této práce.

Přes dlouhodobé problémy se zdravotním stavem a rozpadem smrkových kultur stále dochází k zalesňování smrkem ztepilým. Tato studie se zabývá experimentálním zjištěním možnosti zlepšení odrůstání smrkové kultury na půdách v minulosti zemědělsky využívaných. Dle aktuálních ukazatelů se procentuální zastoupení smrku v ČR dlouhodobě snižuje, i přesto k jeho výsadbě stále dochází, a i v budoucnu zřejmě docházet bude. Obdobně se tato tendence jeví i v podmínkách přírodní lesní oblasti Českomoravské mezihorí (PLO 31), kde smrk tvoří nejzastoupenější dřevinu.

Teoretická část práce se zabývá historickým vývojem a metodami zalesňování nelesních půd na území dnešní ČR a s jejími možnými dopady. Dále jsou popsány přírodní podmínky v PLO 31, vliv makroelementů na výživu rostlin a důsledky jejich nedostatku na zdravotní stav. Poslední část se zabývá problematikou současného zalesňování nelesních půd v praxi s důrazem na zalesňování zemědělsky neproduktivních půd a možnými riziky tohoto procesu.

Praktická část je zaměřena na experimentální zkoumání účinků hnojiv na bývalé zemědělské půdě na pedochemické vlastnosti, nutriční stav smrku ztepilého, změnu morfoloogických veličin a ovlivnění zdravotního stavu. Uvedené skutečnosti jsou porovnány s ročním průběhem klimatu.

Na základě výše uvedeného byla stanovena základní hypotéza: v závislosti na teoretickém studiu prostředí i účinku jednotlivých hnojivých přípravků lze očekávat pozitivní účinek na půdní prostředí, růst kultury i zdravotní stav.

V závěrečné části jsou zjištěná data vyhodnocena a zpracována do závěrů k užití v současné praxi lesního hospodářství a hospodářské úpravy lesa v PLO 31, aby bylo možné maximálně využít zjištěných informací pro úspěšné zalesňování nelesních půd s eliminací rizik při odrůstání kultur.

2 Cíl práce

Cílem práce je výzkum možností využití hnojení při zalesňování nelesních půd v přírodní lesní oblasti (PLO) 31 – Českomoravské mezihoří. Mezi dílčí cíle patří studium vlivu hnojiv na pedochemické charakteristiky v zóně kořenového balu, nutriční poměry v asimilačním aparátu a morfologické veličiny zkoumaných jedinců s přihlédnutím ke klimatické situaci v uplynulé vegetační sezóně. Posledním dílčím cílem je shrnutí přínosu aplikace hnojiv v definovaných podmínkách a doporučení pro provozní praxi lesního hospodářství ve srovnatelných přírodních podmínkách.

3 Literární rešerše

3.1 Historie účelného zalesňování nelesních půd na území ČR

V historickém vývoji krajiny na území dnešní České republiky jsou zaznamenána období, kdy docházelo jak k úbytku plochy lesa, tak i k jejímu rozšíření. Úbytek lesnatosti lze dát do souvislosti zejména se zemědělskou expanzí po příchodu slovanských kmenů v 9. a 10. století, ale také s rozvojem středověké společnosti za vlády Přemyslovců a Lucemburků. Karel IV. se zmiňuje o tom, že lesy jsou v některých krajích vytěženy, vyorány a vykopány. Částečnou přirozenou regeneraci lesa lze vysledovat v době po husitských válkách, a to následkem poklesu počtu obyvatel a pozastavením rychle se rozvíjející kolonizace, započaté Karlem IV. Značné plochy orné půdy opět zarůstaly lesem. Potřeba dříví zejména pro stavební účely a rozvíjející se hornictví na počátku 16. století znamenala opět značný tlak na lesy (Špulák 2006, Špulák a Kacálek 2011). První zaznamenaná zmínka o cíleném zalesnění pochází z 16. století (Kacálek a Bartoš 2002), konkrétně roku 1570. Špulák a Kacálek (2011) dále uvádí, že tehdy byl za starou pražskou oborou oplocen nově vysázený lesík. Dále uvádí, že k další změně charakteru krajiny došlo v důsledku třicetileté války (1618 – 1638), kdy došlo ke značnému úbytku obyvatelstva a odhaduje se, že po válce zůstalo 20 – 25% poddanské půdy zpustlé.

Autoři (Špulák 2006, Špulák a Kacálek 2011) uvádějí, že od 18. století jsou na našem území zaznamenány pokusy o cílené zalesňování. K tomu se podle Němce a Hriba (2009) při zakládání porostů uplatňovali z nedostatku zkušeností zemědělské postupy, zejména polaření. Důležitými mezníky ve zlepšení stavu lesů byly tereziánské lesní patenty, vydané v polovině 18. století pro jednotlivé Rakouské země (pro Čechy a Moravu 1754, pro Slezsko 1756). Ty mimo jiné stanovili vlastníkům lesa povinnost obnovy lesa na vykácených plochách, zakazovaly pastvu v mladých kulturách a zavedly oplocování kultur v místech velkých škod. Poměry v 19. století dále vedly k tomu, že 3. 12. 1852 byl vydán první celorakouský lesní zákon. Zákon obsahoval mimo jiné zákaz pustošení lesů i jakoukoliv přeměnu lesní půdy na jinou kulturu bez úředního povolení a povinnost zalesnit nové holiny do 5 let a postupně zalesňovat holiny staré (Špulák 2006, Špulák a Kacálek 2011, Simanov 2014). V závěru 19. století byla zalesňování prováděna za účelem stabilizace zejména horských vodních toků a sloužilo jako opatření proti půdní erozi (Špulák a Kacálek 2011).

Pro zalesňování nelesních půd se v tehdejších Čechách z jehličnatých dřevin nejvíce používala borovice lesní (*Pinus silvestris*), smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice černá (*Pinus nigra*) a modřín opadavý (*Larix decidua*). Kromě toho byla vysazována také borovice Banksovka (*Pinus banksiana*), ta se ale v půdoochranných porostech neosvědčila. Z listnatých dřevin se používala bříza (*Betula sp.*), dub (*Quercus sp.*), habr (*Carpinus betulus*), lípa (*Tilia sp.*) a jilm (*Ulmus sp.*) Problematiku podrobněji popisuje např. Špulák (2006) nebo Špulák a Kacálek (2011). Němec a Hrib (2009) také zmiňují, že v rámci zalesňování velkého množství holin započalo období cílevědomého

pěstování hospodářsky nejvýhodnějších dřevin v monokulturách (smrku a borovice), často na nevhodných stanovištních podmínkách (Špulák a Kacálek, 2011).

Po první světové válce byly půdy zalesňovány jen v malé míře. V době nejintenzivnějšího zalesňování se ročně zalesnilo 500 až 600 ha. Po druhé světové válce byl rozsah zalesňování nejprve pomalý, objem zalesňovacích prací se zvýšil po záboru pozemků německého obyvatelstva, a to zejména v pohraničních oblastech horského a podhorského charakteru (Černý et al. 1995, Vacek a Simon 2009, Špulák a Kacálek 2011). Černý et al. (1995) upřesňují, že v mnoha případech šlo o plochy, které v důsledku kritického nedostatku pracovních sil zůstaly neobdělány a postupně zarůstaly stromy a keři z přirozeného náletu.

Zákon č. 206/1948 Sb., uvádí, že vlastníci lesa jsou povinni zakládat a obnovovat lesní porosty stanovištně vhodnými dřevinami. V části druhé, týkající se mimo jiné zalesňování nelesních půd, mají být zalesněny pozemky, které jinak neposkytují žádný nebo jenom neúměrně nízký výnos (jako např. suchopáry, pustiny, holiny, břehy, svahy, stráně, opuštěná pískoviště, jámy, výmoly, navážky, močály a pod.)¹. Špulák a Kacálek (2011) uvádějí, že i přes doporučení o zalesňování vhodnými druhy dřevin, byly rozsáhlé plochy zalesňovány smrkem a v některých oblastech borovicí. Dále uvádí, že některé plochy nejen na vlhkých stanovištích, byly vysázeny přípravnými dřevinami - olší lepkavou (*Alnus glutinosa*) a někdy i olší šedou (*Alnus incana*; Simanov 2014). Výjimečně se i na nemalých nelesních plochách vysazovaly i další dřeviny cílového charakteru.

Rozsah poválečného zalesňování nelesních půd vrcholil v první polovině 50. let. Docházelo k zalesňování dříve odlesněných ploch, způsobených jednak v důsledku intenzivní poptávky po dříví na podporu německého válečného úsilí (jak dokládá např. Žemlička (2006) o zalesňování v Novohradských horách), nebo v důsledku zalesnění rozsáhlých zemědělsky nevyužívaných ploch. Vacek (2007) uvádí, že v Krkonoších probíhalo zalesňování v minulosti odlesněných ploch po skončení druhé světové války přibližně do roku 1960; obnova probíhala zejména vysazováním smrku, modřínu, olše a buku, podrobněji o tom informuje např. Vacek et al. 2006b). Největší plocha nelesních půd byla podle Simanova (2014) zalesněna v roce 1952, a to celkem 15 809 ha. Špulák a Kacálek (2011) uvádějí, že šlo zejména o zalesnění pozemků nevhodných pro zemědělské účely, v menší míře však docházelo také k převodu zemědělsky využitelné lesní půdy do zemědělského půdního fondu. Největší rozloha zalesňování nelesních půd se předpokládala v pásmu flyšů, ve vodohospodářských oblastech, na území s karbonátovými podložími a v oblasti horní hranice lesa (zalesněny měly být také pozemky v klečovém vegetačním stupni, kde se dříve páslo a i neplodné, trvale zamokřené pozemky nížin). Především v 50. letech docházelo k zalesňování zemědělských půd formou vysazování větrolamů, zejména topolem (*Populus* sp.). Více se touto problematikou zabývala např. Tichá (2006).

¹ Viz zákon č. 206/1948 Sb., Zákon o zalesňování, zřizování ochranných lesních pásů a zakládání (obnově) rybníků, část II, § 5, odstavec 1 a dále.

Zásměta (1963) uvádí, že z výsledků delimitace zemědělského a lesního půdního fondu se měla plocha lesního půdního fondu rozšířit oproti stavu z roku 1957 o celkem 361 000 ha. Dále uvádí, že na léta 1961 – 1965 bylo stanoveno zalesnění nelesních půd včetně vylepšení v rozsahu 123 000 ha, přičemž přednostně měly být zalesněny plochy, vyžadující zalesnění z důvodů půdoochranných a vodohospodářských (v článku dále není upřesněno, jaký podíl připadá k zalesnění na územní Čech a Slovenska). Špulák a Kacálek (2011) zpřesňují údaje počtu hektarů k zalesnění v letech 1959 – 1980; v první etapě zalesnění mělo dojít v českých krajích o zalesnění 46 000 ha, na Slovensku 139 000 ha; ve druhé etapě pak 53 000 ha pro Čechy a 124 000 ha pro Slovensko². Naopak Jůva et al. (1975) uvádějí, že na základě delimitace bylo vyčleněno k zalesnění 363 290 ha a 12 000 ha k odlesnění. Podrobněji pak hovoří i o podílu zalesnění pro jednotlivé republiky. Z celkové plochy pak připadalo přibližně 135 000 ha ochrannému zalesnění. Plán zalesnění však nebyl plně realizován, v mnoha regionech bylo dokončeno pouze plánované ochranné zalesnění. Počátkem 60. let činilo zalesňování ročně cca 5 až 6 tisíc hektarů (Černý et al. 1995, Vacek et al. 2006a), což lze dokladovat i podle Zásměty (1963), který uvádí zalesnit v roce 1964 v českých krajích 5000 ha.

Legislativně je zakotveno v lesním zákoně č. 166/1960 Sb., že na pozemcích, určených k zalesnění musí být před jejich zalesněním hospodařeno tak, aby se vytvářely vhodné podmínky pro budoucí zalesnění. Postup a rozsah měl být stanoven plánem rozvoje národního hospodářství. Zákon č. 53/1966 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu v § 7a, odstavec 3 stanoví, že pro účely zalesnění lze ze zemědělského půdního fondu odejmout pouze pozemky extrémně svažité nebo ohrožené erozí, pozemky kamenité, pozemky trvale zamokřené bez možnosti odvodnění, pozemky s nepatrnou hloubkou ornice nebo pozemky nepřístupné mechanizaci, popřípadě pozemky nezpůsobilé k zemědělské rekultivaci nebo jinak nezpůsobilé k zemědělskému užívání.

O zalesňování nelesních půd pojednává v soudobé literatuře Jůva et al. (1975). Uvádí, že mezi nejvýraznější druhy nelesních půd patří: zpustlé půdy (členěné podle stupně poškození, geologického podloží a dalších kritérií), degradované a jalové půdy (zejména podzolové a oglejené půdy, půdy na podložích slabě zásobených živinami, zamokřené, zabahněné a zrašeliněné, půdy s nepříznivou texturou, zasolené, toxické nebo intoxikované průmyslovými exhalacemi), horské a vysokohorské půdy (v oblasti horní hranice lesa), zabuřené půdy a půdy určené na založení břehových porostů nebo lesních pásů. Z hlediska výběru dřevin k zalesňování uvádí Jůva et al. (1975) „*druhy, které svými biologickými vlastnostmi odpovídají podmínkám stanoviště. Z nich se zakládají monokulturní, lépe jehličnato-listnaté porosty smíšené*“. Jako nejvhodnější způsob vytváření směsí uvádí tvorbu porostních skupin různé velikosti. K sadbám doporučuje Jůva et al. (1975) vyspělý rostlinný materiál pěstovaný v lesní školce,

² Podle ČSÚ bylo od roku 1951 do roku 1964 ročně zalesňováno více než 40 000 ha; v pozdějších letech jed o zalesňování mezi 20 – 30 tisíci ha; údaje však nelze jednoznačně interpretovat, neboť nezahnují jen zalesňování nelesních půd, ale i každoroční zalesňování po nahodilé a mýtní úmyslné těžbě.

převážně prostokořenný; na sutích a kamenitých půdách sazenice „kelímkové“ (krytokořenná sadba).

Prováděcí vyhláška č. 142/1976 Sb., upřesňuje výše uvedená kritéria přílohou této vyhlášky: svažitost pozemků nad 25 stupňů, hloubka půdního profilu do 30 cm a současně více než 50 % skeletu (šterkovitost, kamenitost) v povrchové vrstvě, drobná enkláva do 0,15 ha obklopená lesní půdou – zastíněnost lesem, pozemek s náletem (porostem lesních dřevin), který bude pro hustotu, stáří a kvalitu náletu účelnější obhospodařovat jako lesní půdu; dále je-li problémem zemědělského obhospodařování balvanitost, nebo nepřístupnost pozemku pro mechanizační prostředky; zamokření odstranitelné výsadbou lesního porostu, popř. jednoduchými lesnickými melioracemi³.

Vacek a Simon (2009) uvádějí, že v 70. letech byly zalesňovány tzv. rezervní zemědělské fondy, a to především v pohraničí. Zde šlo zejména o zakládání smrkových monokultur. Podle zákona č. 61/1977 Sb., se staly součástí lesního půdního fondu také pozemky nad horní hranicí stromové vegetace ve vysokohorských oblastech (Špulák a Kacálek 2011).

Počátkem 90. let v důsledku transformace zemědělství docházelo opět k výraznému nárůstu zalesňování zemědělských půd (Vacek a Simon 2009). Špulák a Kacálek (2011) dokladují, že výměra lesní půdy v letech 1990 – 2008 trvale narůstala. Dále uvádějí, že jako podpora transformace zemědělství byl v roce 1994 vyhlášen dotační program podpory zalesnění méně produkčních ploch. Autoři (Vacek et al. 2006a, Vacek a Simon 2009) uvádějí, že dotační program byl pravděpodobně příčinou zalesnění 8 054 ha zemědělské půdy v letech 1994 – 2005, což v konečném důsledku průměrně činilo 730 ha ročně⁴.

Za období 1948 – 1991 uvádějí autoři (Čermák 2007, Špulák a Kacálek 2011) v Česku uvolnění pozemků, uznaných jako nevhodné pro racionální zemědělské obhospodařování ke zvětšení lesního půdního fondu o cca 9 % půdní výměry (222 000 ha), naproti tomu Simanov (2014) uvádí, že od konce 2. světové války do současnosti (1945 – 2013) bylo zalesněno 7,7 % současné výměry lesů (asi 205 000 ha).

Závěrem nutno uvést přibližný odhad plochy pro současné zalesňování nelesních půd. Černý et al. (1995) s odkazem na prognózy Českého institutu agrární ekonomiky v Praze uvádí, že půjde o cca 300 000 ha. Kacálek a Bartoš (2002) zmiňují, že podle vládního usnesení č. 1229/1999, týkající se zalesňování zemědělských půd, činí plocha učená k zalesnění v ČR 265 000 ha. Disponibilní plocha pro zalesňovací programy se podle Podrázského a Štěpaníka (2002) a Podrázského a Ulbrichové (2004) odhaduje na 50 000 až 500 000 ha. Zelený (2004) uvádí v souvislosti s pěstováním energetických rostlin, že v současné době není v ČR k zemědělským účelům využíváno až 900 000 ha (zahrnuje půdu ornou, louky i pastviny). Podrázský a Kacálek (2006) a Čermák (2007) uvádějí, že dle šetření VÚMOP Praha je v ČR 337 202 ha zemědělské půdy, vhodné a doporučené k zalesnění.

³ Srov. viz plné znění uváděných právních předpisů: zákon č. 166/1960 sb., zákon č. 53/1966 Sb., s prováděcí vyhláškou 142/1976 Sb., nebo viz Špulák a Kacálek (2011).

⁴ Vacek a Simon (2009) uvádějí, že nejvíce bylo zalesněno v roce 2002 – 1 203 ha a nejméně v roce 2005 – 678 ha.

3.2 Charakteristika zájmového území PLO 31 – Českomoravské mezihorí

3.2.1 Základní charakteristika

Přírodní lesní oblast (PLO) 31 Českomoravské mezihorí tvoří se svoji rozlohou 725 km² 3,11 % plochy ČR (tj. 75 500 ha; lesnatost 30 %). Hranice PLO definuje příloha č. 1 k vyhlášce č. 83/1996 Sb. Vlastní mezihorí zahrnuje Svitavskou plošinu, Třebovské mezihorí a severní část Boskovické brázdy. Jako podoblast je přiřčleněno Zábřežské krystalinikum; to je vyhraněnější oproti zbytku oblasti především geologickým podložím (ÚHUL 2000, Průša 2001).

Nadmořské výšky se pohybují mezi 400 – 600 m n. m. Nejvyšší kóty jsou Kozlovský kopec (601 m n. m.) a Zlatá studánka (603 m n. m.). Nejnižší položeným místem je kotlina mezi Vysokým Mýtem a Litomyšlí, jejíž dno se nachází ve výšce 255 m n. m, zvedající se na okraji na 400 m n. m. (ÚHUL 2000, Průša 2001).

Geomorfologicky jde o poměrně různorodý celek Svitavské pahorkatiny. Jde především o pestré oblasti zvlněných plošin, úvalů a údolí, výrazných svahů i sesuvných území. Podrobné geomorfologické členění PLO viz ÚHUL (2000), pro účely této práce bude níže analyzován pouze celek Malá Haná, kde byl prováděn výzkum (viz kapitola 4.1).

3.2.2 Geologické a pedologické poměry

Geologické poměry jsou značně rozdílné. Tvoří je mladší horniny České vysočiny, převážně permské a křídové. Zábřežské krystalinikum ve východní části PLO je vyhraněnější především svým geologickým podložím, tvořeným horninami prekambria nebo paleozoika (svory a ruly, granátická a staurolitová zóna; ve vysokotlakých a extrémně vysokotlakých komplexech i ruly s kyanitem – sillimanit). Od Boskovic po Ústí nad Orlicí se nachází téměř souvislý pás, tvořený horninami paleozoika a permu. Jde o rudé karlovce (prachovité jílovce), pískovce, arkózy a slepence. Největší rozlohu v PLO 31 zaujímají horniny mezozoika, tvořené křemenitými pískovci, méně jílovito-prachovité pískovce. Na okraji geomorfologického okrsku Malá Haná se nachází poličenské krystalinikum. Kotlina mezi Vysokým Mýtem a Litomyšlí je tvořena převážně z opuk, podél jihovýchodního okraje tvořená kaolinickými pískovci (ÚHUL 2000, Národní geoportál INSPIRE 2017).

V závislosti na geologickém podloží, orografických poměrech a vlivu vody vznikly v oblasti různé půdní typy. Nejvíce jsou zastoupeny půdy kambizemního charakteru, hluboké, písčitohlinité, hlinitopísčité až hlinité na opukách, permu a krystaliniku. Na hlinitých překryvech se nacházejí ilimerizované půdy, oglejené půdy a pseudogleje. Na jílovitých sedimentech jde o pararendziny, v blízkosti vodotečí jsou zastoupeny aluviální půdy (ÚHUL 2000, Tomášek 2007, Bína a Demek 2012).

3.2.3 Klimatické poměry

Klimatický je PLO 31 podle Quitta (1971) velmi různorodá. Nacházejí se zde převážně mírně teplé okrsky (MT 2, MT3, MT5, MT7, MT9 a MT10), v jihozápadním okraji se nachází chladný okrsek (CH7) v návaznosti na PLO 16. Nejteplejší okrsek (T2) se vyskytuje v území kolem Vysokého Mýta v návaznosti na PLO 17 – Polabí (podrobné charakteristiky jednotlivých okrsků včetně jejich rozložení v mapě PLO 31 uvádí ÚHUL 2000). Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje od 6 do 8°C (do 500 m n. m. nad 7°C, výše pod 7°C), ve vegetačním období od 12 do 14°C. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje mezi 600 – 800 mm, ve vegetačním období mezi 350 – 450 mm. Maximum srážek je sledováno koncem jara a začátkem léta. Délka vegetační doby je 140 – 160 dnů. Průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou je 60 – 80 dnů. Převládají větry západního až severozápadního směru, v zimě bývá teplejší jihovýchodní proudění příčinou námrazy. Celkové klima je značně ovlivněno lokálními orografickými poměry. Území otevřené k jihu je ovlivněno teplejším klimatem, naproti tomu výběžky hřbetů v severní části PLO jsou vlhčí a chladnější.

3.2.4 Přírodní poměry a dřevinná skladba

Lesy jsou roztroušené, větší souvislé komplexy jsou jen na dlouhých hřebenech s převahou bohatých i kyselých společenstev dubobukového (3. LVS) a jedlobukového (5. LVS). Podrobnější charakteristiky jednotlivých stupňů uvádí např. Plíva (1991).

Celková pestrost a mozaikovitě střídání společenstev jsou podmíněny geologickými poměry, členitostí terénu, přechodným klimatickým rázem území i teplomilné české květeny, pronikající podél řeky Loučné, a moravské květeny, zasahující do oblasti od jihu údolím řeky Svitavy a Boskovičkou brázdou. PLO 31 zaujímá převážnou část bioregionu 1.39 – Svitavský bioregion a představuje ploché sedlo mezi Žďárskými vrchy a Orlickými horami. Reliéf má jednotvárný charakter synklinál, hřbetů, kuest a brázd, protáhlých od severozápadu k jihovýchodu, které se ohýbají směrem k jihu. (ÚHUL 2000).

Současná porostní skladba je oproti přirozené značně pozměněna: převládá smrk ztepilý (56,77 %) hojná je borovice lesní (13,91 %), modřín opadavý (5,99 %) a vtroušeně jedle bělokorá (1,48 %); z listnatých buk lesní (8,81 %), dub zimní (2,63 %) a ostatní listnaté dřeviny (do 2%)⁵. Smrk má ve středních a vyšších polohách dobré růstové podmínky. Borovice se vyskytuje převážně na sušších podkladech nižších poloh a na chudých svazích. Jedle měla v PLO donedávna významné zastoupení, především v krystaliniku; dosud se vyskytuje v terénních sníženinách a hlubokých terénních zářezech. Buk tvoří většinovou příměs a na hlubších půdách roste kvalitní modřín. Čisté bučiny se udržely jen na bohatších podložích. (Průša 2001).

⁵ Uvedené procentuální hodnoty jsou převzaty z informací o stavu lesa v PLO 31, z LHP(O) platných k 31. 12. 2015; více na internetových stránkách Ústavu hospodářské úpravy lesa (ÚHUL).

Z hlediska lesnické typologie je nejzastoupenější ekologická řada kyselá, živná a oglejená. Z edafických kategorií pak zejména K – kyselá, I – ulehlá, S – středně bohatá, B – bohatá a O – oglejená. Nejzastoupenější soubory lesních typů jsou 3K (8,8 %), 4K (8,5 %), 5K (12,5 %), 3S (8,5 %), 4S (12,9 %), 5S (9,1 %), 3B (2,2 %), 4B (6,6 %) a 5B (3,0 %) viz Průša (2001).

3.2.5 Historický vývoj v oblasti

Oblast byla pro svůj bohatě zalesněný kopcovitý reliéf odedávna lesnický využívána. Pro vývoj lesního hospodářství v oblasti byla rozhodující skutečnost, že zde nevznikl žádný průmysl, který by kladl větší nároky na větší spotřebu dříví. Hlavním odběratelem bylo poddanské obyvatelstvo a odvětví vrchnostenské režie (pivovary, lihovary, pily).

Západní část oblasti – Zábřežsko zůstávalo po dlouhou dobu komunikačně málo přístupné a místy se do dnešní doby dochovaly i původní jedlo-bukové porosty. Ve značném rozsahu se v minulosti užívalo polaření. Intenzita hospodaření v oblasti byla až do poloviny 20. století značně nerovnoměrná; v dostupnějších krajích docházelo k přetěžbám, v nedostupných k hromadění dřevní hmoty v porostech.

Zalesňování nelesních půd se ve větší míře uplatňovalo od poloviny 20. století v důsledku pokroku v zemědělské technice. Rovněž se upouštělo od pastvy. Zalesněné nelesní půdy představovaly většinou menší rozptýlené plochy s výjimkou ploch s mysliveckým zařízením (obory a bažantnice); podrobněji o historii oblasti uvádí aktuální oblastní plán rozvoje lesů (ÚHUL 2000).

3.3 Užití hnojivých prostředků při zalesňování nelesních půd

Živiny zabezpečují fyziologické funkce v metabolismu rostlin, zúčastňují se na stavbě protoplazmy a buněčných stěn. Zároveň ovlivňují funkci koloidů, permeabilitu membrán a osmotický tlak. Každý prvek má v metabolismu specifickou funkci – příjem živin, fotosyntéza, výstavba a přestavba cukrů, nitrifikace, syntéza bílkovin, glykolýza a dýchání; procesy probíhají v závislosti s vnějšími faktory – světlem, teplem, vodou, kyslíkem, oxidem uhličitým, živinami a rostlinnými stimulatory (Mauer 2011).

Aktuální nedostatek živin se projevuje viditelnými příznaky na asimilačních orgánech. Dochází k tomu především v důsledku zhoršení zdravotního stavu, úbytku živin a následným vznikem karenčních jevů (více bude popisováno u jednotlivých makroprvků; více uvádí Mauer 2011, Vavříček a Kučera 2015, symptomatiku karenčních jevů podrobně popisuje např. Hartmann et al. 2001, Čermák 2017).

Živiny v půdě se vyskytují vázány převážně v minerálním, organominerálním a organickém podílu půdy a tvoří zásobárnu živin pro rostliny. Stupeň přístupnosti závisí podle Vacka a Simona (2009) na pH, velikosti částic a pevnosti vazeb, průběhu mineralizace a zvětrávání. Rostlinám přístupné živiny tvoří malou část z celkového obsahu živin v půdě a obsahují jen několik desetin až 1 % z celkového obsahu. Jde o živiny, rozpuštěné v půdním roztoku, živiny poutané v sorpčním půdním komplexu a živiny vázané v půdě ve sloučeninách rozpustných ve slabých kyselinách. Obsah živin (makroelementů) a mikroelementů jsou vedle pH základním ukazatelem v agrochemickém hodnocení půd. Nejčastěji je určován obsah N, P, K, Ca, Mg, S, Fe a některé mikroelementy.

U lesních půd se liší zjišťování živin v minerálních horizontech od horizontů nadložního humusu. V organickém horizontu je důležitý celkový obsah prvků, neboť z valné většiny jde o prvky ve formě pohotově přístupné pro dřeviny. V minerálních horizontech jsou zásoby živin spíše fungující jako dlouhodobý rezervoár; přípustná je jen malá část. Obsahy jednotlivých prvků se hodnotí dle kritérií v příloze 4 vyhlášky č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení půd ČR pro zemědělské půdy a dle vyhlášky č. 400/2004 Sb. pro lesní půdy (Vacek a Simon, 2009).

3.4 Makroprvky a jejich nutriční význam

3.4.1. Dusík (N)

Dusík (N) v půdách kolísá mezi 0,05 – 0,5 % (Vacek a Simon 2009), podle jiných autorů 0,1 – 0,2 % (Vavříček a Kučera 2015) a je základním stavebním prvkem bílkovin, nukleových kyselin, chlorofylu a dalších organických sloučenin (např. enzymů). Dusík je z 98 – 99 % obsažen v půdě v organické formě. Organické dusíkaté látky jsou v půdě přeměňovány vlivem půdních mikroorganismů až na amoniak (NH_3) a během tohoto procesu probíhá syntéza dalších organických dusíkatých látek. Dojde-li v procesu přeměny dusíku až na formu dusičnanu (NO_3), hrozí jeho ztráta vyplavením (Vacek a Simon 2009). Nedostatek se projevuje celoplošnou změnou barvy listové

plochy na světle zelenou až žlutozelenou – rovnoměrně bez ostrých přechodů; listy i jehlice zmenšené, celkové zpomalení růstu. Nadbytek způsobuje bujný růst, tmavě zelené zbarvení v důsledku zvýšení množství chlorofylu a riziko nedostatečného vyzrání rostlinné hmoty před začátkem zimního období (Mauer 2011, Vavříček a Kučera 2015).

3.4.2 Fosfor (P)

Fosfor (P) je nezbytný makrobiogenní prvek, jehož celkový obsah v půdě je poměrně nízký a kolísá mezi 0,01 – 0,15 % (Vacek a Simon 2009, Vavříček a Kučera 2015). Fosfor často vytváří sloučeniny s vodíkem za vzniku kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a následně fosforečnanů (fosforečné minerály, např. apatit, scorzalit, monazit a další; v ČR se nacházejí spíše vzácně; více informací např. Ďud'a et al. 2008). Atomy fosforu jsou v půdě v oxidovaném stavu a nepodléhají oxidaci ani redukci (Vavříček a Kučera 2015). Fosfor je významnou součástí DNA a podílí se na stavbě genomu a ATP, čímž je vysokým zdrojem energie a stavební součástí ribulosa-1,5-biofosfátu – molekuly nezbytné pro první fáze fotosyntézy. Fosfor je významným prvkem pro fruktifikaci a je zastoupen také ve fosfolipidech, které hrají významnou roli v transportu živin přes buněčnou stěnu.

V orných půdách převládá podíl anorganického fosforu, v zatravněných půdách dosahují organické formy 70 – 80 % a v lesních půdách je tento podíl i vyšší. Organický fosfor se nejčastěji vyskytuje v rostlinných a živočišných zbytcích v horním humusovém horizontu. Nedostatek se projevuje celoplošnou změnou, nejprve nestandardním ztmavnutím listů a později zbarvením do šedozelena. Při postupující karenci jsou listy načervenalé, na listech s fialově červenými skvrnami. Výrazněji se zbarvení projevuje na okrajích listové čepele. Fialověnění jehlic se výrazně projevuje u borovice. Nastává i opad jehlic z koncových částí výhonů (Vacek a Simon 2009, Mauer 2011, Vavříček a Kučera 2015).

3.4.3 Draslík (K)

Draslík (K) má v půdách podíl 0,5 – 3,2 %, nižší podíl se nachází v píscích a rašelinách. Je obsažen jako nevýměnný (tj vázaný v krystalové mřížce silikátů a primárních minerálů) nebo jako výměnný (2 – 7 %). Výměně je draslík fixován na jílových minerálech typu illit a vermikulit; v montmorilonitu jsou draselné ionty za sucha stahovány mezi vrstvy krystalických mřížek jílovitých minerálů a pak jsou pevněji fixovány. Výměnný draslík je poután na koloidní částice a může být nahrazen jinými kationty ze sorpčního komplexu. Pro výživu je optimum 10 – 20 mg/l výměnného draslíku. Vodorozpustný draslík je součástí půdního roztoku a je pohotovým zdrojem pro rostliny. Jeho podíl je cca 1-10 % z množství aktuálního výměnného draslíku. Zvýšení obsahu draslíku (zejména ve vztahu k Mg) vede k poruchám ve výživě. Poměr Mg:K by měl být 3:1 a vyšší (Vavříček a Kučera 2015).

Draslík je důležitý pro dělení a růst buněk, pro fotosyntézu, podílí se na regulaci vodního režimu a zvyšuje elasticitu buněk (zvyšuje odolnost při mrazových a jiných klimatických excesech). Stimuluje příjem PO_4^{3-} , NO_3^{2-} a Cl^- , naopak potlačuje příjem Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} a NH_4^- . Je důležitým prvkem pro rozvoj kořenového systému (Vacek a Simon 2009, Vavříček a Kučera 2015).

Nedostatek se projevuje změnou části listu (jehlice), žluté i hnědé zbarvení na koncích jehlic nebo na okrajích listů – zavinuté později hnědnou a ostře přecházejí do žluté a zelené. Karenci je obtížné rozeznat od karence hořčíkem; pouze u smrku při deficitu hořčíku zůstává letošní ročník jehlic zelený, zatímco u draslíku žloutnou všechny ročníky (Vavříček a Kučera 2015). Mauer (2011) uvádí, že nedostatek draslíku se projevuje podobnými symptomy jako nedostatek dusíku.

3.4.4 Vápník (Ca)

Obsah vápníku (Ca) v půdě se pohybuje od 0,1 do 6 %, v některých případech i více. V půdě je nejčastěji obsažen jako uhličitán vápenatý (CaCO_3), který s oxidem uhličitým (CO_2) tvoří rozpustné sloučeniny a bývá snadno vyplaven z půdy. Ve výměnném komplexu zaujímá mezi dle 60 – 80 % (Vacek a Simona 2009), Vavříček a Kučera (2015) uvádí cca 69 – 90 %. Vápník přispívá k vhodné drobtovité struktuře a je snadno přístupný rostlinám. Vápník příznivě působí na biologickou činnost půdy a velmi účinně působí na pH půdy, snižuje rozpustnost těžkých kovů v půdě a omezuje výskyt některých chorob. V rostlinách se podílí a výstavbě buněčných blan.

Vápník je antagonistickým prvkem pro příjem K, Fe, Mn a dalších (Mauer 2011). Jeho nedostatek v půdě je spíše vzácný, ale může se projevit jako limitující faktor při nedostatku dalších prvků, nebo při převodech jehličnatých porostů na listnaté. Vápník se často uměle dodává do půdy za účelem snížení půdní kyselosti (Vacek a Simon 2009).

Karence se projevuje pouze při extrémním deficitu (při obsahu pod 1 g/kg) prosycháním výhonů a snížením exudace pryskyřice. Obsah Ca v sušině nižší než 2,5 g/kg značí nedostatek asimilovaného vápníku v půdě a možnou kořenovou disfunkci vlivem následného vzestupu obsahu Al^{3+} (Vavříček a Kučera 2015).

3.4.5 Hořčík (Mg)

V půdě je hořčík (Mg) přítomen zejména jako výměnný, navázaný na sorpčním komplexu (bývá v normálně nasycených půdách nejhojnějším hned po Ca; na sorpčním komplexu zaujímá 5 – 20 %) a odnímán rostlinami z půdy. Jeho obsah v půdě závisí na zvětrávajících procesech při zvětrávání zejména dolomitu, serpentinu, amfibolu a dalších bazických a ultrabazických hornin. Je významným koagulátem pro tvorbu půdní struktury (bývá zpravidla v půdě obsažen méně než Ca; Vavříček a Kučera 2015).

V rostlinách má funkci jako základní atom v molekule chlorofylu. Je nezbytný pro průběh fotosyntézy, ale i pro syntézu olejů a pro aktivaci enzymů, účastnících se na metabolických procesech. Dále se podílí na tvorbě dalších rostlinných barviv a spolu

s draslíkem a vápníkem ovlivňuje vodní režim rostliny (Vacek a Simon 2009, Vavříček a Kučera 2015).

Při nedostatku se projevuje na rostlině nerovnoměrné žloutnutí; jehličí nažloutne na koncích zejména u starších ročníků, mladší zůstávají zelené. Listy jsou zažloutlé mezi nervaturou, později hnědnou a tvoří se sklerózy. U borovice žloutnou pouze špičky jehlic s přechodem do oranžova (Vavříček a Kučera 2015).

3.4.6 Síra (S)

Celkový obsah síry v půdě kolísá mezi 0,01 – 0,5 % (méně se nachází v písčitých půdách, nadlimitně v organických půdách; v půdách humidních oblastí mezi cca 0,02 – 2 %). Ve vyvěřelých horninách je síra obsažena v podílu 0,02 – 0,3 % (zejména ve formě sulfidů). Síra se v půdě vyskytuje v anorganické i organické formě.

Anorganická síra se v půdě vyskytuje ve formě solí a iontů. Sulfidy zvětrávají na sírany, tvořící zejména sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), v anaerobních podmínkách pak sulfidy (FeS , FeS_2). Podíl síranů na celkovém obsahu síry v půdě činí cca 10 – 15 %. Organická síra tvoří v půdě podíl až 95 % z celkového obsahu síry a je úzce vázána na obsah organických látek v půdě. Vyskytuje se ve formě sirných aminokyselin, methoninu, cyteinu, cholinsulfátu, sulfolipidů, sulfonové kyseliny a další (Vavříček a Kučera 2015).

Rostliny přijímají síru kořeny ve formě aniontu SO_4^{2-} . Přítomnost síry v rostlinách je zejména ve formě sirnatých aminokyselin (methonin, cystein, cystin), které se podílejí na stavbě některých enzymů, nebo tripletu glutathionu. Ten vstupuje do acidobazických reakcí, chrání rostlinu před oxidačním stresem a podílí se na odstraňování peroxidu vodíku (H_2O_2). Koncentrace síry v rostlinných pletivech je přibližně stejná jako koncentrace fosforu (cca 1,0 – 1,5 g/kg sušiny). Nedostatek síry vyvolává enzymatické reakce, zejména syntézu chlorofylu. Karence se projevuje podobně jako u dusíku – žloutnutí asimilačních orgánů (upraveno podle Vavříčka a Kučery 2015).

3.5 Zalesňování nelesních půd v současné praxi

Významnou podmínkou pro možnost zalesnění je uskutečnění převodu pozemků zemědělského půdního fondu (ZPF) na jiné využití, konkrétně na pozemky určené k plnění funkcí lesa (PUPFL). Podle záměru vlastníka může jít ale i o tvorbu remízků, krajinářsky nebo ekologicky opodstatněné skupiny vysoké či nízké zeleně, zakládání lignikultur, zasakovacích pásů, větrolamů atd. (Vacek a Simon 2009). V každém případě jde o účelné lesnické využití ploch (Černý et al. 1995). S rozvojem bioenergetiky se také uvažuje zvyšující se počet plantáží rychlerostoucích dřevin, často zakládaných na zemědělských půdách (Kravka et al. 2012).

Zemědělsky nevyužívané půdy, u nichž je plánováno zalesnění, se vyskytují většinou na méně produktivních stanovištích. Jde většinou o opuštěné silně kamenité či mělké orné plochy, suché nebo podmáčené louky a pastviny v nadmořských výškách 350 – 800 m n. m. Obecně se tyto plochy diferencují podle charakteru půdního profilu.

Zásadním ukazatelem hodnoty zemědělské půdy pro ocenění zemědělského pozemku jsou bonitní půdně ekologické jednotky (BPEJ). Přiřazená cena se pohybuje od několika haléřů až po 12 Kč/m². (Kacálek a Bartoš 2005, Vacek a Simon 2009). O významu BPEJ jako podkladu pro zalesňování zemědělských půd včetně výměr podle příslušných BPEJ podrobně hovoří Janeček a Novák (2003) a Novák (2006).

Z pohledu uchování biodiverzity je zalesňování specifických lokalit, nevhodných pro zemědělskou výrobu (např. mokřady, zaplavené louky, luční praměniště, suché trávníky aj.) spíše nežádoucí. V současné praxi pozemky, určené k zalesnění, se z hospodářského a ekologického hlediska rozčleňují (podle Vacek a Simon 2009):

1. Devastované, které vyžadují vegetační stabilizace (pozemky výrazně ohrožené erozí či sesuvy půdy, navážky zeminy a antropogenní sutě (povrchové doly, pískovny a další).
2. Nevyužité pozemky s různými stádii sukcese (pozemky více či méně zarostlé keři).
3. Ostatní nelesní pozemky, u nichž se počítá se zalesněním (plochy opuštěné orné půdy, louky, pastviny, popř. po delší době zemědělsky nevyužívané, půdy silně kamenité, mokřady a břehy vodotečí.
4. Vhodné části doposud zemědělsky využívaných půd s možností využití na založení vsakovacích pásů, větrolamů, remízků, plantáží vánočních stromů apod.

Pro účely této práce bude hlavní pozornost věnována výše uvedenému bodu č. 3, konkrétně se jedná o plochy luk a pastvin. Technologické postupy pro zalesňování lze hledat jak ve starší literatuře, např. Jůza et al. (1975), tak v literatuře soudobé, např. Černý et al. (1995), Vacek a Simon (2009). Pro administrativní záležitosti související se zalesněním a čerpáním dotací na podporu zalesnění je metodika ÚHUL (2016) – metodická doporučení pro žadatele o dotaci na zalesňování zemědělské půdy poskytovanou v rámci Programu rozvoje venkova 2014 – 2020.

3.5.1 Volba dřevinné skladby

Volba dřevin, užitých v minulosti k zalesnění se více než o ekologické aspekty zalesňovaných dřevin opírala o možný ekonomický zisk (docházelo tak k zakládání smrkových nebo borových monokultur s příměsí modřínu), popř. v posledních desetiletích o možnost získání finanční podpory na zalesnění nelesních ploch podle projektů s nevhodnou dřevinnou skladbou (což uvádí např. Mikeska 2003, Vacek et al. 2006, Čermák 2007, Vacek a Simon 2009, Dušek a Slodičák 2009, Simanov 2014).

První generace lesa, založená na zemědělské půdě a zejména pak porosty tvořené smrkem (dnes ve věku 50 – 60 let) vykazují mnohé problémy. V mnohých případech jde o statickou labilitu porostů v důsledku napadení dřevokaznými houbami

(zejména pak václavkou smrkovou – *Armillaria ostoyae* a kořenovníkem vrstevnatým – *Heterobasidion annosum*), způsobující červenou hnilobu; podrobněji o této problematice hovoří např. Mareš 2006, Mauer 2006, Čermák 2007, Vacek a Simon 2009). Dušek a Slodičák (2009) se zabývali problematikou statické stability smrkových porostů na bývalé zemědělské půdě v závislosti na různých režimech výchovy. V závěru své studie konstatují, že účinným nástrojem, nezbytným pro výchovu smrkových monokultur je správná a včasná výchova porostů, zvyšující odolnost proti škodám sněhem a větrem.

Výhody oproti přítomnosti smrku při zakládání nových porostů na nelesních půdách uvádí také Černý et al. (1995), konkrétně upozorňuje na pěstování na orné půdě. Obdobně dokládá Mauer (2006) zvýšené procento výskytu parazitických hub a červené hniloby v porostech, založených na orné půdě (ve věku 15 – 50 let po založení). Kravka et al (2010) uvádí, že smrk lze při zalesňování užít s menším rizikem hnilob až v podmínkách nad 600 m n. m. Smrk lze podle Vacka a Simona (2009) využít jako přípravnou dřevinu, kterou by bylo možno po dosažení zpeněžitelných sortimentů v rámci výchovných zásahů vytěžit (v případě nepasečného způsobu pak postupovat přes zdravotní výběr). Dále zmínění autoři uvádějí možnosti pěstovat smrk na nelesních půdách ve směsi s dalšími dřevinami – borovicí, jedlí, ale i s jeřábem (ve vyšších LVS). Také Černý et al. (1995) uvádí, že v případě nezbytnosti výsadby smrku je vhodné omezit rozsah škod, způsobený zejména červenou hnilobou, vhodným smíšením s listnatými dřevinami. Mauer (2006) popisuje, že situaci na zemědělských půdách je třeba realizovat formou přípravných porostů, které lze ve věku 25 let přeměnit na cílovou dřevinnou skladbu. Uvádí, že přípravné porosty jsou nejjistějším způsobem obnovy zemědělských půd; vhodnými dřevinami pro přípravné porosty jsou bříza, olše, ale i modřín a borovice. V případě přeměny lze jako přípravnou dřevinu užít i smrk, neměl by však být při zalesňování použit přímo jako cílová dřevina. Bartoš et al. (2010) se zabývali posouzením mechanických vlastností smrku v padesátiletých porostech na bývalých zemědělských půdách ve srovnání s lesními porosty stejného věku. Z hlediska mechanických vlastností ve svém výzkumu neprokázali odlišnosti na jednotlivých stanovištích, naopak zaznamenali vyšší objem hroubí u smrků na bývalé zemědělské půdě.

Výběr dřevin pro zalesnění by měl být v souladu s lesnickou typologií. Správné posouzení a zařazení dle půdních a klimatických změn umožňuje dobré vstupní předpoklady pro celkovou vitalitu a růst (Kravka et al. 2010). Orientační výběr dřevin pro zalesnění v závislosti na nadmořské výšce a půdním typu uvádí např. Černý et al. (1995), Mikeska (2003) nebo Vacek a Simon (2009). Vacek a Simon (2009) dále uvádějí, že na zemědělských a degradovaných půdách by měly být zakládány porosty, složené ze směsi různých dřevin, které odpovídají daným stanovištním podmínkám. Prioritu přitom mají především dřeviny přirozené druhové skladby, odpovídající stanovištním podmínkám.

3.5.2 Vhodnost dřevinné skladby na půdní poměry

Zalesňování významně souvisí s půdním prostředím. Simon (2003) uvádí, že mezi rizikové faktory při zalesňování nelesních půd patří malá provzdušněnost půdy v hlubších vrstvách, kam zasahují kořeny, zásaditá půdní reakce, nepřítomnost mykorrhizních hub ovlivňujících příjem látek kořenovým vlášením.

Podobně Černý et al. (1995) uvádějí, že z hlediska půdních poměrů úspěšnost zalesnění závisí na fyzikálních vlastnostech. Ty vyplývají z daného půdního druhu (lehké nebo těžké půdy), z charakteru vodního a vzdušného režimu půdy (zamokření, oglejení a provzdušněnost půdy) a také z hlediska předchozího obhospodařování (zhutnění svrchní vrstvy). Dále uvádějí, že půdní chemismus je v porovnání s fyzikálními vlastnostmi až druhořadým hlediskem. Z hlediska chemismu je podle autorů třeba zohledňovat především současný stav výměnné půdní reakce (pH půdy stanovené ve výluhu KCl), obsah základních minerálních živin v půdě (P, K, Mg) a koncentraci některých rizikových prvků (zejména chloridů v půdě, konkrétně ve svrchních 50 cm.

Podrázský a Ulbrichová (2004) se ve svém výzkumu zabývali procesem návratu k lesní půdě (konkrétně tvorbou humusových horizontů) v zalesněných porostech ve věku 30 – 40 let. Ze závěrů výzkumu vyplývá, že z hlediska akumulace nadložního humusu a dalších pedochemických charakteristik se vytváří charakter lesní půdy již po 30 – 40 letech. Dále doporučují, že efektivnější pro tvorbu půdního prostředí je pěstování směsi dřevin a to i v případě, že některá z nich ovlivňuje půdní vlastnosti negativně. Zajímavý je rovněž fakt, že ve sledovaných porostech nebyl prokázán degradační efekt opadu u smrku, byl však prokázán u modřínu. Studium tvorby humusu na bývalých zemědělských půdách se zabýval Podrázský a Remeš (2005); z jejich výzkumu vyplývá, že z hlediska akumulace organické hmoty jsou smrkové porosty schopny akumulovat za stejný čas až desetinásobek organické hmoty oproti smíšeným porostům. Dále uvádějí lokální zvýšení pH, obsahu bází a nasycení sorpčního komplexu bázemi v B horizontech, což může indikovat translokaci živin. Nejpříznivější byl stav chemismu ve smíšených porostech, monokulturní porosty vykazovaly známky jednostranné zátěže půdy. Ze závěrů vyplývá, že pro optimální využití půdního prostředí je lépe pěstovat smíšené porosty.

Kupka a Podrázský (2010) uvádějí, že zalesnění zemědělských půd se výrazně projevuje na změně charakteru půdy – snížení objemové hmotnosti v důsledku půdní struktury a obsahu humusu, dále zvýšení pórovitosti a maximální kapilární vzdušné kapacity. Z výsledků výzkumu vyplývá, že zalesnění lze považovat za opatření, zvyšující významným způsobem retenci vody v krajině a také významným způsobem ovlivňuje i poutání uhlíku půdní složkou ekosystému.

3.6 Možnosti zlepšení půdních vlastností

Výše bylo uvedeno, že někteří autoři (Černý et al. 1995, Simon 2003) uvádějí zásadní význam fyzikálních vlastností půdy při zalesňování nelesních půd. V této práci však bude hlavní důraz kladen na fyzikálně-chemické a na chemické vlastnosti (stanovení poměru C:N a nutriční poměry). O zlepšení fyzikálních vlastností viz např. Černý et al. (1995), Vacek a Simon (2009), Neruda et al. (2013).

Půdní reakce (pH) je dána koncentrací hydroxoniových a hydroxylových iontů v půdní suspenzi. Tento poměr je vyjádřen vodíkovým exponentem – hodnotou pH. Půdní reakce aktivní (pH/H₂O) a půdní reakce výměnná (pH/KCl) při vzájemném porovnání umožní stanovená hodnoty čistého náboje na koloidním systému. Půdy lze pak podle pH rozdělit na kyselé (pH < 7), půdy neutrální (pH = 7) a půdy alkalické (pH > 7), přičemž hlavní vliv má v ČR půdotvorný substrát. (Rejšek 1999, Vavříček a Kučera 2015). Vacek a Simon (2009) navíc uvádějí, že stupnice hodnocení se v porovnání zemědělské a lesní půdy mírně liší.

Možnými změnami hodnoty pH v lesním prostředí se zabývali např. Błonska et al. (2015). Z výsledků jejich výzkumů vyplývá, že byl zaznamenán významný dopad přihnojení na svrchní horizonty dolomitickým vápencem. Dodání dolomitického vápence pozitivně ovlivňuje proces deacidifikace a byl rovněž zaznamenán nárůst množství Ca a Mg; kromě toho byl zaznamenán i pozitivní účinek mikrobiální aktivity. Pozitivní účinky uvádí také Kuneš (2003) - dodání dolomitického vápence zvyšuje půdní reakci spolu s obsahem bází a snižuje obsah Al³⁺ ve svrchní vrstvě 10 – 20 cm. Podrobněji o vápnění s užitím dolomitického vápence a pozitivním vlivem na půdu uvádí např. Schaff a Hüttl (2006). Koňasová et al. (2012) uvádí také pozitivní vliv vápence na redukci mortality smrku v prvních deseti letech po výsadbě. Pozitivní vliv na rozvoj kořenového systému i nadzemí části sazenic při plošné i bodové (do jamky) aplikaci dolomitického vápence v Jizerských horách (pásmo imisního ohrožení B) dokladují Kuneš et al. (2007). Vápnění u smrkových sazenic urychlilo přírůst, zároveň zůstal zachovaný stejný poměr nadzemí i podzemní biomasy; účinek se projevil i negativně: kořenový systém byl v půdě uložen velmi mělce. Na základě výše uvedených výzkumů lze předpokládat do jisté míry pozitivní vliv na pH (v případě silně kyselých až kyselých půd) a zároveň i pozitivní vliv na růst jedinců (to uvádí i např. Vavříček et al. 2010).

3.7 Možnosti zlepšení výživy dřevin

Úprava zásob živin v půdě se provádí v případě zhoršené výživy, zjištěné prostřednictvím ukazatelů karence, listových analýz nebo deficitu živin v půdě. Samotným přihnojováním musí vždy předcházet komplexní půdní rozbor (odhalující množství zásoby živin), ale i také rozbor asimilačního aparátu. Živiny mohou být v příjmu blokovány např. svým antagonismem, specifickými půdními prostředí nebo imobilizací půdní mikroflóry (Vavříček a Kučera, 2015).

V posledních letech byly zkoumány možnosti zlepšení půdních vlastností pro efektivní využití hnojivých látek pro nově zakládané porosty zejména na degradovaných půdách a v imisních oblastech (v ČR zejména v Krušných horách, viz např. Šrámek et al. 2006, Kuneš et al. 2008, Vavříček et al. 2010, Vavříček et al. 2011). V souvislosti s těmito výzkumy, zaměřujícími se mimo jiné i na obsah půdních živin, byla prováděna i mnohá šetření na obsah živin v sušině asimilačního aparátu. Kuneš et al. (2007) uvádějí, že přihnojení dolomitickým vápencem mělo pozitivní vliv na absolutní úhrn živin v asimilačním aparátu (N, P, K, Ca, Mg, S) v porovnání s kontrolní variantou. Naopak z výsledků analýz Bartoše a Kacálka (2013) není efekt přihnojení dřevin na bývalé zemědělské půdě vždy pozitivní. Předmětem zkoumání byl vliv přihnojení jedle bělokoré na bývalé zemědělské půdě za účelem lepšího odrůstání jedinců vlivu buřeně. Užito bylo hnojivo Silvamix[®]. Po 3 – 5 letech se neprojevil příznivý efekt přihnojení na výškový přírůst a zároveň přihnojení neovlivnilo zdravotní stav sledovaných jedinců. Autoři poznamenávají, že růstová reakce na hnojiva může být způsobena dostatečnou zásobou přípustných živin v půdě zalesněné louky.

Příznivé účinky hnojiva Silvamix[®] na obsah živin v půdě i na přírůst smrku uvádí v podmínkách Krušných hor Vavříček et al. (2010, 2011). Pecháček et al. (2016) uvádějí, že aplikace hnojiva Silvamix[®] R a Silvamix[®] Forte pozitivně působila na výškový přírůst, ale vliv aplikovaných hnojiv na příjem hlavních makroelementů v sušině jehličí smrku nebyl statisticky prokázán. Podrázský et al. (2003) uvádějí pozitivní vliv hnojiva Silvamix[®] Mg jako prostředek pro eliminaci žloutnutí asimilačních orgánů a následné defoliace, zejména u smrku ztepilého (ovlivňováno pravděpodobně vlivem imisní zátěže).

Optimální obsah živin v asimilačním aparátu, zjištěných z listových analýz uvádí souhrnně pro jednotlivé dřeviny např. Bergmann (1988), Vavříček a Kučera (2015), pro smrk např. Tjoelker et al. (2007).

3.8 Acidita, trofnost a fytotoxicita stanoviště

Černý et al. (1995) uvádějí optimální hodnotu pro jehličnany a duby mezi 4,0 až 5,5 (středně až mírně kyselé půdy), pro většinu listnáčů pH mezi 5,0 až 6,2 pH. Mauer (2006, 2011) uvádí, že z hlediska půdní acidity by měly být na půdách určených k zalesnění s pH 5,5 preferovány listnaté dřeviny, nad pH 7,5 pionýrské dřeviny. Černý et al. (1995) dále uvádějí, že na většině zemědělských ploch určených k zalesnění bude riziko spíše s vyšším než nižším pH, případně s pH podoptimálním pro pěstování listnatých dřevin (pH < 5,0). Jako účinné a nerizikové opatření autoři navrhují zapravení jemného dolomitického vápence do výsadbové jamky při vlastním zalesnění. Možná rizika při této aplikaci hnojiva lze nalézt např. u studie Kuneše et al. (2007).

Z hlediska rizika trofnosti stanoviště uvádí Mauer (2006, 2011), že pokud je trofnost stanoviště 0,8 – 2,0 krát větší než v okolních lesních porostech, měli by být preferovány listnaté dřeviny; pokud je trofnost > 2×, potom preferovat větší pionýrské dřeviny. V případě fytotoxicity od 30 do 50 % mají být preferovány listnaté dřeviny,

nad 50 % výsadbu pionýrských dřevin. Dřevinnou skladbu je nutné volit podle nejhorší zjištěné charakteristiky.

Zalesňování by nemělo probíhat bez exaktních rozborů. Bez větších problémů lze zalesňovat pouze traviny, kryté okolními lesními porosty do vzdálenosti 30 m od okraje staršího hospodářského lesa a to v případě, že obnovní cíl bude odpovídat dřevinné skladbě tohoto hospodářského lesa a travina nebude před zalesněním zorána (Mauer 2006).

Na základě půdních rozborů lze tedy užít tří možných postupů – přímá výsadba všech cílových dřevin, přímá výsadba listnatých dřevin a výsadba přípravných porostů.

4 Materiály

4.1 Výzkumná plocha

4.1.1 Lokalizace

Výzkumná plocha se nachází v západní části obce Kochov u Letovic (okres Blansko, Jihomoravský kraj) v soukromém vlastnictví fyzických osob na parcelách č. 854/1 a 854/6. Jde o pozemek vedený v katastru nemovitostí jako parcela s neplodnou půdou. Plocha o rozměrech cca 19×15 m se nachází v blízkosti chatové oblasti, vzdálené od středu obce Kochov přibližně 1 km. Asi 15 m severně se nacházejí souvislé lesní porosty. Plocha se nachází v nadmořské výšce 408 m n. m.

Na ploše jsou vysázeny sazenice smrku ztepilého, které jsou rozčleněny barevnými kolíky o velikosti cca 1 m do pěti variant (viz kapitola 5). Plocha je oplocena oborovým pletivem z důvodu ochrany založené kultury před škodami zvěří. GPS souřadnice lokality: N49°33'892'; E016°37'279'.



Obr. 1: Lokalizace výzkumné plochy Kochov, zakreslená do mapy 1:5000 (zdroj dat ČÚZK, vlastní zákresy).

4.1.2 Geologické poměry

Výzkumná plocha se z geomorfologického hlediska nachází v severovýchodní části okrsku Letovické kotliny. Z hlediska regionální geologie oblast tvoří východní část soustavy Českého masivu, oblast svrchního karbonu a permu, region mladšího paleozoika brázd s jednotkou boskovická brázda. Boskovická brázda je součástí Brněnské sníženiny, široké 3 – 10 km v severojižním směru, kterou je možno

vysledovat od Jevíčka až po moravský Krumlov (Kukal et al. 2005). Dále Kukal et al (2005) uvádí, že kromě geologické odlišnosti jde i o pruh nezalesněného terénu mezi okolními vyššími zalesněnými oblastmi. Výplň brázdy je podle Chlupáče et al (2011) značně asymetrická. Dvořák a Růžička (1961) uvádějí, že boskovická brázda byla vyplněna permokarbonskými uloženinami, kleslými do starých, převážně krystalinických formací. Jedná se o uloženiny, spočívající normálně na krystalinických souborech, přes něž transgredují. V oblasti Kochova se lze setkat s paleontologicky významným letovickým souvrstvím, které v severní části brázdy dosahuje mocnosti až 3000 m. Tvoří je zejména cyklicky zvrstvené červené a šedé písčité uloženiny s obzory šedých prachovců a karbonátů.

Podle Dvořáka a Růžičky (1961) jsou převládajícími horninami spodního permu červené nebo rudohnědé pískovce a arkózy, břidličnaté pískovce, písčité břidlice a lupky⁶, které se vzájemně střídají. Bína a Demek (2012) uvádějí ve výčtu hornin pro Malou Hanou jílovce, prachovce, pískovce a slepence z období permu, pískovce a prachovce z období křídý, jíly a pískovce z období neogénu a kvartérní spraše a sprašové hlíny. Podobně i podle geologické mapy ČR v měřítku 1:50 000 se na místě výzkumné plochy nachází zpevněný sediment v podobě hornin jílovců, pískovců a prachovců s deskovitou texturou, celistvou až hrubozrnnou zrnitostí červenohnědé barvy.

4.1.3 Geomorfologické poměry

Geomorfologické zařazení výzkumné plochy je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1: Geomorfologické zařazení výzkumné plochy (zdroj dat: ÚHUL 2000, Demek a kol. 2006; Bína a Demek 2012).

Geomorfologická jednotka	Název jednotky
Provincie	Česká Vysočina
Soustava	Česko -moravská
podsoustava	Brněnská vrchovina
Celek	Boskovická brázda
Podcelek	Malá Haná
Okrsek	Letovická kotlina

4.1.4 Pedologické poměry

V oblasti výzkumné plochy se podle Hauptmana et al. (2009) nachází kambizemě. Podle Národního geoportálu INSPIRE jde o kambizem modální, Tomášek (2007) uvádí, že ve sledované oblasti se nacházejí pseudogleje s kambizemí oglejenou.

⁶ Podle Petránka (1993) je lupek nejasně definovaný, v podstatě nevhodné označení některých jílovců, zvláště vrstevnatých a střípkovitě se rozpadajících.

Kambizemě se vyskytují ve značně rozdílných klimatických podmínkách, a to i vzhledem k rozdílnosti půdotvorných substrátů. Větší část areálu představují členitější až horská území, dále svažité terény od teplých pahorkatin po vrchoviny a dolní okraje hornatin; v menší míře lze kambizemě nalézt i v rovinatých terénech (v oblastech silikátových váťých písků (Němeček et al. 1990, Němeček et al. 2001, Tomášek 2007). Jde o nejrozšířenější půdní typ v ČR (Tomášek 2007, Hauptman et al. 2009), podle NIL 2001 – 2004 tvoří 67,3 % celkové rozlohy.

Kambizemě se v typické formě vyvíjejí procesem braunifikace a transformace jílu při dostatečné biologické činnosti půdy (Němeček et al. 2001). Tomášek (2007) uvádí, že jde o vývojově mladé půdy, které by v méně členitých terénních podmínkách po delší době přešly v jiný půdní typ – hnědozem, ilimerizovanou půdu, podzol apod. Vývoj kambizemí je doprovázen podle charakteru klimatu vyluhováním a acidifikací. K výrazným acidifikacím dochází v oblastech s udickým a zejména perudickým vodním režimem. Acidifikace je součástí ireverzibilního toku protonů zahrnujícího vegetaci, půdní roztok a pevnou fázi půdy (Němeček et al. 1990).

Šály (1977) uvádí, že kambisoly jsou charakteristické největší pestrostí substrátů z hlediska zrnitosti, vrstevnatosti a trofismu a také s největším spektrem bioklimatických a vegetačních podmínek a půdních režimů v areálu jejich rozšíření. U každého substrátu se projevuje specifický vliv pedoklimatu, vegetace a způsobu využívání půdy na soubor půdních vlastností. Tento vliv se projevuje transformací a akumulací organických látek, vyluhováním půdního profilu a uvolňováním (až migrací) volných oxidů Fe, Al, Mn a tvorbě jílu a transformací jílovitých minerálů v půdě. Němeček (2003) uvádí, že směrem k chladnějším a humidnějším oblastem narůstá obsah humusu v ornících (1 – 6 %) i v horizontech Bv (0,4 až nad 1,0 %). Spolu s tím se při narůstání acidifikace snižuje poměr humínových kyselin k fulvokyselinám (HK:FK), zvyšuje se podíl slaběji vázaných HK a volných agresivních FK, migrujících do horizontu Bv.

Kambizem lze charakterizovat jako půdu s kambickým hnědým (braunifikovaným) horizontem Bv, vyvinutým především v hlavním souvrství svahovin magmatických, metamorfovaných a zpevněných sedimentárních hornin (Němeček 2003). Jde zejména o hnědý až rezivohnědý půdní horizont, ve kterém probíhá intenzivní vnitropůdní zvětrávání (Tomášek 2007). Na rozdíl od luvisolů postrádají pedy v kambickém horizontu jílovité povlaky (argirlany). Pod kambickým horizontem se nachází vlastní půdotvorný substrát (horizont C). Jde především o horniny méně dotčené zvětráním, které jsou ve srovnání s předešlým horizontem odlišně zbarvené, většinou světleji. V horizontu zpravidla přibývá skeletu. U některých kambizemí je uvedené zbarvení překryto barvou matečného substrátu, ze kterého půda vzniká; tak je tomu např. u kambizemí na permokarbonových sedimentech, nápadných červenou barvou. Kambizemě jsou zpravidla mělké, skeletovité; zrnitostní složení je závislé na charakteru matečné horniny – lehké (pískovec, žula), střední (čedič, svor, ruly) a těžké (většina břidlic, lupky). U kambizemí se vyskytují všechny anhydrogenní formy nadložního humusu (Němeček 2003, Tomášek 2007).

Kambizem modální vzniká ze středně těžkých a lehčích středních substrátů, se stratigrafií horizontu O-Ah nebo Ap – Bv – IIC. V případě kambizemě oglejené by se v profilu vyskytovaly středně výrazné znaky mramorování v horizontu Bv. (Němeček et al. 2001).

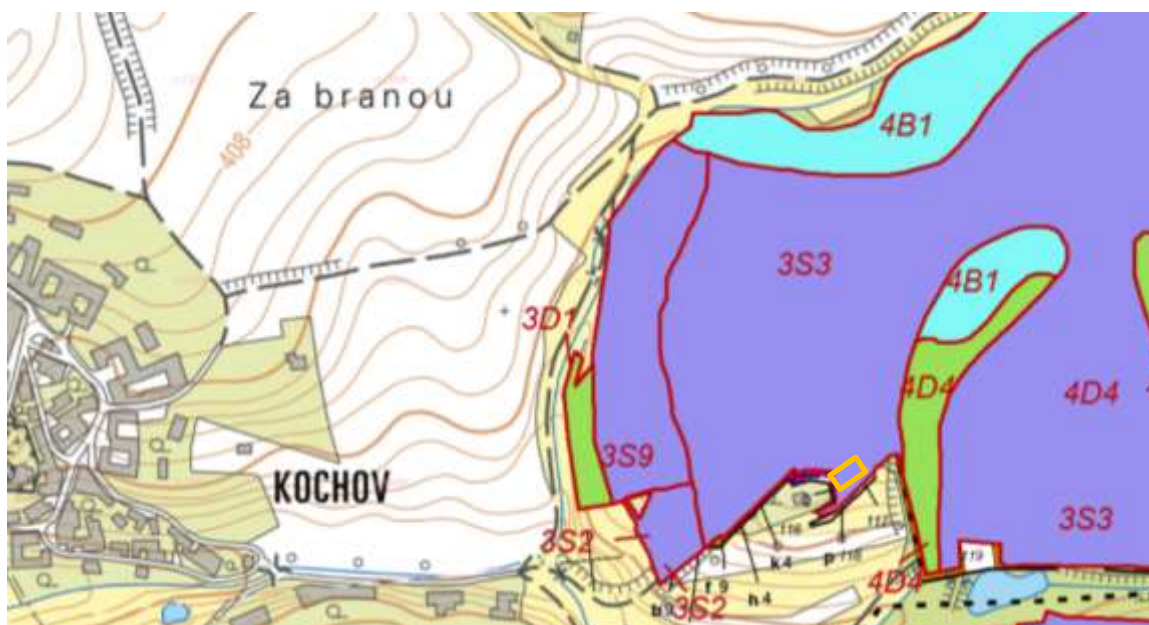
4.1.5 Klimatické podmínky

Z pohledu klimatu se výzkumná plocha Letovice-Kochov nachází dle členění na klimatické regiony (dle Quitta 1971) do mírně teplé oblasti MT7. Okrsek MT7 je charakteristický normálně dlouhým, mírným, mírně suchým létem. Přechodné období je krátké, s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (ÚHUL, 2000).

Průměrná teplota v nejchladnějším měsíci (leden) se pohybuje mezi -2 – -3 °C, průměrná teplota v nejteplejším měsíci (červenec) se pohybuje mezi 16 – 17 °C. Vegetační doba trvá průměrně 140 – 160 dnů. Srážkový úhrn ve vegetačním období se pohybuje mezi 400 – 450 mm, srážkový úhrn v zimním období mezi 250 – 300 mm.

4.1.6 Ekotypové a typologické poměry

Pozemek vyčleněný kategorie TTP (trvale travních ploch) se nacházel na bývalé zemědělské půdě. Navazující přilehlý lesní porost je z hlediska lesnické typologie klasifikován jako SLT 3S (svěží dubová bučina), LT 3S3 (s ostřicí prstenatou na mírných svazích); z hlediska skupin typu geobiocénu (stg) jde o dubové bučiny (*Querc-fageta*). Rozšíření STG včetně dřevinné skladby a charakteristik synuzie porostu např. Štykar (2008).



Obr. 2: Typologické poměry v okolí výzkumné plochy Kochov, zakreslené do mapy 1:5000 (zdroj dat: ČÚZK, ÚHUL, vlastní zákresy).

Lesní typ (LT) je v PLO 31 charakterizován AVB u SM a BK 26 – 28 s půdním typem kambizem modální, s půdním druhem písčito-hlinitým až hlinitým na matečné hornině opuk, rul nebo permských pískovců.

Synuzie bylinného podrostu je tvořena přechodnými společenstvy s účastí živných i acidofilních druhů (ÚHUL 2000).

Lesní typ spadá do HS 45 (živná stanoviště středních poloh). V blízkém lesním porostu je v CHS 451 zastoupen SM 70 a BO 30 ve věku 90 let (AVB 28), podle výpisu z platného LHP.

5 Metodika

5.1 Založení plochy

V roce 2015 byla založena výzkumná plocha Letovice – Kochov na neobdělávaném zemědělském pozemku s trvalým travním porostem (louka) o rozloze 385 m². Plocha byla oplocena obornickým pletivem proti škodám zvěří okusem. Byla provedena štěrbínová výsadba smrku ztepilého (*Picea abies* (L) Karsten) na podzim 2015 prostokořenými sazenicemi fv1+1 s průměrnou výškou sazenic 18 cm a tloušťkou kořenového krčku 5mm ve sponu 1 × 1,5 m. Sazenice byly pěstovány v intenzivním režimu lesní školky LESCUS Cetkovice, s.r.o., ošetřené na záhonu kombinovaným hnojivem Silvamix[®] 50S2 s růstovými regulátory. Na ploše bylo vysazeno celkem 210 sazenic. Plocha byla následně rozčleněna na 5 variant; na čtyřech variantách byly aplikovány hnojivé přípravky (viz kap. 5.2), pátá varianta byla kontrolní. Jedinci jednotlivých variant byli označeni identifikačními štítky s označením varianty a pořadového čísla při měření (např. K 1). Plocha s výsadbou byla pravidelně mechanicky kosena.

5.2 Aplikace hnojiva

Aplikace hnojivých látek proběhla v dubnu 2016. Množství aplikované látky činilo 80 g na sazenici způsobem plošné aplikace na půdní povrch v průmětu koruny jedince. Jednotlivé varianty včetně jejich chemického složení jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2: Přípravky aplikované na ploše a jejich složení z hlediska obsahu dodávaných živin a růstových regulátorů (podle Vavříček et al. 2016)

Varianta	Počet jedinců [n]	Obchodní označení	Objem živin [%]					Růstové regulátory [%]
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
K	38	(kontrola)	-	-	-	-	-	-
SR	47	Silvamix [®] R30	10,0	7,0	18,0	-	7,5	-
SR50S2	50	Silvamix [®] 50 +S2	14,5	7,0	18,0	-	5,0	0,17
UNICON	43	UniCon	14,0	6,0	21,0	-	6,0	0,17
VD	29	Vápnitý dolomit	-	-	-	54,56 ¹	40,84 ²	-

¹ Pozn.: dodáváno ve formě uhličitanu vápenatého (CaCO₃)

² Pozn.: dodáváno ve formě uhličitanu hořečnatého (MgCO₃)

5.3 Terénní průzkum a odběr vzorků

První fáze terénního průzkumu lokality proběhla na podzim 2015 při instalaci meteostaničky. Byly odebrány zpevněné vzorky půdy pomocí Kopeckého fyzikálního válečku pro vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy v 8 a 20 cm.

Druhá fáze terénního průzkumu spočívala ve srovnání pedochemických a nutričních poměrů. Kromě výzkumné plochy, reprezentující v minulosti zemědělsky užívanou půdu (dále jen lokalita Z), byla vyčleněna v blízkém lesním porostu srovnávací plocha dlouhodobě užívaná k lesnímu hospodaření (dále jen lokalita L). Zde byly vyčleněny dvě varianty: varianta kontrolní (tj. bez aplikace hnojiv) a varianta SR s aplikací hnojiva Silvamix[®]R30.

Lokalita Z byla tvořena trvale travními porosty, zatímco lokalita L prvním věkovým stupněm smrku ztepilého. Místa provedení terénního šetření se nacházejí v nadmořské výšce 408 m n. m., GPS: N49°33'892"; E016°37'279'.

Na obou lokalitách byl proveden v dubnu 2016 terénní průzkum, na lokalitě Z formou půdní sondy, na lokalitě L formou zákopku (viz kapitola 5.1). Dále byl proveden odběr nezpevněných půdních vzorků o váze cca 1 kg pro analýzu fyzikálních, pedochemických a nutričních poměrů jednotlivých půdních typů.

V říjnu 2016 byly provedeny na obou lokalitách a u jednotlivých variant celkem 3 odběry půdních vzorků. Z odběrných míst po odkrytí travního drnu byly odebrány vzorky z bezprostřední blízkosti jedinců (na plošce odpovídající přibližně průmětu korunky) s ohledem na eliminaci znehodnocení vzorku nerozpuštěným hnojivem.

V říjnu 2016 byly také odebrány vzorky asimilačního aparátu posledního ročníku jehlic ze všech jedinců v jednotlivých variantách z obou lokalit Z i L.

5.4 Příprava vzorků pro laboratorní analýzu

Půdní vzorky v neporušeném stavu byly analyzovány podle níže popsaných fyzikálních charakteristik v laboratoři Ústavu geologie a pedologie Mendelovy univerzity v Brně. Půdní vzorky v porušeném stavu z půdní sondy a zákopku byly odeslány pro analýzu do akreditované laboratoře MORAVA, s.r.o. pro získání dat o pedochemii a nutričních poměrech na obou lokalitách. Výsledky analýz byly vyhodnoceny podle kritérií, uvedených v kapitole 5.5 a komentovány v kapitole 6.

Odebrané vzorky asimilačního aparátu z lokality Z a L byly vysušeny při teplotě 60°C po dobu 48 hodin v laboratoři Ústavu geologie a pedologie Mendelovy univerzity v Brně. Následně byl z každé varianty náhodným výběrem vytvořen soubor 100 jehlic ve čtyřech opakováních a zvážen s přesností na 4 desetinná místa. Poté byly vysušené jehlice sesypány do směsného vzorku po jednotlivých variantách a odeslány pro analýzu živin do akreditované laboratoře MORAVA s.r.o. Analyticky byly zjišťovány makroživiny N, P, K, Mg, Ca a S. Zjištěné hodnoty byly vyhodnoceny podle kritérií uvedených v kapitole 5.6.

5.5 Kritéria vyhodnocení půdních analýz

Laboratorní šetření půdních vzorků, odebraných z lokality Z a L podle variant (bez aplikace hnojiv – kontrolní varianta a s aplikací hnojiv), byly zjišťovány fyzikální, fyzikálně-chemické a chemické vlastnosti. Výsledky analýzy byly vyhodnoceny podle níže uvedených kritérií, převzatých a upravených z bakalářské práce (Dujka 2015). Vzorce pro výpočet (pokud nejsou uvedeny) je možno nalézt např. v laboratorních postupech např. podle Rejšek (1999) nebo Zbíral (2016) nebo

5.5.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Zrnitost: texturní charakteristiky lesní půdy mají zásadní vliv na růstové a produkční podmínky stanoviště; obecně vyplývá z poměru voda: vzduch v pedonu. Cílem zrnitostní analýzy je stanovení půdního druhu. Při rozborech půdních vzorků byla použita kombinace pipetovací metody a metoda třídění na sítích (Rejšek 1999). Zjišťovány byly frakce částice fyzikálního jílu ($< 0,002$ mm), jemný prach ($0,002 - 0,05$ mm) a hrubý prach ($0,05 - 2$ mm). Vzájemný poměr procentuálního zastoupení výše zmíněných frakcí v jednotlivých horizontech byl vyhodnocen dle zrnitostního trojúhelníku (Šimek 2003, Vavříček a Kučera 2015).

Měrná hmotnost (ρ_s) je hmotnost tuhé půdní fáze zbavené plynné i kapalně fáze. Na základě jejího stanovení lze stanovit procento půdní pórovitosti. Pro stanovení byla použita pyknometrická metoda pomocí Guy Lussacova pyknometru (Rejšek 1999). Průměrné hodnoty se pohybují mezi $2,4 - 2,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Hodnota je zvyšována především minerály, jako hematit ($\rho_s = 5 - 5,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), muskovit ($\rho_s = 2,8 - 3,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), pyrit ($\rho_s = 4,9 - 5,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$); měrnou hmotnost snižují např. surový humus ($\rho_s = 0,2 - 1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), rašeliny ($\rho_s = 0,9 - 1,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), nerozložené organické zbytky ($\rho_s = \text{cca } 0,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) podle Vavříčka a Kučery (2015), podrobněji srov. Šály (1977).

Objemová hmotnost (ρ_w) je hmotnost objemové půdní jednotky v přirozeném stavu včetně kapalně a plynně fáze. Stanovuje se pomocí fyzikálního válečku v čerstvém stavu: $\rho_w = b-a/ V$, kde b je hmotnost válečku s víčky a neporušeným vzorkem v původním stavu, a hmotnost válečku s víčkem, V objem vzorku. Hodnoty se pohybují zpravidla mezi $1,2$ a $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, u spodních a více ulehých horizontů mezi $1,5$ a $1,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Rejšek 1999, Vavříček a Kučera 2015).

Objemová hmotnost redukována (ρ_d) je na rozdíl od objemové hmotnosti bez kapalně fáze, která je odstraněna vysoušením při konstantní teplotě 105°C . Písčité půdy mají vyšší hodnotu než půdy jílovité (písky $1,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, hlíny $1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, jíly $1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Hodnota je závislá na obsahu organické hmoty v horizontu, u svrchních horizontů je snižována a pohybuje se mezi $0,9 - 1,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, u povrchového surového humusu až na $0,2 - 0,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Vavříček a Kučera 2015).

Pórovitost (P) je dána podílem objemu půdních pórů na celkovém objemu vzorků (Rejšek, 1999). Pórovitost se pohybuje přibližně mezi 40 a 60 %, vyšší je v půdách

s jemnozrnější texturou. Hodnoty pórovitosti se zpravidla pohybují pro lesní půdy v rozmezí 35 – 55 %, u povrchového humusu 60 – 70 %, u rašelin až 90 % a u glejí a spodních vrstev kolem cca 30 % (Vavříček a Kučera 2015).

Hmotnostní vlhkost (w) je procenticky dána poměrem hmotnosti vody k hmotnosti konstantně vysušeného vzorku. Určuje se gravimetricky pomocí fyzikálního válečku (Rejšek 1999).

Obsah sušiny (S) je procentuální vyjádření rozdílu okamžitého obsahu půdní vody v analyzovaném vzorku od 100 % (podle Rejšek 1999). Pro stanovení obou charakteristik bylo provedeno vysoušení fyzikálního válečku do konstantní hmotnosti.

Objemová vlhkost (Θ) vyjadřuje procento objemu půdního vzorku, obsahující vodu. Stanoví se výpočtem jako součin z hmotnostní vlhkosti a objemové hmotnosti redukované ($\Theta = w \cdot \rho_d$). Je-li hodnota objemové vlhkosti vyšší než maximální kapilární kapacita, jde o zamokřená stanoviště (zaplnění kapilárních i nekapilárních pórů) podle Vavříčka a Kučery (2015) a Rejška (1999).

Provzdušněnost (A) vyjadřuje okamžitý obsah vzduchu v pórech a stanoví se výpočtem jako rozdíl pórovitosti a objemové vlhkosti ($A = P - \Theta$) v %.(Rejšek 1999).

Minimální vzdušná kapacita (A_{MKK}) vyjadřuje objem pórů zaplněných vzduchem v okamžiku, kdy dosáhne půda hodnot maximální kapilární kapacity. Stanovuje se pouze výpočtem jako rozdíl půdní pórovitosti a maximální kapilární kapacity ($A_{MKK} = P - \Theta_{MKK}$) v %. U lesních a lučních porostů lze považovat půdy za extrémně neprovzdušněné při hodnotě nižší než 5 %, kdy jsou půdy náchylné k zamokření, vykazují nízkou fyziologickou hloubku, nízkou intenzitu humifikace a zpomalení činnosti půdní bioty (Rejšek 1999). Za dolní mezní hodnotu lze považovat 8 %, průměrné hodnoty pro lesní půdy se pohybují okolo 10 %, půdy okolo 20 % jsou náchylné k vysychání (mohou být přechodně až trvale vysušené) a při 25 % hrozí riziko trvalého vyschnutí. (Vavříček a Kučera 2015)

Maximální kapilární kapacita (Θ_{MKK}) je procentuální vyjádření množství vody, kterou je neporušený půdní vzorek (ve formě fyzikálního válečku) schopen pojmout kapilárními silami v procesu vztlínání a toto množství vody udržet během odsávání. Jde o největší množství vody, které půda udrží v kapilárních (<0,0002 mm) a částečně v semikapilárních (0,0002 – 0,01 mm) pórech. Nejpoužívanější princip je dle Nováka (uvedeno dle Rejška 1999): zemina v půdním vzorku je nasycena na maximální vodní kapacitu a potom se voda z hrubých pórů odstraní dvouhodinovým odsáváním přes filtrační papír. U písčitých půd dosahuje hodnot 10 – 25 %, u hlinitých 25 – 35 % a u jílovitých 35 – 46 %. V lesních půdách jde o hodnotu velmi proměnlivou a nejčastěji se pohybuje mezi 15 – 40 %. Většina lesních půd v ČR tak lze hodnotit jako vododržné až silně vododržné (Šály 1977, Rejšek 1999; Vavříček a Kučera 2015).

Maximální vodní kapacita (Θ_{MVK}) je největší množství vody, které může půda poutat, vyjádřeno v % objemu (Šály 1977).

Retenční vodní kapacita (Θ_{RVK}) vyjadřuje schopnost půdy zadržet určité množství vody po delší dobu (24 hodin). Jde o množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů a postupně ji uvolňovat pro potřeby rostlin. Rostlina je schopna odebrat vodu z půdy jen tehdy, když jsou kořenové sací síly větší než sací tlak půdy. Vyjadřuje se v % (Šály 1977, Šimek 2003, Vavříček a Kučera 2015).

Relativní kapilární vlhkost (R_v) se vypočte vzorcem $R_v = \Theta \cdot 100 / \Theta_{MKK}$ v % (Rejšek 1999).

Nasycenost půdních pórů (R_{NP}) se vypočte vzorcem $R_{np} = \Theta / P \cdot 100$ v % (Rejšek 1999).

5.5.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy

Z fyzikálně-chemických analýz půdy byla zjišťována půdní reakce a půdní sorpce a stupeň nasycení sorpčního komplexu. Vzhledem k porovnání dvou rozdílných stanovišť je ve vyhodnocovacích tabulkách uvedena hodnota pro zemědělskou (lokality Z) a lesní (lokality L) půdu.

Půdní reakce (pH) je dána koncentrací hydroxoniových a hydroxylových ionů v půdní suspenzi. Tento poměr je vyjádřen vodíkovým exponentem, hodnotou pH. Laboratorně byla zjištěna půdní reakce aktivní (pH/H₂O) a půdní reakce potenciální výměnná (pH/KCl). Porovnání pH aktivní a potenciální následně umožní stanovení hodnoty čistého náboje na koloidním systému. Pro vyhodnocení poměru pH/KCl byla použita vyhodnocovací tabulka 3.

Tab. 3: Stupnice hodnocení půdní reakce potenciálně výměnné - pH(KCl) pro zemědělskou a lesní půdu (podle Vacka a Simona 2009, s. 23, Vavříčka a Kučery 2015, s. 133).

Lesní půda (L)		Zemědělská půda (Z)	
pH/KCl	Hodnocení	pH/KCl	Hodnocení
< 3,0	Extrémně kyselá	< 4,5	Extrémně kyselá
3,0 – 4,0	Silně kyselá	4,6 – 5,0	Silně kyselá
4,0 – 5,0	Středně kyselá	5,1 – 5,5	Kyselá
5,0 – 6,0	Mírně kyselá	5,6 – 6,5	Slabě kyselá
6,0 – 7,0	Neutrální	6,6 – 7,2	Neutrální
7,0 – 7,5	Mírně alkalická	7,2 – 7,7	Alkalická
7,5 – 8,0	Středně alkalická	7,7 >	Silně alkalická
8,8 – 8,5	Silně alkalická		
8,5 >	Velmi silně alkalická		

Půdní sorpce je schopnost půdy zadržovat ionty nebo celé molekuly z půdního roztoku a omezuje jejich vyplavení do spodních, pro kořenovou výživu nepřístupných vrstev. Zároveň snižuje nežádoucí koncentrace solí v půdním roztoku. Základní veličinou, charakterizující výměnnou půdní sorpci je kationtová výměnná kapacita (KVK), která

byla stanovena jako součet kationů bazických (Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+) a kyselých (H^+ , Al^{3+}). Hodnota byla vyhodnocena podle tabulky 4 a následně použita pro výpočet stupně nasycení sorpčního komplexu.

Tab. 4: Stupnice hodnocení kationtové výměnné (sorpční) kapacity na zemědělské a lesní půdě (podle Vacka a Simona 2009, s. 23, Vavříčka a Kučery 2015, s. 133).

Lesní půda (L)		Zemědělská půda (Z)	
T [mmol/kg]	Hodnocení	T [mmol/kg]	Hodnocení
< 80	Velmi nízká	< 120	Nízká
80 – 130	Nízká	121 - 180	Střední
130 – 180	Nižší střední	>180	Vysoká
180 – 250	Vyšší střední		
250 – 300	Vysoká		
> 300	Velmi vysoká		

Stupeň nasycení sorpčního komplexu (V) je procentický podíl výměnných bazických kationtů (bazická saturace). Vyjadřuje poměrné množství bazických kationtů k celkové kationtové kapacitě. Pro výpočet se užívá vzorce:

$$V = \frac{S}{T} \cdot 100 [\%],$$

kde S je okamžitý obsah výměnných bází [$\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$] a T maximální množství všech kationtů (kationtová výměnná kapacita KVK [$\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$]). Lesní půdy se hodnotí jako nasycené, pokud $V > 50 \%$, v případě lesních půd s $V > 75 \%$ jde o vysoce nasycené půdy a při $V < 30 \%$ lze půdy hodnotit jako vysoce nenasyčené (upraveno podle Rejška 1999, Vavříčka a Kučery 2015).

Tab. 5: Stupnice hodnocení nasycenosti sorpčního komplexu bázemi na zemědělské a lesní půdě (podle Vacka a Simona 2009, s. 23, Vavříčka a Kučery 2015, s. 133).

Lesní půda (L)		Zemědělská půda (Z)	
V [%]	Hodnocení	V [%]	Hodnocení
0 - 10	Extrémně nenasyčená	< 30	Extrémně nenasyčená
10 – 25	Silně nenasyčená	30 – 50	Nenasycená
25 – 50	Slabě nenasyčená	50 – 75	Slabě nasycená
50 – 65	Slabě nasycená	75 – 90	Nasycená
65 – 80	Nasycená	90 - 100	Plně nasycená
80 – 100	Plně sorpčně nasycená		

5.5.3 Chemické vlastnosti půdy

Z chemických vlastností byla provedena analýza oxidovatelného uhlíku, poměr C:N a stanovení přístupných živin. Výsledky analýzy oxidovatelného uhlíku (Cox) a poměru C:N uvádí tabulka 6 a 7.

Tab. 6 a 7: Stupnice pro vyhodnocení analýzy oxidovatelného uhlíku CO_x a vyhodnocení poměru C:N dle vybraných typů organické hmoty (podle Rejšek 1999, s. 21, Vavříček a Kučera 2015, s. 141).

Oxidovatelný uhlík (Cox)		Poměr C:N	
Cox [%]	Hodnocení	Rozmezí hodnot	Typ organické hmoty
< 1	Velmi slabě humózní	11 – 44	Lesní půda
1 – 2	Slabě humózní	11 – 12	Pastviny
2 – 5	Humózní	8 – 10	Zemědělská půda
5 – 20	Silně humózní		
20 >	Velmi silně humózní		

Na základě analýzy oxidovatelného uhlíku (Cox) lze vyhodnotit obsah organické hmoty v lesních půdách (kritéria viz Rejšek 1999, Vavříček a Kučera 2015). Poměr C:N hodnotí kvalitu, dekompozici, humifikaci a trofnost půdy (čím menší, tím vyšší biologická aktivita a zásoba živin, viz Vavříček a Kučera 2015).

Výsledky laboratorních analýz živin v půdě byly vyhodnoceny dle kritérií, uvedených níže v tabulkách 8 a 9.

Tab. 8: Hodnocení obsahu přístupných živin v lesní půdě v edatopu přirozeného stanoviště (podle Vavříčka a Kučery 2015, s. 132 (hodnocení dle Mehlich II).

Obsah živin	N	P	K	Ca	Mg
	[%]	[mg/kg]			
Velmi nízký	< 0,05	< 20	< 20	<150	< 20
Nízký	0,05 – 0,12	20 – 50	20 – 50	150 – 300	20 – 40
Střední	0,12 – 0,25	50 – 80	50 – 90	300 – 500	40 – 60
Vysoký	0,25 – 0,40	80 – 120	90 – 140	500 – 800	60 – 80
Velmi vysoký	0,40 >	120 >	140 >	800 >	80 >

Nedostatek základních živin a následné poškození a barevné změny jsou vyvolány kritickým nedostatkem N (< 1 %), P (< 0,1 %), Mg (< 0,06 %) a K (< 0,3 %). Symptomy jsou částečně zaměnitelné s poškozením smrkových porostů suchem, kdy žloutne starší jehličí (Uhlířová a Kapitola 2004).

Tab. 9: Hodnocení obsahu přístupných živin P, K a Mg v těžkých půdách pro trvale travní porosty (TTP) dle příl. 5 vyhlášky č. 275/1998 Sb.

Obsah živin	P	K	Mg
	[mg/kg]		
Velmi nízký	< 20	< 110	< 80
Nízký	21 – 40	111 – 170	81 – 130
Střední	41 – 90	171 – 400	131 – 310
Dobrý	91 – 120	400 – 550	311 - 430

5.6 Kritéria vyhodnocení listových analýz

Výchozími kritérii pro hodnocení obsahu makroprvků v asimilačním aparátu smrků byly hodnoty, uvedené v tabulce 8.

Tab. 10: Optimální obsah živin v asimilačním aparátu zjištěný z listových analýz. Bergmann (1988), Vavříček a Kučera (2015) s. 129, Tjoelker et al (2007) s. 87 – 90.) a

Dřevina SM	N	P	K	Ca	Mg	S
	%					$g \cdot kg^{-1}$
optimum	1,3 – 1,7	0,13 – 0,25	0,5 – 1,2	0,3 – 0,8	0,08 – 0,3	1,0 – 1,5
karenční	1,0	0,1	0,2	0,05	0,06	

5.7 Biometrická měření a zjišťování zdravotního stavu

V říjnu 2016 bylo provedeno měření morfologických veličin na lokalitě Z. Měření proběhlo u všech jedinců ve všech variantách. Zjišťována byla délka přírůstu terminálu za poslední vegetační období s přesností 0,5 cm, tloušťka kořenového krčku s přesností na 0,1 mm a zdravotní stav jedinců.

Zdravotní stav byl okulárně hodnocen ve škále 1 až 5 stupňů s přechodovými stupni 0,5: 1 – vitální jedinec nevykazující žádná poškození, 2 – mírně poškozený jedinec, mírně dekolorovaný a deformovaný s mírně sníženou vitalitou, 3 – středně poškozený jedinec, výrazně dekolorovaný a deformovaný jedinec se sníženou vitalitou, 4 – značně poškozený jedinec se známkami plošného žloutnutí až rezivění až po ztrátu asimilačního aparátu, 5 – odumřelý jedinec.

5.8 Analýza zjištěných dat

Statistické vyhodnocení výsledků biometrických měření bylo provedeno v programu STATISTICA 12 CZ. Rozdíly v hodnotách jednotlivých parametrů výživy kultur, výškového přírůstu pro jednotlivé varianty a zdravotní stav byly statisticky posouzeny podle lineárních modelů s využitím neparametrické analýzy rozptylu (ANOVA), případně pomocí neparametrického Kruskal-Wallisova (K-W) testu při hladině spolehlivosti $p = 0,05$. Stav výživy byl posouzen dle tabulky 10 v kapitole 5.6.

5.9 Monitoring klimatických charakteristik

Na podzim 2015 byla v blízkosti výzkumné plochy zřízena dočasná metostanička pro odběr dat pro analýzu klimatických charakteristik. Za sledovaný rok 2016 byly zjišťovány následující charakteristiky: srážky [mm], teplota vzduchu [°C], teplota půdy v hloubce 8 cm [°C], vlhkost půdy v hloubce 8 cm (%), teplota půdy v hloubce 20 cm [°C], vlhkost půdy v hloubce 20 cm (%). Na základě analýzy dat byla stanovena hodnota maximální kapilární kapacity (MKK) lentokapilárního bodu (LB), bodu snížené dostupnosti (BSD) a bodu vadnutí (BV), které jsou uvedeny v grafech obr. 28 a 29 (viz kapitola 6.5). Sestavení grafů a výsledná hodnocení bylo provedeno v programu MS Excel dle informací podle Šimek (2003) a Žalud (2010).

6 Výsledky

6.1 Vyhodnocení terénního průzkumu půdních poměrů

6.1.1 Lokalita Z

V současné době se na zemědělsky využívaném pozemku nachází trvalý travní porost. Dle vyvinutého orníčního Ap horizontu a ostré spodní přechodové hranice jde pravděpodobně o v minulosti pravidelně zemědělsky kultivovaný pozemek. Louka je pravidelně kosena, pokryvnost travino-bylinným pokryvem je 100%. Pozemek se nachází v blízkosti lesního porostu, vzdáleného asi 15 m



Obr. 3 a 4: Detail půdního profilu s vyznačením jednotlivých horizontů a celkový pohled na umístění sondy na pozemku ZPF (foto Aleš Kučera, duben 2016).

Místo výkopu sondy se nachází v mírném svahu jižní až jihozápadní expozice a sklonem přibližně do 5°. Humusová forma je drnový mul. Absolutní hloubka sondy byla vzhledem k hloubce půdotvorného skeletu (tvořenému především jílovcí a prachovci našedlého zbarvení) možná do hloubky 0,95 m. Fyziologická hloubka byla zjištěna do 0,60 m, genetická hloubka do 0,55 m. Taxonomicky je půdní jednotka zařazena jako **kambizem vyluhovaná psefitická**, se stratigrafií horizontů Ad – Ap – Bv – Bv/Cr – Cr (viz též obr. 3). Vlastnosti jednotlivých horizontů jdou uvedeny níže.

0 – 0,5 cm L: opad tvořený travino-bylinným společenstvem s příměsí mechového patra

0,5 – 5 cm Ad: hnědý až čokoládově hnědý horizont, hlinitý, středně ulehlé konzistence; mírně vlhký. Struktura drobtovitá (do 2 mm), bez známek skeletu. Velmi silné prokořenění (zastoupení cca 40 %, převážně tvořeno vlášením, popř. s jemnými kořínky travin a bylin. Přechod zřetelný, mírně vlnitý.

5 – 20 cm Ap: čokoládově hnědý horizont, hlinitý, mírně až středně ulehlé konzistence, mírně vlhký. Struktura málo pevná, kulovitá až hrudkovitá (20 – 50 mm), velmi slabě skeletnatá (do 5 %) s frakcí hrubého písku (2 – 5 mm). Prokořenění vysoké, velikost kořínků do 2 mm (220 ks/dm²). Bez výrazných novotvarů, s HCl nereaguje. Přechod difúzní (5 cm), mírně vlnitý s patrnými známkami stop po zooedafonu a žízalách.

20 – 31 cm Bv: hnědý až čokoládově hnědý horizont, hlinité až jílovito – hlinité textury (s rostoucí hloubkou lze zaznamenat obsah jílu, při tření zanechává stopu po kožních lištách, středně vlhká, mírně až středně ulehlá konzistence. Struktura středně pevná, drobtovitá (3 – 7 mm). Slabá skeletnatost (okolo 20 %) s nepravidelným rozmístěním ve formě frakcí drobného až hrubého šterku (5 – 50 mm). Prokořenění střední, velikost kořínků do 2 mm); směrem dolů prokořenění výrazně ubývá skelet ani jemnozeme nereagují s HCl, bez novotvarů a bez stop po přítomnosti edafonu. Přechod vlnitý, zřetelný (3 cm).

31 – 55 cm Bv/Cr: hnědý až šedohnědý horizont hlinito – jílovité textury, vlhké, silně ulehlé až slité konzistence (v důsledku vysoké vlhkosti a výrazného zastoupení jílovité a prachovité složky). Půda silně skeletnatá (70 – 80 %) s frakcí drobného až hrubého šterku (5 – 50 mm); velmi nízké prokořenění do 2 mm velikosti (10 ks/dm²). Jemnozeme s HCl nereaguje, skelet reaguje mírně až intenzivně (reakce roste s hloubkou). Přechod dospod mírně vlnitý až mírný (5 cm), vylišený převážně absencí jemnozeme.

55 cm a hlouběji Cr: šedý, místy hnědavý horizont, který je převážně tvořen rozpadem podložní horniny; v této hloubce jde o sedimenty s nepříliš pevným tmelem (nebo silně zvětralý sediment); horizont silně skeletnatý (až 90 %), již bez jemnozeme; prokořenění kořínky do 2 mm nízké (4 ks/dm²). Bez prokořenění kořínky většími než 2 mm; skelet reaguje s HCl.

Terénní posudek: svrchní horizonty (Ad, Ap) jsou středně ulehlé konzistence bez výrazné přítomnosti skeletu. Hnědý kambický horizont Bv tvoří přechod mezi svrchními a spodními horizonty (Bv/Cr a Cr). Ty jsou charakteristické silně ulehlou konzistencí a vysokou skeletnatostí s přítomností kamenů. Prokořenění směrem dolů klesá a ve spodních horizontech je nepatrné. Skelet je vápnitého charakteru. V půdním profilu nebyly nalezeny žádné novotvary. Humusová forma stanoviště: drnový mul.

6.1.2 Lokalita L

Na lesním pozemku bylo provedeno terénní šetření pomocí zákopku, nacházejícího se ve střední části svahu s vertikálně orientovanými svahovými pohyby s jihozápadní expozicí a sklonem do 5°. Okolní lesní porost se nachází ve stádiu přibližně stoleté kmenoviny, keřové patro i podrost chybějí; porostní typ s dominantním smrkem (cca 90 %) a přimíšenou borovicí (cca 10 %).

Synuzie podrostu byla v době provádění výzkumu v jarním až letním aspektu, pokryvnost cca 20 %, převážná část povrchu zastíněna korunami stromů. V okamžiku snímkování podrost nebyl zcela vyvinutý. Zjištěn byl starček Fuchsův (*Senecio ovatus*), ptačinec žabinec (*Stelaria holostea*), kakost smrdutý (*Geranium robertianum*) a další ruderalní druhy.

Humusová forma morový moder. Fyziologická hloubka více než 0,50 m, genetická hloubka do 0,45 m. taxonomicky je půdní jednotka určena jako **kambizem modální**. Zjištěná stratigrafie horizontů Am – Bv – Bv/C – Cr (viz obr. 5):



Obr. 5 a 6: Detail půdního profilu zákopku s vyznačením jednotlivých horizontů a celkový pohled na umístění sondy na místo kopání zákopku (foto Aleš Kučera, duben 2016).

Vlastnosti jednotlivých horizontů jsou uvedeny níže.

0- 2 cm L: opad tvořený nerozloženým jehličím smrku ztepilého s šiškami

2 – 3 cm F: částečně fermentované zbytky jehličí, kyprý, středně vlhký; směrem do hloubky s tmavším zbarvením s přechodem až do rezivého zbarvení; známky mírného prokořenění

3-4,5 cm H: měl černého zbarvení, mírně vlhká, silné provzdušnění; bez výrazných známek po zooedafonu nebo fytoedafonu; prokořenění jemnými kořínky (do 2 mm) nízké (40 ks/dm²).

4,5 – 18 cm Am: světle hnědý horizont písčito – hlinité textury, kypré konzistence, mírně vlhký. Struktura jemně drobtovitá (1 – 5 mm), slabá až střední skeletnatost (20 – 30 %) s frakcemi převážně hrubého štěrku (10 -50 mm) až kamenů (50 – 70 mm). Prokořenění kořínky do 2 mm velmi nízké (4ks / dm²), převažují kořeny o tloušťce 10 – 30 mm okolního smrkového porostu. Bez novotvarů; skelet bez reakce s HCl, sediment křídové pánve psamitické struktury. Přechod mírný, difúzní (5 cm) hnědého zbarvení.

18 – 28 cm Bv: světle hnědý horizont písčito – hlinité textury, konzistence středně ulehlá, mírně vlhký. Struktura drobtovitá, střední skeletnatost (30 – 40 %) s frakcí hrubého štěrku až kamenů (cca 10 – 100 mm). Prokořenění jemnými kořínky do 2 mm velmi nízké (14 ks/dm²), prokořenění kořínky nad 2 mm nízké (5 ks/dm²). Převážně kořeny o tloušťce 10 – 30 cm. Bez novotvarů; bez reakce s HCl; přechod do nižšího horizontu mírný až mírně vlnitý (5 cm).

28 – 40 cm Bv/C: hnědý horizont písčito – hlinité textury, silně ulehlé konzistence, mírně vlhký. Struktura středně polyedrická (5 – 10 mm), střední až silná skeletnatost (50 %), převážně s frakcemi hrubého štěrku a kamenů do velikosti 100 mm; prokořenění slabými kořínky do 2 mm velmi nízké, bez prokořenění kořínky nad 2 mm. Bez novotvarů; bez reakce s HCl. Zřetelný (3 cm), mírně vlnitý přechod.

45 cm a hlouběji Cr: zbarvení horizontu v závislosti na příměsi jemnozeme hnědé až okrově rezivé, vrstva velmi silně ulehlá, mírně vlhká; skeletnatost velmi silná (70 – 80 %). Prokořenění kořínky nad 2 mm velmi nízké, kořínky nad 2 mm se nevyskytují. Bez novotvarů. Bez reakce s HCl.

Terénní posudek: hnědé až čokoládově hnědé zbarvení, textura půdy je hlinito – písčitá, konzistence půdy v závislosti na hloubce klesá, skeletnatost s rostoucí hloubkou roste, ve spodních horizontech kamenitá frakce. Prokořenění je největší v horizontech Am a Bv. Bez novotvarů. Bez reakce s HCl. Humusová forma stanoviště morový moder.

6.2 Vliv hnojiv na pedochemické vlastnosti půdy

6.2.1 Vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy

Podrobný přehled fyzikálních charakteristik půdy v referenčních hloubkách uvádí tabulka 11. Půda je hnědě až čokoládově hnědě zbarvena, tvořena hlinitou až jílovitě-hlinitou texturou struktury mírně až středně ulehlé. Měrná hmotnost půdy odpovídá ve zkoumaných hloubkách průměrným hodnotám, lze tedy předpokládat normální průběh tvorby půdního profilu s absencí minerálů, zvyšujících měrnou hmotnost a surového humusu s opačným účinkem. Objemová hmotnost svrchních horizontů naznačuje spíše mírnější ulehlost, pórovitost je v 8 cm, s přibývajícím hloubkou klesá. Do hloubky lze předpokládat zvyšující se procentuální zastoupení jílovitých částic. Uvedené hodnoty odpovídají průměrným hodnotám pro lesní půdy (Vavříček a Kučera, 2015). Obdobně i minimální vzdušná kapacita s přibývajícím hloubkou klesá (v 8 cm je profil silně provzdušněný, ve 20 cm pouze středně provzdušněný). Půda může být náchylná k vysychání, přechodně až trvale.

Tab. 11: Fyzikální a fyzikálně chemické vlastnosti jednotlivých horizontů včetně jednotek (zdroj dat: vlastní výpočty, UPG LDF MENDELU, výsledky půdních analýz Laboratoř MORAVA, s.r.o.)

Fyzikální vlastnosti			8 cm		20 cm	
Maximální vodní kapacita	Θ_{MVK}	%	34,12		35,93	
Maximální kapilární kapacita	Θ_{MKK}	%	32,18	Silně vododržný	33,46	Silně vododržný
Retenční vodní kapacita	Θ_{RVK}	%	28,82		29,87	
Měrná hmotnost	ρ_s	$g.cm^{-3}$	2,45		2,47	
Objemová hmotnost	ρ_w	$g.cm^{-3}$	1,22		1,44	
Objemová hmotnost redukována	ρ_d	$g.cm^{-3}$	1,07		1,28	
Pórovitost	P	%	56,29	Vysoká	48,35	Střední
Hmotnostní vlhkost	w	%	14,06	Suchý	13,00	Suchý
Objemová vlhkost	Θ	%	15,01		16,60	
Provzdušněnost (okamžitá)	A	%	41,28		31,76	
Minimální vzdušná kapacita	A_{MKK}	%	24,11	Vysoká, silně provzdušněný	14,89	Střední, středně provzdušněný
Nasycenost půdních pórů	R_{NP}	%	26,61		34,29	
Relativní kapilární vlhkost	R_v	%	47,08		49,35	
Obsah sušiny	S	%	97,26		97,00	

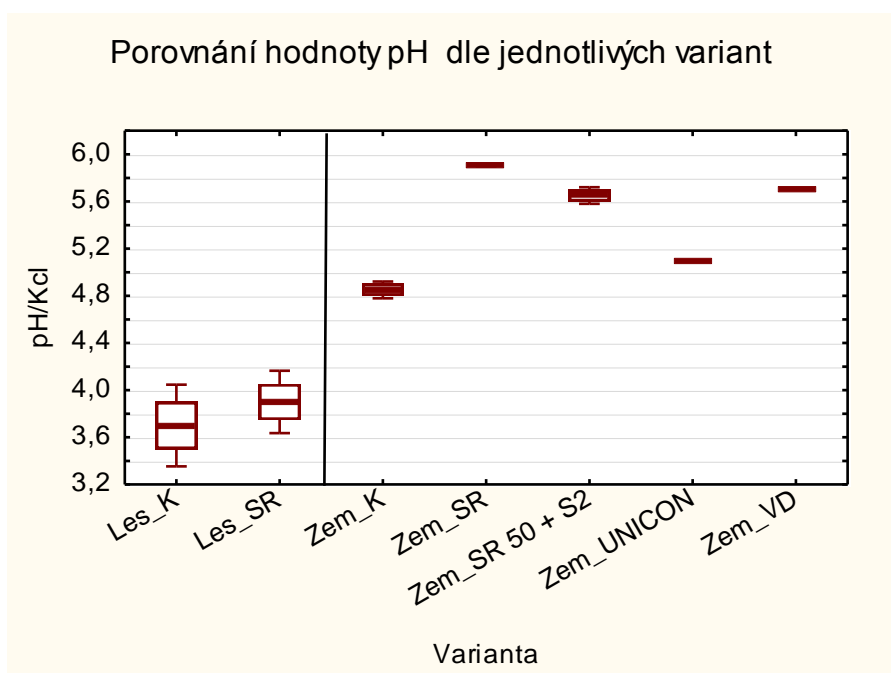
6.2.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy

6.2.2.1 Půdní reakce (pH)

Na výzkumné ploše (**lokality Z**) nebyl rozdíl mezi kontrolní variantou (K) a ostatními variantami statisticky významný a pozitivní vliv hnojiv nelze jednoznačně prokázat. I přesto došlo k výraznému nárůstu, zejména na variantě SR. U kontrolní varianty (K) zjištěna půdní reakce silně kyselá (hodnota pH/KCl 4,8), u ostatních variant s aplikovanými hnojivy se zjištěné hodnoty pohybovaly nad úrovní pH 5,0 (viz obr. 7). Nejnižší hodnota u varianty UNICON (5,1) odpovídá půdní reakci kyselé. Varianty SR50+S2 a VD odpovídají půdní reakci slabě kyselé. Nejvyšší zjištěná hodnota pH byla u varianty SR, kde byla hodnota půdní reakce aplikovaným hnojivem zvýšena až na hodnotu 5,8 s klasifikací slabě kyselá.

Při porovnání kontrolní varianty K na **lokality L** nebyl s variantou SR zjištěn statisticky významný rozdíl a pozitivní vliv nelze jednoznačně prokázat, nicméně z grafu na obr. 8 je patrné mírné zvýšení pH. Rozpětí hodnot pro lokalitu L se pohybuje od 3,5 po 4,1. U kontrolní varianty byla zjištěna střední hodnota 3,7 a dle klasifikace jde o velmi silně kyselou půdní reakci. Obdobně i variant SR, z grafu na obr. 7 je ale patrné, že je zde mírný nárůst zjištěných hodnot, i přesto hodnota odpovídá velmi silně kyselé půdní reakci.

Při porovnání je patrné, že aplikace hnojiv napomáhá ke zvýšení půdní reakce u zemědělské i lesní půdy. Hodnoty kontrolních variant jsou odlišné, lokalita L vykazuje půdní reakci silně kyselou, zatímco lokalita Z pouze půdní reakci kyselou. Nejlepší výsledek byl pro sledovanou lokalitu Z u varianty SR.

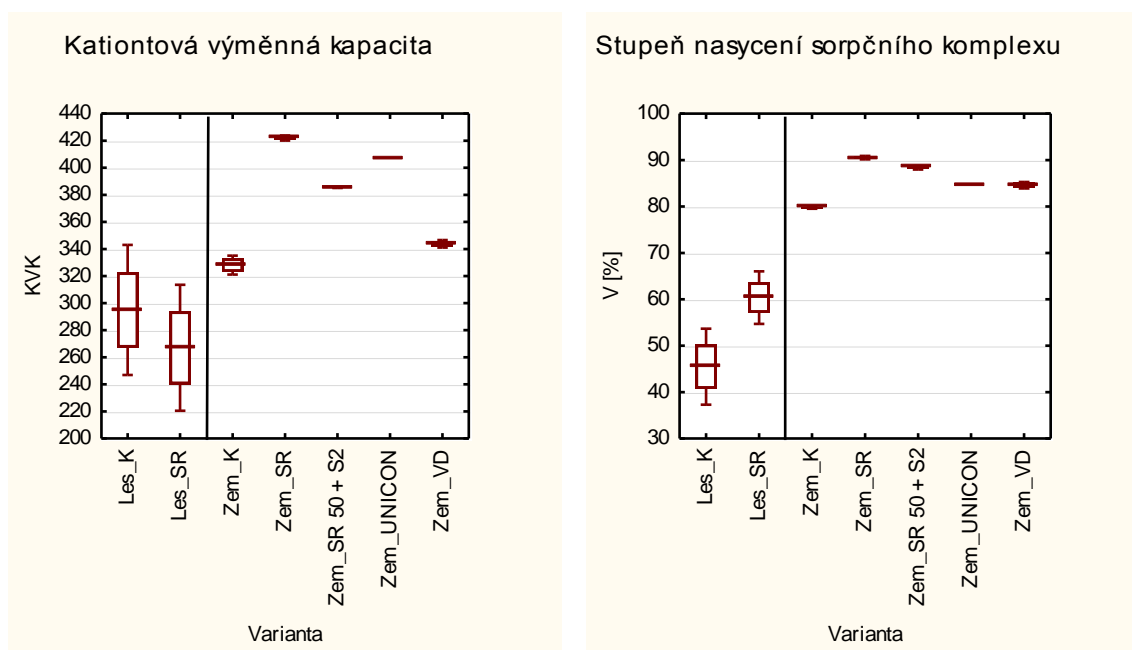


Obr. 7: Srovnání zjištěných hodnot potenciálně výměnné půdní reakce na jednotlivých variantách (zdroj: vlastní analýzy).

6.2.2.2 Půdní sorpce a stupeň nasycení sorpčního komplexu

Rozdíly mezi zjištěnými hodnotami maximální sorpční kapacity (kationtové výměnné kapacity) u variant s aplikací hnojiv na **lokality Z** nebyly vůči kontrolní variantě statisticky významné. U kontrolní varianty (K) byly zjištěna průměrná hodnota 328 mmol·kg⁻¹. U všech variant se pohybovala průměrná hodnota nad 340 mmol·kg⁻¹ (viz obr 8), z jednotlivých variant byla nejnižší maximální sorpční kapacita zjištěna u varianty VD (344 mmol·kg⁻¹) a nejvyšší u varianty SR (421 mmol·kg⁻¹). Všechny varianty včetně kontroly lze hodnotit jako vysoce sorpčně nasycené. I přes statistickou neprůkaznost lze sledovat rozdíly u jednotlivých variant (obr. 8).

Kontrolní varianta na **lokality L** oproti variantě SR rovněž nevykazuje statisticky významný rozdíl. Zatímco kontrolní varianta s průměrnou hodnotou 294 mmol·kg⁻¹ má sorpční kapacitu vyšší střední až velmi vysokou, u varianty SR (s průměrnou hodnotou 267 mmol·kg⁻¹) lze hodnotit sorpční kapacitu jako vyšší střední až vysokou, což je patrné i na grafu v obr. 8).



Obr. 8 a 9: Grafy srovnávající hodnoty kationtové výměnné kapacity (vlevo) a stupně nasycení sorpčního komplexu (vpravo) na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant.

Stupeň nasycení sorpčního komplexu u jednotlivých variant na **lokality Z** nebyl vůči kontrolní variantě statisticky významný. U kontrolní varianty byla zjištěna nasycenost sorpčního komplexu 79 %. U variant s aplikací hnojiv byl zjištěn nárůst, a to nejméně u varianty UNICON (na 84 %) a nejvíce u varianty SR (na 91 %), jak je patrné na obr. 9. U variant K, SR50 + S2, UNICON a VD byl hodnocen sorpční komplex jako nasycený, u varianty SR jako plně nasycený.

Rovněž na **lokality L** nebyl mezi kontrolní variantou a variantou SR zjištěn statisticky významný rozdíl. Kontrolní varianta s nasyceností sorpčního komplexu 40 -

50 % lze hodnotit jako silně až slabě nenasycený, variantu SR se střední hodnotou 60 % lze hodnotit jako slabě nenasycený až slabě nasycenou (srov. viz obr. 9).

Při srovnání lokality Z a L lze sledovat vyšší sorpční kapacitu i stupeň nasycenosti sorpčního komplexu u variant s aplikací hnojiv na lokalitě Z. Ani při srovnání variant na obou lokalitách nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami.

6.2.2.3 Celkové vyhodnocení fyzikálně-chemických vlastností

Lokalita Z: půdní sorpce u trvale travního porostu byla zjištěna jako silně kyselá, čemuž odpovídá i vyšší podíl vodíkových iontů H^+ v kationtové výměnné kapacitě než u ostatních variant a zároveň nižší stupeň nasycenosti sorpčního komplexu. U variant s aplikací hnojiv byl působením jednotlivých složek zvýšen podíl bazických iontů, stupeň sorpční nasycenosti i hodnota půdní reakce. Zlepšení fyzikálně-chemických vlastností půdy se nejlépe projevilo u varianty SR, i když toto zlepšení oproti ostatním variantám nebylo statisticky průkazné. Lze také konstatovat, že ke zlepšení vlastností docházelo u všech variant ve srovnání s kontrolou.

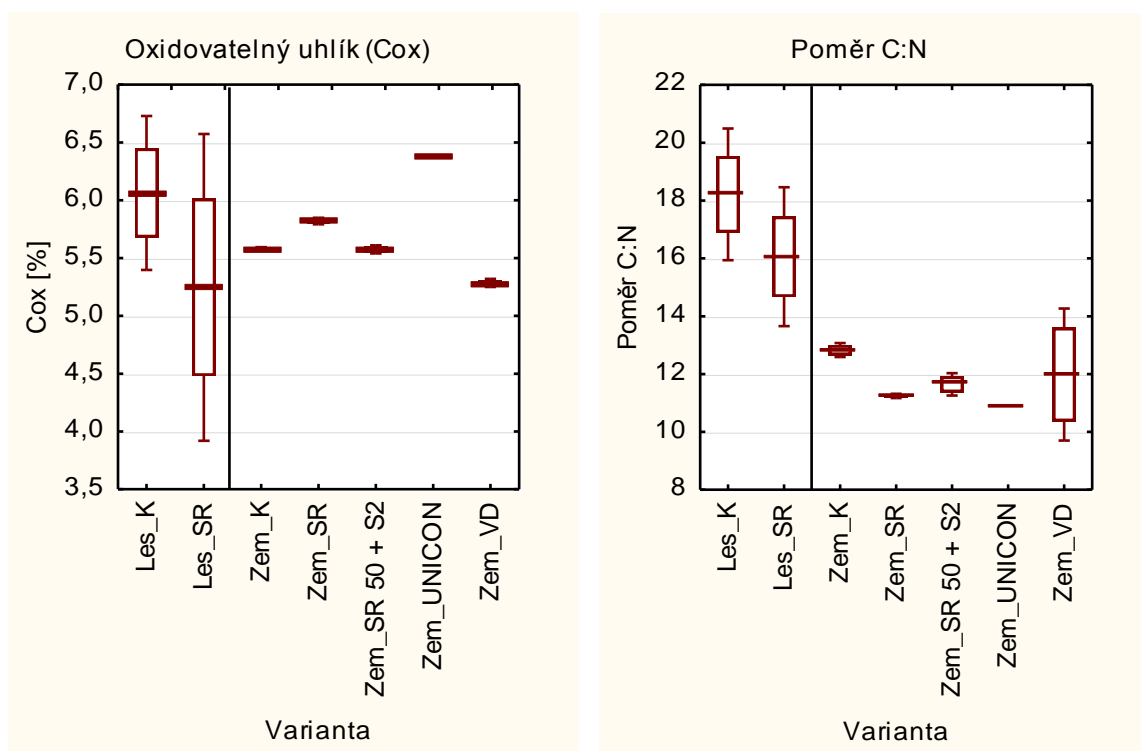
Lokalita L: u půdy s lesním porostem byla zjištěna půdní reakce velmi silně kyselá s vysokým podílem vodíkových iontů H^+ (nad $100 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) na sorpčním komplexu. Zároveň byl zjištěn vyšší podíl Al^{3+} iontů, což se projevilo i v nižším stupni nasycenosti sorpčního komplexu. Na variantě SR byla aplikací hnojiva půdní reakce mírně zlepšena, nepředstavuje však statisticky významné zlepšení fyzikálně-chemických vlastností. Hnojivo by bylo možno použít jako přilepšení kořenové výživy u výrazně kyselé půdy.

6.2.3 Chemické a nutriční vlastnosti půdy

6.2.3.1 Oxidovatelný uhlík (Cox) a poměr C:N

Statistickým porovnáním zjištěných hodnot u jednotlivých variant na **lokality Z** nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Na kontrolní variantě K bylo zjištěno 5,58 % zastoupení Cox. Účinek hnojivých látek na byl na variantě VD oproti kontrole záporný (5,28 %) a u varianty SR50 +S2 byl účinek indiferentní (5,58 %). U variant SR a UNICON byl zaznamenán kladný účinek, nejvyšší procento Cox bylo zjištěno u varianty UNICON (6,39 %). Rozdíl mezi jednotlivými variantami je patrný i v pravé části grafu na obr. 11. Pouze u varianty SR a UNICON je možno konstatovat pozitivní účinek na zvýšení podílu organické složky v půdě. Půdu lze u všech variant klasifikovat jako silně humózní.

Obdobně na **lokality L** nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou K a SR. U kontrolní varianty byla zjištěna střední hodnota 6,1 % Cox (viz levá část grafu na obr. 11), zatímco u varianty SR byl zaznamenán pokles střední hodnoty na 5,3 % Cox. I v tomto případě lze půdu klasifikovat jako silně humózní.



Obr. 10 a 11: Grafy srovnávající hodnoty oxidovatelného uhlíku (vlevo) a poměru C:N (vpravo) na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

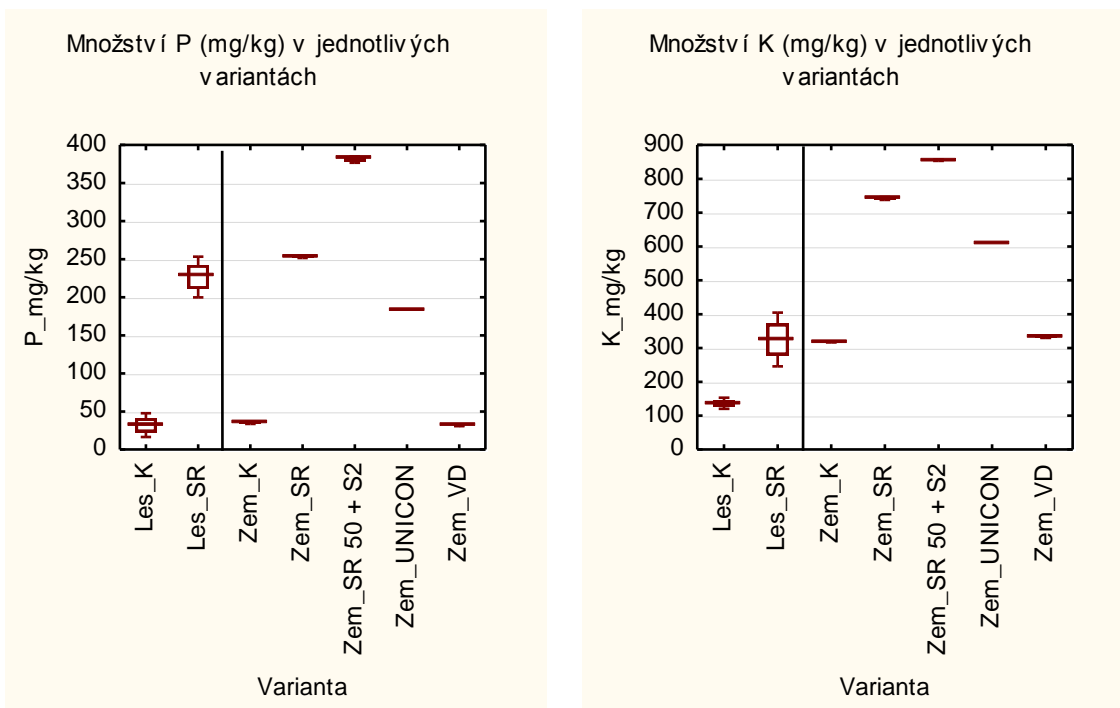
Při analýze poměru C:N u jednotlivých variant na **lokality Z** nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. U kontrolní varianty byl zjištěn poměr C:N s průměrnou hodnotou 12,8, což dle hodnocení překvapivě odpovídá spodní hranici pro lesní půdy.

Průměrné hodnoty ostatních variant – SR (11,2), SR 50 +S2 (11,6), UNICON (10,9) a VD (12,0) odpovídají hodnotám, typickým pro pastviny (tato skutečnost odpovídá prostředí trvale travního porostu). Aplikované přípravky u uvedených variant zlepšují oproti kontrolní variantě dekompoziční procesy a zvyšují její trofnost. Vzájemné porovnání jednotlivých variant je možno vidět v grafu na obr. 10.

Podobný proces lze sledovat i na **lokality L**. ačkoliv rovněž nebyla zjištěna statistická významnost rozdílu hodnot v obou variantách, průměrná hodnota SR (16,0) je oproti střední hodnotě kontrolní varianty (18,2) nižší, lze tedy předpokládat mírné zlepšení dekompozičních procesů. Obě varianty odpovídají poměru C:N na lesních půdách.

6.2.3.2 Obsah makroživin (P, K, Ca, Mg) v půdě

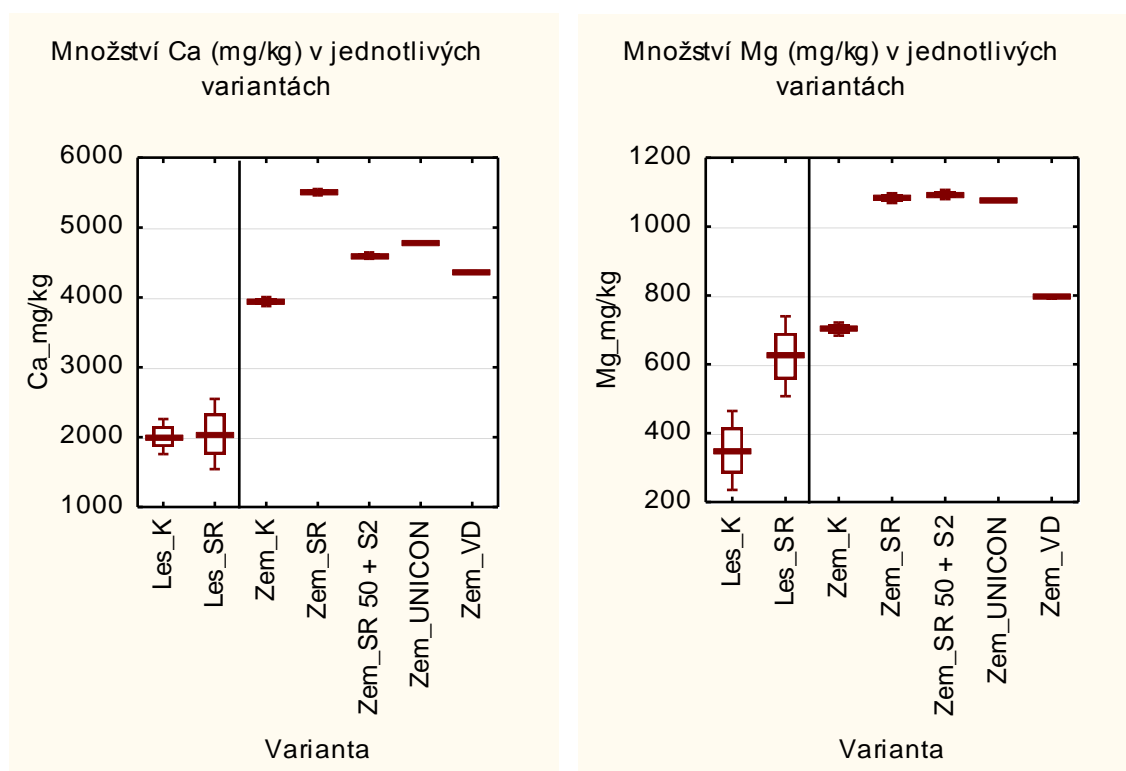
Při analýze fosforu (P) na **lokality Z** nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami (viz obr. 12), přesto byl u variant SR50 + S2, SR a UNICON zaznamenán výrazně vyšší obsah než na kontrole. Kontrolní varianta se průměrnou hodnotou $35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ představuje nízké množství P v půdě. Po aplikaci hnojiv došlo k nárůstu množství u variant UNICON ($181 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), SR ($253 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a SR50+S2 (až $381 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) až na dobrý stav, což je možné vidět na grafu na obr. 12. Pouze u varianty VD byl zaznamenán mírně negativní účinek (pokles oproti kontrolní variantě na $31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a množství živiny lze hodnotit jako nízké. Na **lokality L** rovněž nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl. Oproti kontrolní variantě se střední hodnotou $32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (nízké množství) se střední hodnota na variantě SR zvýšila na $226 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, což představuje velmi vysoké množství.



Obr. 12 a 13: Grafy srovnávající hodnoty obsahu P (vlevo) a obsahu K (vpravo) na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

Ani při srovnání množství draslíku (K) u jednotlivých variant na **lokality Z** nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl, i přesto byl zjištěn na přihnojených variantách výrazně vyšší obsah K oproti kontrole. Na kontrolní variantě byla střední hodnota $318 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. U všech variant došlo s aplikací hnojiv ke zvýšení obsahu draslíku v půdě (viz pravá část obr. 13), nejméně u varianty VD (střední obsah živiny, střední hodnota $330 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). U ostatních variant došlo ke zvýšení obsahu živin až na dobrý stav, nejlepší výsledky byly zaznamenány na variantě SR50+S2 (až $855 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Na **lokality L** variantě SR došlo oproti kontrolní variantě (průměrná hodnota $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) k vylepšení stavu až na vysoký obsah K v půdě, statisticky byl tento rozdíl neprůkazný (viz levá část obr. 13).

Analýza obsahu vápníku (Ca) u jednotlivých variant na **lokality Z** neprokázala statisticky významný rozdíl, i přesto zde byl zaznamenán vyšší obsah oproti kontrolní variantě (viz obr. 14). U kontrolní varianty byl zjištěn průměrný obsah $3940 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; na variantách s aplikací hnojiv došlo k nárůstu obsahu Ca, nevíce u varianty SR (až na $5506 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a nejméně u varianty VD (průměrná hodnota $4368 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Oproti variantám na lokalitě L se jedná o velmi vysoké hodnoty a poukazují na vysokou úroveň obsahu Ca před aplikací, způsobenou pravděpodobně dodáváním vápenatých hnojiv při intenzivním zemědělském využívání (viz obr. 14). Na **lokality L** je obsah Ca hodnocen u obou variant jako velmi vysoký, u varianty SR došlo k nárůstu, avšak nebyl v porovnání s kontrolou statisticky významný.



Obr. 14 a 15: Grafy srovnávající hodnoty obsahu Ca (vlevo) a obsahu Mg (vpravo) na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

Obdobně i analýza obsahu hořčíku (Mg) v půdě neprokázala v porovnání jednotlivých variant na **lokality Z** statisticky významný rozdíl, podobně jako u vápníku došlo k výraznému zvýšení obsahu (kromě varianty VD; patrné z grafu na obr. 15). U kontrolní varianty byl zjištěn dobrý obsah Mg (průměrná hodnota $702 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), po aplikaci hnojiv se obsah Mg u všech variant ještě navýšil (nejvíce u varianty SR50+S2 na $1093 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, nejméně u varianty VD na $794 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Na **lokality L** byl zaznamenán rovněž statisticky nevýznamný nárůst obsahu Mg u varianty SR oproti kontrole (viz levá část grafu na obr. 15), obsah byl na obou variantách vyhodnocen jako velmi vysoký.

6.2.3.3 Celkové vyhodnocení chemických vlastností

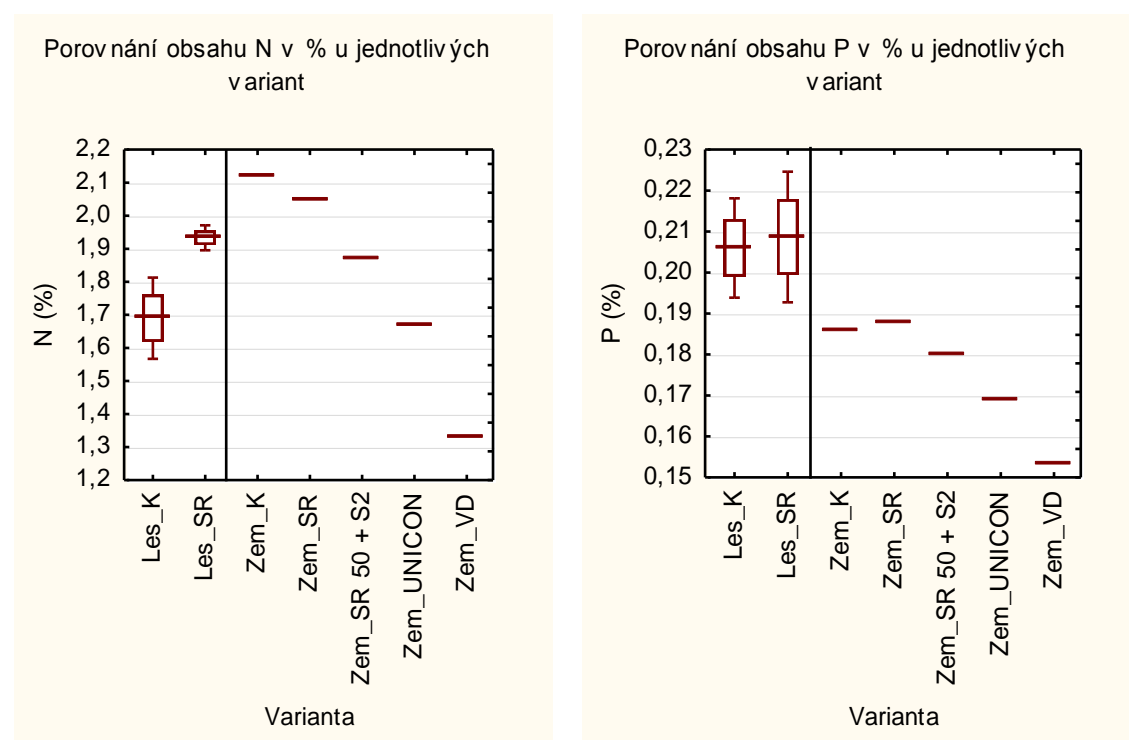
Lokalita Z: při porovnání kontroly s variantami s aplikací hnojiv bylo zaznamenáno statisticky nevýznamné zlepšení půdních vlastností. Na zvýšení podílu organické hmoty měly pozitivní účinek hnojiva na variantách SR a UNICON; zvýšení půdní trofnosti a zlepšení procesu dekompozice bylo zjištěno u všech variant. Pozitivní účinek se projevil i u zvýšení obsahu makroprvků. Nejlépe lze hodnotit varianty SR a SR50+S2, nejnižší nárůst byl vždy u varianty VD. Vysoký obsah bazických kationtů tak pravděpodobně napomáhá zvýšení půdní reakce, která se nejlépe projevuje právě u variant SR a SR50+S2, nejméně u varianty VD. Velmi vysoký obsah Ca u všech variant je pravděpodobně způsoben intenzivní zemědělskou kultivací. Půdu lze označit jako velmi trofnou.

Lokalita L: na variantě s aplikací hnojiva byl v daných půdních podmínkách zaznamenán nárůst obsahu jednotlivých makroprvků na vysokou až velmi vysokou úroveň (v hodnocení lesních půd). Pozitivní vliv mělo hnojivo i na kvalitu dekompozice, což se projevilo snížením poměru C:N oproti kontrolní variantě. Mírné zhoršení podílu organické hmoty v půdě u varianty SR může být způsobeno obtížnou dekompozicí smrkového opadu.

6.3 Vliv hnojiv na nutriční poměry asimilačního aparátu

6.3.1 Obsah makroživin v asimilačním aparátu

Při analýze obsahu dusíku (N) u variant na **lokality Z** nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Na kontrolní variantě byl zjištěn procentuální obsah 2,12 %. U variant s aplikací hnojiv byl zaznamenán pokles procentuálního obsahu N oproti kontrolní variantě, nejmenší rozdíl u varianty SR (2,05 %), největší rozdíl oproti kontrolní variantě byl u varianty VD (1,33 %). U varianty SR50+S2 střední hodnota (1,87 %) a u varianty UNICON 1,67 % N. Srovnání všech variant je patrné z grafu na obr. 16. Kontrolní varianta, varianta SR a SR50+S2 v nadoptimálním stavu, varianta UNICON v optimálním stavu a varianta VD na hraniční hodnotě optimálního stavu. Na **lokality L** rovněž nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl variant. Kontrolní varianta se nacházela v optimálním výživovém stavu (střední hodnota 1,68 %), u varianty SR byl zaznamenán nárůst do stavu nadoptimálního (střední hodnota 1,93 %), srovnání jednotlivých variant viz graf na obr. 16.

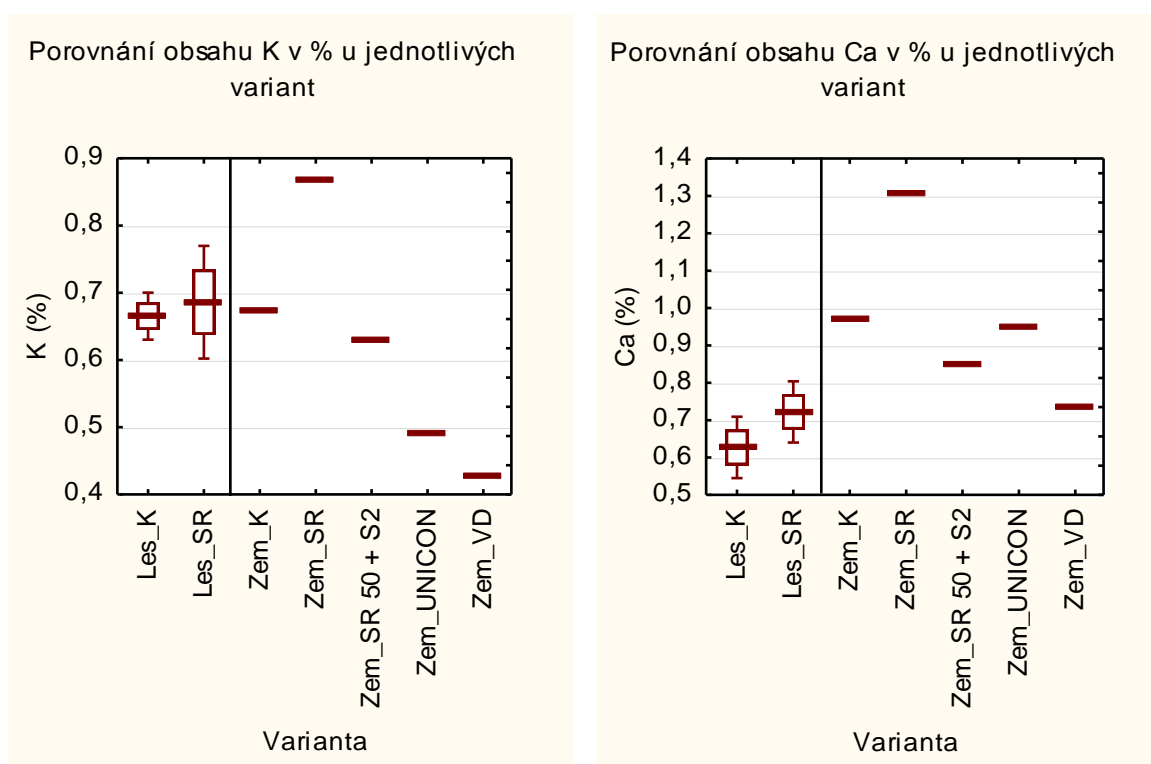


Obr. 16 a 17: Grafy srovnávající procentuální výživovou hodnotu N (vlevo) a P (vpravo) v asimilačním aparátu na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

Při analýze obsahu fosforu (P) na **lokality Z** nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl. Na obou lokalitách se P nachází v optimálním výživovém stavu. Na kontrolní variantě byl zjištěný obsah P 0,185 %. Mírně lepší výživový stav byl zaznamenán na variantě SR (0,188 %). U variant SR50+S2, UNICON a VD je z grafu

na obr. 17 vidět sestupná tendence procentuálního obsahu P v asimilačním aparátu, nejnižší podíl u varianty VD (1,528 %). Na **lokality L** byl zaznamenán mírný nárůst obsahu P v sušině u varianty SR oproti kontrolní variantě, tento nárůst byl však statisticky nevýznamný (viz levá část grafu na obr. 17).

V případě obsahu draslíku (K) na **lokality Z** také nebyl analýzou zjištěn statisticky významný rozdíl jednotlivých variant. Na kontrolní variantě byla zjištěna průměrná hodnota 0,67 %. Pozitivní vliv aplikovaného hnojiva lze zaznamenat u varianty SR (střední hodnota 0,87 %), u ostatních variant byl zaznamenán pokles procentuálního zastoupení K v asimilačním aparátu (viz obr. 18). Varianta SR50+S2 (0,63 %) se nachází v optimálním výživovém stavu, varianty UNICON (0,49 %) a VD (0,42 %) se nacházejí mírně pod výživovým optimem. Na **lokality L** byl podobně jako u P zaznamenán mírný statisticky nevýznamný nárůst oproti kontrolní variantě.

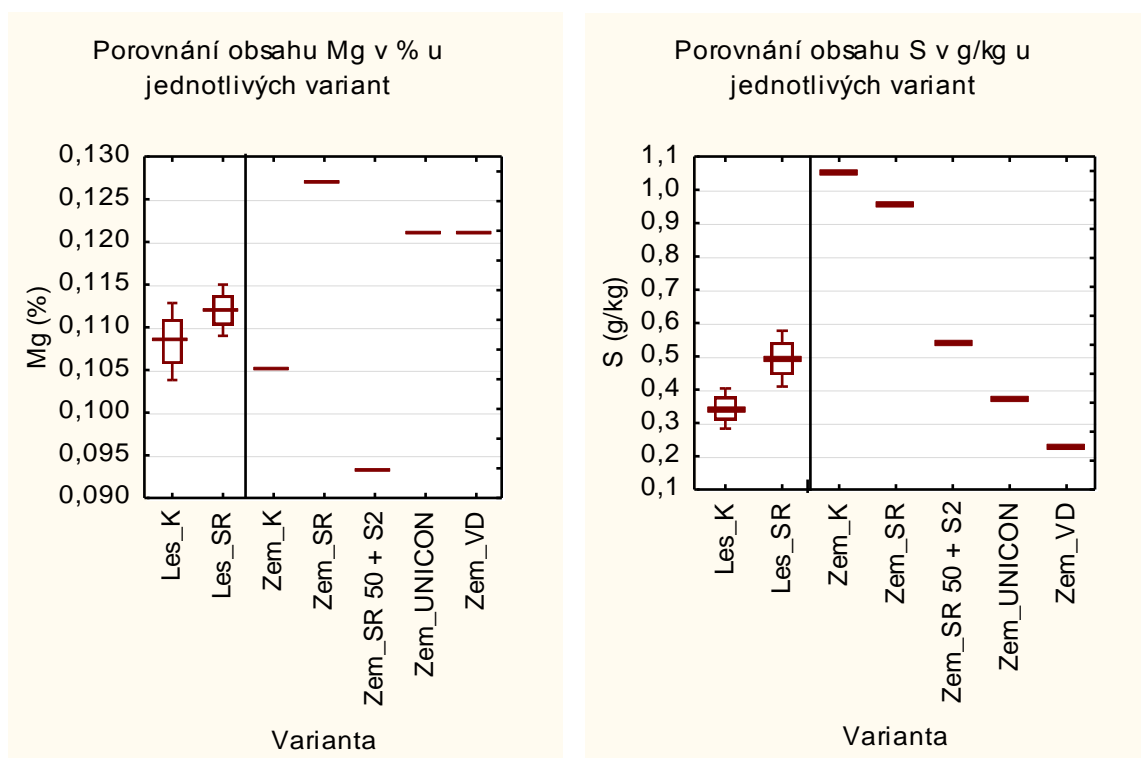


Obr. 18 a 19: Grafy srovnávající procentuální obsah K (vlevo) a Ca (vpravo) v asimilačním aparátu na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

Obdobně analýza obsahu Ca v asimilačním aparátu na jednotlivých variantách **lokality Z** neprokázala statisticky významný rozdíl. U kontrolní varianty byla zjištěna průměrná hodnota 0,97 % a tato hodnota představuje nadoptimální výživový stav. Vyšší procentuální obsah byl zjištěn pouze u varianty SR (1,31 %), u ostatních variant byl obsah Ca oproti variantě nižší (UNICON 0,94 %, SR50+S2 0,85 % a VD 0,74 %, viz obr. 19). Všechny varianty s aplikací hnojiv se nacházejí v optimálním výživovém stavu. Nižší obsah Ca je u **lokality L** patrný z levé části grafu na obr. 19. Kontrolní varianta se střední hodnotou 0,63 %, varianta s aplikací hnojiv SR se střední hodnotou

0,72 % představuje mírné zlepšení stavu. Obě varianty na lokalitě L se nacházejí v optimálním výživovém stavu.

Analýza obsahu hořčíku (Mg) u variant na **lokalitě Z** rovněž neprokázala statisticky významný rozdíl. U kontrolní varianty byl zjištěn obsah Mg 0,10 %, vyšší hodnota byla zaznamenána u varianty SR (0,12 %) a u variant UNICON a VD byl zaznamenán stejný obsah (viz obr. 20) 1,21 %. Nejnižší hodnota byla zaznamenána u varianty SR50+S2 (0,09 %). Všechny varianty se nacházejí v optimálním výživovém stavu; u varianty VD je vzhledem k charakteru dodávaných živin překvapivě nízký obsah Mg v porovnání s ostatními variantami. U **lokalitě L** nebyly zaznamenány statisticky významné rozdíly. Lze pozorovat mírný nárůst obsahu Mg u varianty SR s aplikací hnojiva. Obě varianty se nacházejí v optimálním výživovém stavu.



Obr. 20 a 21: Grafy srovnávající procentuální množství Mg (vlevo) a množství S v $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (vpravo) v asimilačním aparátu na lokalitě L a Z podle jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

Analýza síry (S) na jednotlivých variantách **lokalitě Z** neprokázala statisticky významné rozdíly. Na kontrolní variantě byl zjištěn obsah síry $1,05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, což představuje pro výživu smrku spodní hranici výživového optima. Jedinci na ostatních variantách se nacházeli dle analýzy v podoptimálním stavu (viz obr. 21). Na variantě SR byla zjištěna průměrná hodnota $0,95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, u varianty SR50+S2 $0,54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, varianta UNICON $0,37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ a nejméně na variantě VD $0,23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Na **lokalitě L** také nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní a hnojenou variantou. U kontrolní varianty byla zjištěna střední hodnota $0,34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, u varianty s hnojivem $0,49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

6.3.2 Celkové vyhodnocení nutričních poměrů asimilačního aparátu

Lokalita Z: při srovnání procentuálního zastoupení makroživin u jednotlivých variant v porovnání s kontrolou lze konstatovat, že rozdíly ve výživě nebyly statisticky významné. I přesto lze sledovat rozdíl ve výživě u jedinců v jednotlivých variantách. V optimálním výživovém stavu se dle hodnotících kritérií nejlépe jeví jedinci na variantě SR, kde bylo zjištěno optimální procentuální zastoupení všech analyzovaných makroprvků. Nejnižší obsah makroprvků byl zaznamenán u varianty VD (nárůst oproti kontrolní variantě zde byl pouze Mg ve vyšším výživovém obsahu). U ostatních variant s aplikací hnojiv byly nutriční hodnoty diferencované (např. u varianty SR50+S2 vyšší hodnota N vůči kontrolní variantě, ale výrazně nižší u Mg).

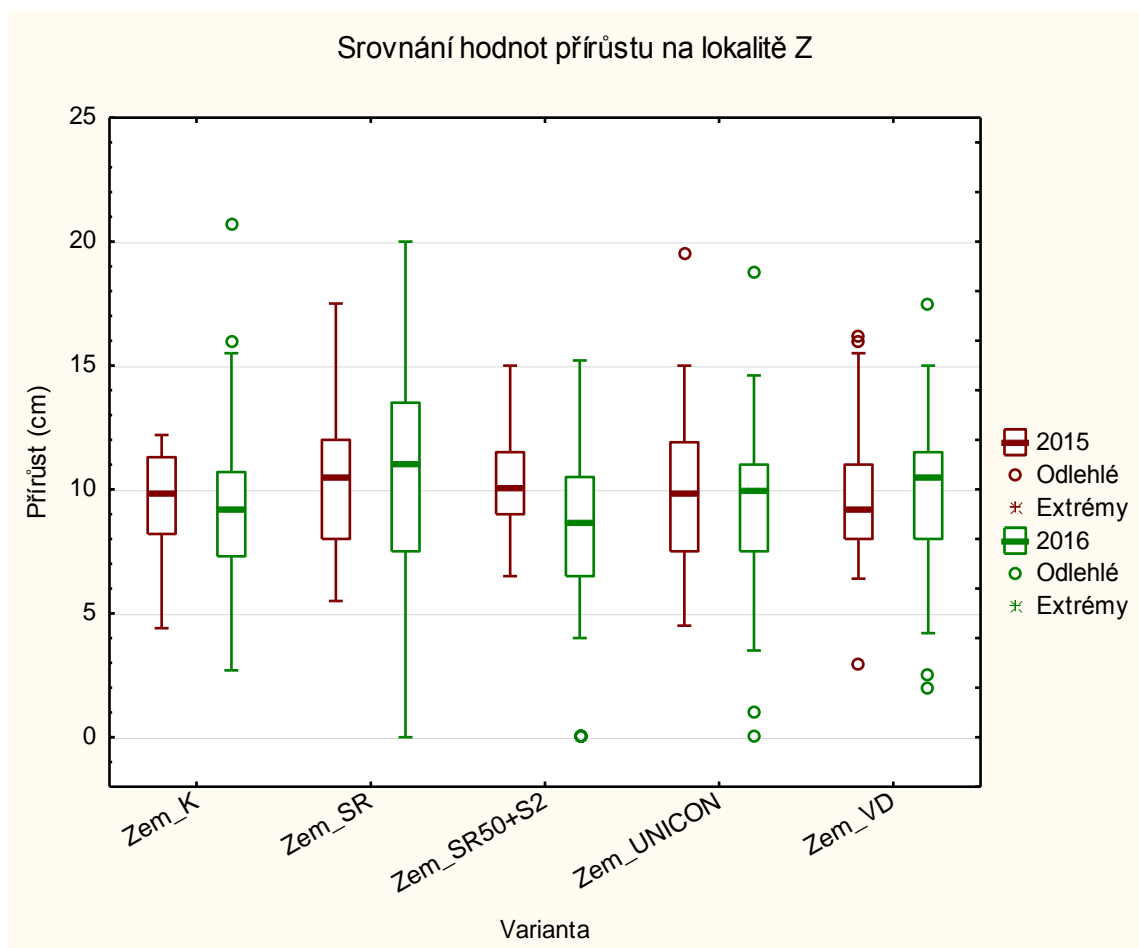
Lokalita L: při srovnání kontrolní varianty s hnojivou variantou nebyly prokázány statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami. U obou variant se jedinci nacházeli v optimálním výživovém stavu, na variantě s aplikací hnojiv byl u všech makroprvků vyšší stav.

6.4 Vliv hnojiv na vývoj morfologických veličin

6.4.1 Výškový přírůst

Srovnáním naměřených hodnot pomocí ANOVY při dané hladině významnosti ($\alpha = 0,05$) byly prokázány rozdíly v přírůstu mezi jednotlivými variantami na lokalitě Z jako těsně nevýznamné, nulová hypotéza nebyla zamítnuta ($p = 0,068$) a pozitivní vliv hnojiv nelze jednoznačně prokázat. Mnohonásobné porovnání neodhalilo statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami druhý rok po výsadbě (zelené krabicové grafy na obr. 22), přesto došlo u variant SR a VD k vyššímu přírůstu.

Z grafu na obr. 22 je patrné, že v porovnání s kontrolní variantou byl vyšší přírůst v roce 2016 oproti minulému roku na variantě SR (meziročně o 1,5 %), vyšší průměrný přírůst byl zaznamenán i u varianty VD (meziročně o 0,8 %). Na variantě SR50+S2 byl průměrný přírůst oproti předchozí vegetační sezóně nižší (meziročně o -23,5 %) a zároveň nižší než na kontrolní variantě, u varianty UNICON byl přírůst také meziročně nižší (o -3,8 %) a v porovnání s kontrolní variantou nepatrně vzrostl (pro srov. graf na obr. 22).

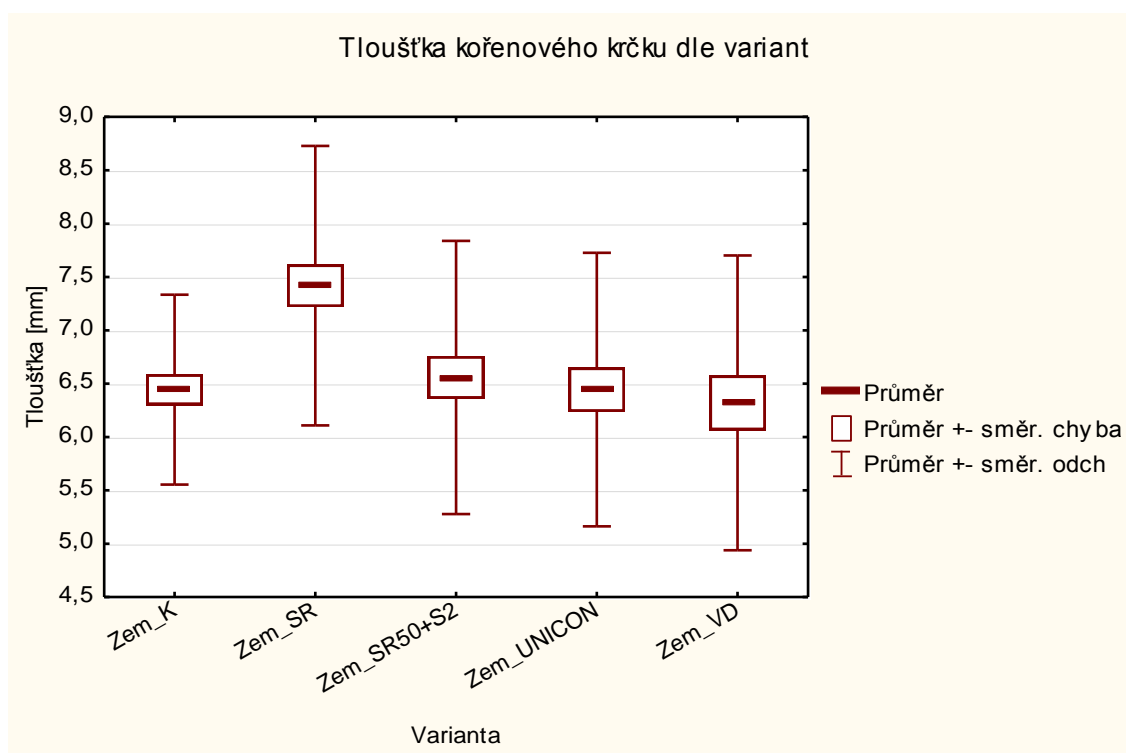


Obr. 22: Graf srovnávající zjištěné hodnoty přírůstu z podzimu 2016 na lokalitě Z v porovnání se zjištěnými hodnotami přírůstu z roku 2015 (zdroj dat: vlastní měření a analýzy).

6.4.2 Tloušťka kořenového krčku

Srovnáním naměřených hodnot kořenového krčku pomocí ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou SR. Pouze u této varianty lze statisticky prokázat pozitivní hnojivý účinek (viz obr. 23).

U ostatních variant v porovnání s kontrolní variantou nebyl statisticky významný rozdíl prokázán; nárůst střední hodnoty oproti kontrolní variantě byl zaznamenán u varianty SR50+S2 (průměrně o 1,8 %). U varianty UNIKON byl růst ve srovnání s kontrolní variantou indiferentní. U varianty VD byl zaznamenán nižší průměrný přírůstek (oproti kontrole pokles o 1,8 %).

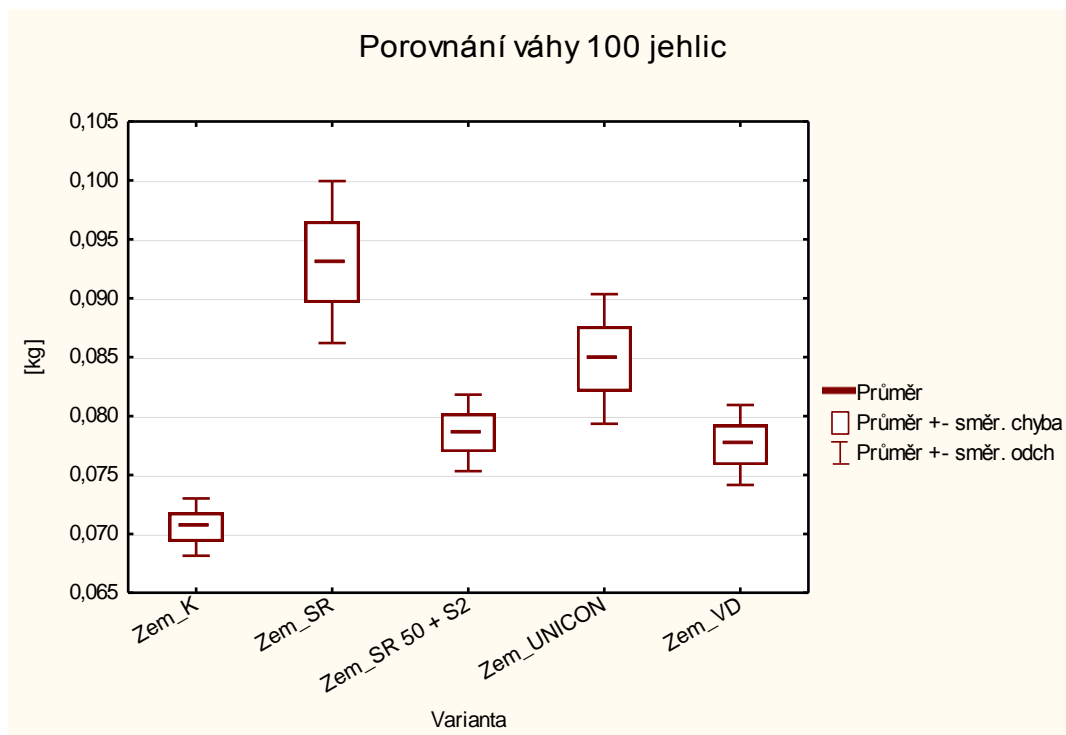


Obr. 23: Srovnání tloušťky kořenového krčku u jednotlivých variant na lokalitě Z (zdroj dat: vlastní analýzy).

6.4.3 Hmotnost 100 jehlic

Při analýze hmotnosti 100 jehlic byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou, variantou SR a UNIKON (při hladině $p = 0,0048$). U těchto dvou variant lze prokázat pozitivní vliv hnojiv na množství sušiny jehličí smrku.

Pozitivní vliv působení hnojiv na množství sušiny ve vzorku byl oproti kontrolní variantě zaznamenán u všech variant (viz obr. 24). Nejmenší účinek byl zaznamenán u varianty VD (nárůst 9,9 % proti kontrolní variantě), nejvyšší u varianty SR – (31,81 % oproti kontrolní variantě), dále varianta UNIKON (nárůst o 22,2 % oproti kontrolní variantě).



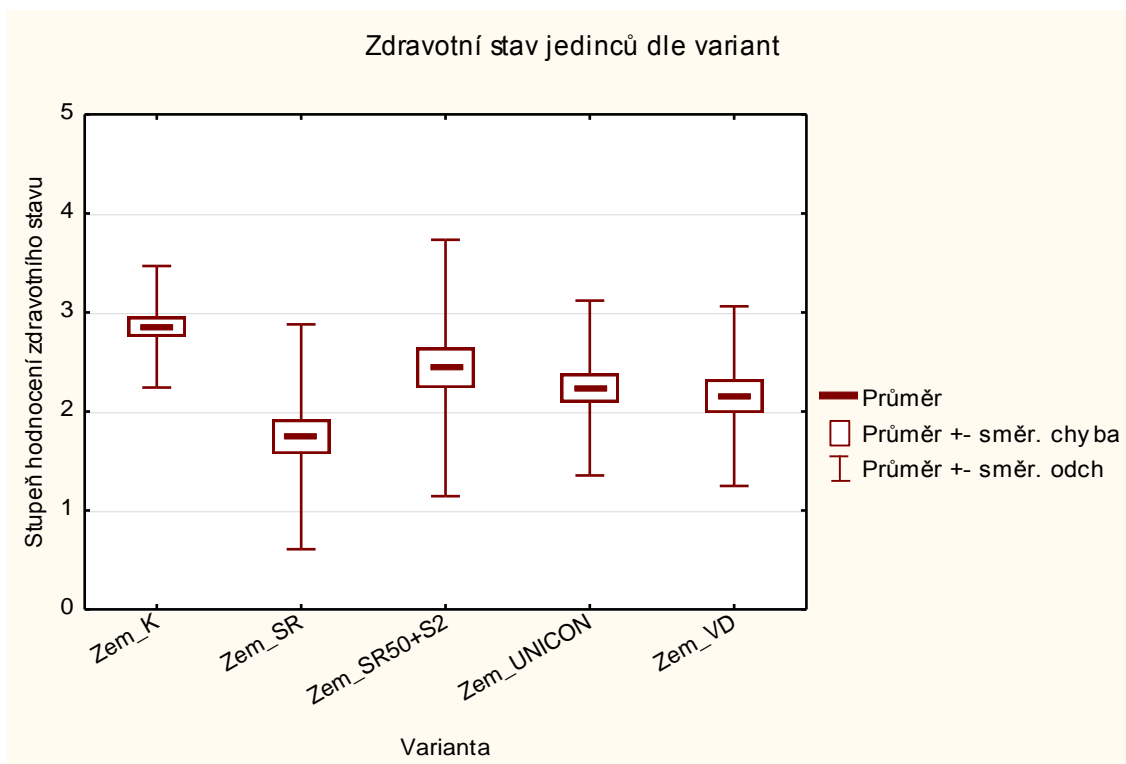
Obr. 24: Vliv hnojivých přípravků na výživu v sušině jehličí smrku ztepilého v prvním roce od aplikace na lokalitě Z u jednotlivých variant (zdroj dat: vlastní analýzy).

6.4.4 Zdravotní stav

Statistickou analýzou hodnot zdravotního stavu byl zjištěn statisticky významný rozdíl (při $p = 0,000$) v porovnání variant s aplikací hnojiva a kontrolní variantou (obr. 25). Rozdíl byl zaznamenán oproti kontrolní variantě u všech variant a lze prokázat pozitivní účinek působení hnojiv na zdravotní stav. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán i mezi variantami SR a SR50+S2 a mezi SR a UNICON v prvním roce po aplikaci.

Při porovnání jednotlivých variant v grafu na obr. 25 je patrné, že nejlepší zdravotní stav byl zaznamenán u jedinců na variantě SR. Z celkového počtu 42 jedinců na variantě SR bylo 18 vitálních bez poškození (1), 11 s velmi mírně zhoršeným zdravotním stavem (1,5), 9 s mírným poškozením a slabou dekolorací (2), 1 s mírnou až středně sníženou vitalitou (2,5) a 4 jedinci odumřeli, z toho polovina odumřela na následky poškození při ožínání kultur. Srovnání zdravotního stavu jedinců v rámci ostatních variant uvádí tabulka 12.

Zdravotní stav některých jedinců je fotograficky dokumentován a pro názornost uvedený v Přílohách (viz příloha 7 – 11).



Obr. 25: Graf srovnávající hodnocení zdravotního stavu jedinců na lokalitě Z v jednotlivých variantách na podzim 2016 (zdroj dat: vlastní měření a analýzy).

Tab. 12: Srovnání zjištěného zdravotního stavu na jednotlivých variantách (zdroj: vlastní analýza zdravotního stavu, podzim 2016).

Varianta	Zdravotní stav									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
Zem_K	1	-	4	7	21	4	-	-	1	
Zem_SR	18	11	9	1	-	-	-	-	4	
Zem_SR50+S2	4	11	10	5	4	-	-	-	7	
Zem UNICON	3	5	17	7	3	-	1	-	2	
Zem_VD	3	8	8	3	5	-	1	-	1	

6.4.5 Vyhodnocení biometrických analýz

Přírůst ve vegetační sezóně 2016 (tj. 1 rok) po aplikaci hnojiv nebyl ve srovnání s minulou vegetační sezónou u jednotlivých variant statisticky prokazatelný. Přesto došlo u variant SR a VD k mírnému zvýšení středních hodnot. Statisticky prokazatelný pozitivní vliv na tloušťku kořenového krčku mělo hnojivo na variantě SR; mírný statisticky nevýznamný pozitivní vliv byl zaznamenán u varianty SR50+S2. Statistický významný pozitivní vliv hnojiv na množství sušiny bylo zaznamenáno u variant SR a UNICON. U ostatních variant byl zaznamenán pozitivní vliv hnojiv na množství sušiny v jehličí smrku. Pozitivní vliv hnojiv byl statisticky prokázán na zdravotní stav u všech variant, nejlépe pak u varianty SR a VD.

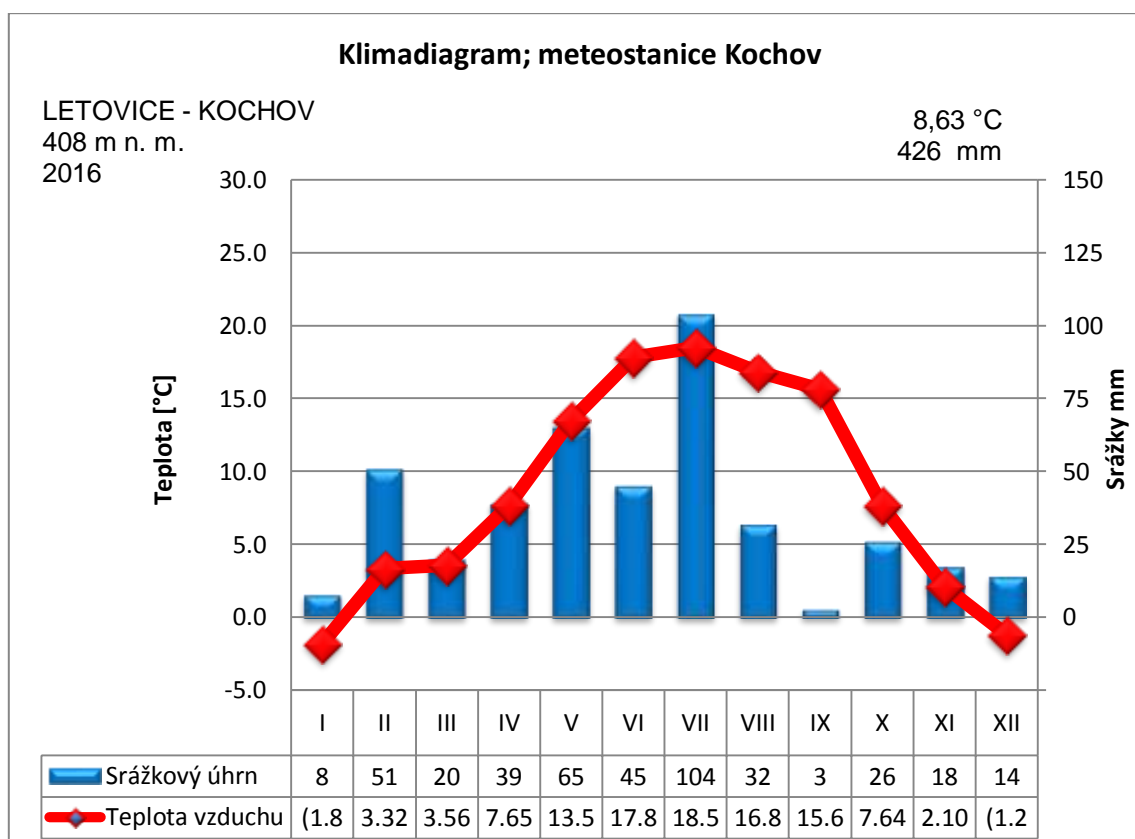
6.5 Klimatické podmínky v roce 2016

6.5.1 Teplota a srážky

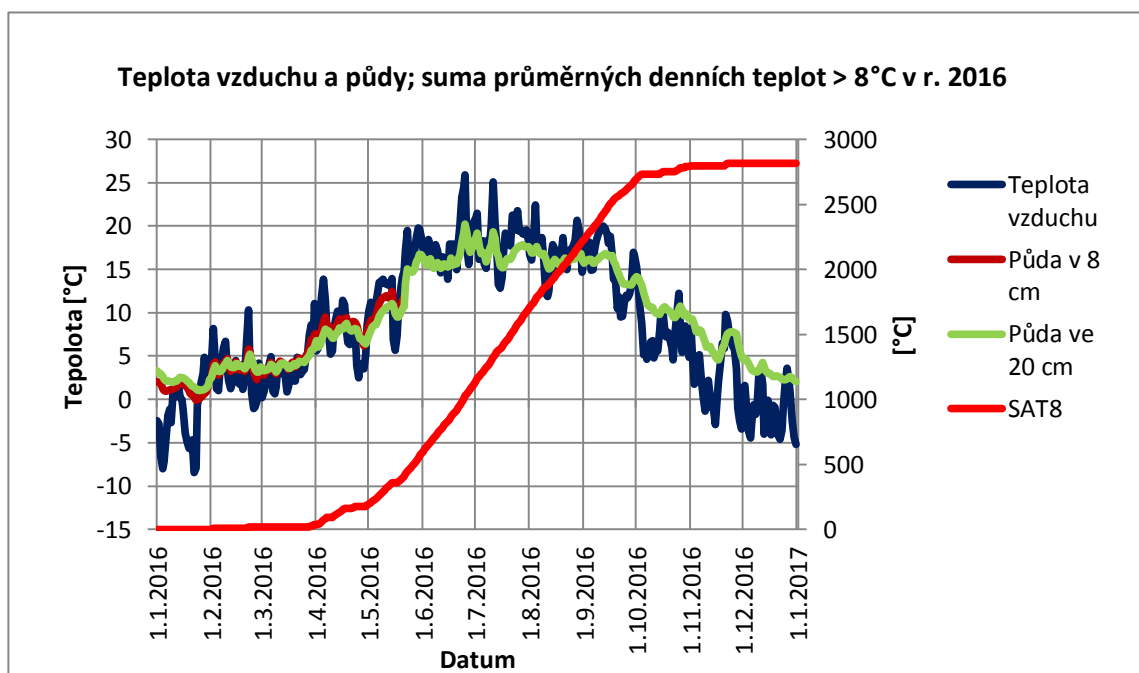
Průměrná roční teplota za rok 2016 byla 8,63°C, nejteplejším měsícem byl červenec (18,51°C), nejchladnějším měsícem byl leden (-1,82°C). Z hlediska dlouhodobých průměrů byla průměrná teplota mírně nadprůměrná, teplota v nejteplejším měsíci byla nadprůměrná, teplota v nejchladnějším měsíci byla podprůměrná.

Suma srážek za rok 2016 činila na výzkumné ploše 426 mm. Největší množství srážek bylo evidováno v září (3 mm), nejvyšší srážkové úhrny byly zaznamenány v červenci (104 mm). Podrobněji jsou údaje uvedeny v obr. 26 a 27.

Suma průměrných denních teplot nad 8°C (SAT8 v obr. 27) měla pro rok 2016 hodnotu 2818 °C, což odpovídá druhému (bukodubovému) lesnímu vegetačnímu stupni (Vieweg 1995). Celkové množství zaznamenaných srážek a průměrná roční teplota odpovídá kritériím prvního (dubového) LVS (podle Plívy 2001). Průběh teplot vzduchu včetně teploty půdy v 8 a 20 cm jsou uvedeny v grafu v obr. 28 a 29.



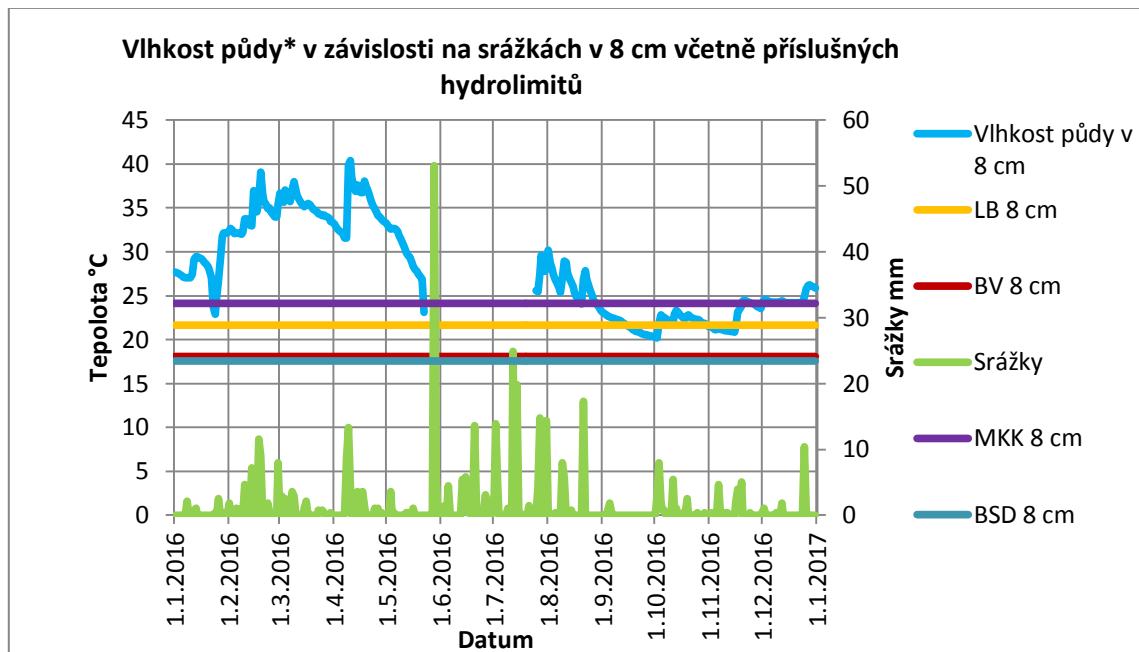
Obr. 26: Klimadiagram dočasné meteostanice Kochov za rok 2016 s údaji za jednotlivé měsíce (zdroj: systém ALA, UGP LDF MENDELU, vlastní analýzy).



Obr. 27: Teplota vzduchu a půdy v uvedených hloubkách a suma průměrných denních teplot vzduchu nad 8°C v roce 2016 (zdroj: systém ALA, UGP LDF MENDELU, vlastní analýzy).

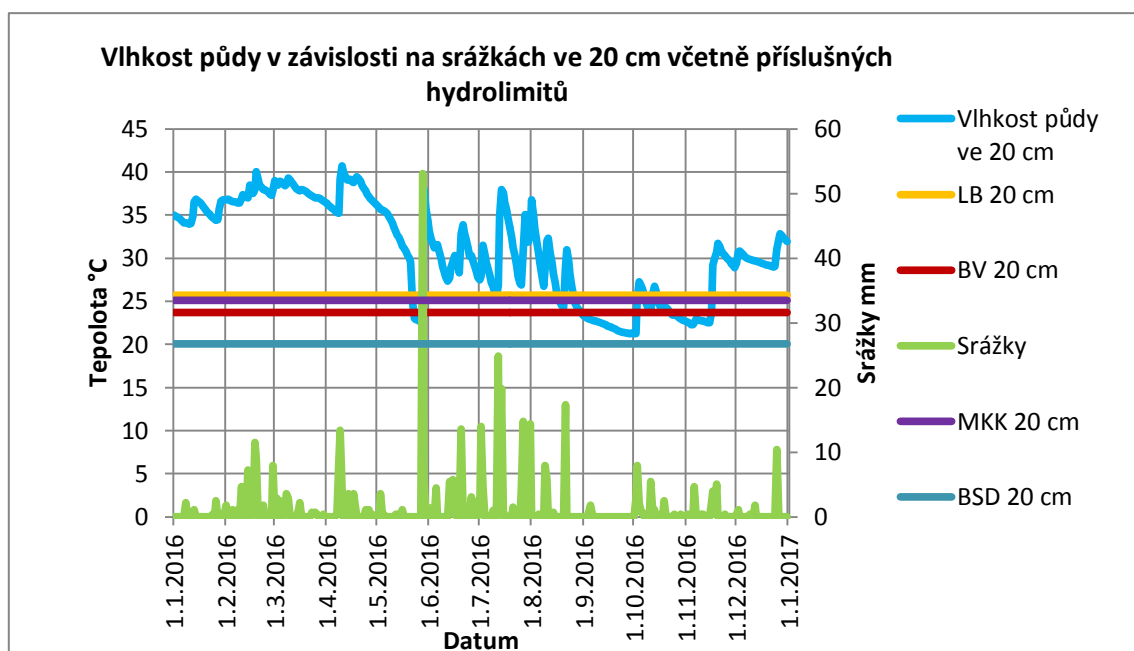
6.5.2 Vlhkost půdy a půdní hydrolimity

Zjištěná vlhkost půdy v hloubkách 8 a 20 cm v porovnání s vybranými hydrolimity je uvedena v grafu v obr. 28 a 29.



*Pozn.: data vlhkosti půdy mezi 23. 5 a 25. 7. nebyla zaznamenána kvůli výpadku vlhkostního čidla.

Obr. 28: Vlhkost půdy v závislosti na srážkách v 8 cm s příslušnými hydrolimity (zdroj: systém ALA, UGP LDF MENDELU, vlastní analýzy).



Obr. 29: Vlhkost půdy v závislosti na srážkách ve 20 cm s příslušnými hydrolimity (zdroj: systém ALA, UGP LDF MENDELU, vlastní analýzy).

Průběh objemové vlhkosti půdy ve sledovaném období naznačuje vzhledem ke stanoveným půdním hydrolimitům vysychavost stanoviště, a to zejména v hloubce 20 cm (viz obr. 29). Spodní hranice půdních hydrolimitů byla překročena v průběhu vegetační sezóny krátce v průběhu vegetace (5 dní na konci května) pod bod vadnutí, dlouhodoběji ke konci vegetačního období (33 dní na přelomu srpna a po celé září; zde zejména v závislosti na velmi malém množství srážek v IX. měsíci) a následně i na konci vegetační doby (25 dní na přelomu října a září). Snížení objemové vlhkosti pravděpodobně nepředstavuje výraznější riziko pro fyziologické procesy v dřevině. Během sledovaného období objemová vlhkost neklesla pod bod snížené dostupnosti, které by znamenalo sníženou hydratační energii a narušení příjmu živin. Snížená objemová vlhkost koresponduje s množstvím srážek a nelze vyloučit nedostatek půdní vláhy pro samotné jedince.

V hloubce 8 cm pokles objemové vlhkosti v jednotlivých měsících odpovídá poklesu v hloubce 20 cm (viz obr. 28). V této hloubce docházelo ke snížení objemové vlhkosti pod hranici maximální kapilární kapacity (snížená schopnost půdy zadržovat vodu pro potřebu rostlin, docházelo zde ke krátkodobému poklesu v zimním období a dlouhodobému mezi IX. – XI. měsícem) a pod zjištěnou hodnotu lentokapilárního bodu (pouze v období nedostatku srážek v září a listopadu).

V obou referenčních hloubkách dosahovala objemová vlhkost pod bod vadnutí: v 8 cm celkem 52 dní, ve 20 cm celkem 58 dní). Vzhledem k jižní až jihozápadní expozici a nadmořské výšce lze předpokládat i ekologická rizika, vedoucí k poškození sekundárními biotickými činiteli. Z hlediska vodního režimu nelze považovat riziko dostupnosti vody pro smrky za dlouhodobě závažné a to z hlediska sacího tlaku smrku (srov. např. Šach a Černošous 2015) a z hlediska geologického podloží stanoviště.

7 Diskuse

Na výzkumné ploše byl zkoumán vliv působení hnojivých přípravků na pedochemické charakteristiky, nutriční poměry jehličí a odrůstání jedinců smrku ztepilého. Vzhledem k pozitivním výsledkům vápnitého dolomitu na zlepšování pedochemických vlastností (Błonska et al. 2015, Kuneš 2003) a úspěšné odrůstání smrkové výsadby (Koňasová et al. 2012, Kuneš et al. 2007) byl na výzkumné ploše dolomitický vápenec aplikován. Výsledky analýz ovšem neprokázaly jednoznačně pozitivní vliv na zlepšení půdních vlastností. Pravděpodobně s ohledem na užívání pozemku v minulosti, kdy bylo mimo jiné užíváno vápenatých hnojiv, sorpční komplex může být více nasycen bazickými kationty Ca^{2+} a další kationty nepřijímá. Obdobně nebyl zaznamenán ani významnější vliv vápnitého dolomitu na výškový a tloušťkový přírůst, ani na nutriční poměry ve smrkovém jehličí; pozitivní však byl vliv na zlepšení zdravotního stavu. Vavříček et al. (2010) uvádějí pozitivní vliv na odrůstání smrku v imisních oblastech Krušných hor, z toho lze usuzovat, že působení dolomitického vápence je výraznější na nutričně degradovaných lokalitách a v místě trofnějšího stanoviště je jeho vliv indiferentní, nebo jen mírně pozitivní.

Výrazně pozitivní vliv mělo hnojivo Silvamix[®]R30, a to jak na pedochemii, nutriční poměry, odrůstání i zdravotní stav. Pozitivní vliv hnojiva řady Silvamix[®] uvádí i Pecháček et al. (2016), Podrázský et al. (1999) a Podrázský et al. (2003), indiferentní vliv na přihnojení uvádí Bartoš a Kacálek (2013) při odrůstání jedle bělokoré na trvale travní ploše. Rozdílnost vlivu si lze vysvětlovat rozdílnými požadavky na výživu u jednotlivých dřevin a průběh vodního režimu půdy. Pozitivní účinek byl sledován i v porovnání s lesní půdou. Převážně pozitivně působilo i hnojivo Silvamix[®]R50S2 s růstovými stimulatory, ale prokazatelně pozitivní vliv není jednoznačný.

Novinkou při testování pozitivního hnojivého účinku bylo hnojivo UniCon. Jeho účinek se jeví pozitivně a to zejména na zdravotní stav a tloušťkový přírůst. Vzhledem k charakteru postupně se uvolňujícího hnojiva se první rok po aplikaci projevil spíše indiferentně, avšak jeho účinek na půdní pedochemii se projevuje výrazněji než u dolomitického vápence. Dále je možno účinek hnojiva na ploše sledovat; jednou z možností slabšího účinku může být i klimaticky extrémní rok, a to zejména podle množství srážkového úhrnu.

Z hlediska volby dřevinné skladby není podle autorů výsadba smrku jako cílové dřeviny vhodná (Mikeska 2003, Vacek et al. 2006, Čermák 2007, Vacek a Simon 2009, Dušek a Slodičák 2009, Simanov 2014). U smrku je v nadmořské výšce 400 m n. m. v podmínkách bývalých zemědělských půd riziko napadení kořenovníkem vrstevnatým (*Heterobasidion annostum*) a václavkou smrkovou (*Armillaria ostoyae*). Ačkoliv se po výsadbě výrazněji neprojevil negativní vliv, vzhledem k možným rizikům zhoršování zdravotního stavu, autory hojně popisovanými (např. Mauer 2006, Čermák 2007, Vacek a Simon 2009, Dujka 2015) by bylo vhodné z hlediska hospodářských doporučení užít zalesňování smrkem za předpokladu vytvoření přípravného porostů. Tyto porosty později (cca ve 30 letech) podsadit cílovými dřevinami, odpovídajícími přirozené

skladbě dle stanoviště. V případě SLT 3S by to byl zejména buk s dubem a cennými listnáči – javor klen, lípa, popř. vtroušeně s třešní, jeřábem. Návrhem by mohlo být hospodaření v porostní směsi s dominancí BK (6 – 7), příměsí DB (1 – 2) a LP (1), popř. další JV, HB (± 1). Vacek a Simon (2009) uvádějí pro SLT 3S přirozenou dřevinnou skladbu BK 5 – 7, DB 2 – 3, LP ± 1 , HB 0 – 2, JV $0 \pm$, JD 0 – 1, JS $0 \pm$ (OS, BB, TR). Navrhované zastoupení by se shodovalo s potenciálně přirozenou vegetací a byla by lépe zajišťována ekologická i mechanická stabilita; dle současné legislativy by se na základě vyhlášky 83/1996 Sb., jednalo o listnatou variantu (s jedlí) v rámci HS 45.

Zjištěné výsledky by bylo možno do jisté míry zobecnit pro PLO 31 a to při posouzení těchto kritérií: nadmořská výška, soubor lesních typů, charakter a velikost zalesňované plochy. V souvislosti s výše uvedeným by bylo možné vypracovat pro PLO 31: a) soupis půdy nižších bonit, zemědělsky nevyužívané a degradované půdy; b) systematické rozčlenění podle nadmořské výšky, SLT, velikosti a charakteru zalesňované plochy, klimatických a půdních vlastností; c) etapový realizační plán zalesňování včetně výhledu na budoucích 20 let (aby daná metodika mohla odpovídat příslušnému OPRL).

Vzhledem k zjištěným podmínkám i konfrontací s literaturou by bylo možné na výzkumné ploše ponechat smrk. Mauer (2006) uvádí možnost zalesnit stejnou dřevinou, je-li nově zalesněná plocha vzdálena od stávajícího porostu do 30 m). Preferencí by měla být výsadba přípravných porostů, které mohou být tvořeny i smrkem.

V návaznosti na získané výsledky by bylo možno provést obdobný experiment s užitím zalesnění listnatými dřevinami, popř. také borovicí, kde by byly obdobným způsobem zjišťovány účinky hnojivých přípravků. Při získání pozitivních výsledků by bylo možno využít hnojiv při zalesňování.

Odlišnosti výsledků jednotlivých variant při měření mohly vycházet z několika skutečností, které by mohli měření negativně ovlivnit: terénní konfigurace výzkumné plochy a rozdílné zásobení vodou, šok z přesazení u některých jedinců, projevující se nižším přírůstem, mechanické poškození kořenového systému při výsadbě. Statistické analýza byla prováděna pro obě lokality zvlášť a statisticky významnost analýz by neměla být negativně ovlivněna větším rozptylem hodnot. Statistická nevýznamnost mohla být způsobena i nízkým počtem zjištěných hodnot, zejména u analýzy jehličí. K odchylkám mohlo částečně dojít i při odběru vzorků, měření morfologických charakteristik a při následných výpočtech.

8 Závěr

Podle současných prognóz vývoje bude v ČR do budoucna docházet k cílenému zalesňování zejména bonitně horších a zemědělsky nevyužívaných půd v rozsahu až stovek tisíc hektarů.

Výzkumná plocha byla založena v r. 2015 na trvale travní ploše, v minulosti intenzivně zemědělsky využívané. Účinky hnojiv byly zkoumány na dvouletých sazenicích smrku ztepilého (*Picea abies*). Z výzkumu vyplývají následující závěry:

I. aplikace hnojiv měla pozitivní vliv na zvýšení půdní reakce, zlepšení půdní sorpce, procesu dekompozice a trofnosti. Obsah makroprvků byl před aplikací na dané ploše dobrý, dodáním hnojiv se obsah makroprvků ve větší nebo menší míře zvyšoval a to i při porovnání s lesní půdou. Nejlepších výsledků bylo dosaženo po aplikaci pomalu rozpustných hnojiv Silvamix[®]R30 a Silvamix[®]R50S2.

II. účinek hnojiv na nutriční poměry asimilačního aparátu nebyl statisticky prokázán, i přesto však aplikované látky zlepšili nutriční stav. Nejlépe podle výsledků působilo na procentuální zastoupení živin rozpustné hnojivo Silvamix[®]R30, jehož pozitivní účinek byl zaznamenán také u lesní půdy. Nejméně z testovaných hnojiv působil dolomitický vápenec.

III. porovnání morfoloických veličin v r. 2015 a 2016 statisticky neprokázalo pozitivní vliv na výškový přírůst, prokázalo však pozitivní vliv na tloušťkový přírůst u rozpustného hnojiva Silvamix[®]R30. Pozitivní účinek hnojiva Silvamix[®]30 byl prokazatelný i při množství sušiny v jehličí společně s hnojivem UniCon. Všechna hnojiva měla prokazatelně pozitivní vliv na zdravotní stav, nejlépe u jedinců s aplikací rozpustného hnojiva Silvamix[®]R30 a u dolomitického vápence.

IV. Klima bylo v roce 2016 extrémní z pohledu množství srážek. Nízké množství srážek, zejména v průběhu vegetační sezóny mělo přímý dopad na půdní vlhkost a zhoršení vodního režimu. Zhoršený vodní režim mohl mít za následek zhoršení fyziologických procesů a zdravotního stavu jedinců.

Aplikaci hnojiv na výzkumné ploše lze hodnotit pozitivně, ačkoliv jejich pozitivní účinek nebyl statisticky jednoznačně prokázán. Pro praktické použití při zalesňování nelesních půd v PLO 31 lze doporučit rozpustné hnojivo Silvamix[®]R30, u něhož byl zjištěn pozitivní vliv na pedochemické vlastnosti, nutriční poměry, morfoloické charakteristiky i zdravotní stav. Hnojivo se jeví jako účinný prostředek pro úspěšné odrůstání kultur smrku ztepilého v prvních letech po výsadbě. Samotné aplikaci by měl vždy předcházet podrobný pedologický průzkum zalesňovaného stanoviště. Ostatní testovaná hnojiva je možno při zalesňování použít, nicméně jejich pozitivní účinek nelze jednoznačně zaručit. Problematické může být užití dolomitického vápence, zejména na půdách v minulosti intenzivně zemědělsky obhospodařovaných a pravidelně hnojených.

Vzhledem k dosavadnímu průběhu by bylo žádoucí pokračovat v experimentu na výzkumné ploše Letovice – Kochov za účelem dlouhodobějšího získávání dat.

9 Literatura a zdroje informací

BARTOŠ J., KACÁLEK D. 2013. Přihnojení mladého porostu jedle bělokoré na zemědělské půdě. In Zprávy lesnického výzkumu, 58 (3), s. 213 – 217.

BARTOŠ J., SOUČEK, J., KACÁLEK D. 2010. Smrk ztepilý na bývalých zemědělských půdách – vlastnosti dřeva v první generaci. In KNOTT a kolektiv: Pěstování lesa v nižších vegetačních stupních. Brno: UZPL LDF MENDELU, s. 5 – 12.

BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. (Entstehung, visuelle und analytische Diagnose). Sedond ed. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 762 s. ISBN 3-334-00248-9.

BÍNA, J., DEMEK, Jar., 2012. Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Vyd. 1. Praha: Academia, 343 s. ISBN 978-80-200-2026-0.

BLÓNSKA, E., MALEK, S., JANUSZEK K., BARSZCZ J., WANIC T. 2015. Changes in forst soil properties and spruce stand characteristics after dolomite, magnesite and serpentinite fertilisation. In European Journal Forest Reserch, 134. s. 981 – 990.

ČERMÁK, P. 2007. Zalesňování zemědělské půdy -- poučíme se?. In Veronica: časopis pro ochranu přírody a krajiny. 21 (5), s. 23--24.

ČERMÁK, P. a kol.: Atlas poškození dřevin [online] citováno dne 25. února 2017. Dostupné na World Wide Web: < <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/>>.

ČERNÝ, Z., LOKOVEC T., NERUDA J., 1995. Zalesňování nelesních půd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. 55 s. ISBN 80-7105-093-8. Český hydrometeorologický ústav, Resort životního prostředí [online] citováno dne 23. března 2017. Dostupné na World Wide Web: <http://chmu.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home>

ČUZK, Státní správa zeměměřičství a katastru [online] citováno dne 5. 3. 2017. Dostupné na World Wide Web: < <http://www.cuzk.cz/Uvod.aspx> >.

DEMEK, Jar., MACKOVČIN P., BALATKA B., 2006. Zeměpisný lexikon ČR. Vyd. 2. Brno: AOPK ČR, 580 s. ISBN 80-86064-99-9.

ĐUĐA R., REJL L., SLIVKA D. 2008. Minerály. Praha: AVENTINUM s. r. o., 520 s. ISBN 978-80-86858-44-9

DUJKA, P. 2015. Možnosti využití kapalných přípravků s růstovými regulátory a organickými fungicidy pro eliminaci václavky na stanovištích definovaných půdně nutričními poměry 5. a 6. LVS. Bakalářská práce. 57 stran + příloha.

DUŠEK D., SLODIČÁK M. 2009. Struktura a statická stabilita porostů pod různým režimem výchovy na bývalé zemědělské půdě. In Zprávy lesnického výzkumu, 54 (1), s. 12 – 16.

- DVOŘÁK, J., RŮŽIČKA, B., 1961. Historická geologie I. díl. Praha: SNTL, 335 s.
- HARTMANN, G., BUTIN H., NIENHAUS, F., 2001. Atlas poškození lesních dřevin: diagnóza škodlivých činitelů a vlivů: 517 barevných foto. Vyd. 3., V češtině 1. Praha: Brázda, 289 s. ISBN 80-209-0297-x.
- HAUPTMAN I., KUKAL Z., POŠMOURNÝ K., a kolektiv. 2009. Půda v České republice. Praha: Consult. 256 s. ISBN 80-903482-4-6
- CHLUPÁČ, I., 2011. Geologická minulost České republiky. Vyd. 2., opr. Praha: Academia, 436 s., xvi s. obr. příl. ISBN 978-80-200-1961-5.
- JANEČEK M., NOVÁK P. 2003. Pedologické podklady pro zalesňování zemědělské půdy. In Sborník z celostátního semináře zalesňování zemědělské půdy. Česká lesnická společnost, s.19 – 23.
- JŮVA, K., KLEČKA A., ZAHCAR D., a kol., 1975. Půdní fond ČSSR. Ochrana, využití a zvelebení. Praha: Akademia. 480 s.
- KACÁLEK D., BARTOŠ J. 2005. Prosperita kultur lesních dřevin na bývalých zemědělských pozemcích v prvních letech po výsadbě. In Zprávy lesnického výzkumu, 50 (2), s. 83 – 89.
- KACÁLEK, D., BARTOŠ, J., 2002. Problematika zalesňování neproduktivních zemědělských pozemků v České republice. In: Současné trendy v pěstování lesů. Sborník referátů mezinárodního semináře. Kostelec nad Černými lesy, 17. 1. 2006, KPL FLE ČZU v Praze a VÚLHM Jíloviště-Strnady, VS Opočno, s. 169 – 177.
- KOŇASOVÁ T., a kolektiv. 2012. Influence of limestone and amphibolite application on growth of Norway spruce plantation under harsh mountain conditions. In Journal of Forest Science, 58 (11). s. 492 - 502.
- KRAVKA M. a kolektiv. 2012. Plantáže dřevin pro biomasu, vánoční stromky a zalesňování zemědělských půd. Praha: Grada Publishing a. s. 102 s. ISBN 978-80-247-3925-0
- KUKAL, Z., NĚMEC J., POŠMOURNÝ, K., 2005. Geologická paměť krajiny. Vyd. 1. Praha: Česká geologická služba, 222 s. ISBN 80-7075-654-3.
- KUNEŠ I. 2003. Prosperity of spruce plantation after application of dolomitic limestone powder. In Journal of Forest Science, 49 (5). s. 220 – 228.
- KUNEŠ I. a kolektiv. 2007. Vliv jamkové a pomítné povrchové aplikace dolomitického vápence na množství a chemické složení biomasy smrků ztepilého v jizerských horách. In Zprávy lesnického výzkumu, 52 (4), s. 316 – 327.
- KUNEŠ I., BALCAR, V., BALÁŠ M. 2008. Porovnání účinků Silvamixu s účinky mletého amfibolitu. In Lesnická práce, 87 (4), s. 25 – 27.

KUPKA, I., PODRÁZSKÝ. 2010. Vliv druhového složení porostů na zalesněné zemědělské půdě na pedofyzikální vlastnosti a poutání uhlíku v povrchových horizontech. In KNOTT a kolektiv: Pěstování lesa v nižších vegetačních stupních. Brno: UZPL LDF MENDELU, s. 71 – 76.

MAUER O., 2011. Zakládání lesa II. Učební text. Brno: 217 s.

MAUER, O. 2006. Zalesňování zemědělských půd v nadmořských výškách 400 – 700 metrů na vodou neovlivněných stanovištích. In Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 201 – 208.

MIKESKA, M. 2003. Zalesňování nelesních půd v praxi. In Lesnická práce, 82 (10). s. 19 – 21.

Národní geoportál INSPIRE, CENIA, Česká informační agentura životního prostředí, [online] citováno dne 21. února 2017. Dostupné na World Wide Web:<<http://geoportal.gov.cz>>.

Národní inventarizace lesů v České republice 2001 – 2004, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 2007, ISBN 978-80-70-84-587-5, 224 s.

NĚMEC, J., HRIB M., ed. 2009. Lesy v České republice. Praha: Lesy ČR, 400 s., ISBN 978-80-903482-5-7.

NĚMEČEK, J., 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 79 s. ISBN 80-238-8061-6.

NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M., 1990. Pedologie a paleopedologie. 1.vyd. Praha: Academia, 546 s. ISBN 80-200-0153-0.

NERUDA J., a kolektiv. 2013. Technika a technologie v lesnictví. Díl první. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 364 s. ISBN 978-80-7375-839-4

NOVÁK, P. 2006. Pedologické a stanovištní podklady pro zalesňování zemědělské půdy. In Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 179 – 184.

PECHÁČEK J., JANOUŠEK J., DUNDEK P., VAVŘÍČEK D. 2016. Iniciální vliv hnojení na výživu a odrůstání smrku ztepilého na lokalitě Suchdol v oblasti Krušných hor. Nепublikovaná studie.

PETRÁNEK, J., 1993. Malá encyklopedie geologie. České Budějovice: Nakladatelství JIH, 246 s. ISBN 80-900351-2-4.

PLÍVA, K., 1991. Funkčně integrované lesní hospodářství. Přírodní podmínky v lesním plánování. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 264 s.

- PODRÁZSKÝ V., REMEŠ, J. 2005. Effect of forest tree species on the humus form state at lower altitudes. In *Journal of science*, 51 (2), s. 60 – 66
- PODRÁZSKÝ V., VACEK S., ULBRICHOVÁ I., 2003. Effect of fertilisation on Norway spruce needles. In *Journal of Forest Science*, 49 (7). s. 321 - 326.
- PODRÁZSKÝ, V., KACÁLEK D. 2006. Zalesňování zemědělských půd – Výzva pro lesnický sektor. In *Lesnická práce*, 85 (3).
- PODRÁZSKÝ, V., ŠTĚPANÍK, R. 2002. Vývoj půd na zalesněných zemědělských půdách – oblast LS Český Rudolec. In *Zprávy lesnického výzkumu*, 47 (2), s. 57 – 60.
- PODRÁZSKÝ, V., ULBRICHOVÁ I. 2004. Restoration of forest soils on reforested abandoned agricultural lands. In *Journal of forest science*, 50 (6), s. 249 – 255.
- PRŮŠA, E., 2001. Pěstování lesa na typologických základech. Kostelec nad černými lesy: *Lesnická práce*. 593 s., ISBN 80-86386-10-4.
- QUITT, E., 1971. Klimatické oblasti Československa. Praha: Academia, 73 s., [5] s.obr. příl.
- REJŠEK, K., 1999. *Lesnická pedologie: cvičení*. 1.vyd. Brno: MZLU, 152 s. ISBN 80-7157-352-3.
- SCHAAF, W., HÜTTL R. 2006. Experiences with liming in European countries – results of long-term experiments. In *Journal of Forest Science*, 50 (Special Issue). s. 35 – 44.
- SIMANOV, V., 2014. Zalesňování. In *Lesnická práce*. 93 (5), s. 29 – 31.
- SIMON J. 2003. Zalesnění zemědělského pozemku. In *Myslivost*, (6), s.
- Systém ALA, sonda Letovice – Kochov [online] citováno dne 23. 3. 2017. Dostupné na World Wide Web: < <http://data.ala1.com/> >.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., 2015. Hydraulický lift buku pro smrk: potenciálně významný ekosystémový proces pro pěstování smrkových porostů v souvislosti s klimatickou změnou oteplování. In *Zprávy lesnického výzkumu*, 60 (1), s. 53 – 63.
- ŠÁLY, R., 1977. *Lesnicke pôdoznalstvo*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 380 s.
- ŠIMEK, M., 2003. *Základy nauky o půdě*. Vyd. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 131 s. ISBN 80-7040-629-1.

ŠPULÁK, O., 2006. Příspěvek k zalesňování zemědělských půd v české republice. In Neuhöfferová (ed.) 2006: Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 15 – 23.

ŠPULÁK, O., KACÁLEK, D., 2011. Historie zalesňování nelesních půd na území České republiky. Zprávy lesnického výzkumu, 56, (1): 49-57.

ŠRÁMEK V., a kolektiv. 2006. Effect of forest liming in the western Krušné hory Mts. In Journal of Forest Science, 52 (Special Issue). s. 45 - 51.

ŠTYKAR, J., 2008. Lesnická fytoecologie a typologie. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 978-80-7375-144-91, 252 s.

TICHÁ, S., 2006. Výsadba dřevin na zemědělských půdách – historie a současnost. In Neuhöfferová (ed.) 2006: Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 25 – 31.

TJOELKER, M., BORATYŃSKI A., BUGAŁA, W., 2007. Biology and ecology of Norway spruce. Dordrecht: Springer, vi, 469 s. ISBN 978-1-4020-4840-1.

TOMÁŠEK, M. 2007. Půdy České republiky. Praha: Česká geologická služba. 68 s +41 bar. příl + mapa. ISBN 978-80-7075-688-1

UHLÍŘOVÁ, H., KAPITOLA P., 2004. Poškození lesních dřevin. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 288 s. ISBN 80-86386-56-2.

ÚHUL (2000): Oblastní plány rozvoje lesů. Přírodní lesní oblast 31 – českomoravské mezihoří. ÚHUL Brandýs nad Labem, pobočka Olomouc. 249 s.

ÚHUL (2016). Metodická doporučení pro žadatele o dotaci na zalesňování zemědělské půdy poskytovanou v rámci Programu rozvoje venkova 2014 – 2020 [online] citováno dne 3. března 2017. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.uhul.cz/images/poradenstvi/MDPZODNZZPPVRPRV2014-2020.pdf>>

VACEK S., MIKESKA M., PODRÁZSKÝ V., MALÍK V., 2006a. Strategie zalesňování pozemků určených k plnění funkcí lesa. In Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 89 – 100.

VACEK S., MIKESKA M., PODRÁZSKÝ V., REMEŠ., J., 2006b. Stav, vývoj a možnost stabilizace lesních porostů, založených na bývalých zemědělských půdách. In Sborník Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad černými lesy, s. 107 – 116.

VACEK, S., 2007. Lesy a péče o lesní ekosystémy. In Kolektiv autorů: Krkonoše. Příroda, historie, život. Praha: nakladatelství Baset, 2007., 864 s. 978-80-7340-104-7.

VACEK, S., SIMON J. a kolektiv, 2009. Zakládání a stabilizace lesních porostů na bývalých zemědělských a degradovaných půdách. Kostelec nad černými lesy: Lesnická práce., 792 s, ISBN 978-80-87154-27-4.

VAVŘÍČEK D., PECHÁČEK J., JONÁK P., SAMEC, P. 2010. The effect of point application of fertilizers on the soil environment of spread line windrows in the Krušné hory Mts. In Journal of Forest Science, 56 (5). s. 195 – 208.

VAVŘÍČEK, D., KUČERA, A., 2015. Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. [online] citováno dne 3. března 2017. Dostupné na World Wide Web: <https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Zaklady_lesnicke_pedologie.pdf>

VAVŘÍČEK, D., PECHÁČEK, J. BALÁŽ G. 2011. Vliv hnojiv na výživu a růst smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ KARSTEN) na lokalitě špičák v oblasti Krušných hor. In Zprávy lesnického výzkumu, 56 (2), s. 130 – 136.

ZÁSMĚTA, V., 1963. Za racionální využití veškeré půdy. In Lesnická práce. 42 (12), s. 321 – 331.

ZBÍRAL, J. 2016. Jednotné pracovní postupy ÚKZUZ. Analýza půd I. 4. Přepřacované a rozšířené vydání, Brno: ÚKZUZ, 197 s.

ZELENÝ V., 2004. Fytoenergetika ve Státní energetické koncepci ČR. [online] citováno dne 3. března 2017. Dostupné na World Wide Web: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/fytoenergetika-ve-statni-energeticke-koncepci-cr>>

ŽALUD, Z., 2010. Bioklimatologie (doprovodné texty k přednáškám). Mendelova univerzita v Brně, 136 s.

ŽEMLIČKA P., 2006. Novohradské hory v současnosti. In Kolektiv autorů: Novohradské hory a novohradské podhůří. Příroda, historie, život. Praha::nakladatelství Baset 2006., 847 s., ISBN 80-7340-091-X

10 Summary

The thesis deals with possibilities of using fertilisation in process of agricultural lands afforestation within Natural forest area 31 Českomoravské mezíhoří (NFA 31). The results are based on the theoretical framework, followed by field studying, laboratory analyses and data analysing and evaluating.

According to the literature, the afforestation in the Czech Republic has a long tradition and it is considered to be afforested a few thousands of hectares of agricultural land in future. In conditions of NFA 31 is possible to select localities of agricultural lands of lower quality which are suitable for afforesting.

Research area Letovice – Kočov is explored since 2015. The effects of fertilisation are tested on Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. During 2016, pedochemical characteristics, nutrition ratio of macroelements in spruce needles, development of morphological quantities, and health of specimen were observed. Results were evaluated in dependence of climate conditions of the same year.

Using of fertilisers had a positive effect on the value of soil reaction, sorption and decomposition process. Since the beginning of observation, the amount of macroelements in soil has grown. The best results on pedochemical characteristics were registered in variations using Silvamix[®]R30 and Silvamix[®]R50S2.

Positive effect on nutrition ratio of macroelements in spruce needles was not proved by statistical analysis. However, Silvamix[®]30 fertiliser has the most positive effect on agricultural soil, fully comparable with effect on the forest soil. The lowest effect was marked using dolomitic limestone fertiliser.

The morphological quantities were compared between 2015 and 2016. Positive effect by using Silvamix[®]R30 was proved only on thickness growth, the impact on height growth was not proved. Fertilisers Silvamix[®]30 and UniCon showed the positive effect on the amount of dry matter in spruce needles. All of the fertilisers had proven the positive effect on health status.

According to the results, fertiliser application within the research area is considered to be positive. Nevertheless, the effect on the significant level was not proved. According to positive results of research, fertiliser Silvamix[®]R30 should be recommended to help with afforesting in NFA 31 also for practical usage; before fertiliser application, it is necessary to make a field study and laboratory analyses. Other tested fertilisers are possible to use as well but their positive effect would not be such significant.

Přílohy