

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů

**Obsah a fluorescence chlorofylu v listech buku lesního na lokalitě Kalek
v Krušných horách**

Bakalářská práce

Autor: Ondřej Dubský

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

2020

Abstrakt

Imisní kalamita v 70. a 80. letech minulého století ovlivnila porosty na rozsáhlém území severních hraničních pohoří České republiky. V důsledku kalamity bylo nutné zajistit opětovné zalesnění vzniklých kalamitních holin. Mimo porosty byla také poškozena půda. Tato studie se zaměřuje na zalesňování ploch poškozených imisemi v Krušných horách. Studie má za úkol posoudit, zda má význam používání hnojiv řady Silvamix MG60 a Silvamix C60 v rámci vylepšení imisních holin. Dále se zde posuzuje, zdali je výhodnější použití tabletové formy či práškové formy hnojiv řady uvedených hnojiv. Tato studie přímo navazuje na projekt zadaný Lesy ČR s názvem: *Ověření změny obsahu živin v sazenicích po výsadbě po přihnojení pomalu rozpustnými hnojivy včetně zachycení růstové reakce do 2 let po výsadbě.*

Klíčová slova: buk lesní, SO₂, Krušné hory, chlorofyl, Silvamix

Abstract

The air pollution calamity in the 1970s and 1980s affected vegetation on a considerable part of the area of the northern border mountains of the Czech Republic. Result of this calamity, it was necessary to ensure the reforestation of the resulting calamitous clearings. Besides vegetation, the soil was also damaged. This study focuses on afforestation of areas damaged by air pollution in the Ore Mountains. The aim of this study is to assess the importance of using Silvamix MG60 and Silvamix C60 fertilizers in the improvement of air pollution clearings. This study further assessed advantage of using powder or tablet form of both of these fertilizers. This study directly follows the project commissioned by Lesy ČR entitled: *Verification of the change in nutrient content in seedlings after planting after fertilization with slowly soluble fertilizers, including the capture of the growth reaction within 2 years of planting.*

Keywords: European beech, SO₂, Ore Mountains, chlorophyll, Silvamix

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Obsah a fluorescence chlorofylu v listech buku lesního na lokalitě Kalek v Krušných horách* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivana Kuneše Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom zveřejněním bakalářské práce a souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat doc. Ing. Ivanovi Kunešovi Ph.D. za skvělé vedení, trpělivost a ochotu při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Rostislavu Lindovi za asistenci při vypracovávání výsledků a výsledkových grafů. Dalšímu, komu bych chtěl poděkovat, je Ing. Martin Baláš Ph.D. za nasměrování při tvorbě a korektuře práce. Práce byla vypracována v rámci řešení projektu LČR č. 85 (2018–2020): *Ověření změny obsahu živin v sazenicích po výsadbě po přihnojení pomalu rozpustnými hnojivy včetně zachycení růstové reakce do 2 let po výsadbě.*

Obsah

Literární rešerše	8
Krušné hory	8
Geologie a geomorfologie	8
Klimatické podmínky	8
Klima	8
Teplota	9
Srážky.....	9
Hydrologie.....	9
Pedologie.....	10
Změna půdního chemismu za působení SO ₂	10
Vylepšování půd.....	11
Buldozerová příprava půdy.....	12
Imise	13
Hnojiva Silvamix.....	15
Lesnické hospodaření v Krušných horách.....	16
Cílová druhová skladba.....	16
Porosty náhradních dřevin.....	16
Obnova porostů zasažených imisemi.....	17
Působení imisního zatížení na lesní porosty.....	19
Fyziologické procesy.....	19
Biochemické procesy.....	20

Morfologické procesy.....	21
Pásma ohrožení imisemi.....	22
Stupně poškození.....	23
Buk lesní.....	24
Popis	24
Rozšíření.....	25
V Evropě.....	25
V ČR.....	25
Ekologické nároky.....	26
Pěstování buku.....	26
Cíl práce.....	28
Metodika.....	28
Výzkumná oblast Kalek.....	28
Aplikovaná hnojiva.....	31
Půda na výzkumné ploše.....	31
Aplikace.....	32
Odběr vzorků.....	33
OS30p+.....	33
CCM – 300.....	34
Měření.....	34
Výpočet.....	35
Výsledky.....	35

Diskuze.....	40
Závěr.....	42
Zdroje.....	43

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Graf č. 1: Korelace mezi působením SO ₂ a tvorbou O ₂ , 2012, Lihong L., str. 2	20
Graf č. 2: Korelace mezi působením SO ₂ a tvorbou H ₂ O ₂ , 2012, Lihong L., str. 2	20
Obrázek č. 1: Umístění výzkumné oblasti	28
Obrázek č. 2: Typologická mapa sledovaného území, Geoportal.uhul.cz	28
Obrázek č. 3: Způsob aplikace hnojiva v tabletové formě, 24. 4. 2018	30
Obrázek č. 4: Způsob aplikace hnojiva v práškové formě, 24. 4. 2018	30
Tabulka č. 1: Chemického složení půdy, 2018, Projekt od LČR, str. 8	31
Obrázek č. 5: Mapa výzkumné plochy	32
Obrázek č. 6: Schématické rozdělení výzkumné plochy	32
Graf č. 3: Fluorescence chlorofylu, červen 2020, Kalek	35
Graf č. 4: Fluorescence chlorofylu, červenec 2020, Kalek	35
Graf č. 5: Fluorescence chlorofylu, srpen 2020, Kalek	36
Graf č. 6: Obsah chlorofylu, červen 2020, Kalek	37
Graf č. 7: Obsah chlorofylu, červenec 2020, Kalek	37
Graf č. 8: Obsah chlorofylu, srpen 2020, Kalek	38

Literární rešerše

Krušné hory

Geologie a geomorfologie

Z regionálně geologického hlediska patří Krušné hory do soustavy Českého masivu, oblasti krystalinika a jsou součástí Krušnohorské soustavy. Celková délka hor činí 130 km. Pohoří se táhne od Plesné k Tisé. Krušné hory vznikly kadomským vrásněním na přelomu starohor a prvohor. Byly zde vytlačeny a přeměněny sedimenty moře na krystalické břidlice jako jsou ruly, migmatity, svory a fylity. Po konci této přeměny došlo k denudaci. Koncem prvohor došlo k variskému vrásnění, kdy došlo k proniknutí žulového magmatu do okolních horních. V období třetihor došlo k alpínskému vrásnění, kdy byly Krušné hory rozčleněny četnými zlomy. Po tomto vrásnění probíhala silná vulkanická činnost, díky které na povrch vyvěřely horniny jako čedič či leucit a další. V třetihorách také došlo ke kaolinickému zvětrání žuly za působení povrchových vod. Tento proces přeměnil živec na jílové materiály (kaolinit a další). Ve čtvrtohorách doznívala vulkanická a tektonická činnost z konce třetihor. Stále docházelo k denudaci, čímž vznikly říční náplavy (Kubelka a kol., 1992).

Klimatické podmínky

Klima

Nižší a střední polohy Krušných hor spadají do mírně teplé a mírně vlhké oblasti, náhorní plošiny do mírně chladné oblasti a klínovecká plošina do chladné horské oblasti (Holata, 2011). Vzdušné proudy jsou ovlivněny Krušnohorským zlomem s podélnou osou z jihozápadu na severovýchod. Tyto proudy vstupují na náhorní plošiny, kde se střetávají s výrazně chladnějšími vzdušnými proudy, přicházející ze severu (Kubelka a kol., 1992). Průměrná délka vegetačního období (v celé oblasti) je 165 dní. V horských oblastech však jen 112 (Plíva-Žlábek, 1986 in Kubelka a kol., 1992).

Teplota

Průměrná roční teplota je shodná s dlouhodobým průměrem, který činí 5,5 °C. Z naměřených hodnot je však možné vypočítat určitou periodicitu za sledované období. Na začátku období (1975) je patrný pokles průměrných teplot, kdežto na konci (1990) je znatelné zvýšení těchto teplot (Kubelka a kol, 1992).

Gradient teploty na 100 m je 0,56 °C (Holata, 2011).

Srážky

Na začátku 90. let 20. století byl střednědobý srážkový průměr je přibližně 8 % pod úroveň dlouhodobého srážkového průměru (Kubelka a kol., 1992). Průměrné roční srážky se odvíjí (mimo jiné) od nadmořské výšky. Do 400 m n. m. se srážky pohybují od 500 do 750 mm, do 600 m n. m. jsou hodnoty od 600 do 820 m n. m. V nadmořských výškách do 800 m n. m. se naměřené hodnoty pohybují od 750 do 980 mm. Ve vyšších nadmořských výškách se roční srážky pohybují od 800 do 1050 mm s jednou nadprůměrnou hodnotou (Boží dar) 1150 mm (Popelář, 1999). Proměnlivost sum ročních srážek by mohla souviset s masivním odlesněním v celých Krušných horách v důsledku imisní kalamity. Srážková činnost je také významným faktorem, který ovlivňuje čistotu ovzduší a vývoj chemismu v půdním prostředí. Obecně vychází, že extrémní výkyvy srážkových hodnot odpovídají opačné extrémní výkyvy imisních hodnot. To bylo možné vypočítat hlavně v zimním období (Kubelka a kol., 1992).

Hydrologie

Hydrologicky patří Krušné hory do Krušnohorského-Duryňského území. Půdní hydrologické poměry odvozené z půdního typu a klimatických poměrů jsou v rozmezí periodicky promyvného a promyvného typu. Půdy promyvného typu jsou charakteristické intenzivním provlhčením s průsakem srážkových vod půdou

každoročně, a to v několika obdobích. U půd s periodicky promyvným režimem průsak srážkové vody do hlubších vrstev nenastává každoročně. V Krušných horách jsou dva hlavní odvodňovací toky – řeky Ohře a Bílina. Ohře se táhne podél celé délky Krušných hor (vstupuje do nich v Chebské pánvi). Bílina odvodňuje Mosteckou pánev. Na celém území se nachází mnoho horských potoků a nádrží (z nádrží např. Přísečnice, Fláje, Myslivny, Janov), které slouží převážně jako zásobárna vody. V některých případech slouží nádrže jako zdroj vody pro elektrárny (např. Nechanice) (Kubelka a kol., 1992).

Pedologie

V lesní oblasti Krušné hory se nachází mnoho typů a subtypů půd (Popelář, 1999). Obecně zde převládají hlubší minerální půdy, z větší části skeletnaté, v nižších polohách se nacházejí půdy hlinitopísčité až štěrkovité. V oblastech náhorních plošin a v mělkých údolích při nedostatečném odtoku a špatné propustnosti podloží vznikají rašeliniště s různou mocností profilu. Převládajícím typem jsou zde intrazonální půdy s větší vrstvou zrašelinělého humusu. Tyto půdy mají spolu s rašeliništi velký vodohospodářský význam (Macoun in Kubelka a kol., 1992). Kambizemě se nacházejí v Podkrušnohorské oblasti spolu s pararendzinou, antropozemí a vyřelými horninami. V údolí toku řeky Labe a Bílina se nacházejí nivní půdy. Místy se vyskytují černozemě. Dalšími typy půd nacházející se v oblasti Krušných hor jsou podzoly, luvizemě, gleje a fluvizemě (Panajotová, 2010).

Změna půdního chemismu za působení SO₂

Přirozený vývoj půd je již dlouhodobě ovlivněn přeměnou porostů z původních a druhově bohatých na převážně monokulturní smrkové porosty. V kombinaci s imisemi SO₂ došlo k postupné acidifikaci, čímž se narušil půdní chemismus. Půdy jsou nadále ovlivněny spadem pevných částic tvořené těžkými kovy spolu s dalšími stopovými prvky (Hruška, Oulehle a kol., 2009).

Se zvýšením obsahu SO_2 a NO_x v ovzduší souvisí degradace (acidifikace) půd za působení kyselých dešťů. Ty vznikají tak, že se oxidy síry a dusíku rozptýlí v atmosféře a začnou reagovat s atmosférickou vodou. Následně se vsáknou se srážkovou vodou do půdy, kde vyplavují prvky důležité pro udržení rovnováhy. Jedná se především o vápník (Ca) a hořčík (Mg), dále také draslík (K) a sodík (Na) (Hruška, Oulehle a kol, 2009).

Depozice se v jednotlivých porostech liší. Je ovlivněna množstvím srážek v dané oblasti, nadmořskou výškou a druhem dřevin (jehličnaté nebo listnaté). Vyšší depozice se nachází v jehličnatých porostech ve vyšších nadmořských výškách (horské oblasti). Depozice látek na volné ploše je tvořena jednak suchým opadem, jednak látkami přímo rozpuštěnými ve srážkové vodě (Fadrhonsová a Šrámek, 2020). Depozice v porostech je zvýšena o látky usazené v korunách stromů a o srážky, které vymývají ionty z asimilačních orgánů. V bukovém porostu také dochází ke stékání srážek po kmeni. V horských oblastech k celkové depozici přispívají také horizontální srážky – mlha či námraza.

Vylepšování půd

Vylepšováním půd lze zvýšit možnosti růstu dřevin a zároveň tím můžeme kompenzovat nepříznivé antropické vlivy na lesní půdu (acidifikace). Přihnojování kultur se projeví především výškovým přírůstem sazenic, což významně snižuje náklady spojené s jejím zajištěním. Ve starších porostech bylo v minulosti hnojení testováno k podpoře především podpoře tloušťkového přírůstu. Dále umožňuje připravit půdu pro přirozenou obnovu (Remeš, Výlupek a kol., 2006). Hlavním využitím hnojiv v lesnictví však stále zůstává pouze vylepšování extrémních, degradovaných a imisních stanovišť.

Při procesu vylepšování půd se dbá na vyvážení poměrů živin obsažených v půdě. V tomto případě se v důsledku acidifikace uvažuje zejména o vylepšování půdy pomocí povrchového vápnění holin, při kterém se využívá dolomitický vápenec. Podle výsledků studie Ulbrichová, Podrázský (2001) dochází k vylepšení půd, které se projevuje růstem smrku v lokalitě s extrémními imisně ekologickými podmínkami. Výsledky výzkumu dále ukázaly, že se snížila acidita a sorpční komplex půdy byl spolu s obsahem bazických prvků

příznivě ovlivněn. Dále se z tohoto výzkumu se dá usoudit, že vylepšování půd pomocí dolomitického vápence zlepšuje půdní vlastnosti a růst dřevin, avšak je to pouze dočasné. Jak je uvedeno v závěru, vylepšení je prospěšné v krátkém časovém období, ale při delším časovém horizontu se musí počítat se zhoršením půdních vlastností, zejména díky vyplavování jednotlivých látek z půdy. K zabránění zhoršení půdních vlastností by bylo potřebné opětovné doplnění živin do půdy, zejména v období, kdy stromy nejvíce rostou (20 až 50 let věku), a tudíž potřebují nejvíce živin pro správný vývoj (Šrámek, Novotný a kol., 2014).

Buldozerová příprava půdy

Spolu s melioračním vápněním, hnojením a dalším způsobům vylepšování podmínek pro obnovu porosty se používala i celoplošná příprava půdy. Jednou z hojně využívaných celoplošných příprav půdy byla buldozerová příprava půdy. Tato technologie přípravy se využívala obzvláště na náhorních plochách Krušných hor. Tento způsob přípravy spočíval v tom, že těžká technika odstranila vrstvu humusu a nahnula jí do valů. Toto narušení kontinuity půdního prostředí však bylo velmi neuvážené. Šach, 1995 in Vavříček (2007) uvádí, že při této přípravě půdy bylo do valů přemístěno cca 800 m³ humusové vrstvy z 1 ha plochy. Touto přípravou odstranily jediný zdroj dusíku v lesní půdě pro mnohá stanoviště, jelikož se narušil proces koloběhu základních makroelementů (Vavříček, 2007). Tím se také výrazně snížila maximální sorpční kapacita půdy. Čím více materiálu (a na větší vzdálenost) se ze svrchní půdy odstraní, tím výraznější redukce úrodnosti půdy může nastat (Vavříček, 2007). Po zjištění faktu, že buldozerová příprava půdy působí na půdu degradačně, začalo se s rozhrnováním vzniklých valů, aby se svrchní vrstva půdy navrátila na původní místo.

Imise

Oblast Krušných hor je v důsledku lidské činnosti (těžba rud a hnědého uhlí) ovlivňována již od konce 16. století (Nožička, 1963 in Šrámek, Balcar a kol., 2015). Imisní poškození lesních porostů se ve větší míře začíná projevovat ve dvacátých letech 20. století. Výraznější poškození porostů se projevilo po zimě v roce 1946/47, a to kombinací imisí a tuhé zimy. Vývoj porostů se výrazně zhoršil ve druhé polovině 20. století, obzvláště v 70. a 80. letech. Druhá polovina 70. let 20. století byla charakteristická svými podprůměrnými teplotami, úhrnem ročních i zimních srážek a kratším vegetačním obdobím v porovnání s dlouhodobým průměrem. Kombinace všech těchto faktorů vyústila ve značné škody. Ve druhé polovině 70. let 20. století bylo odlesněno celkem 10 668 ha lesa, což je přibližně 24 % zalesněné plochy Krušných hor (Kubelka a kol., 1992). Na začátku 80. let došlo k prudké kulminaci hodnoty obsahu SO_2 jak v ročních průměrech, tak i v průměrech v zimním období. Imisní poškození vznikalo nepravidelně a většinou souviselo s inverzní situací v horských polohách (Šrámek, Balcar a kol., 2015). Výměra odlesněných ploch se zvýšila o dalších 22 % z původní plochy lesa. V tomto období dochází k vysokému zvýšení acidity, což jen ztěžovalo pokusy o zalesnění kalamitních holin. Ve druhé polovině 80. let došlo k poklesu průměrných denních koncentrací SO_2 . Rozloha zalesněné plochy se snížila na pouhých 50 % (Kubelka a kol., 1992). Toto odlesnění proběhlo převážně v nadmořských výškách od 600 do 1100 m n. m. Pokud počítáme odlesnění pouze v těchto nadmořských výškách, jedná se o 74 % rozlohy porostů náhorního plata. Díky takto masivnímu odlesnění došlo také ke změně klimatických a srážkových poměrů (Kubelka a kol., 1992). Dále došlo ke zvýšení výskytu větrných kalamit, zvláště v letech 1985 až 1986. Na konci 80. let se již nezaznamenává zhoršování zdravotního stavu lesních porostů, ani se neprojevují výrazné nárůsty v posunech poškození. Oproti dlouhodobému průměru se průměrná roční teplota zvýšila o 1,2 °C. Dále došlo ke zvýšení jak ročního úhrnu srážek, tak úhrnu srážek v zimním období. Výrazně se také prodloužila délka vegetačního období (Kubelka a kol., 1992). Zřetelně pokleslo i imisní zatížení, což souvisí s celkovou produkcí emisí z tuzemských zdrojů.

Tehdejší lesníci se zvýšeným obsahem SO₂ v takovém rozsahu, jaký nastal ve druhé polovině 20. století, v minulosti nikdy nesetkali. Situace byla mnohde zhoršena přítomností monokulturních porostů. Koncepce lesnictví, jak byla v Krušných horách uplatňována, vzniklé na imisní kalamitu nebyla připravena (Krečmer, Gross a kol., 1999). Oslabené porosty se následně snadno stávaly obětí hmyzích škůdců. Náprava situace vyžadovala zavedení hned několika opatření.

Nejdůležitější z nich bylo zamezit vysokému obsahu SO₂ v ovzduší. Rapidního snížení bylo dosaženo již v 90. letech 20. století, jednak změnou druhů a množství používaných paliv, ale zejména instalací odsiřovacích zařízení na velkých zdrojích SO₂, tj. zejména na elektrárnách. Dalším významným faktorem snížení koncentrace byl přechod mnoha jednotlivých malých zdrojů (domácnosti a malá průmyslová zařízení) na jeden větší zdroj SO₂ (teplárny), které znečištění rozptylují ve vyšších výškách (internetový odkaz č. 1), resp. Kdy bylo později snazší provést odsíření. Dále také došlo k celkovému poklesu průmyslové produkce a zavádění nových technologií.

V 90. letech 20. století se situace Krušnohorských lesů začala pozvolna stabilizovat, i když k celkovému odsíření velkých zdrojů došlo až v roce 1999, kdy se hladina SO₂ dostala přibližně na 10 % stavu, který byl naměřen v 80. letech (Jandová, 2007). K poslednímu plošnému imisnímu poškození na lesních porostech došlo v zimě v roce 1995/96. V důsledku dlouhodobé inverze se i při nižší produkci exhalací kumulovaly imise až na velmi vysoké koncentrace. Literární zdroje Šrámek (1999), Lomský a Šrámek (2004) in Šrámek, Balcar a kol (2015) uvádějí, že toto poškození bylo způsobeno především meteorologickými faktory (nepříznivé rozptylové podmínky a nízké teploty). K dalšímu výraznému snižování obsahu SO₂ v atmosféře docházelo až do roku 2005. Díky technologiím šetrnějším k životnímu prostředí imise již nepůsobí přímo na zdravotní stav lesních porostů.

Dalším nutným opatření bylo vysázení takzvaných „porostů náhradních dřevin“. Tyto porosty měly fungovat jako náhrada zničených porostů, aby se zalesnily vzniklé rozsáhlé holiny (Krečmer, Gross a kol., 1999).

V dnešní době je limit koncentrace SO₂ pro ochranu ekosystému 20 µg.m⁻³ za jeden kalendářní rok (zákon č. 201/2012 Sb.), což je hodnota, po jejímž překročení začíná vznikat poškození na lesních porostech (Kolářová, Hůnová, 2006). V době nejvyššího imisního zatížení dosahovala nejvyšší roční koncentrace hodnot přes 100 µg.m⁻³ (Uhlířová, Lochman a kol., 1998).

Hnojiva Silvamix

Jedná se o pomalu rozpustná hnojiva. Jde o průmyslová hnojiva, u kterých jde o postupné uvolňování živin do prostředí rostlin a o omezení vyplavování dodávaných živin. Vavříček (2015) in Češek (2016) tvrdí, že se jedná o speciální hnojiva s vysokým obsahem živin, které by se měly pozvolna uvolňovat po dobu minimálně dvou let. Dále tvrdí, že díky nízké rozpustitelnosti se tento typ hnojiv hůře dostává do spodních vod.

Tato hnojiva jsou určena ke hnojení kultur i sazenic ve školkách. Jsou vyráběny jak v tabletové, tak v práškové formě v různých velikostech a hmotnostech. Hlavní živinou, kterou tato hnojiva obsahují, je dusík (a to ve formě ureaform) (Češek, 2016). Forma ureaform je umělé hnojivo, které je kombinací močoviny a formaldehydu. Jeho hlavní výhodou je pomalé uvolňování dusíku ve formě, která je použitelná rostlinou. Mineralizace ureaformu je způsobena mikrobiální aktivitou. Degradace tohoto produktu je ovlivněna především biologickou úrodností půdy, teplotou a do určité míry i vlhkostí. Na tento typ hnojiv nemá vliv pH, proto je vhodné k tomuto využití (Alexander, Helm, 1990).

Nedílnou součástí ovšem také tvoří málo rozpustné podvojně fosforečnany draselno-hořečnaté, které zaručují postupné uvolňování dalších základních živin, kterými jsou fosfor, draslík a hořčík (Češek, 2016). Aplikace těchto hnojiv je jednoduchá a lokalizovaná. Je možné upravit dávkování na hodnotu, která přesně odpovídá dané rostlině a zároveň je možné ji aplikovat na konkrétní místo tak, aby se minimalizovalo neefektivní hnojení mimo dosah rostliny.

Hnojiva řady Silvamix jsou vhodná aplikovat do konce července (jak tabletovou, tak práškovou formu). Při jarní výsadbě je vyhovující aplikovat hnojiva až po uplynutí 1–2 let od vysazení. V případě kratšího období dochází k neefektivnímu využití hnojiv, což je způsobeno výsadbovým šokem. Vavříček, Kučera (2015) in Češek (2016) tvrdí, že je možné aplikovat hnojiva i v podzimních měsících (září, říjen), nikoli však již na sních.

Jedná-li se o formu v tabletách, používá se minimálně 4–5 desetigramových tablet na každou rostlinu. Ve vyšších polohách (horské oblasti) je doporučeno používat až 8 těchto tablet. Dále je doporučeno aplikovat tablety do půdy v prostoru kořenového balu, do hloubky 3–5 centimetrů, přičemž se musí jednat o vzdálenost maximálně jeden průměr koruny (Češek, 2016).

Jedná-li se o práškovou formu těchto hnojiv, tak je doporučeno prášek aplikovat posypem v dávce nejméně 200–300 g/m². Dále je doporučené hnojit opakovaně v následujícím roce a to v minimálně poloviční dávce (Češek, 2016).

Lesnické hospodaření v Krušných horách

Cílová druhová skladba

Jedná se o porost v mýtním věku s optimalizovaným zastoupením dřevin, které odpovídá přírodním podmínkám, odpovídá biologicky, funkčně i ekonomicky cílovému hospodářskému souboru (Šrámek, Balcar a kol., 2015). Základní cílová druhová skladba vychází ze současných imisně klimatických podmínek. Jelikož na mnoha stanovištích jsou výrazně narušeny půdní poměry, musíme počítat s delší dobou před dosažením cílové druhové skladby.

Porosty náhradních dřevin

Porosty náhradních dřevin jsou považovány pouze jako dočasné řešení nastalé situace, jelikož nedisponují vysokou stabilitou a jsou omezené při plnění produkčních i mimoprodukčních funkcí lesa (Balcar, Pěnička, 2008). Tyto porosty jsou určeny pro přípravnou fázi pro založení stabilních porostů tvořených cílovými hospodářskými

dřevinami. Náhradní dřeviny by měly vytvořit příznivější podmínky především svým opadem. Dřeviny používané v těchto porostech se vyznačují svojí pionýrskou růstovou energií a alespoň částečnou rezistencí vůči nepříznivým stanovištním podmínkám. V důsledky imisní kalamity se v Krušných horách převážně využíval smrk pichlavý (*Picea pungens*) a bříza bělokorá (*Betula pendula*). Smrku pichlavému nesvědčí podmáčená až zrašelinělá stanoviště se stagnující vodou, kam byl často sázen. U bříz nebyl brán ohled na původ osiva, který často nebyl známý. Do vrcholových partií by se navíc daleko spíše hodili zástupci tetraploidních druhů z komplexu břízy pýřité (*Betula pubescens*). Toto riziko se nejvíce projevilo v zimě 1996/97, kdy došlo ke kalamitě březových porostů. Po této kalamitě pokračuje odumírání bříz jen pozvolna (Balcar, Pěnička, 2008). Porosty smrku pichlavého v dnešní době odumírají v důsledku klimatických změn a za působení patogenu s názvem kloubnatka smrková (*Gemmamyces piceae*). Kvůli rozpadu těchto náhradních porostů se musí přistoupit k jejich přeměně. Jak bude uvedeno dále, v Krušných horách se využívala samozřejmě celá řada dalších domácích, zdomácnělých a introdukovaných dřevin: modřín opadavý (*Larix decidua*), olše šedá (*Alnus incana*). Řada výsadeb byla ale poškozena vysokými stavy spárkaté zvěře.

Obnova porostů zasažených imisemi

Po roce 1945 se na menších lokalitách, ve větší míře začaly objevovat příznaky poškození jehličnatých stromů. V této době lesníci neaplikovali žádná zvláštní opatření, jelikož se nejednalo o zásadnější škody. Stále přetrvávalo klasické lesní hospodaření, které spočívalo v dodržování kontinuity lesa se zachováním normálního zastoupení věkových tříd. V této době se při obnově využívala převážně směs smrk ztepilý (*Picea abies*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), modřín opadavý (*Larix decidua*) a další.

V 60. letech se začal zvyšovat počet souší a poškozených stromů v důsledku imisí, zvláště u smrkových porostů. Kvůli tomu se zavedl soubor pokynů pro lesníky, jak nakládat s touto situací. Jedním ze zásadních bodů těchto pokynů bylo doplňovat

poškozené kultury nacházejí se v horských polohách jeřábem ptačím (*Sorbus aucuparia*). Jako cílové dřeviny v těchto oblastech zůstávají smrk a modřín.

Na konci 60. let a v 70. letech se citelně zvýšilo poškození porostů imisemi. Již se nejedná o lokální poškození, ale o počínající celoplošný problém týkající se převážně horských oblastí. To se dělo díky zvýšení těžby uhlí v podkrušnohorské pánvi a výstavbě elektráren. V tomto období byla stanovená zásada pěstování náhradních porostů v pásmech ohrožení imisemi A – B. V těchto pásmech se vyloučilo využití smrku ztepilého (*Picea abies*). Buk lesní (*Fagus sylvatica*) se mohl používat pouze v chráněných lokalitách a svahových polohách. V ostatních oblastech jsou tyto dřeviny nahrazeny smrkem pichlavým (*Picea pungens*), borovicí pokroucenou (*Pinus contorta*), břízou pýřitou (*Betula pubescens*) a jeřábem ptačím (*Sorbus aucuparia*).

Od přelomu 70. a 80. let až do konce 80. let se začala projevovat nejvyšší úroveň poškození smrkových porostů. To bylo způsobeno kulminací imisního zatížení a zároveň vysokým poklesem teplot v rámci několika hodin, které trvalo několik dní. To způsobilo katastrofální poškození smrkových porostů všech věkových tříd. V této době nebylo fyzicky možné stihnout zpracovat kapacitu kalamitní těžby a zároveň stihnout zalesnit vzniklé holiny. Situaci dále zhoršoval nedostatek dostupného sadebního materiálu. V těchto letech se začaly využívat náhradní dřeviny (zmíněny v předchozím odstavci) i v pásmech ohrožení imisemi C – D. Zároveň se v náhradních porostech začaly provádět výchovné zásahy sloužící ke zvýšení stability a trvalé udržitelnosti těchto porostů. V rámci výchovných zásahů se propagoval pozitivní výběr. Směrnice v této době zamezovaly úmyslné těžby v listnatých dřevin v porostech na úbočí. Důvodem bylo nezvládnutí těžeb nahodilých ve smrkových porostech a zároveň obava z urychlení procesu rozpadu. I přes to se v těchto porostech začalo objevovat přirozené zmlazení, proto se přistoupilo na individuální posuzování a postupné rozvolňování těchto porostů. Dále se v této době začalo požadovat, aby zakládáné porosty měly bohatší druhové složení a úměrnou prostorovou skladbu.

V roce 1988 byla již většina poškozených porostů vytěžena a poškození imisemi bylo zpomaleno. Hlavními porosty určenými k těžbě se staly porosty se stupněm

poškození IV.a a IV.b. Z hlediska zlepšení podmínek je již možná alespoň částečná rekonstrukce poškozených porostů. V důsledku zlepšení podmínek byla možná pozvolná obnova smrkem ztepilým (*Picea abies*) a bukem lesním (*Fagus sylvatica*) (Kubelka a kol., 1992).

Působení imisního zatížení na lesní porosty

SO₂ působí na rostliny jako závažný stresový faktor. Narušuje fyziologické, biochemické i morfologické procesy.

Fyziologické procesy

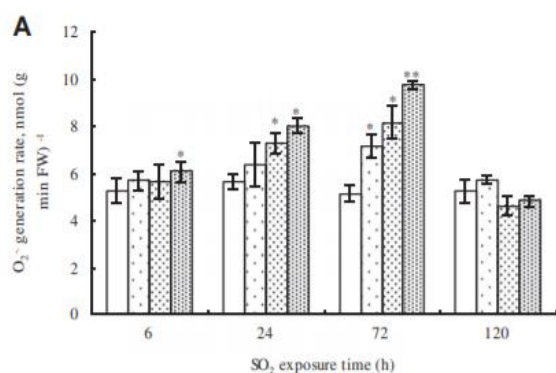
Akutní poškození nastává, když jsou vysoké koncentrace SO₂ absorbovány po relativně krátkou dobu, zatímco chronické poškození je způsobeno dlouhodobou absorpcí SO₂ v kriticky vysokých koncentracích. Robinson et al. (1998) in Lee, Khaine et al. (2017) tvrdí, že pokud jsou rostliny vystaveny nízké koncentraci SO₂, tak je tato látka rostlinou oxidována a využita k syntéze proteinů. Avšak, při vysoké koncentraci dochází k porušení funkce tylakoidů a interferuje s elektronovým transportním řetězcem, což vede k rozpadu fyziologických systémů (Addison et al., 1984; Heber and Hueve, 1997; Mostowska, 1997 in Lee, Khaine et al., 2017). Rozsah poškození závisí na tom, kolik SO₂ rostlina absorbuje ať už skrz kořeny přímo z půdy, či přes listy z ovzduší (Lee, Khaine et al., 2017). První proces, který je narušen zvýšenou koncentrací SO₂, je fotosyntéza (Ziegler, 1972 in Lee, Khaine et al., 2017). Narušení se projevuje snížením míry fotosyntézy a zvyšuje míru respirace (Gheorghe and Ion, 2011 in Lee, Khaine et al., 2017), čímž se výrazně sníží tvorba chlorofylu. Může se ale také narušit reprodukční proces v rostlinách, což může vést ke snížení počtu květů a plodů (Hetherington and Woodward, 2003 in Lee, Khaine et al., 2017). Efekt působící SO₂ na fyziologických procesech souvisí s fungováním stomat (Raschke, 1975; Rao et al., 1983; Verma and Singh, 2006 in Lee, Khaine et al., 2017), které se nedokáží správně uzavřít, když je rostlina

ve stresové situaci způsobené prostředím (Robinson et al., 1998 in Lee, Khaine et al., 2017). Je také narušen průběh uhlíkové alokace, což působí na růst rostliny. SO₂ také narušuje strukturu buněčné membrány a mění její permeabilitu.

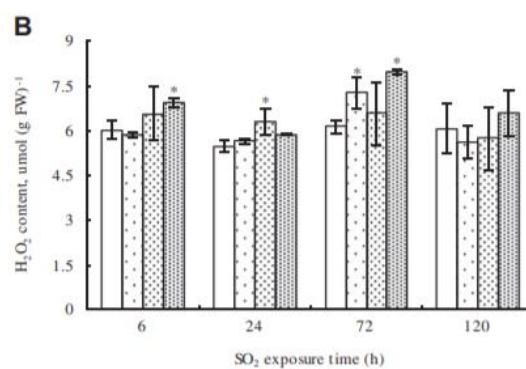
Biochemické procesy

Jak již bylo zmíněno, míra poškození závisí na koncentraci a době vystavení SO₂ (viz. Část Fyziologické funkce). Oku a Tomita (1980) in Lee, Khaine et al. (2017) uvádí, že na jehlicích smrku ztepilého (*Picea abies*), že se SO₂ v rostlinách rozpouští v cytoplasmě a tím vzniká SO₃²⁻ a HSO₃⁻. Dále dochází k detoxikační reakci SO₃²⁻ na SO₄²⁻, což vede ke zvýšení obsahu reaktivních druhů kyslíků jako je O₂⁻ a H₂O₂ (Madamanchi and Alscher, 1991, Pfanz et al., 1992, Kong et al., 1999, Omasa et al., 2012 in Lee, Khaine et al. 2017). Zhang et al. (2001) in Lee, Khaine et al. (2017) dále uvádí, že právě zvýšená koncentrace H₂O₂ způsobuje problém uzavírat stomata. Reaktivní druhy kyslíku hrají důležitou roli při vyvolávání oxidativního poškození rostlin při stresu způsobeném prostředím.

Toto tvrzení bylo dokázáno výzkumem (Lihong, Huilan, 2012), kdy vystavili huseníček rolní (Arabidopsis thaliana) účinku SO₂. Výsledky jejich výzkumu ukázaly, že existuje korelace mezi působením SO₂ a tvorbou O₂ a H₂O₂.



Graf č.1



Graf č.2

Graf č. 1: Korelace mezi působením SO₂ a tvorbou O₂, 2012, Lihong L., str. 2

Graf č. 2: Korelace mezi působením SO₂ a tvorbou H₂O₂, 2012, Lihong L., str. 2

Zvýšená hladina reaktivních druhů kyslíku také způsobuje oxidační poškození nukleových kyselin, proteinů a lipidů (Mittler et al., 2004; Foyer and Noctor, 2005; Yi et al., 2005 in Lee, Khaine et al., 2017).

Morfologické procesy

Hlavním indikátorem poškození způsobené SO_2 jsou listy, které jsou nejnáchylnější na zvýšenou hladinu SO_2 . Mladší a nejstarší listy nejsou tak náchylné, jako ty středně staré (McCormac, 2012; Skinder et al., 2014 in Lee, Khaine et al., 2017). Zvýšená koncentrace SO_2 poškozuje listy, snižuje míru fotosyntézy, ničí pigmenty (čímž dochází k odbarvování), poškozuje stomata, narušuje propustnost membrány buněk a omezuje rostlinu v růstu a reprodukci (Tiwari et al., 2006; Almohisen, 2014; Otoide and Kayode, 2016 in Lee, Khaine et al., 2017). Stomata nejsou schopna správně uzavírat, a tak dochází ke zvýšené respiraci, což vede k vyššímu vylučování vody z organismu. Olszyk and Tibbitts (1981), Kumari and Prakash (2015), Koziol and Whatley (2016) in Lee, Khaine et al. (2017) zjistili, že zvýšená koncentrace SO_2 způsobuje snížení počtu stomat. Kumari and Prakash (2015) in Lee, Khaine et al. (2017) dále zjistili, že tento úbytek je spojen se zvětšením tloušťky epidermu. Toto snížení počtu stomat je obranou rostliny, které funguje tak, že se do rostliny skrz asimilační orgány nedostává takové množství SO_2 . Studie provedená Royer et al. (2005), Bacon et al. (2013) in Lee, Khaine et al. (2017) ukázala, že se kvůli působení SO_2 mění velikost i tvar asimilačního orgánu. Jak se z listů ztrácí pigment, tak se začínají tvořit hnědé či bílé skvrny, které indikují poškození SO_2 . Následně se na lícni straně listů objevují žluté skvrny, ztráta barvy a nekrózy (Heather, 2003; Brychkova et al., 2007; Yunus et al., 2013; Kumari and Prakash, 2015 in Lee, Khaine et al., 2017).

Tyto morfologické změny mohou být pouze mechanismus rostliny, aby snížila fyziologický dopad při působení tohoto stresového faktoru (Lee, Khaine et al., 2017).

Pásma ohrožení imisemi

Rozsah působení imisí lze vyjádřit pomocí pásem poškození a stupňů poškození.

Pásma A

Pozemky s porosty s výrazným imisním zatížením, kde se poškození dospělého smrkového porostu zvýší průměrně o jeden stupeň během pěti let silné znečištění ovzduší. V dospělých borových a listnatých porostech ročně odumře více než 20 % původního počtu stromů. Nejvíce postižované porosty se nacházejí na hospodářských souborech 41, 51 a 71 (zákon č. 298/2018 Sb.). Jedná se o exponovaná stanoviště s nadmořskou výškou 500 m n. m. a výše (vyhláška č. 78/1996 Sb.).

Pásma B

Lesní pozemky s porosty s výrazným imisním zatížením, kde se poškození dospělého smrkového porostu zvýší průměrně o jeden stupeň za 6 až 10 let. V dospělých borových odumře ročně 10 až 20 % původního počtu jedinců. V dospělých listnatých porostech se jedná o 5 až 20 % z původního počtu. Stanoviště spadající do tohoto pásma již nejsou tak exponovaná jako plochy spadající do pásma A (vyhláška č. 78/1996 Sb.).

Pásma C

Lesní pozemky s porosty s imisním zatížením, kde se poškození dospělého smrkového porostu zvýší průměrně o jeden stupeň za 11 až 15 let. V dospělých borových porostech odumře 2 až 10 % z původního počtu jedinců. V dospělých listnatých porostech ročně odumře 2 až 5 % stromů z původního počtu. Tyto porosty již rostou na příznivějších stanovištích a je zde nižší hladina znečištění (vyhláška č. 78/1996 Sb.).

Pásma D

Lesní pozemky s porosty s imisním zatížením, kde se poškození dospělého smrkového porostu zvýší průměrně o jeden stupeň za 16 až 20 let. V dospělých borových a listnatých porostech odumře méně než 2 % původního počtu stromů. Tato území se

vyznačují tím, že to jsou chráněná údolí, kde není taková úroveň znečištění jako v předchozích případech (vyhláška č. 78/1996 Sb.).

Pásma ohrožení lesů imisemi jsou území s obdobnou dynamikou zhoršování zdravotního stavu lesních porostů, charakterizovaného stupněm poškození těchto porostů (vyhláška č. 78/1996 Sb.).

Stupně poškození

0 – zdravé porosty, stromy nejeví žádné známky poškození

0/I. – porosty s prvními příznaky, v porostu nejsou silně poškozené stromy

I. – porosty mírně poškozené, silně poškozených stromů je do 5 %

II. – porosty středně poškozené, silně poškozených stromů je 6–30 %

III.a – porosty silně poškozené, 31–50 % jedinců je silně poškozeno

III.b – porosty velmi silně poškozené, v porostu je 51–70 % stromů silně poškozeno

IV.a – porosty odumírající, 71–100 % stromů je silně poškozeno

IV.b – porosty jsou již odumřelé

Stupeň poškození porostu je určen podílem středně a silně poškozených stromů z celkového počtu stromů v porostu.

Jako poškozený jedinec se považuje strom, u kterého žlutnou jehlice či listy a dochází-li k defoliaci alespoň 10 % z celkového počtu (Panajotová, 2010).

Buk lesní (*Fagus sylvatica*)

Popis

Jedná se o jednodomý, opadavý strom. Velikostí může buk dorůst i 40 metrů s průměrem kmene přes 1 m. Pupeny jsou podlouhlé, štíhlé, na konci zašpičatělé a pýřité. Listy rostou střídavě na krátkém řapíku. Na okraji jsou zvlněné, vejčitého tvaru, v mládí pýřité. Květy jsou jednopohlavné, kvetení probíhá od dubna do května. Samčí květy vyrůstají z paždí listů v převislých svazečcích. Každý jednotlivý květ je tvořen z 5 až 6 okvětních lístků a 5 až 15 tyčinek. Samičí květy mají pouze 3 okvětní lístky a rostou ve dvojicích v načervenalých, chlupatých číškách. Plodem jsou nažky zvané „bukvice“, které jsou uzavřeny po dvou v ostnitě číšce. Sběr semen probíhá v září až říjnu. Kůra je hladká s nezaměnitelnou stříbřitě šedou barvou (Pazdera a kol., 2015). Kořenový systém je srdčitý, kořeny vedou pod povrchem všemi směry.

Dřevo má načervenalou barvu, zřetelně viditelné letokruhy, strukturou je roztroušeně pórovité, dřevné paprsky jsou viditelné na všech řezech (Pazdera a kol., 2015).

U starších jedinců se velice často vyskytuje „nepravé jádro“. Jedná se však pouze o změnu barvy, nesnižuje se tvrdost dřeva (internetový odkaz č. 2). Tvorbě nepravého jádra se dá zamezit tím, že se sníží doba obmýtí z obvyklých 130 let na 80 až 100 let. Dožívá se však 200 až 400 let.

Tato dřevina výrazně ovlivňuje půdu svým opadem a silným zástínem. Po rozkladu opadu je půda obohacena o dusík a vápník. Je-li příznivá vlhkost, působí také příznivě při tvorbě humusu. Tento rozklad je však omezen na sušších stanovištích (Skrziszowski, 2009).

Rozšíření

V Evropě

Buk se objevuje ojediněle od boreálu, maximum rozšíření má v atlantiku (přibližně 30 %) a starším subatlantiku. Na jihovýchodě území začíná expanze mnohem později (5500 B. P.) než na severozápadě (8000 B. P.) (Neuhäuslová, 2001, Neuhäuslová et al., 1998 in Černíková, 2011).

Roste prakticky v celém mírném pásu Evropy. Je možné ho najít i v jižních částech Evropy, ale pouze ve vyšších nadmořských polohách. Obvykle se nachází v 1000 m n. m., ale nachází se i ve 2000 m n. m. Pro správný růst potřebuje buk lesní alespoň 140 dní vegetačního období, proto nemůže růst více na severu. Na východě roste pouze po Karpaty a Balkán a na západě po Kantaberské pohoří. Jak se klima ve východní Evropě stává více kontinentálním, je buk lesní nahrazen bukem východním (*Fagus orientalis*). Pylová analýzy ukazuje, že po posledním glaciálu byla populace velice nízká a roztroušená. Momentálně se pravděpodobně nachází vrcholu svého post-glaciálního rozšiřování (Durrant, de Rigo, Caudullo, 2016)

V ČR

Buk lesní je naše domácí dřevina vyskytující se na 8,6 % (223 611 ha) z celkové plochy lesů v ČR. V přirozených lesích se jedná o nejčastěji vyskytující se dřevinu na území ČR (Reidl, Šišák a kol., 2019). Spolu s velkou spotřebou a nevysazováním potřebného počtu jedinců pro udržení stavu bylo zastoupení buku lesního zredukováno. Z původního zastoupení 37,5 % zůstalo okolo 6,2 %. Tento velice nízký stav se daří zlepšovat, avšak cílem je zvýšit podíl buku až na 18 % (Reidl, Šišák a kol., 2019). Nejčastější výskyt však je ve 4. lesním vegetačním stupni. Nejnižší se vyskytuje ve 150 m n. m., kdežto nejvýše ho nalezneme ve 1250 m n. m. Tento výskyt je však značně omezen působením člověka. V České republice se vyskytuje prakticky na celém území. Nejčastěji ho nalezneme v oblasti mezofytika a oreofytika, méně v termofytiku (Mičán, 2010).

Ekologické nároky

Buk je naše nejstinnější listnatá dřevina, nesnáší rychlé odclonění (při rychlém odclonění dochází k prudkému oslunění (Kovář, Hrdina, Bušina, 2013). V mládí je citlivý na teplotní výkyvy a holomrazy. Je náročný na půdní i vzdušnou vlhkost. Potřebuje alespoň středně bohaté půdy, které mají vyšší obsah vápníku. Vyžaduje kypré půdy a díky hlubokým kořenům dokáže čerpat živiny z větší hloubky (Galle, 2009). Nesnáší písčité, bažinaté, rašelinaté či půdy s těžkým, neprostupným jílem (Úřadníček, Chmelař, 1998 in Bíšek, 2016).

Dokáže růst v rozmezí pH 3,5 až 8,5, avšak takto kyselé půdy mu již tolik nevyhovují. Vyžaduje dostatek srážek od 500–800 mm. V letním období vyžaduje dostatečnou relativní vlhkost vzduchu. Nesnáší lokality, které jsou pravidelně zatopené nebo kde se nachází stojatá voda, proto neroste na podmáčených nebo zhutněných půdách. Není náročný na geologický podklad (Durrant, de Rigo, Caudullo, 2016).

Pěstování buku

Pěstování buku lesního je rozdílné podle funkce budoucího porostu. Pokud chceme vypěstovat kvalitní a produkční bukové porosty, je nutné se zaměřit na stanoviště hospodářských souborů 35, 45, 55. Na hospodářských souborech 23, 43, 53 je jeho funkce meliorační a na hospodářských souborech 31, 41, 51 funguje spíše jako zpevňující dřevina. Při obnově bukových porostů se snažíme využít a podpořit přirozenou obnovu, pokud je mateřský porost kvalitní. Při umělé obnově se provádějí spíše užší seče či předsunuté skupiny.

Minimální hektarové počty jsou 9 000 kusů/ha pokud se jedná o živná stanoviště. Jedná-li se o ostatní stanoviště, jsou minimální hektarové počty 8 000 kusů/ha (vyhláška č. 139/2004 Sb.). Doporučuje se však sázet alespoň 10 000 kusů/ha. Sazenice, které se používají, jsou buďto dvouleté, podřezávané po prvním roce, či tříleté, školkované po prvním roce. Lze sázet i odrostky i poloodrostky, ale pouze ve sponu 100 x 100 cm. Je nutné zasazené sazenice chránit před vlivem zvěře.

První pěstební zásah (prostřihávka) se u kvalitních porostů provádí v osmi až deseti letech, zpravidla spolu s vyklizením zbytků mateřského porostu. Odstraňují se poškození a netvární jedinci, předrostlíci a obrostlíci, a to nejlépe v tříletém intervalu a opakují se dvakrát až třikrát. Tyto zásahy se provádí mimo vegetační období. Cílem je sjednotit úroveň a vyřadit nekvalitní jedince, zejména ty se sklonem ke košatění koruny. Podúroveň se se v této fázi neodstraňuje. V probírkách se postupně přechází na tzv. „pozitivní výběr“ (podporuje se kvalitní kostra porostu a pustí se více světla do podúrovně). Zásahy se provádí se střední intenzitou zpočátku po deseti, později po patnácti až dvaceti letech. Důležité je mít rozčleněné porosty, kde linky jsou 40–60 m od sebe.

Porosty se sníženou kvalitou se vychovávají prakticky stejně jako kvalitní porosty. Jediný rozdíl je v tom, že se kladný výběr uplatňuje dříve.

Porosty se sníženou kvalitou z důvodu nepříznivého stanoviště, malé hustoty, nekvalitní genetiky či výškové diferenciace mají zpravidla pouze funkci meliorační a zpevňovací. První prořezávka je slabá (snažíme se o co nejlevnější zásahy). Po deseti letech následuje slabý, pozitivní výběr, abychom podpořili nejlepší stromy. Třetí zásah je silný, kladný výběr, aby se uvolnili nejlepší jedinci.

V Krušných horách je v současné době na vytipovaných vhodných stanovištích s bukem určitě žádoucí pracovat a zvyšovat jeho podíl. Vedle ochrany bukových výsadeb před zvěří a myšovitými hlodavci je velmi důležité zajistit do začátku jejich výživu, protože stanoviště jsou často vyčerpána imisní kalamitou a živinové požadavky buku jsou vyšší než u smrku. K tomu je potřeba vybrat vhodná hnojiva s adekvátním zastoupením živin. Předkládaná práce hodnotí odezvu výsadeb buku lesního na testovanou hnojiva prostřednictvím obsahu a fluorescence chlorofylu.

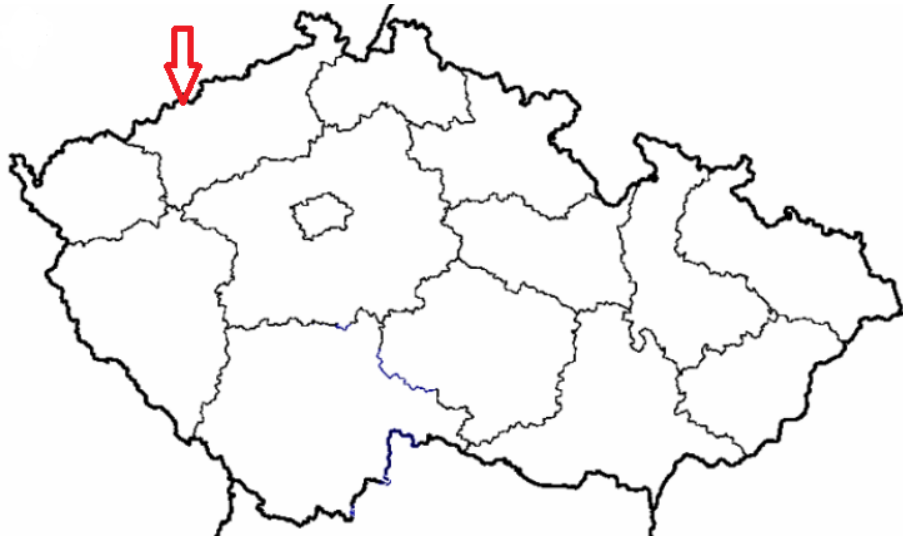
Cíl práce

Posoudit vliv cíleného přihnojení na koncentraci a fluorescenci chlorofylu v listech buku lesního na bývalé imisní holině v Krušných horách.

Metodika

Výzkumná oblast Kalek

Řešená lokalita se nachází nedaleko obce s názvem Hora svatého Šebestiána na souřadnicích GPS: 50.5666000N, 13.2602400E a 50.565771N, 13.258922E, což leží v přírodní lesní oblasti číslo 1.



Obrázek č. 1: Umístění výzkumné oblasti, Obrázky Google

Podle typologické mapy je oblast charakterizována lesním typem 7K5 (HS 73).



Obrázek č. 2: Typologická mapa sledovaného území, Geoportal.uhul.cz

Tento lesní typ se nazývá „Kyselá buková smrčina vlhčí“, kde skutečná výška na mořem činí 820 m (7. lesní vegetační stupeň). Jako hlavní se v tomto lesním typu používá smrk ztepilý (*Picea abies*) a buk lesní (*Fagus sylvatica*). Doporučené meliorační a zpevňující dřeviny jsou BK, BR, BRP, JD, KL, OLS a OS (vyhláška č. 298/2018 Sb.).

Výzkumný objekt o velikosti 0,90 ha je oplocen a osázen sazenicemi buku lesního (*Fagus sylvatica*). Objekt sestává ze dvou výzkumných ploch, ve kterých se nachází celkem 20 plošek umístěných tak, aby se statisticky vyloučila možnost vzájemného ovlivnění. Velikost jedné plošky je 160 m² (16 x 10 m) a do každé bylo vysazeno 240 sazenic buku lesního ve sponu 0,8 m x 0,8 m. Celkový počet jedinců byl 15 600 ks/ha. Tento počet byl během následujících 3 let zredukován na 7800 ks/ha. Vyřazení jedinci byli použiti k destrukčním analýzám. Kvůli minimalizaci ztrát se sazenice vysadily ve dnech 17. – 19. 4. 2018, tj. těsně po roztátí sněhu. Jamky byly vyhloubeny pomocí motorových vrtáků o průměru 15 cm, takže kořeny měly dostatečný prostor pro správný růst oproti klasickému sázení pomocí ručních sazečů.

S týdenním odstupem (24. 4. 2018) od vysázení sazenic byla plocha individuálně přihnojena. Na základě chemických analýz půdy bylo rozhodnuto, že se použije Silvamix MG60 a Silvamix C60 v tabletové i práškové formě. Aplikace proběhla u obou typů stejně tj. 60 g hnojiva na každou sazenici. V případě tabletové formy to vychází na 4 tablety po 15 gramech, u práškové posyp 60 gramy (Nárovcová et al., 2018).

Tablety byly aplikovány do čtyř rohů v pomyslném čtverci, ve vzdálenosti 15 cm od sazenice a byly přišlápnuty pod zem. Prášek byl aplikován posypem do kruhu ve vzdálenosti 15 cm od sazenice (Nárovcová et al., 2018).



Obr. 3



Obr. 4

Obrázek č. 3: Způsob aplikace hnojiva v tabletové formě. Nárovcová et al., 24. 4. 2018, Zpráva k projektu LČR

Obrázek č. 4: Způsob aplikace hnojiva v práškové formě, Nárovcová et al., 24. 4. 2018, Zpráva k projektu LČR

Aplikovaná hnojiva

Silvamix MG60 – hnojivo typu NPK(Mg)

složení – 10 % N (ze 60 % tvořeno močovino-formaldehydem), 13 % P₂O₅,
6,5 % K₂O, 16 % MgO

SilvamixC60 – hnojivo typu NPK(Mg)

složení – 11 % N (ze 63 % tvořeno močovino-formaldehydem), 17 % P₂O₅,
8 % K₂O, 7 % MgO. Hnojivo obsahuje humitan draselný, což je látka podporující sorpci živin.

Prášková i tabletová hnojiva se od sebe v jednotlivých parametrech neliší.

Půda na výzkumné ploše

Výsledky chemické analýzy půdy před výsadbou

budoucí aplikace	dílce	pH (CaCl ₂)	C _{tot} mg/100 mg sušiny	N _{tot} mg/100 mg sušiny	S _{tot} mg/kg sušiny	P _{extrakt} mg/kg sušiny	Ca*mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny
SILVAMIX® MG60 tablety	1,8,15,19	4,17	8,27	0,42	590	4,38	884	90	55
SILVAMIX® C60 tablety	2,7,11,18	3,78	8,60	0,43	553	5,42	442	98	36
SILVAMIX® MG60 prášek	3,6,12,17	3,73	8,55	0,44	588	4,91	470	97	41
Kontrola	4,10,13,16	3,74	8,64	0,45	593	4,48	357	99	33
(aplikace 2019)	5,9,14,20	3,62	9,03	0,46	631	4,76	240	102	36

Tabulka č. 1: Chemického složení půdy, Nárovcová et al. (2018), Zpráva k projektu LČR

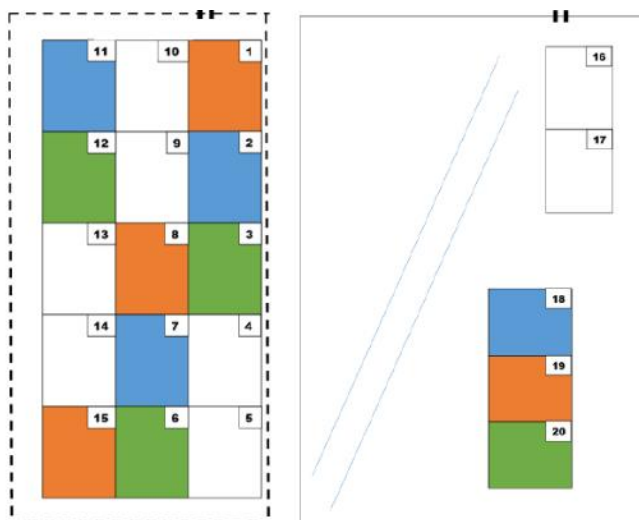
Půda výzkumné plochy je podle sloupce pH (CaCl_2) středně až silně kyselá. V půdě je kritický nedostatek fosforu, střední obsah draslíku a vápníku. Dále je zde nízký až střední obsah hořčíku a velmi vysoký obsah dusíku.

Aplikace

Hnojiva byla aplikována na dvacet jednotlivých dílců, které byly uspořádány dle metod polního pokusnictví. V tomto případě je přihnojena každá varianta čtyřikrát, přičemž se žádná neopakuje v řádku ani ve sloupci.



Obr. 5



Obr. 6

Obrázek č. 5: Mapa výzkumné plochy, Nárovcová et al. (2018), Zpráva k projektu LČR

Obrázek č. 6: Schématické rozdělení výzkumné plochy, Nárovcová et al. (2018), Zpráva k projektu LČR

Oranžová barva znázorňuje variantu Silvamix MG60 v tabletové formě (dílcce 1, 8, 15 a 19), modrá barva znázorňuje variantu Silvamix C60 v práškové formě (dílcce 2, 7,

11 a 18), zelená barva znázorňuje variantu Silvamix MG60 v práškové formě (dílce 3, 6, 12 a 20), bílá barva znázorňuje kontrolní (dílce 4, 10, 13 a 16) a bílá barva znázorňuje variantu Silvamix C60 v tabletové formě (dílce 5, 9, 14 a 17).

Odběr vzorků

Měření proběhlo třikrát za sebou v rozmezí 3 měsíců, rok po přihnojení. První měření proběhlo 17. 6. 2019, druhé 17. 7. 2019 a třetí 19. 8. 2019. Z každého dílce bylo z náhodně vybraných sazenic sebráno 20 listů z osluněných, nejvyšších výhonků. Listy byly plně vyvinuté, zdravé, bez zažloutnutí či nekrot. Následně se listy vkládaly do igelitového pytlíku (z každého dílce zvlášť) spolu s vodou napuštěným tampónkem, aby se redukovala rychlost vysychání, tj. míra stresu působící na listy z důvodu nedostatku vody. Tyto igelitové pytlíky byly po každém dílci umístěny do polystyrenového boxu, kde se nacházely chladicí vložky, které pomáhaly snižovat míru stresu. Následně byly vzorky převezeny do laboratoře na ČZU, kde proběhlo měření pomocí přístrojů OS30p+ a CCM – 300.

OS30p+

Měření se provádí pomocí svorky pro adaptaci na tmu, kterou zajistí posuvná část svorky (Linda, Zádrapová a kol., 2019). V našem případě nebyla použita svorka s posuvnou, zatemňovací částí. Před vlastním měřením byly listy ponechány ve tmě po dobu 30 minut. Dále se ještě před měřením musí zkalibrovat přístroj, což se provedeno namířením na zem a stisknutím příslušného tlačítka (bez nasazené svorky).

Dále je nutné nastavit sílu modulovaného zdroje světla, tzv. „Modulation Src“. Síla (Power) se nastavuje v rozmezí 10–100 % tak, aby se její ukazatel nacházel v zeleném poli ukazatele. Další se musí nastavit síla saturačního pulzu, tzv. „Saturation Flash“. Správnost nastavení se ukazuje tak, že je křivka na přístroji na svém vrcholu

plochá a nikoliv do špičky. Nakonec se musí nastavit doba saturace („Saturation Width“), což znamená, jak dlouho bude vzorek osvětlen. Nastavení je od 0,1 – 1,5 sekund (Linda, Zádřapová a kol., 2019).

CCM – 300

Přístroj funguje na principu zjišťování poměru emisí fluorescenčního světla o vlnové délce 735 nm a 700 nm (jinak označované jako Fv/Fm). Tento poměr se poté automaticky přepočítává na koncentraci chlorofylu. Při měření se musí kontrolovat síla signálu a případně se musí upravit tak, aby byl ukazatel v zeleném poli. Měření se aktivuje stiskem tlačítka „Measure“ (Linda, Zádřapová, 2019).

Měření

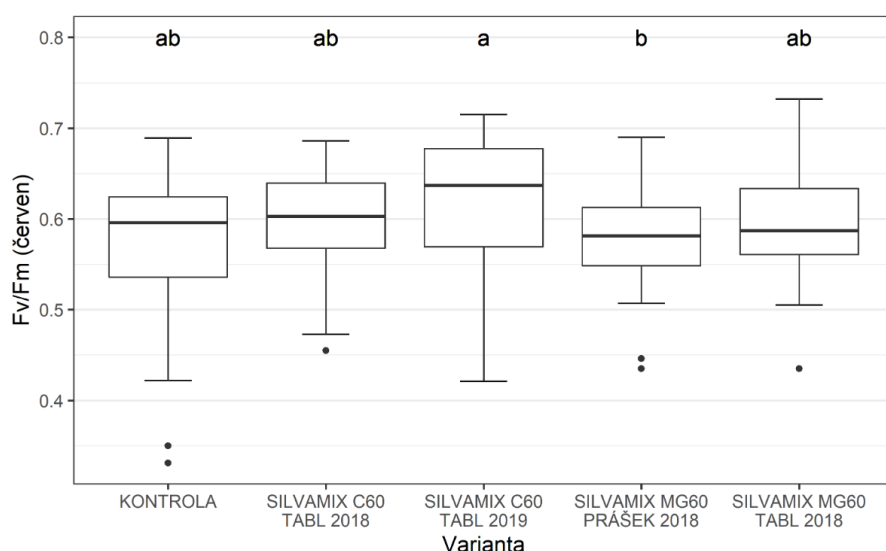
Měření s přístrojem OS30p+ probíhalo v co největší tmě, aby se zajistila konzistence v naměřených hodnotách. Do měřicího přístroje se musela jako první vložit svorka. Do této svorky se následně vkládalo 10 náhodně vybraných listů z každého dílce tak, aby byly lícem nahoru. Listy byly vkládány do svorky tak, aby se měřicí čidlo svorky nacházelo ve prostřed listu. Každý list se takto měřil jednou.

Měření s přístrojem CCM – 300 probíhalo obdobně jako s předchozím přístrojem. Bylo náhodně vybráno 10 listů, které se měřily na středové žíle celkem na 3 místech (u řapíku, ve prostřed listu a u konce čepele). Listy byly opět měřeny lícem k čidlu.

Výpočet

Naměřené hodnoty (obsahu chlorofylu i jeho fluorescence) byly testovány pomocí Kruskal-Wallisova testu. Výsledky byly vyhodnoceny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Kruskal-Wallisův test ukázal statisticky významné rozdíly. Jednotlivé rozdíly mezi variantami byly zjištěny pomocí mnohonásobných porovnáání.

Výsledky

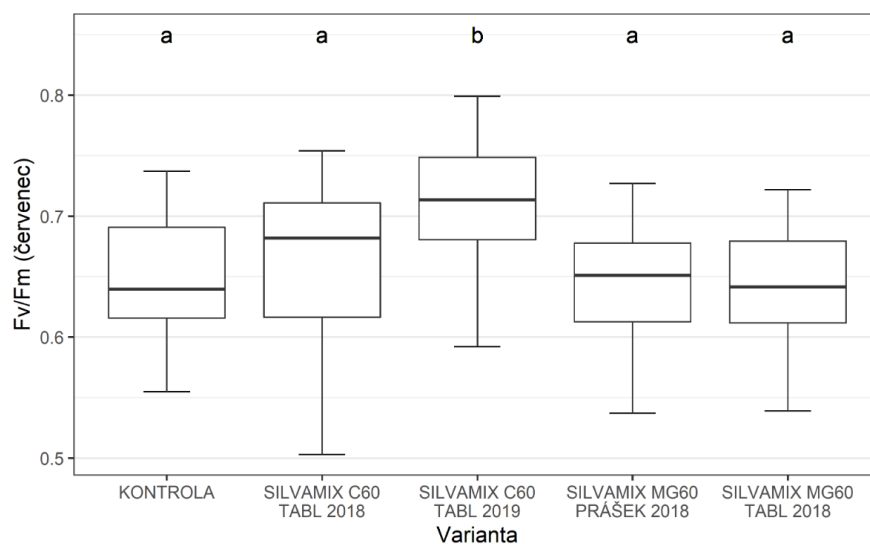


Graf č. 3: Fluorescence chlorofylu, červen 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvantilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

Při porovnání výsledků se jeví, že varianty Silvamix C60 2019 v tabletové formě a Silvamix MG60 2018 v práškové formě se vůči sobě statisticky průkazně liší. Výsledek ukazuje, že tabletová forma přípravku Silvamix C60 účinně napomáhá ke zvýšení fluorescence chlorofylu. Je velice pravděpodobné, že je tento výsledek ovlivněn rokem

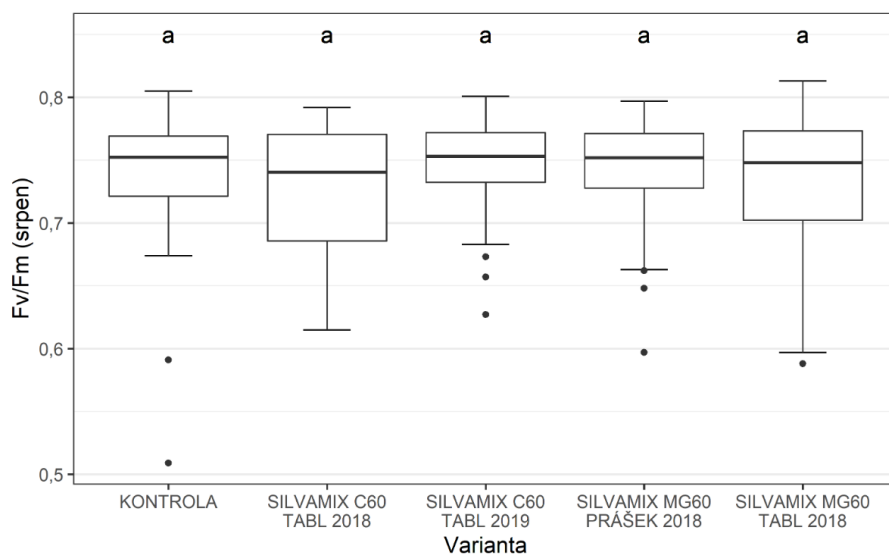
aplikace a formou přípravku. Tablety se v půdě rozpouštějí mnohem pomaleji a tím dochází k déle trvajícím účinkům.



Graf č. 4: Fluorescence chlorofylu, červenec 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvantilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

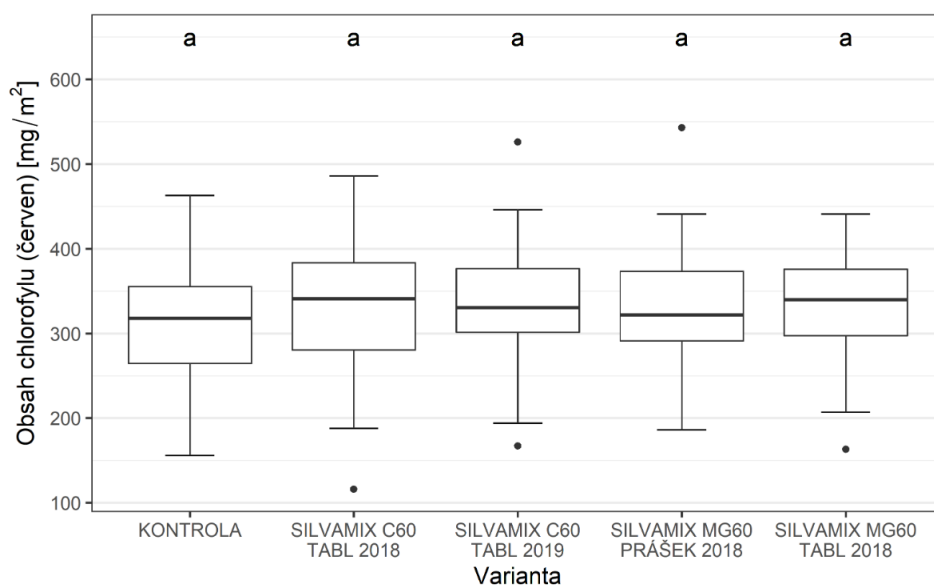
Jak graf ukazuje, v tomto měsíci se fluorescence chlorofylu dostává na nejvyšší hodnoty (naměřené v tomto výzkumu). To je způsobené tím, že v červenci je nejvyšší intenzita slunečního záření. Výsledek varianty Silvamix C60 v tabletové formě aplikované v roce 2018 se dle grafu ukazuje také jako účinná, avšak tento rozdíl není statisticky významný kvůli značnému rozptylu naměřených hodnot.



Graf č. 5: Fluorescence chlorofylu, srpen 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvartilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

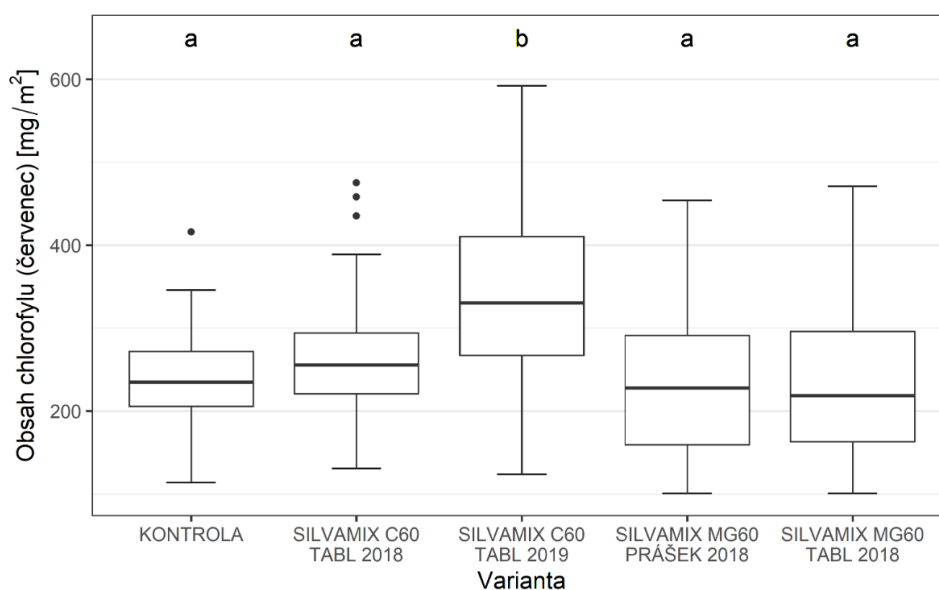
V srpnu je stále nejvyšší intenzita slunečního záření, proto jsou hodnoty obsahu chlorofylu na tak vysoké úrovni. Výsledky v tomto grafu však nevykazují žádnou statisticky významnou odchylku.



Graf č. 6: Obsah chlorofylu, červen 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvartilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

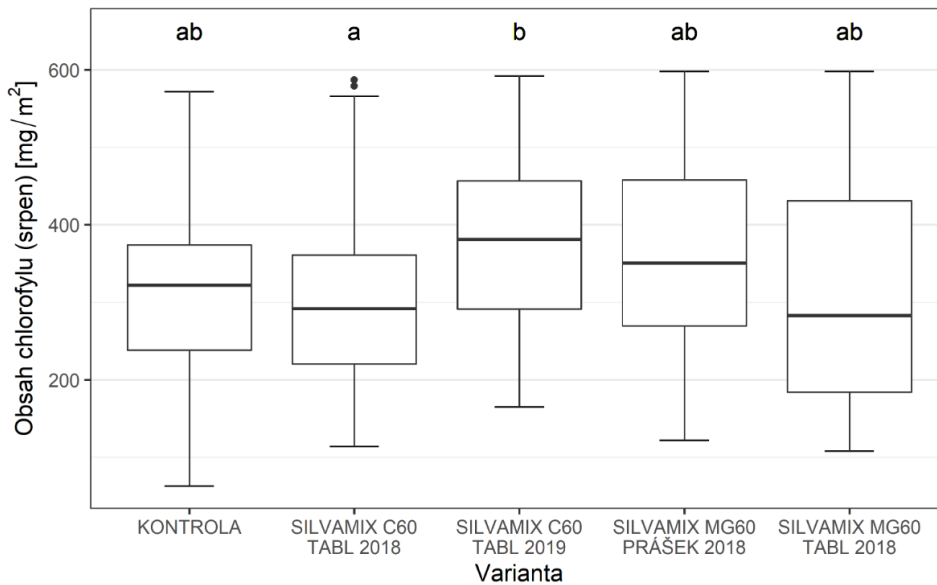
Výsledky v tomto grafu nevykazují žádnou statisticky významnou odchylku.



Graf č. 7: Obsah chlorofylu, červenec 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvantilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

Naměřené hodnoty tabletové formy Silvamix C60 2019 opět vykazují statisticky významnou odchylku v obsahu chlorofylu oproti ostatním naměřeným variantám. Tomuto rozdílu ovšem (jako u všech měření) napomáhá o rok pozdější aplikace přípravku.



Graf č. 8: Obsah chlorofylu, srpen 2020, Kalek – Krušné hory.

Krabice ohraničují hodnoty mezi prvním a třetím kvantilem. Linie (vousky) vyjadřují 1,5násobek mezikvartilního rozsahu. Silná čára v krabici značí medián a jednotlivé body odlehlé hodnoty (outliery).

V tomto výsledkovém grafu je možné vidět statisticky významnou odchylku pouze mezi variantou Silvamix C60 2018 a Silvamix C60 2019 v tabletové verzi.

Diskuze

Bavíme-li se o měření fluorescence, stres mohl být vyvolán vysokou venkovní teplotou, i když byly vzorky důkladně uzavřeny a chlazeny. Toto tvrzení však vyvrací výsledky pokusu Haldimann and Feller (2004) in Linda, Zádrapová a kol (2019) na dubu pýřitém (*Quercus pubescens*), kde se ukázalo, že k ovlivnění výsledků fluorescence chlorofylu dochází až při teplotách na 40 °C. K ovlivnění výsledků však mohlo dojít přílišným podchlazením listů při převozu. Jak ukazuje studie Öquist and Huner (1991) in Linda, Zádrapová a kol. (2019) provedená na semenáčcích borovice lesní (*Pinus sylvestris*) či studie Adams et al. (1995) in Linda, Zádrapová a kol. (2019) provedená na 7

druzích rostlin, odpověď fluorescence chlorofylu se u buku lesního (*Fagus sylvatica*) (a dalších dřevin) mění v závislosti na snížené teplotě.

Dalším významným stresovým faktorem je časový interval převozu mezi výzkumnou plochou a laboratoří. K měření došlo cca po uplynutí 3–4 hodin. Po utržení listu dochází k vadnutí, i když listy byly uloženy do chladu, vlhka a temna, což průběh vadnutí brzdilo. Vliv zatížení výsledků odstupem sběru a měření byl nicméně pro všechny listy stejný, jelikož listy byly nasbírány v krátkém časovém intervalu, díky čemuž došlo k případnému ovlivnění všech výsledků stejnou měrou a nebylo tím zasaženo vzájemné porovnání variant.

Jedná-li se o měření koncentrace chlorofylu, tak zde by stres vyvolaný již zmíněnými důvody neměl hrát roli natolik důležitou, aby ovlivnil výsledky naměřených hodnot.

Pro správné fungování rostliny je zapotřebí, aby měla dostatečné množství chlorofylu, který jí zajistí správný průběh a dostatečné množství fotosyntézy. Pokud rostlině dodáme živiny navíc a tím jí zlepšíme podmínky, zvýší se tím i obsah chlorofylu v asimilačních orgánech. To má za následek rychlejší růst biomasy, což je klíčové zvláště v rané fázi růstu.

K měření se sbíraly listy vyskytující se v horní (nejvíce osluněné) části rostliny. Tím se zachovala určitá konzistence, která zajišťovala, že listy budou mít alespoň podobné podmínky. Další důvod výběru těchto listů byl, že se nejvíce podílejí na fotosyntéze, jelikož jsou nejvíce osluněny. Díky tomu jsou vidět ve výsledcích i méně patrné rozdíly.

Případný vliv variability stanoviště (mikrostanovištních rozdílů) na sledované parametry výsadby by měl být odfiltrován designem pokusu a rozmístěním opakování jednotlivých variant v rámci pokusu.

Krušné hory se dodnes potýkají s dopady imisní kalamity. Odumírají zde celé porosty kvůli použití špatné provenienci dřeviny (smrk pichlavý, bříza bělokorá), které se musí nahradit novými. Pomocí tohoto výzkumu (a mnoha dalších) je možné naplánovat nové, postupné zalesnění těchto nově vzniklých ploch. Jedním z významných faktorů je

volba vhodné dřevinné skladby. Pokud bychom chtěli zde uspíšit pěstování kvalitních porostů, je zapotřebí vynaložit mnoho finančních prostředků pro dlouhodobé vylepšení zdejších podmínek pro růst dřevin. V tom případě bychom zde mohli rovnou (teoreticky) pěstovat cílové hospodářské dřeviny. Ty by ale s vysokou pravděpodobností trpěly stresem z nepříznivých podmínek degradovaného horského stanoviště. Pokud bychom však nechtěli (či nemohli) vynaložit potřebné finanční prostředky, muselo by se přistoupit na alternativní řešení. Jedním z řešení je založit porost pouze z náhradním a přípravných dřevin, které budou nejvhodnější na daná stanoviště (z hlediska ekotypu dřevin, nároků na půdy atd.). Tyto dřeviny budou degradovanou půdu obohacovat o živiny svým opadem. U těchto porostů by byla stěžejní jejich ochranná funkce. Po uplynutí určité doby, kdy už budou půdní podmínky lepší, resp. kdy přípravné porosty již budou tvořit potřebnou ochranu, je možné tyto porosty náhradních a přípravných dřevin doplnit o hlavní hospodářské dřeviny, u kterých by už byla důležitější kvalita a produkce. Toto doplnění by se provedlo například za využití tzv. „kotlíků“, a nebo by se jednotlivé porosty podsazovaly stinnými dřevinami.

Závěr

Výsledky výzkumu potvrdily účinnost především u hnojiva s kontrolovaným výdejem živin SILVAVAMIX C60 s formulací N-P-K-Mg (%): 11-17-8-7, které obsahovalo přídavek humitanu draselného podporující sorpci živin. Aplikace tablet s touto formulací příznivě ovlivnila jak fluorescenci chlorofylu, tak koncentraci chlorofylu v asimilačním aparátu buku lesního. Cílená podpora výsadeb lesních dřevin, ať už pomocí hnojiv řady Silvamix, či jiných vhodně formulovaných přípravků, by měla být nedílnou součástí obnovy porostů na degradovaných stanovištích v Krušných horách, protože parametry těchto půd (pH, obsah živin a organické hmoty) nejsou na řadě stanovišť v adekvátním stavu.

Zdroje

Alexander A., Helm H.U., 1990, Ureaform as a Slow Release Fertilizer: A Review, Weinheim, sborník Journal of Plant Nutrition and Soil Science, volume 153, issue, 249–255 s, ISSN 1522-2624

Balcar V., Pěnička L., 2008, Porosty náhradních dřevin v Krušných horách, Písek: matice Lesnická, Lesnická práce: časopis vydávaný Čs. Maticí lesnickou věnovaný lesnické vědě a praxi, ročník 87, měsíc leden, 20–21 s, ISSN 0322-9254

Bíšek T., 2016, Struktura a dynamika přirozené obnovy po skupinové seči ve smíšeném lese na ŠLP Křtiny, Mendelova univerzita v Brně, Diplomová práce, 100 s

Černíková Z., 2011, Analýza potenciálního rozšíření dřevin v lesích Šumavy, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Diplomová práce, 103 s

Češek T., 2016, Vyhodnocení vlivu hnojiv řady Silvamix, vápnitého dolomitu a organominerálního stimulačního přípravku na podporu odrůstání smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karsten), Mendelova univerzita v Brně, Bakalářská práce, 79 s

Durrant T.H., de Rigo D., Caudullo G., 2016, *Fagus sylvatica* and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats, Luxembourg, European Atlas of Forest Tree Species, 94–95 s, ISBN 978-92-79-36740-3

Fadrhonsová V., Šrámek V., 2020, Sledování chemických vlastností půd a atmosferické depozice, Písek: matice Lesnická, Lesnická práce: časopis vydávaný Čs. Maticí lesnickou věnovaný lesnické vědě a praxi, ročník 99, měsíc květen, 26–29 s, ISSN 0322-9254

Galle J., 2009, Buk lesní (*Fagus sylvatica*) a smrk ztepilý (*Picea abies*) v typologických jednotkách vegetačních stupňů Jeleních louček v Hrubém Jeseníku, Mendelova univerzita v Brně, Diplomová práce, 85 s

Holata F., 2011, Vývoj teplotních a srážkových poměrů přírodní lesní oblasti Krušné hory, Mendelova univerzita v Brně, Bakalářská práce, 68 s

Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I., 2009, Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy 2. Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy, Praha: Matice česká při Museu království českého, Živa: časopis přírodovědecký, 3/2009, 141–144 s, ISSN 0044-4812

Jandová V., 2007, Statistická ročenka životního prostředí ČR 2006, Ministerstvo životního prostředí: Praha, kapitola B4, ISSN 0862-9005

Kolářová H., Hůnová I., 2006, Vzduch, který dýchám, Horní Maršov: SEVER, Vzduch, který dýchám, Bedrník: časopis pro ekogramotnost., 11 s, ISSN 1801-1381

Kovář K., Hrdina V., Bušina F., 2013, Písek, Učební texty z předmětu Pěstování lesů, Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek, 194 s, reg. č. CZ.1.07/2.1.00/32.0012

Krečmer V., Gross V., Menžlík V., Vinš B., 1999, Rozbor, hodnocení vývoje a koncepce obhospodařování horských lesů imisní oblasti Krušných hor, Zpravodaj Ministerstva životního prostředí: Praha, ročník 9., měsíc únor, 48–52 s, ISSN 0862-9005

Kubelka L. a kol., 1992, Obnova lesa v imisemi poškozované oblasti severovýchodního krušnohoří, Vydalo ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospoj: Praha, 133 s

Lee H.K., Khaine, I. Kwak, M.J. et al., 2017, The relationship between SO₂ exposure and plant physiology: A mini review, sborník Horticulture, Enviroment, and Biotechnology, volume 58, issue 6, 523–529 s, ISSN 2211-3452

Lihong L., Huilan Y., 2012, Effect of sulfur dioxide on ROS production, gene expression and antioxidant enzyme aktivity in Arabidopsis plants, School of Life Science, Shanxi University, China, sborník Plant Physiology and Biochemisty, volume 58, 46–53 s, ISSN 0981-9428

Linda R., Zádrapová D., Křížová K., Kuneš I., 2019, Měření obsahu a fluorescence chlorofylu v listech sadebního materiálu vybraných dřevin pomocí přenosných přístrojů, VÚLHM Jíloviště, 46 s ISBN 978-80-7417-172-7, ISSN 0862-7657

Mičán A., 2010, Populace buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) geobiocenóz masívu Javořice (Přírodní lesní oblast Českomoravská vrchovina), Mendelova univerzita v Brně, Bakalářská práce, 98 s

Nárovcová J., 2018, Ověření změny obsahu živin v sazenicích po výsadbě po přihnojení pomalu rozpustnými hnojivy včetně zachycení růstové reakce do 2 let po výsadbě, VÚLHM Jíloviště, Výzkumné projekty grantové služby LČR, 33 s

Panajotová S., 2010, Vývoj zalesnění a rekultivace oblasti Krušných hor s využitím výukového projektu pro střední školy, Univerzita Karlova v Praze, Diplomová práce, 128 s

Pazdera Z. a kol., 10. 5. 2015, *Fagus sylvatica* – buk lesní (online), © 2020 Herbář Wendys, cit. 10. 6. 2020, dostupné z <https://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin/693-fagus-sylvatica-buk-lesni>

Popelář J., 1999, Plzeň, Oblastní plán rozvoje lesů, Přírodní oblast 01 Krušné hory, Textová část č.1, Vydal Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem ve spolupráci s Českou lesnickou společností, 635 s, ISBN 978-80-88184-20-1

Reidl M., Šišák L. a kol., 2019, Zpráva o stavu lesů a lesního hospodářství České republiky v roce 2018, Ministerstvo zemědělství: Praha, 144 s, ISBN 978-80-7434-530-2

Remeš J., Výlupek O., Podrázský V., Zahradník D., 2006, Využití chemické meliorace při obnově lesních ekosystémů v Krušných horách In: Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství, Sborník referátů z konference, Kostelec nad Černými lesy, Ed. Neuhöferová P., Česká zemědělská univerzita v Praze a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 251–258 s, ISBN 80-213-1446-X

Skrziszowski M., 2009, Srovnání vývoje prostokořených a krytokořených sazenic buku lesního v prvních letech po výsadbě v oblasti Plzeňska, Česká zemědělská univerzita v Praze, Disertační práce, 135 s

Šrámek V., Balcar V., Buriánek V., Havránek F., Jurásek A., Liška J., Novák J., Slodičák M. a kol., 2015, Aktualizace studie Lesnické hospodaření v Krušných horách, VÚLHM Jíloviště, Návrh směrnic LH pro přírodní lesní oblast 01, 196 s

Šrámek V., Novotný R., Fiala P. a kol., 2014, Vápnění lesů v České republice, Praha, Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s VÚLHM, 94 s, ISBN 978-80-7434-150-2

Uhlířová H., Lochman V., Šrámek V. a Sovová Z., 1998, Sledování cizorodých látek v lesních ekosystémech, VÚLHM Jíloviště, Chemické listy, volume 92, 807–815 s, ISSN 1213-7103

Ulbrichová I., Podrázský V., 2001, Hodnocení listnatých přípravných dřevin z hlediska obnovy a ochrany půdy v Krušných horách In: Výsledky lesnického výzkumu v Krušných horách v roce 2001, Sborník z celostátní konference, Teplice, Ed. Slodičák M., Novák J., VÚLHM Teplice, 21–28 s, ISBN 80-86461-25-4

Vavříček D., 2007, Revitalizace půdního prostředí valů v 7. LVS Krušných hor s návrhem dalších opatření pro obnovu lesa, Mendelova univerzita v Brně, Výzkumné projekty grantové služby LČR, 27 s

Vyhláška č. 298/2018 Sb. o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů

Vyhláška č. 78/1996 Sb. o stanovení pásem ohrožení pod vlivem imisí

Vyhláška č. 139/2004 Sb. o přenosu semen a sazenic lesních dřevin, o evidenci o původu reprodukčního materiálu a podrobnosti o obnově lesních porostů a o zalesňování pozemků prohlášených za pozemky určené k plnění funkcí lesa

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

Internetový odkaz č. 1,

Datum spuštění internetového odkazu: 6. 3. 2018, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, datum citace: 22. 3. 2020

https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=5507

Internetový odkaz č. 2

Datum spuštění internetového odkazu: 22. 6. 2016, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, datum citace: 5. 4. 2020

http://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/vychodiska/dreviny/drev_bk.html