

POUŽITÍ HNOJIV S OBSAHEM ZEOLITU V LESNÍCH POROSTECH



Ing. RADEK NOVOTNÝ, Ph.D.

Použití hnojiv s obsahem zeolitu v lesních porostech

Certifikovaná metodika

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Strnady 2022

Lesnický průvodce 3/2022

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

www.vulhm.cz

Publikace vydané v řadě Lesnický průvodce jsou dostupné v elektronické verzi na:

http://www.vulhm.cz/lesnicky_pruvodce

Vedoucí redaktor: Ing. Jan Řezáč; e-mail: rezac@vulhm.cz

Výkonná redaktorka: Miroslava Valentová; e-mail: valentova@vulhmop.cz

Grafická úprava a zlom: Klára Šimerová; e-mail: simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-237-3

ISSN 0862-7657

USE OF ZEOLITE-CONTAINING FERTILIZER IN FORESTS STANDS FOR FOREST REGENERATION

Abstract

New type of fertilizer with 30% zeolite content was prepared in Lovochemie Company and tested within two forest district during 2020–2021. This newly developed fertilizer is a source of important nutrients (N, P, Ca, K, Mg, S) and basic trace nutrients (B, Zn, Mo) in balanced ratio. Presence of zeolite in fertilizer helps to bind water and improves the sorption of cations, which leads to a reduction of the loss of nutrients by leaching into the deeper soil layers. The fertilizer is suitable in areas, where no fertilizing applied, in the pit or on the surface, during planting, and it should be applied before the new cultures are stabilized, and the symptoms of nutrient deficiency and growth retardation etc. are visible. The methodology summarizes experiment results with a new type of fertilizer for forestry, and the recommendations of its applications in forest tree plantations.

Key words: forest fertilizer; targeted fertilization of young plants; nutrient deficiency; forest soils, zeolite

Oponenti: Ing. Martin Baláš, Ph.D., Katedra pěstování lesů, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze

Ing. Dušan Reininger, Ph.D., Oddělení půdy a lesnictví, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Osvědčení číslo MZE51377/2022-16222/M245 o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací bylo vydáno dne 30. 8. 2022.

Foto na obálce:

Zakládání pokusné plochy na LS Třeboň se sazenicemi dubu

Adresa autora:

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136

252 02 Jíloviště

e-mail: novotny@vulhm.cz

Obsah:

1	CÍL METODIKY	7
2	VLASTNÍ POPIS METODIKY	7
2.1	Úvod – stav lesních půd	7
2.2	Praktické zkušenosti s aplikací nově vyvinutého hnojiva	11
2.2.1	Složení hnojiva	12
2.2.2	Půdní chemismus na pokusných plochách	14
2.2.3	Růst sazenic na pokusných plochách	24
2.2.4	Shrnutí získaných poznatků z pokusných aplikací	27
2.2.5	Doporučení pro aplikaci při přihnojení výsadeb	28
2.3	Výběr ploch pro přihnojení výsadeb	30
2.3.1	Odběr půdní vzorků	31
2.3.2	Odběr vzorků asimilačního aparátu	32
2.3.3	Rozhodování o potřebě přihnojení	33
2.3.4	Aplikace hnojiva	35
2.3.5	Vyhodnocení účinnosti hnojení	35
3	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	37
4	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	38
5	EKONOMICKÉ ASPEKTY	39
6	SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	40
7	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	43
8	DEDIKACE	44
9	POUŽITÉ ZKRATKY	45
	SUMMARY	46
	PŘÍLOHA	48

1 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout informace potřebné pro použití hnojiva vyvinutého v rámci projektu TA ČR (projekt č. TH04030217 „Hnojiva se zeolity pro lesní hospodářství“, realizovaný v letech 2019–2022) pro aplikaci v lesních porostech. Metodika je určena pro lesnickou praxi, obsahuje popis praktických zkušeností získaných v průběhu řešení projektu při testovacích aplikacích hnojiva. Alespoň rámcově zahrnuje také problematiku aplikace hnojiv v lesních porostech, kritéria výběru ploch pro aplikaci, způsob aplikace, kontrolní činnost a vyhodnocování účinnosti provedených aplikací.

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1 Úvod – stav lesních půd

Půda je velmi významnou, a lze říci, že základní součástí lesních ekosystémů. Má totiž zásadní význam pro výživu a stabilitu lesních porostů a tvoří také prostředí pro půdní organismy, které se podílejí na mineralizaci a koloběhu prvků. Je proto právem označována za základní složku ekosystému a její stav zásadním způsobem ovlivňuje a formuje růst, vývoj i stabilitu rostlinného společenstva (bylinné, keřové i stromové patro), které se na ní utváří.

Jako půdu označujeme zpravidla svrchní vrstvu zemské kůry, která je osídlena a využívána živými organismy, ať už jde o rostliny, nebo živočichy. Sahá od povrchu porostlého vegetací až po matečnou horninu a její tloušťka je značně proměnlivá. Její vznik je velmi pomalý, jeden centimetr půdy se tvoří až sto let a kromě základních fyzikálních a chemických procesů je pro stav půdy zásadní také půdní biota – živé organismy, které zpracovávají organickou hmotu, zpřístupňují živiny pro růst rostlin i pro půdní život, provzdušňují půdu a přispívají k promíchávání organické hmoty s minerální půdou. Půda vzniká díky vzájemnému působení půdotvorné-

ho substrátu, klimatu, živých organismů, vody i dalších působících faktorů (Kozák 2002, Web1).

Lesní ekosystém je charakteristický dlouhodobostí produkce. Průměrné obmýti (doba od založení porostu do doby dosažení mytní zralosti) přesahovalo v roce 2020 věk 115 let (MZe 2021). Tato dlouhodobost vede často k domněnce, že odběr organické hmoty a živin, ke kterému dochází především těžbou dřeva (hroubí), popř. i využíváním těžebních zbytků (nehroubí) pro různé účely, je přirozené v průběhu této dlouhé doby nahrazován zvětráváním matečné horniny, půdní biologickou činností (zpracování organických zbytků z povrchu půdy) a vstupem prvků z atmosféry prostřednictvím suché a mokré depozice. Dnes už víme, že tyto zdroje nestačí v plném rozsahu odběr vždy nahradit. V minulosti totiž došlo ke změnám, které přirozenou rovnováhu v lesním ekosystému narušily a s jejichž následky se potýkáme i na počátku třetího desetiletí 21. století.

Mezi vlivy, které narušují rovnováhu lesních ekosystémů, patří faktory přirozené, přírodní, kam řadíme především vliv klimatu, tj. dlouhodobé a postupné změny srážkových a teplotních poměrů, případně dalších faktorů, které mění podmínky pro růst a vývoj rostlinných a živočišných druhů, a dále vlivy způsobené přímo nebo nepřímo činností člověka. Vliv člověka na lesy trvá řádově stovky až tisíce let. Zpočátku se jednalo především o změnu ve způsobu využívání krajiny a půdy – původní lesní, lesostepní nebo stepní ekosystémy byly postupně využívány pro zemědělskou produkci, později bylo dřevo nejvýznamnějším stavebním materiálem a bylo používáno i v průmyslu, což vedlo k dalšímu odlesnění krajiny, a tím i ke změnám v původně lesních půdách. V posledních přibližně 150–200 letech (zjednodušeně řečeno od vynálezu parního stroje a počátku průmyslové revoluce) hovoříme o významném vlivu průmyslových látek, tedy o imisním působení látek, pocházejících z intenzivní průmyslové a zemědělské činnosti.

Zpočátku byly dokumentovány především přímé škody na vegetaci působené emitovanými sloučeninami do ovzduší. Např. šlo o poškození vegetace fluorem (Mayrhofer 1893; Rhode 1895) nebo oxidem siřičitým (Singer 1916; Stoklasa 1923; Hönig 1964), který byl v Evropě i na území Česka dlouho hlavní imisní látkou (Šrámek 1998; Zapletal 2014). Následně (po odsíření velkých průmyslových zdrojů) byla zvýšená pozornost věnována vlivu dusíku a jeho sloučenin (Thimonier a kol. 2005; Waldner a kol. 2015). Teprve později se pozornost obrátila také k lesní půdě a k dlouhodobým a postupným změnám, které byly vyvolány desítky let trvajícím vstupem kyselých sloučenin (De Vries a kol. 2000, 2014; Lomský a kol. 2011, 2012; Novotný a kol. 2017).

V souvislosti s lesními půdami bylo, a také v současné době je, na území Česka řešeno několik projektů zaměřených na plošný průzkum a vyhodnocení stavu les-

ních půd. Mezi ty větší patřil projekt Evropské komise BioSoil (2005–2008), projekt NAZV č. QI112A168 ForSoil (2011–2014), který s daty projektu BioSoil dále pracoval, projekt NAZV č. QI112A201 KOLEP (2011–2014), projekt NAZV QK1920163 SoilProMo (2019–2021) a patří sem také průzkumy stavu lesních půd prováděné ÚKZÚZ nebo ÚHÚL. Informace o stavu lesních půd doplňuje řada dalších projektů a činností – průzkumy prováděné v souvislosti s chemickou meliorací acidifikovaných půd, šetření LOS, monitoring stavu lesa a další.

Výsledky všech těchto průzkumů a hodnocení stavu lesních půd mají jedno společné – ukazuje se, že zjištěné koncentrace hlavních živin nenaplnují očekávání a předpoklady, které jsme si o lesních půdách v naší republice vytvořili a stále s nimi například v podobě typologického systému pracujeme. A nejedná se přitom pouze o výsledky chemismu nadložní humusové vrstvy a svrchní minerální půdy, ve které mají dřeviny nejvíce sorpčních kořenů. Nepříznivé podmínky (nedostatek živin, nízké pH) nejsou výjimečné ani v hlubších půdních vrstvách, v hloubkách půl metru až jeden metr. Neboli zjednodušeně řečeno – situaci zhoršeného stavu lesní půdy nelze vždy vyřešit pouze tím, že vysázíme hlouběji kořenicí druhy dřevin, které po čase zmobilizují a do koloběhu porostu přitáhnou živiny z hlubších vrstev půdy.

Na základě informací získaných v rámci výše uvedených projektů a průzkumů stavu lesních půd můžeme konstatovat, že v lesích Česka převažují silně kyselé a středně kyselé půdy, ve kterých jsou nízké až velmi nízké koncentrace hlavních živin (vápník, hořčík, draslík, fosfor), především ve svrchní minerální půdě, a to až do hloubky 40 cm. Nedostatek uvedených prvků se projevuje v nízkém až velmi nízkém nasycení sorpčního komplexu půd bázemi. Zatímco u koncentrace prvků typologický systém žádné konkrétní hodnoty podle ekologických řad nebo edafických kategorií neuvádí, pro kationtovou výměnnou kapacitu, resp. pro nasycení bázemi takové údaje publikovány byly, a tak lze alespoň z tohoto pohledu předpoklady s realitou porovnat. Ucelenou práci na toto téma publikovali Šrámek a kol. (2013) v časopise Zprávy lesnického výzkumu.

Na zjištění o aktuálním stavu a vývoji chemismu lesních půd lze nahlížet z různých úhlů a je zřejmé, že se nevyhneme přemýšlení a diskuzi například o následujících tématech:

- Současný stav lesních půd v řadě oblastí zřejmě nemůže garantovat dlouhodobou udržitelnost lesního hospodaření, respektive pokrýt ztráty živin vznikající odběrem biomasy (hroubí, popř. i nehroubí). Je otázkou, zda tyto ztráty mohou být nahrazeny současnými vstupy – zvětráváním a atmosférickou depozicí. S chemickou meliorací a citlivou volbou dřevinné skladby je každopádně nutno počítat v daleko větší míře, než to dosud bylo běžné. Nutně to povede k zaklá-

dání a pěstování druhově, věkově i prostorově pestřejších porostů, než jak jsme byli v průběhu 20. století zvyklí.

- Riziko mohou představovat rozhodnutí, která jsou připravována na základě současného typologického systému s využitím předpokládaných vlastností lesních půd, které ovšem neodpovídají skutečnosti. Jako typický případ je možno uvést např. doporučení pro využívání těžebních zbytků pro energetické účely, či pěstování rychle rostoucích dřevin bez doplnění živin do lesních půd kompenzačním hnojením. Tyto postupy je nutné přehodnotit a v podobných případech rozhodovat podle konkrétních dat pocházejících z aktuálních půdních průzkumů, nikoliv podle kategorií lesnické typologie. Pro lesnickou typologii jako takovou by bylo zřejmě vhodné přinejmenším diskutovat úpravu interpretace jednotlivých kategorií.
- Z dosažených výsledků vyplývá mj. zásadní význam vrstvy nadložního organického horizontu pro výživu současných i budoucích lesních porostů. V této vrstvě je obsaženo velké množství živin a při současném vážném nedostatku živin v povrchových minerálních horizontech to přináší řadu rizik. Uchování funkčního organického horizontu by mělo být zohledňováno při hospodaření v lesích i při dalších způsobech využívání lesních ekosystémů. Spoléhat při pěstování lesů pouze na živiny z nadložního organického horizontu je ovšem dlouhodobě i střednědobě neudržitelné. Tato skutečnost ukazuje na významnou roli chemické i biologické meliorace lesních půd pro zachování principu trvalé udržitelnosti lesního hospodářství.

Podrobně jsou získané výsledky diskutovány např. v publikacích Šrámek a kol. (2015, 2014, 2013) a Fiala a kol. (2019, 2017, 2009). Průzkum stavu půd a výživy lesa podle jednotlivých přírodních lesních oblastí (PLO) je prováděn Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) a je zveřejněn na webu tohoto ústavu (www.ukzuz.cz).

2.2 Praktické zkušenosti s aplikací nově vyvinutého hnojiva

Základním podkladem pro zpracování této metodiky byly zkušenosti získané při pokusných aplikacích hnojiv s obsahem zeolitu určených pro lesní porosty, především pak pro přihnojení sazenic lesních dřevin. Terénní pokusy probíhaly v letech 2019–2021 a navazovaly na pokusy prováděné v předchozích letech 2017–2019 v rámci řešení projektu TA ČR TH02030785 „Hnojiva pro lesní hospodářství“.

Lesnická hnojiva se od hnojiv určených pro zemědělskou produkci odlišují kromě složení především tím, že u nich probíhá pozvolné uvolňování živin. Cílem je, aby toto uvolňování probíhalo alespoň jeden rok nebo déle než jeden rok. Důvodem je, že při rychlém rozpouštění a uvolňování živin (ke kterému dochází typicky u zemědělských hnojiv) může dojít k rychlému vyplavování prvků z dosahu kořenů sazenic lesních dřevin a i ke kontaminaci podzemních vod, především sloučeninami dusíku.

Nejčastěji se lesnická hnojiva aplikují současně s výsadbou na povrch půdy (v tabletované, granulované nebo práškové formě), možná je také aplikace do výsadbové jamky. Aplikace do jamky a promísení s půdou na stanovišti zajišťuje přítomnost živin v minerální půdě a zároveň tedy v kořenové zóně hned od výsadby a není třeba čekat na postup živin od povrchu půdy. Aplikaci hnojiva do výsadbové jamky lze proto označit za vhodnější pro výživu a vývoj sazenic lesních dřevin. Tato forma aplikace hnojiv při výsadbě je ovšem pracnější, časově a také finančně náročnější a klade zvýšené nároky na pracovníky, kteří pěstební činnost zajišťují. Proto je v současné době přihnojení sazenic přímo do jamky při výsadbě využíváno jen velmi málo.

Postupné uvolňování živin, které trvá řádově měsíce až roky, průběžně podporuje zakořeňování a růst sazenic především na chudých stanovištích, na kterých panují podmínky, které se značně liší od situace v lesních školkách, kde byly sazenice produkovány.

Nově vyvíjená granulovaná hnojiva se zeolitem určená pro lesnický provoz mají za cíl pomoci především v situacích, kdy po provedené výsadbě na lokalitách ohrožených suchem, a to bez aplikace hnojiv při výsadbě, dojde v následujících 1–4, případně i více letech po výsadbě, ještě před plnou adaptací sazenic na nové podmínky, k vyčerpání zásob živin, které sazenice získaly při pěstování v lesní školce. V takových situacích se mohou objevit příznaky nedostatku živin, může dojít ke zpomalení nebo zastavení růstu a vzniklý stres oslabuje sazenice a snižuje jejich šanci na přežití.

2.2.1 Složení hnojiva

Při navrhování složení hnojiva, jeho výrobě a pokusné aplikaci v lesních porostech byly vyhodnoceny výsledky analýz půdních vzorků, které byly odebrány pro potřeby lesního provozu v případech, kdy vlastník nebo správce lesa uvažoval o přihnojení výsadeb. Chemická analýza půdních vzorků měla v těchto případech sloužit jako podklad pro rozhodování o potřebě přihnojení. Největší část této práce byla provedena již v rámci předcházejícího projektu TH02030785. Tyto podklady byly doplněny novějšími výsledky a byly využity také pro potřeby projektu TH04030217.

Nové řešení v tomto případě představuje použití zeolitu. Zeolit je přírodní hornina se specifickými fyzikálními vlastnostmi. Pro přípravu testovaného hnojiva (typu NPK s hořčíkem a mikroprvky) se používá zeolit na bázi minerálu klinoptilolitu. Jeho specifčnost je dána prostorovým uspořádáním kanálků a dutin konstantních rozměrů, ve kterých se mohou sorbovat látky v plynném, kapalném i v pevném skupenství. Celkový objem těchto pórů a dutin je v rozmezí 24–32 % objemu horniny. Zeolity na bázi klinoptilolitu mají vysokou kationtovou výměnnou kapacitu, která se pohybuje v rozmezí 60–120 mmol⁺/100 g. Tato vlastnost v kombinaci s minerál-

Tab. 1: Přehled vyrobených šarží hnojiva pro pokusy v lesních porostech, podíl zeolitu v hnojivu 30 %

výroba	II. 2020	II. 2020
množství	5,2 kg	5,3 kg
šarže	04_20	05_20
N _c (%)	9,0	8,5
P ₂ O ₅ (%)	3,7	3,7
K ₂ O (%)	3,7	3,7
S (%)	2,5	2,5
MgO (%)	11,0	12,0
CaO (%)	1,0	1,5
B (%)	0,1	0,1
Zn (%)	0,1	0,1
Mo (%)	0,01	0,01
Cl ⁻ (%)	max. 5,0	max. 5,0

ními hnojivy napomáhá k sorpci kationtů a vede ke snížení ztrát živin vyplavením do hlubších půdních vrstev, kde jsou mimo dosah kořenů dřevin.

Mřížková struktura umožňuje klinoptilolitu fungovat jako iontoměnič a selektivní sorbent. Sorpce a výměna iontů probíhá v závislosti na jejich náboji a velikosti. Čím více se velikost iontu shoduje s velikostí vstupních pórů mřížky klinoptilolitu, tím snadněji bude iont sorbovaný. Průměr vstupních pórů je přibližně 4 Angströmy, což odpovídá průměru amonného iontu NH_4^+ a molekule vody (H_2O). Tyto látky vykazují největší afinitu k navázání na klinoptilolit. Klinoptilolit působí jako selektivní adsorbent pro celou škálu kationtů, z tohoto pohledu je zeolit na bázi klinoptilolitu optimální kombinovat hnojivy s obsahem dusíku v amonné formě. Zeolity mají i vysokou nasákavost zrna, která se pohybuje v rozmezí 35–38 % objemu. Tato vlastnost zeolitů může při dlouhodobém používání hnojiv s podílem zeolitů zvýšit vodní kapacitu půdy a zlepšit hydraulickou vodivost půdy.

Hnojivo bylo navrženo tak, aby obsahovalo také potřebné živiny, včetně dusíku, hořčíku a stopových prvků. Dusík je dodáván částečně ve formě pomalu rozpustné „ureaform“, a je tak sazenicím k dispozici postupně po dobu několika týdnů až měsíců, což je zásadní především ve fázi rašení a prodlužovacího růstu pro podporu tvorby nadzemní i podzemní biomasy. Ostatní důležité živiny jsou dodávány ve vhodném vzájemném poměru a příměs mikroprvků doplňuje komplex živin důležitý pro potřebný růst nadzemní i kořenové části stromků. Podíl pomalu působícího dusíku k dusíku okamžitému se pohybuje v poměru 2–3 : 1 a hmotnostní podíl ureaform v hnojivu je ca 20 %.

Složení hnojiva se zeolity pro použití v lesnickém provozu je navrženo tak, aby

- (1) byla zajištěna optimální dodávka dusíku a hořčíku v období rašení a prodlužovacího růstu letorostů dřevin, kdy je potřeba těchto dvou prvků nejvyšší,
- (2) nedocházelo k nežádoucímu zvyšování obsahu dusíku v lesní půdě a v půdní vodě, a to díky jeho sníženému obsahu a postupnému uvolňování v průběhu vegetační doby,
- (3) dodané prvky byly ve vhodném vzájemném poměru pro podporu optimálního rozvoje nadzemní i podzemní biomasy sazenic,
- (4) zeolit obsažený v hnojivu zvyšoval v půdě sorpci vody a důležitých kationtů (NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} a Ca^{2+}).

Pro testovací hnojení byly vyrobeny dvě šarže hnojiva, přehled parametrů výrobních šarží hnojiva pro pokusy ve vybraných lesních porostech je uvedený v tabulce č. 1. Složení obou šarží se liší pouze v podílu dusíku, vápníku a hořčíku, a to do jednoho procenta. Výroba probíhala na ručním talířovém granulovacím zařízení v provozu Městec Králové společnosti Lovochemie, a. s. Připravené hnojivo mělo

velikost frakce granulí 2,0–6,3 mm, jednalo se o minerální hnojivo typu NPK + MgO s přidavkem mikroprvků (B, Zn, Mo) a podíl zeolitu v připraveném hnojivu byl 30 %. Surovinu pro výrobu pokusného hnojiva byly kieserit, chlorid draselný, magnezit, síran amonný, amofos, síran zinečnatý, kyselina boritá, molybdenan amonný, ureaform a zeolit.

Aplikace hnojiva proběhla v jarním období roku 2020 u výsadeb javoru, jedle, dubu a smrku a v roce 2021 na dalších dvou výsadbách borovice a opakovala se aplikace na plochách se smrkem. Jarní měsíce jsou pro přihnojení výsadeb s projevy chřadnutí optimálním obdobím.

2.2.2 Půdní chemismus na pokusných plochách

Pro odběr půdních vzorků pro potřeby testování nově vyvíjeného hnojiva byly vybrány porosty ve dvou regionech – Vysočina (vlastník stát – Lesy ČR, s. p., LS Telč, SM, část výsadeb realizována jako dvojsadba s bukem), jižní Čechy (vlastník stát – Lesy ČR, s. p., LS Telč, JV, JD, DB, BO – obr. 1). Jedná se o výsadby na chu-



Obr.1: Lokalizace pokusných ploch na území LS Třeboň

dých a kyselých stanovištích. Podle provozních lesníků jsou tyto lokality ohroženy také suchem a existují zde problémy s odrůstáním sazenic (krnění, karenční jevy). Hnojení zde připadá v úvahu jako podpůrné opatření, které má přispět k lepšímu růstu sazenic (kořenů i nadzemní části), ke zlepšení úrovně výživy, a tím k zajištění dostatečné vitality a odolnosti až do dosažení fáze zajištěné kultury, jak ji požaduje lesní zákon. Přehled vzorkovaných míst je uveden v tabulce 2, termíny aplikace, termíny měření sazenic a počet pokusných ploch jsou uvedeny v tabulce 3. Informace o výsadbách jsou doplněny v tabulce 4. Použitá dávka hnojiva byla 50 g granulátu na sazenici. Hnojivo bylo aplikováno na povrch půdy kolem kmínku na ploše odpovídající přibližně průmětu korunky sazenic.

Tab. 2: Přehled vzorkovaných/pokusných lokalit

plocha	N	E	nadmořská výška	vlastník / lokalita
JV	48,84079	14,94651	465	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
JD	48,84599	14,95654	475	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
DB	48,84535	14,9494	470	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 1	48,84377	14,94816	465	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 2	48,82628	14,96359	477	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
SM	49,26423	15,70144	645	Lesy ČR, s. p., LS Telč

Tab. 3: Přehled termínů aplikace hnojiva a měření růstu sazenic

plocha	počet ploch	datum hnojení	datum 1. měření	datum 2. měření	vlastník / lokalita
JV	1	02.06.2020	10.11.2020	03.11.2021	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
JD	1	02.06.2020	10.11.2020	03.11.2021	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
DB	1	02.06.2020	10.11.2020	03.11.2021	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 1	1	20.05.2021	03.11.2021	-	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 2	1	20.05.2021	03.11.2021	-	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
SM	2	25.05.2020	30.11.2020	23.11.2021	Lesy ČR, s. p., LS Telč

Analýza půdních vzorků odebraných na pokusných plochách před hnojením potvrdila nedostatek živin (tab. 5 a 6, deficitní hodnoty jsou v tabulkách tučně zvýrazněny). Použití hnojiva jako cíleného opatření pro podporu výsadeb je zde proto opodstatněné.

V roce 2020 proběhlo na lokalitách v jižních Čechách a na Vysočině přihnojení výsadeb dávkou 50 g hnojiva/sazenice (viz tab. 3), dávka byla stejná na všech pokusných plochách. Granulované hnojivo bylo aplikováno po obvodu sazenice za pomoci zádového aplikátoru granulátu. Pokusné plochy s aplikací hnojiva byly v terénu vyznačeny geodetickými kolíky, výsadba mimo hnojené plochy sloužila pro srovnání stavu a růstu sazenic. Velikost pokusné plochy byla volena tak, aby se na ní nacházel dostatečně velký soubor sazenic a bylo možné statistické vyhodnocení měření. Počet sazenic na jednotlivých pokusných plochách se pohyboval od 40 do 60, kontrolní soubory zahrnovaly 30–50 sazenic. Vyšší počty byly zvoleny u smrku, který nebyl oplocený, a hrozily tak škody zvěří, které snižovaly počet sazenic na plochách. Srovnání parametrů sazenic (výška sazenic a tloušťka kořenového krčku) bylo prováděno v podzimním období roku 2020 a 2021, vždy po ukončení vegetační sezony, viz kap. 2.2.3.

Odběr půdních vzorků pro porovnání chemismu na kontrolních a hnojených plochách probíhal při podzimním měření sazenic v roce 2020 (po první vegetační sezoně) a opakovaně na podzim 2021 (po druhé vegetační sezoně, termíny viz tab. 3). Vzorky byly odebírány za pomoci rýče na kontrolních plochách a za pomoci půdní sondy na hnojených plochách. Odběry půdy byly provedeny z definovaných hloubek (FH, 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm) v blízkosti hnojených sazenic. Směsný vzorek byl vytvořen odběry z 10–15 míst pro každou plochu.

Tab. 4: Informace o výsadbách na pokusných plochách

plocha	počet ploch	termín výsadby	spon sazenic při výsadbě	velikost sazenic	vlastník / lokalita
JV	1	XI. 2017	1,4 x 1,4 m	25–36 cm	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
JD	1	V. 2018	2,0 x 1,0 m	36–50 cm	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
DB	1	XI. 2017	1,1 x 1,1 m	36–50 cm	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 1	1	IV. 2019	1,1 x 1,1 m	10–25 cm	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
BO 2	1	X. 2017	1,1 x 1,1 m	25–36 cm	Lesy ČR, s. p., LS Třeboň
SM	2	V. 2019	1,4 x 2,0 m	36–50 cm	Lesy ČR, s. p., LS Telč

Tab. 5a: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Třeboň, pH, CNS, přístupný fosfor; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

číslo vzorku	značení zadavatelem	plocha	horizont (cm)	sušina hm. % navážky	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C _{tot} mg/100 mg sušiny	N _{tot} mg/100 mg sušiny	S _{tot} mg/kg sušiny	P _{pr.} mg/kg sušiny	Cl ⁻ mg/kg sušiny	C/N
200709	20315	JV kontrola	FH	96,42	4,04	2,92	12,5	0,501	690	11,1	<16,0	25,0
200710	20316		0–5	99,13	4,01	2,97	2,53	0,108	160	2,14	<16,0	23,5
200711	20317		5–10	99,29	3,98	3,05	1,45	0,056	85,0	1,32	<16,0	26,0
200712	20318		10–20	99,56	4,06	3,22	1,23	0,044	70,0	<0,800	<16,0	27,9
200713	20319	JV hnojené	FH	95,28	3,92	2,91	17,9	0,660	880	12,2	<16,0	27,2
200714	20320		0–5	97,94	3,71	2,83	5,60	0,187	260	4,69	<16,0	29,9
200715	20321		5–10	99,16	3,89	2,95	1,67	0,050	80,0	1,56	<16,0	33,2
200716	20322		10–20	99,58	4,12	3,35	0,796	0,028	70,0	33,6	<16,0	28,7
200717	20323	DB kontrola	FH	95,63	4,04	2,93	12,4	0,417	560	55,5	<16,0	29,7
200718	20324		0–5	98,18	4,17	3,23	3,61	0,130	170	29,4	<16,0	27,7
200719	20325		5–10	98,96	4,43	3,68	1,75	0,069	100	33,8	<16,0	25,3
200720	20326		10–20	99,01	4,29	3,76	1,16	0,040	90,0	48,8	<16,0	28,7
200721	20327	DB hnojené	FH	94,84	4,08	3,21	12,1	0,449	590	61,7	<16,0	27,0
200722	20328		0–5	97,42	4,32	3,66	4,15	0,152	210	65,4	<16,0	27,3
200723	20329		5–10	97,98	4,40	3,88	2,83	0,099	150	117	<16,0	28,7
200724	20330		10–20	97,67	4,38	3,94	2,86	0,101	160	40,2	<16,0	28,4
200725	20331	JD kontrola	FH	91,85	3,89	3,21	17,3	0,943	980	8,85	<16,0	18,3
200726	20332		0–5	96,25	4,07	3,38	4,50	0,358	260	3,61	<16,0	12,6
200727	20333		5–10	97,24	4,12	3,40	3,47	0,272	200	4,69	<16,0	12,7
200728	20334		10–20	98,73	4,28	3,52	1,99	0,143	120	5,05	<16,0	14,0
200729	20335	JD hnojené	FH	90,36	3,99	3,23	18,5	1,18	1190	19,8	<16,0	15,7
200730	20336		0–5	95,10	4,28	3,57	2,91	0,252	210	9,66	<16,0	11,6
200731	20337		5–10	94,52	4,50	3,61	3,53	0,295	270	10,8	<16,0	12,0
200732	20338		10–20	96,08	4,44	3,65	3,04	0,258	220	12,2	<16,0	11,8

Tab. 5b: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Třeboň, výluh NH₄Cl; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

číslo vzorku	značení zadava-telem	plocha	horizont (cm)	Al mg/kg sušiny	Ca mg/kg sušiny	Fe mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny	Mn mg/kg sušiny	Na mg/kg sušiny	Zn mg/kg sušiny
200709	20315	JV kontrola	FH	95,9	972	30,1	181	103	41,4	9,75	8,58
200710	20316		0–5	124	70,7	11,2	34,5	14,2	1,82	3,94	0,805
200711	20317		5–10	137	27,6	9,55	20,9	8,16	0,408	3,24	0,306
200712	20318		10–20	114	25,0	8,35	13,9	5,26	0,295	3,26	0,127
200713	20319	JV hnojené	FH	149	1411	31,8	146	124	42,1	13,8	14,9
200714	20320		0–5	129	272	17,0	61,7	34,1	6,56	6,89	3,44
200715	20321		5–10	113	40,8	7,57	19,8	11,1	0,387	2,76	0,723
200716	20322		10–20	102	19,7	10,1	16,5	0,856	0,224	2,04	0,265
200717	20323	DB kontrola	FH	399	673	83,3	181	87,9	11,3	8,22	6,85
200718	20324		0–5	402	80,0	62,9	75,4	13,9	1,27	3,96	0,710
200719	20325		5–10	254	17,7	28,2	32,1	2,05	<0,145	2,46	0,192
200720	20326		10–20	212	12,8	17,0	23,1	2,90	<0,145	2,11	0,123
200721	20327	DB hnojené	FH	572	507	169	105	67,2	9,18	6,75	4,76
200722	20328		0–5	418	70,0	51,5	38,6	14,0	1,41	3,92	0,696
200723	20329		5–10	320	12,6	27,5	26,3	4,86	0,370	2,76	0,316
200724	20330		10–20	238	14,3	33,3	25,9	5,52	0,441	2,57	0,244
200725	20331	JD kontrola	FH	1501	75,6	171	196	36,6	0,981	23,0	1,75
200726	20332		0–5	864	35,3	31,6	95,0	11,6	0,398	12,2	0,687
200727	20333		5–10	691	27,1	28,7	71,6	8,08	0,266	9,83	0,604
200728	20334		10–20	360	26,2	14,0	43,4	5,29	0,278	4,66	0,376
200729	20335	JD hnojené	FH	1623	218	136	248	54,1	1,82	19,6	2,81
200730	20336		0–5	1094	53,5	23,4	88,2	13,8	0,502	12,3	0,769
200731	20337		5–10	1103	195	28,6	110	35,7	5,57	14,2	1,11
200732	20338		10–20	816	92,0	16,4	66,7	16,2	1,57	13,2	0,739

Tab. 5c: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Třeboň, výluh lučavkou královskou; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

číslo vzorku	značení zadava-tele	plocha	horizont (cm)	Al mg/kg sušiny	Ca mg/kg sušiny	Fe mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny	Mn mg/kg sušiny	Na mg/kg sušiny	Zn mg/kg sušiny	P mg/kg sušiny
200709	20315	JV kontrola	FH	1507	998	1385	386	131	47,3	40,2	15,3	294
200710	20316		0–5	1165	80,2	764	265	34,1	10,8	43,8	4,14	96,8
200711	20317		5–10	867	22,9	689	224	10,4	5,72	36,3	22,9	77,1
200712	20318		10–20	910	12,7	545	245	6,34	4,38	37,3	1,88	56,0
200713	20319	JV hnojené	FH	1687	1562	1398	399	129	47,0	56,1	22,6	320
200714	20320		0–5	1071	266	971	299	38,5	11,4	51,2	5,40	119
200715	20321		5–10	865	53,8	500	200	6,15	<4,37	29,3	2,61	62,2
200716	20322		10–20	1334	17,0	849	210	16,0	13,1	30,5	5,14	100
200717	20323	DB kontrola	FH	3861	686	3157	588	204	18,0	50,3	13,8	535
200718	20324		0–5	3796	89,9	3585	433	169	8,25	33,9	5,85	393
200719	20325		5–10	4261	46,3	3075	411	205	11,8	38,5	5,40	227
200720	20326		10–20	5740	101	4057	572	539	27,2	33,4	8,71	255
200721	20327	DB hnojené	FH	5933	524	10915	471	275	15,1	36,6	12,7	1127
200722	20328		0–5	7263	84,6	5471	450	323	7,06	27,2	7,88	648
200723	20329		5–10	7180	34,3	4437	390	318	14,3	24,4	7,10	444
200724	20330		10–20	7328	40,0	9721	389	277	14,7	25,8	7,15	618
200725	20331	JD kontrola	FH	29177	102	13870	2188	1194	17,2	102	28,1	1397
200726	20332		0–5	20388	62,9	6872	1716	824	15,4	84,8	18,9	414
200727	20333		5–10	15943	49,6	5747	1285	656	12,9	66,2	14,9	317
200728	20334		10–20	8945	63,0	3339	820	404	20,8	45,1	12,2	212
200729	20335	JD hnojené	FH	37492	278	15635	2641	1459	22,5	118	34,3	1863
200730	20336		0–5	36405	167	13671	2816	1676	28,2	98,3	34,8	477
200731	20337		5–10	45730	246	16830	3297	2107	43,5	117	44,8	572
200732	20338		10–20	31934	215	11307	2312	1523	33,9	80,5	31,6	443

Tab. 6a: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Telč, pH, CNS, přístupný fosfor; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

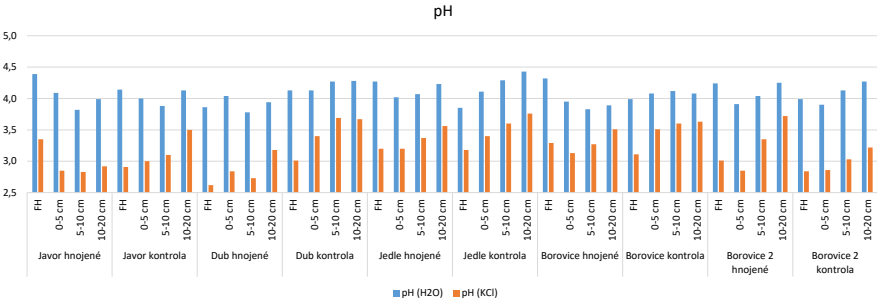
číslo vzorku	značení zadavatelem	plocha	horizont (cm)	sušina hm. % navážky	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C ^{tot} mg/100 mg sušiny	N ^{tot} mg/100 mg sušiny	S ^{tot} mg/kg sušiny	P ^{pr.} mg/kg sušiny	Cl ⁻ mg/kg sušiny	C/N
200697	20303	hnojená 1	FH	88,98	4,47	3,33	37,3	1,49	1990	20,7	45,9	25,0
200698	20304		0–5	96,00	4,71	3,58	6,19	0,306	425	2,60	< 16,0	20,2
200699	20305		5–10	97,42	4,78	3,56	1,85	0,099	190	1,43	< 16,0	18,7
200700	20306		10–20	97,73	4,80	3,60	1,27	0,068	160	1,07	< 16,0	18,6
200701	20307	hnojená 2	FH	90,61	4,76	3,59	29,7	1,24	1520	17,5	< 16,0	23,9
200702	20308		0–5	95,36	4,81	3,62	9,41	0,436	480	2,72	< 16,0	21,6
200703	20309		5–10	97,42	4,71	3,61	3,02	0,146	220	2,63	< 16,0	20,6
200704	20310		10–20	97,86	4,69	3,68	1,31	0,065	160	1,33	< 16,0	20,0
200705	20311	kontrola	FH	90,20	4,40	3,53	29,4	1,27	1570	24,1	22,9	23,2
200706	20312		0–5	96,27	4,71	3,56	4,89	0,256	360	2,04	< 16,0	19,1
200707	20313		5–10	96,99	4,67	3,54	2,74	0,147	240	2,01	< 16,0	18,7
200708	20314		10–20	97,34	4,89	3,76	1,65	0,092	190	1,34	< 16,0	18,0

Výsledky chemické analýzy odebraných vzorků neprokázaly jednoznačný efekt hnojení na pH půdy. Půdní reakce na hnojených plochách byla nižší, stejná i vyšší než na plochách kontrolních, rozdíly v pH byl v řádu nízkých desetín pH (obr. 2). Naopak koncentrace hlavních dodaných živin (N, P, K, Mg) byly v odebraných půdních vzorcích vyšší u hnojených ploch a bylo potvrzeno, že sazenice mají po přihnojení živiny k dispozici pro dostatečné zajištění výživy. Více jsou rozdíly vidět ve svrchním humusovém horizontu (FH) a vrstvě 0–5 cm minerální půdy, ale po dvou vegetačních sezonách byly rozdíly v chemismu půdy patrné zpravidla v celém hodnoceném profilu (obr. 3–6).

Pokusy prováděné se sledováním množství a chemismu půdní vody na hnojených a kontrolních plochách v průběhu řešení projektu TH02030785 potvrdily postupné uvolňování živin v průběhu vegetační doby (Novotný a kol. 2020). Zjištěný chemismus půdy na hnojených plochách ukazuje, že i hnojivo se zeolitem uvolňuje živiny postupně a že se potřebné prvky dostávají od povrchu půdy do kořenové zóny.

Tab. 6b: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Telč, výluh NH₄Cl; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

číslo vzorku	značení zadavatelem	plocha	horizont (cm)	Al mg/kg sušiny	Ca mg/kg sušiny	Fe mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny	Mn mg/kg sušiny	Na mg/kg sušiny	Zn mg/kg sušiny
200697	20303	hnojená 1	FH	132	2531	119	689	622	726	14,0	24,2
200698	20304		0–5	391	325	147	208	92,8	314	4,75	4,66
200699	20305		5–10	396	74,4	48,6	83,3	33,8	327	2,91	1,26
200700	20306		10–20	367	56,1	11,4	52,6	23,0	290	4,24	0,910
200701	20307	hnojená 2	FH	36,2	2455	31,9	487	470	624	11,0	21,3
200702	20308		0–5	361	409	266	290	140	234	4,94	7,81
200703	20309		5–10	424	98,0	75,1	114	42,3	197	3,10	2,35
200704	20310		10–20	417	35,0	6,70	47,0	19,3	275	2,40	1,25
200705	20311	kontrola	FH	77,7	2695	36,4	661	689	736	14,0	23,3
200706	20312		0–5	512	237	111	290	104	289	5,25	3,72
200707	20313		5–10	558	127	29,4	164	58,4	280	3,99	1,90
200708	20314		10–20	455	59,4	18,1	64,9	30,3	317	4,10	1,14



Obr. 2: Srovnání hodnot aktivního a výměnného pH půdy na hnojených a kontrolních plochách, půdní vzorky podzim 2021

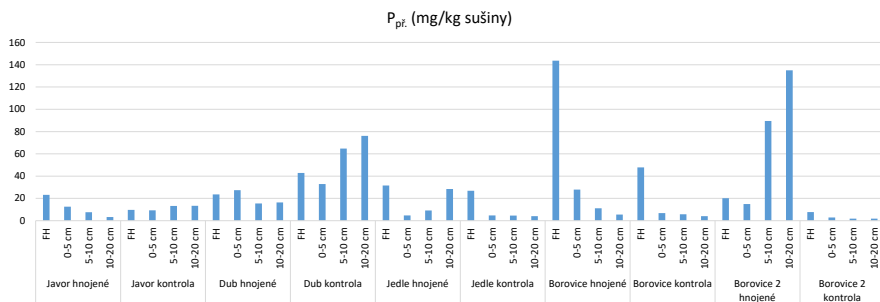
Tab. 6c: Chemická analýza půdy na pokusných plochách LS Telč, výluh lučavkou královskou; deficitní hodnoty jsou tučně zvýrazněny

číslo vzorku	značení zadavatelem	plocha	horizont (cm)	Al mg/kg sušiny	Ca mg/kg sušiny	Fe mg/kg sušiny	K mg/kg sušiny	Mg mg/kg sušiny	Mn mg/kg sušiny	Na mg/kg sušiny	Zn mg/kg sušiny	P mg/kg sušiny
200697	20303	hnojená 1	FH	8345	3354	11867	1547	1329	1253	55,1	50,9	842
200698	20304		0–5	25752	419	24770	2570	3884	691	53,6	67,8	323
200699	20305		5–10	27092	181	26919	2507	4479	964	52,0	75,2	211
200700	20306		10–20	27864	158	26838	2820	4494	1074	59,1	73,0	206
200701	20307	hnojená 2	FH	13026	3131	14978	3451	2009	1556	51,0	66,2	769
200702	20308		0–5	21818	431	25130	3034	3441	443	46,3	69,3	436
200703	20309		5–10	28732	163	26471	3620	4048	619	55,8	86,7	270
200704	20310		10–20	30268	102	28056	4373	4717	979	56,9	88,1	253
200705	20311	kontrola	FH	13606	3025	13660	2072	2132	1482	49,7	57,5	774
200706	20312		0–5	28604	317	27958	2977	4681	755	59,6	69,8	302
200707	20313		5–10	31357	220	30176	3059	5439	1082	53,8	79,7	250
200708	20314		10–20	33186	186	29575	3183	5565	1209	61,2	78,8	242

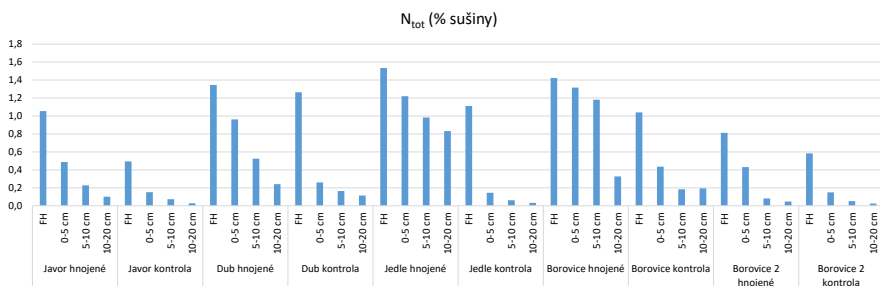
Největší rozdíly byly zjištěny ve vrstvě povrchového humusu, protože aplikace hnojiva proběhla na povrch půdy. Výsledky přitom ukázaly, že prvky nezůstávají pouze na povrchu půdy, ale že po rozpuštění granulí postupují půdou hlouběji a rozdíly mezi hnojenými a kontrolními vzorky byly zpravidla patrné i v hloubce 10–20 cm, i když s hloubkou rozdíly pochopitelně klesají.

Vliv na množství prvků uvolněných z aplikovaného hnojiva má také průběh počasí. V první řadě množství a rozložení srážek v průběhu vegetačního období, dále teplota a vlhkost vzduchu. Rovnoměrné srážky přispívají k průběžnému rozpouštění granulí, uvolňování živin a jejich postupu od povrchu půdy do kořenové zóny. Naopak vydatné deště po bezesrážkovém období vedou ke skokovému nárůstu koncentrace živin v půdní vodě a může docházet k úniku části živin z dosahu kořenů. Vliv těchto faktorů nebyl předmětem testování.

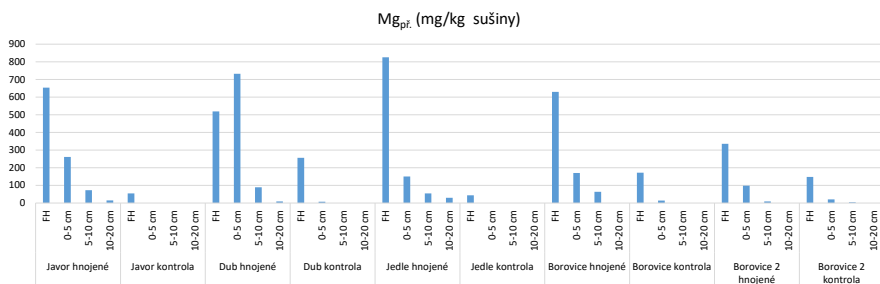
Rozdíly v koncentraci prvků na pokusných plochách mohou být dány také tím, kolik na povrchu půdy zůstalo opadu a těžebních zbytků a v jaké formě, protože kůra, jehlice, listy a drobné větve mohou být při rozkladu zdrojem živin, v první řadě vápníku a fosforu. Draslík je naopak velmi aktivně využíván bylinným patrem,



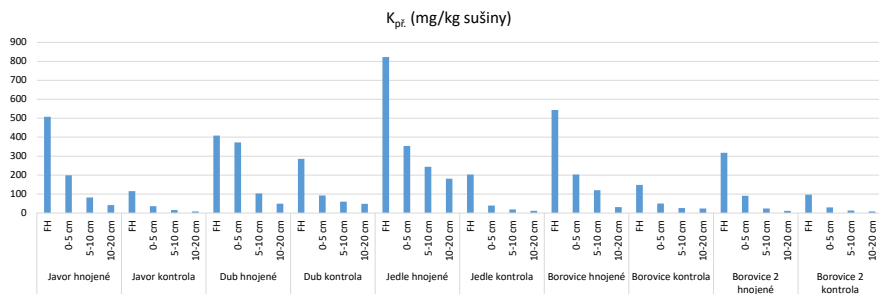
Obr. 3: Srovnání obsahu přístupného fosforu na hnojených a kontrolních plochách, půdní vzorky podzim 2021



Obr. 4: Srovnání obsahu celkového dusíku na hnojených a kontrolních plochách, půdní vzorky podzim 2021



Obr. 5: Srovnání obsahu přístupného hořčíku na hnojených a kontrolních plochách, půdní vzorky podzim 2021



Obr. 6: Srovnání obsahu přístupného draslíku na hnojených a kontrolních plochách, půdní vzorky podzim 2021

především různými druhy trav, které na pasekách rychle obsazují volný prostor, a tak se jeho koncentrace v půdě nemusí nijak výrazně měnit. Jsou-li ponechané těžební zbytky (ať už se jedná o veškeré těžební zbytky nebo jejich část) drceny nebo štěpkovány, poskytují na povrchu půdy kryt, který přispívá k tlumení teplotních a vlhkostních výkyvů a zpomalují růst buřeneš (viz např. Novotný a kol. 2011).

Také u dusíku byl zaznamenán nárůst koncentrace na hnojených plochách. V průběhu řešení předcházejícího projektu TH02030785 “Hnojiva pro lesní hospodářství” byl sledován chemismus půdní vody za pomoci gravitačních lyzimetrů, viz výše. Vzorky půdní vody ukázaly, že uvolňování dusíku probíhá postupně a tento prvek je tak sazenicím k dispozici průběžně. To je velmi důležité v období rašení a prodlužovacího růstu sazenic.

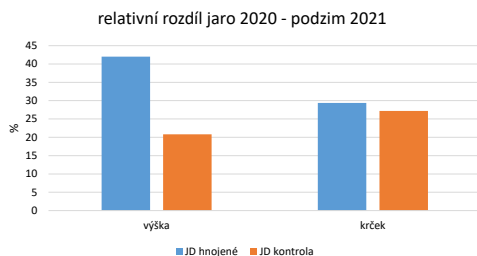
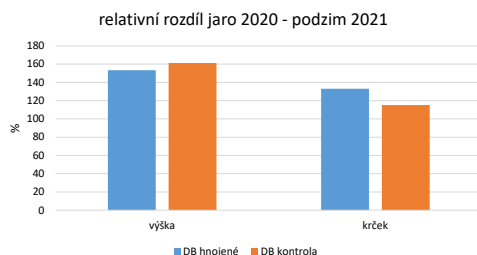
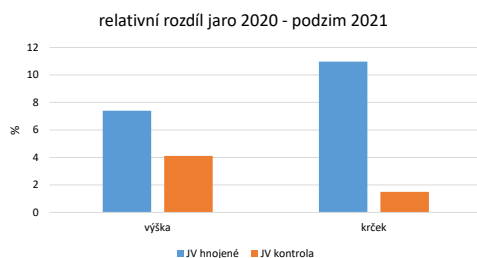
2.2.3 Růst sazenic na pokusných plochách

U sazenic na kontrolních i hnojených plochách byla opakovaně měřena výška sazenice a tloušťka kořenového krčku. Opakované měření sazenic na kontrolních a hnojených plochách proběhlo ve 4. čtvrtletí 2020 a 2021 (viz tab. 3). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 7 a 8 a na obr. 7 a 8.

Hnojené plochy byly v terénu vyznačeny geodetickými kolíky po obvodu plochy (čtverec, popř. obdélník), kontrolní skupina sazenic byla označena pouze polohou vůči hnojené ploše. Na hnojené ploše byly měřeny všechny sazenice, v kontrolní skupině vždy nejméně 30, maximálně 50 jedinců. Měření proběhlo vždy při založení plochy a pak opakovaně na konci vegetačního období.

Tab. 7: Aritmetický průměr výšky sazenice a tloušťky kořenového krčku u sazenic javoru (JV), dubu (DB) a jedle (JD) na LS Třeboň. Výška = cm, krček = mm.

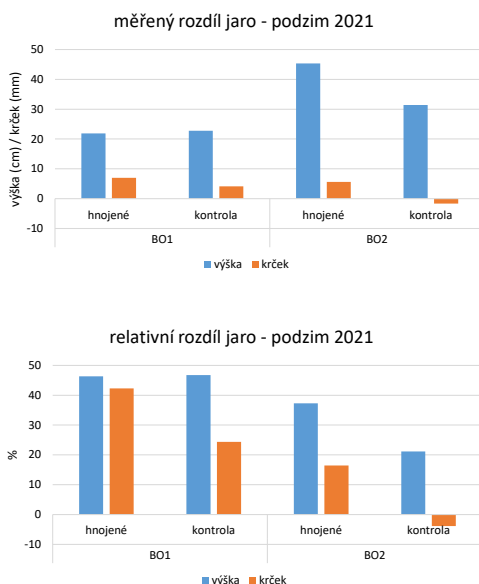
	hnojené						kontrola					
	jaro 2020		podzim 2020		podzim 2021		jaro 2020		podzim 2020		podzim 2021	
	krček	výška	krček	výška	krček	výška	krček	výška	krček	výška	krček	výška
JV	8,7	65,8	8,9	65,9	9,7	70,7	9,1	82,5	9,4	88,3	9,3	86,0
DB	9,7	59,1	17,6	97,0	22,6	149,7	9,4	51,3	15,4	85,5	20,2	134,1
JD	13,3	55,0	16,1	62,1	17,2	78,1	13,8	58,2	16,1	62,1	17,6	70,3



Obr. 7: Relativní rozdíly mezi hnojenými a kontrolními sazenicemi javoru (JV), dubu (DB) a jedle (JD) na LS Třeboň zjištěné za dvě vegetační sezony

Tab. 8: Aritmetický průměr výšky sazenice a tloušťky kořenového krčku u sazenic borovice (BO) na LS Třeboň. Výška = cm, krček = mm.

	jaro 2021				podzim 2021			
	BO1		BO2		BO1		BO2	
	hnojené	kontrola	hnojené	kontrola	hnojené	kontrola	hnojené	kontrola
výška	47,2	48,7	121,6	148,3	69,1	71,4	167,0	179,7
krček	16,6	16,8	34,2	42,1	23,6	20,9	39,8	40,5

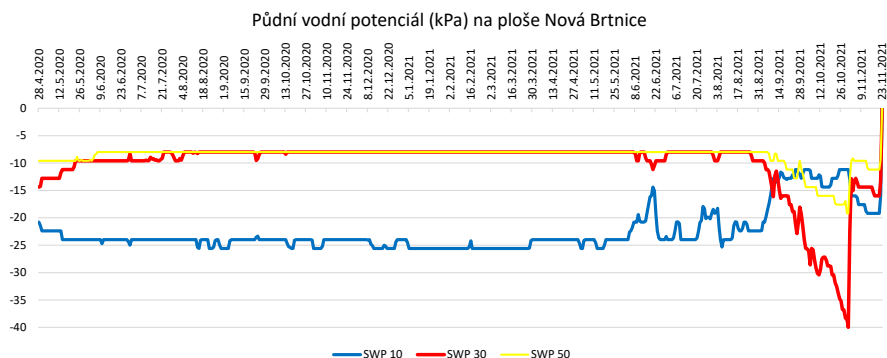


Obr. 8: Měřené a relativní rozdíly mezi hnojenými a kontrolními sazenicemi borovice (BO) na LS Třeboň zjištěné během vegetační sezony 2021. BO1 = výsadba 2019, BO2 = výsadba 2017.

2.2.4 Shrnutí získaných poznatků z pokusných aplikací

Plocha na území LS Telč u obce Kněžice na Třebíčsku byla označena jako riziková z hlediska vysychání – jedná se o kalamitní holinu po kůrovcové těžbě. Z toho důvodu zde bylo očekáváno sledování a hodnocení vlivu zeolitu obsaženého v granulovaném hnojivu na stav sazenic. Ovšem rok 2020 byl po stránce srážek na této ploše nadprůměrný, půdní profil byl po celou vegetační sezonu nasycen vodou a v průběhu roku se na povrchu půdy několikrát objevila stojící voda, a tak byla možnost hodnotit vliv zeolitu na vodní režim znemožněna.

Pro vegetační sezonu 2021 bylo hnojení opakováno, nicméně situace se srážkami se opakovala (viz obr. 9). Navíc při letním ožínání sazenic došlo v roce 2021 k zásadnímu poškození výsadeb – většina vysazených sazenic byla useknuta při neopatrném ožínání buřeně, a tak tato plocha byla pro hodnocení zcela znehodnocena.



Obr. 9: Půdní vodní potenciál (soil water potential) na ploše Nová Brtnice v období duben 2020 – listopad 2021, měřeno v hloubce 10, 30 a 50 cm

Na LS Třeboň byla u pokusných výsadeb zjištěna odlišná reakce dřevin na přihnojení. Zatímco javor reagoval na přihnojení pouze slabě a dub na přihnojení prakticky nereagoval, u jedle a starší výsadby borovice byla reakce pozitivní. Z toho lze vyvodit, že pro dřeviny s většími nároky na živiny (př. JV, DB) je možné zvýšit použitou dávku hnojiva, pro borovici, smrk a další dřeviny postačí základní dávka, tj. 50 g hnojiva na sazenici. Reakce na hnojivo je také lepší s odstupem 2–4 roky od výsadby, a to zejména na chudých půdách, kde sazenice po 1–2 letech vyčerpají zásobu živin ze školky.

Na základě praktických zkušeností při výběru ploch, aplikaci hnojiva a získaných dat lze říci, že hnojivo s obsahem zeolitu je vhodné pro plochy ohrožené suchem, efekt je zřetelnější na stanovištích chudých, s nedostatkem živin. Nejvíce pozitivně na přihnojení reagovala výsadba borovice lesní, a to čtyři roky po výsadbě. Pozitivní reakce je patrná i u jedle a také u javoru. Příznivé je, že hnojivo nepodporuje pouze výškový přírůst. Dostupnost živin se pozitivně projevuje také na tloušťkovém růstu kmínků sazenic, a lze proto předpokládat, že má kladný vliv i na tvorbu podzemní (kořenové) biomasy stromků. To se následně projevuje na dostatečné vitalitě výsadeb a jejich odolnosti k dalším působícím faktorům.

2.2.5 Doporučení pro aplikaci při přihnojení výsadeb

Hnojivo je možné použít univerzálně pro běžně vysazované druhy lesních dřevin, jehličnaté i listnaté s těžištěm využití na chudých a kyselých půdách, ať už se jedná o půdy přirozeně chudé nebo o půdy ochuzené o živiny v důsledku předchozí antropogenně způsobené kyselé imisně-depoziční zátěže. Zejména na acidifikovaných a degradovaných půdách ohrožených suchem je efekt přihnojení a zlepšení zdravotního stavu, vitality, růstu a výživy sazenic nejvíce patrný.

Pro aplikaci v lesních porostech je doporučena základní dávka 50 g hnojiva k sazenici. Aplikaci je možné provádět více způsoby, jako vhodná byla pro individuální hnojení sazenic lesních dřevin odzkoušena aplikace pomocí zádového aplikátoru granulátů. Možné je použít také vhodnou odměrku pro ruční aplikaci.

V případě aplikace při výsadbě je výhodné hnojivo promísit s půdou přímo ve výsadbové jamce, živiny jsou tak hned od počátku v kořenové zóně dřevin a mohou být využity hned od aktivace fyziologických procesů na konci zimy. Tento typ hnojení se používá při jarní výsadbě. Pro podzimní výsadbu se nedoporučuje z důvodu ztráty části živin v průběhu vegetačního klidu, kdy může docházet k částečnému rozpouštění hnojiva, přičemž dřeviny živiny nemohou přijímat a využít.

V případě aplikace po výsadbě lze hnojivo použít:

- (1) Bezprostředně po výsadbě na povrch půdy. Aplikace granulátu se provádí rovnoměrně kolem kmínku sazenice v průmětu koruny stromku.
- (2) V případech, kdy se aplikuje v letech následujících po výsadbě (až při zjištění projevů nedostatku živin nebo problémů s růstem). Přihnojení lze provádět v období 1–5 let od výsadby, optimálních výsledků bylo dosaženo při hnojení sazenic v období 2–4 roky po výsadbě.

Dávku hnojiva lze upravit na základě předchozí analýzy půdních vzorků, popř. doplněné o analýzu asimilačního aparátu sazenic. Doporučené základní a rozšířené aplikační dávky podle druhu dřevin jsou uvedeny v tabulce 9.

Aplikaci je nutné provádět na jaře, optimálně v období rašení pupenů a počátku růstu letorostů, tj. zpravidla v průběhu dubna a května (v závislosti na průběhu počasí a počátku uvedených fenologických fází růstu sazenic). Tím je zajištěn přísun živin v období, kdy mají sazenice největší nároky na jejich příjem, a díky složení hnojiva jsou živiny dodávány až do vrcholného, popř. pozdního léta.

Tab. 9: Doporučené aplikační dávky granulovaného minerálního hnojiva typu NPK s hořčíkem a mikroprvky s obsahem zeolitu pro přihnojení výsadeb lesních dřevin.

Dřevina	Základní dávka (g/sazenice)	Zvýšená dávka (g/sazenice)
smrk ztepilý, borovice lesní	50	75
jedle bělokorá, buk lesní	75	100
duby (zimní, letní), javory (klen, mléč)	100	150

Nově vyvinuté minerální hnojivo typu NPK s hořčíkem a mikroprvky s obsahem zeolitu je určeno k tzv. individuálnímu přihnojování sazenic lesních dřevin. Přípravek lze aplikovat za pomoci vhodné odměrky nebo pomocí zádového aplikátoru granulátů.

Aplikaci hnojiva lze použít jako podpůrné opatření pro systematické a dlouhodobé zlepšování stavu lesních půd a výživy porostů hnojením. V systémech dlouhodobého udržitelného obhospodařování lesních půd a pro podporu přirozených procesů probíhajících v lesních půdách představuje hnojení důležitý pomocný nástroj,

který je ovšem nutné kombinovat s vhodně zvolenými postupy obnovy, biologické meliorace, managementu zvěře, ochrany kultur proti buření a škodlivým činitelům, protože hnojení samo o sobě situaci neřeší.

Pro zavádění nutričně náročnějších druhů listnatých dřevin do porostních směsí je užití nově formulovaných hnojiv nezbytným předpokladem, a to nejméně po dobu nutnou ke zvýšení podílu hlouběji kořenících druhů dřevin, které později pomohou aktivovat živiny uložené v hlubších vrstvách půdy.

2.3 Výběr ploch pro přihnojení výsadeb

Hnojení lesních půd nebo přihnojování výsadeb je opatření, které má za cíl udržet, upravit nebo zlepšit stav půdy ve smyslu zajištění dostatečného množství živin jak pro půdní život, tak především pro výživu dřevin, které na této půdě rostou. Protože se jedná o vnější zásah do ekosystému, a také vzhledem k dlouhodobosti lesní produkce (viz kap. 2.1), přistupuje se k tomuto opatření zpravidla pouze v případech, kdy dřeviny vykazují viditelné symptomy nedostatku živin. Tím se můžeme dostat do situace, že hnojení je provedeno v takovém fyziologickém stavu dřevin, že zejména při použití hnojiv s pozvolným uvolňováním živin (v řádu několika let) může i přes provedené hnojení část výsadeb dále chřádnout nebo odumírat, jelikož efekt dodání živin se projeví s delším časovým odstupem.

Použití rychle rozpustných a rychle působících hnojiv je ovšem v lesních porostech vyloučeno (riziko kontaminace povrchových i podzemních vod, vznik nerovnováhy ve výživě, nadbytečný vstup dusíku do ekosystému apod.). Hnojiva se středně a dlouhodobým efektem naopak ovlivňují půdní prostředí a výživu dřevin řadu let, a proto je vhodné, resp. nutné, k hnojení v lesních porostech přistupovat s potřebnou opatrností a se znalostí půdních a živinových poměrů v konkrétních lokalitách. Pro aplikaci v lesních porostech se volí právě hnojiva s postupným uvolňováním živin, a to od doby v řádu několika měsíců až několika let (př. Kuneš a kol. 2007; 2011, 2014; Nárovec 2001, 2004; Remeš a kol. 2005).

Výše uvedenému je třeba věnovat pozornost při rozhodování o aplikaci hnojiv – základními vstupními parametry pro rozhodování je aktuální stav půdy na konkrétní lokalitě (chemismus, základní fyzikální vlastnosti, vodní režim stanoviště) a stav výsadeb, resp. mateřského porostu (viditelné projevy nedostatku hlavní živin na listech nebo jehlicích dřevin, krnění, zpomalení či zastavení růstu, chemismus asi-

milačního aparátu apod.). Na základě této znalosti je možné realizovat rozhodnutí o složení hnojiva, aplikované dávce, formě a způsobu aplikace hnojiva. Je velmi důležité vyhodnotit vstupní údaje o půdě, výživě a lesním stanovišti v širším slova smyslu komplexně a v souvislostech, protože tím ovlivňujeme výsledek, kterého můžeme nebo chceme aplikací hnojiv v lesních porostech dosáhnout.

2.3.1 Odběr půdní vzorků

Odběry vzorků jsou zpravidla směřovány do porostních skupin sdružených na základě stanovištních podmínek. To znamená, že odebrané a analyzované vzorky reprezentují i další porostní skupiny ve srovnatelných podmínkách vybraných lokalit (SLT, srážky, dostupnost vody, expozice, dřevina, apod.) a lze je použít při posouzení stavu a rozhodování o přihnojení výsadeb i na dalších místech nebo v následujících letech. Půdní chemismus se nemění skokově z roku na rok a využitelnost provedených analýz trvá 3–5 let od vzorkování.

Lesní půda může být i v rámci jedné porostní skupiny značně proměnlivá, proto půdní vzorek pro chemickou analýzu odebíráme vždy jako směsný vzorek. Směsný vzorek je vytvořený dílčími odběry z více míst rozmístěných po ploše, na které je podpora výsadeb formou hnojení plánována. Minimální počet dílčích odběrů jsou tři, optimální pět. Velké plochy (od ca 0,5 ha) je lépe rozčlenit na více částí a vzorkovat je odděleně i v případě, že předpokládáme stejné nebo podobné půdní vlastnosti po celé ploše. Odběry se provádějí zpravidla úhlopříčně, popř. středem vzorkované plochy.

Na každém dílčím odběrovém místě jsou odebrány odděleně vzorky povrchového humusu a vzorky minerální půdy do hloubky ca 25–30 cm. Pro základní průzkum postačí rozdělení na humus (horizont FH) a minerální půdu bez dalšího dělení podle genetických horizontů (horizont AB).

V případě plánovaného použití dlouhodobě působících hnojiv (dolomit, vápenec, bazické moučky apod.) s očekávaným uvolňováním živin v řádu 5–10 (i více) let, je vhodné vzorkovat půdu podrobněji. Důvodem je možnost sledovat opakovaně na stejné ploše rychlost uvolňování živin a množství prvků prostupujících od povrchu půdy do minerálních horizontů, viz např. Šrámek a kol. (2014).

Nejčastěji se v takovém případě odebírá vzorek povrchového humusu (fermentační a humifikační horizont FH), vzorek svrchní minerální půdy humusem obohacené (organominerální horizont A) a dále vzorek minerální půdy do hloubky 25–30 cm (jde o označení pro minerální půdu, nikoli o genetický horizont).

Další možností je odebírat půdní vzorky podle pevně definovaných hloubek, bez ohledu na genetické horizonty, přičemž směrem od povrchu jsou vzorkované vrstvy slabší, pro možnost zaznamenat postup dodaných živin půdním profilem. Vzorkování je možné např. ve vrstvách FH, 0–2 cm, 2–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, >20 cm. Toto členění ovšem závisí na tom, jak často budou odběry opakovány, jak rychlý postup živin půdním profilem očekáváme, jaká je zvolená metodika monitoringu vlivu hnojení a v neposlední řadě také na finančních možnostech – čím podrobnějších vzorkování bude ve vertikálním směru naplánováno, tím více vzorků bude třeba analyzovat.

2.3.2 Odběr vzorků asimilačního aparátu

V některých případech je nutné, popř. vhodné získat informaci o úrovni výživy dřevin na konkrétním stanovišti. Může se jednat o případy, kdy např. chceme mít informaci o tom, jaké množství živin z půdy jsou dřeviny schopné účinně přijmout pro zajištění výživy. V případech, kdy se na sazenicích již projevuje deficit živin viditelně (barevné změny, zpomalení růstu), podá chemická analýza informaci o tom, které prvky jsou v nedostatku, a také velmi důležitou informaci o vzájemném poměru živin.

Vzorek listů odebíráme na konci vegetační sezony, ještě před začátkem barevných změn svědčících o přesunu části prvků do zásobních tkání. Koncentrace prvků se totiž během rašení a prodlužovacího růstu mění a stabilizuje se až po vyzrání letorostů a listů. Toto období nastává zpravidla od poloviny srpna do poloviny září a závisí na průběhu počasí během vegetační doby. Také u jehličnatých dřevin platí, že během rašení a růstu dochází ke změnám koncentrace živin a období vhodné pro stanovení úrovně výživy nastává až po vyzrání letorostů. Jehličnaté dřeviny proto vzorkujeme zhruba od poloviny září a můžeme v něm pokračovat prakticky až do konce zimy.

Směsný vzorek listů nebo jehličí by měl být vytvořen odběrem nejméně z pěti různých stromů (mlaziny, tyčoviny, kmenoviny), optimálně z deseti různých stromů. V případě sazenic se počet odběrů řídí velikostí sazenic a velikostí listů, resp. tím, jak velkou část sazenice je možné odebrat, aniž bychom ji vážně poškodili. Množství sazenic, ze kterých je směsný vzorek listů/jehličí vytvořen, může dosáhnout i více než 25. Odběr asimilačního aparátu by měl probíhat v místech, kde vzorkujeme půdu. U jehličnatých dřevin mohou pro analýzu postačovat vzorky letorostů, zpravidla ale odebíráme část větvíčky až za dvouletými jehlicemi a k analýze použijeme vzorek letorostů a předchozího ročníku jehličí odděleně.

2.3.3 Rozhodování o potřebě přihnojení

Základní informaci o trofnosti stanoviště podává typologická klasifikace lesních půd. Stanoviště řazená do ekologické řady kyselé, extrémní, oglejené, resp. do edafické kategorie kyselé, kyselé kamenité, chudé, skeletové, oglejené kyselé, popř. některých dalších, mohou zahrnovat stanoviště s nízkým pH, nízkou koncentrací bazických prvků (vyjádřeno např. parametrem kationtová výměnná kapacita nebo nasycení sorpčního komplexu bázemi), nepříznivou formou humusu s narušeným uvolňováním prvků do půdního roztoku i s dalšími vlastnostmi, které vedou k tomu, že zde dřeviny mohou mít problémy s dostatečným příjmem prvků. Na takových stanovištích vzniká deficit ve výživě jedním nebo více prvky, často vzniká nerovnováha mezi důležitými prvky a na dřevinách se nedostatečná výživa projevuje špatným růstem, barevnými změnami asimilačního aparátu, sníženou odolností k dalším působícím činitelům apod. Při rozhodování o potřebě přihnojení je tedy znalost trofnosti stanoviště první informací o tom, zda pěstovaným dřevinám hrozí riziko nedostatečné výživy.

Kromě půd přirozeně chudých existuje řada lokalit, kde byly půdní vlastnosti v různé míře změněny také vlivem lidské činnosti – imisně-depoziční zátěž trvající desítky let vedla k postupnému vyčerpání bazických prvků obsažených v lesní půdě. Bazické prvky (Ca, Mg, K) byly v lesních půdách využívány k neutralizaci kyselého vstupu a jejich zásoba je v současné době nízká, popř. úplně vyčerpána. O tom poskytují informaci například výše zmíněné půdní průzkumy prováděné různými institucemi (viz kap. 2.1). Jedná se o výsledky z většího území, které slouží jako vodítko k plánování dalších odběrů. Jejich cílem je zjistit aktuální stav půdního chemismu na lokalitách, kde se u výsadeb projevují poruchy růstu nebo se objevují příznaky nedostatku živin. Mohou být prováděny také v porostech, ve kterých jsou v dalším období plánovány výsadby sazenic a nelze vyloučit nedostatek živin v půdě (na chudých a kyselých stanovištích). Chemická analýza půdních vzorků má podat informaci o aktuálním stavu půdy a slouží jako podklad při rozhodování o potřebě přihnojení výsadeb.

Analýzu vzorků provádějí specializované lesnické, popř. zemědělské laboratoře. Výhodou zadání analýzy do laboratoře zaměřené na analýzu lesních půd bývá přítomnost odborníků, kteří jsou schopni výsledky vyhodnotit a okomentovat, včetně posouzení vztahů mezi prvky, doporučení vhodných typů hnojiv a jejich potřebné dávky. A to jak ve vztahu ke stanovištním podmínkám, tak ve vztahu k pěstovaným dřevinám.

Základní kritéria pro hodnocení chemismu půd jsou uvedena v tabulce 10 a 11 (modifikováno dle Klimo 1998) a mohou sloužit pro první orientaci po obdržení výsledků chemické analýzy půdních vzorků. Pro nasycení sorpčního komplexu bázemi (BS) slouží jako základní kritéria hranice <30 % (nízké nasycení) a <10 % (velmi nízké nasycení).

Tab. 10: Kritéria pro hodnocení koncentrace hlavních živin v půdě; tot = celková koncentrace, př. = přístupná forma prvku

živina	minerální horizonty			
obsah živiny	velmi nízký	nízký	střední	dobrý
K _{pr.} (mg/kg)	<30	<50	50–100	>100
Ca _{pr.} (mg/kg)	<140	<350	350–700	>700
Mg _{pr.} (mg/kg)	<20	<40	40–90	>90
P _{pr.} (mg/kg)	<20	<35	35–70	>70
N _{pr.} (%)	<0,03	<0,06	0,06–0,2	>0,2

Tab. 11: Kritéria pro hodnocení půdní reakce

pH	výměnné (pH-KCl)	aktivní (pH-H ₂ O)
velmi silně kyselé	2–3	2,5–3,5
silně kyselé	3–4	3,5–4,5
středně kyselé	4–5	4,5–5,5
mírně kyselé	5–6	5,5–6,5

2.3.4 Aplikace hnojiva

Představovaný nový typ lesnického hnojiva byl navržený a vyrobený tak, aby živiny v něm obsažené byly sazenicím k dispozici průběžně po dobu vegetační sezony, reálně se jedná o období od května do srpna. V nižších polohách, kde sazenice raší dříve, může být toto období duben – srpen. Velmi důležité je provádět aplikaci hnojiva až tehdy, kdy již sazenice raší. Důvodem je zamezení ztráty části živin, které se z hnojiva uvolňují. V první řadě se jedná o dusík – část dusíku obsažená v hnojivu tohoto typu je v dobře rozpustné formě a k jeho efektivnímu příjmu a využití by při aplikaci v době vegetačního klidu nedošlo.

Základní doporučení pro aplikaci jsou následující:

- Aplikace probíhá k rašícím sazenicím, v praxi půjde nejčastěji o květen.
- Základní dávka je 50–100 gramů hnojiva (podle druhu dřeviny) na jednu sazenici, na základě informací o chemismu půdy nebo o výživě sazenic lze dávku upravit, viz kapitola 2.2.5, tabulka 9.
- Hnojivo je aplikováno kolem kmínku sazenice, přibližně na ploše pod průměrem korunky sazenice.
- K aplikaci lze využít odměrky, jejichž objem odpovídá požadované dávce hnojiva, druhou možností je využití zádového aplikátoru granulátů, u které je dávka odměřována použitým nástavcem na aplikační trubici.

2.3.5 Vyhodnocení účinnosti hnojení

Pro možnost sledovat účinnost hnojení lze založit kontrolní plochy bez aplikace hnojiva. Tyto plochy je vhodné v terénu vyznačit, např. pomocí dřevěných kolíků, nebo jiným vhodným způsobem.

První možnost je vyznačení čtvercových/obdélníkových ploch v rámci hnojené lokality. Druhá možnost je na menších plochách vynechat několik řad nehnojených sazenic. Pro výběr a následné sledování kontrolních míst platí následující základní doporučení:

- Počet kontrolních sazenic ve skupině by měl být v řádu několika desítek, optimálně 30–50 sazenic. Vyšší počet sazenic umožní opakovat měření i v odstupu více let – je nutné počítat se ztrátami, ať už budou způsobeny biotickými činiteli, vlivem počasí nebo poškozením sazenic při ožínání buřeně.

- Skupina kontrolních sazenic by měla být v místě s typickými, převažujícími podmínkami stanoviště. Je-li plocha větší, vyhýbáme se okrajům plochy (okrajový efekt na hraně dospělého porostu). Pokud jsou na ploše výrazněji odlišná místa (zamokření, terénní deprese apod.), neumísťují se sem kontrolní skupiny sazenic.
- V případě kontrolních nehnojených řad je třeba zvažovat možnost vlivu hnojení na nejbližší sousední řadu. Tento okrajový efekt bereme v úvahu také u čtvercových/obdélníkových kontrolních skupin umístěných uvnitř hnojené plochy. Platí to zejména při sponu do jednoho metru.
- Sledování rozdílů v růstu sazenic je možné provádět i vizuálně. Pro přesnější hodnocení by mělo proběhnout základní měření – zjišťujeme výšku sazenic a tloušťku kořenového krčku. Kontrolní skupina (nehnojené sazenice) se měří celá, stejný počet sazenic měříme i v hnojené části plochy.
- Je vhodné změřit sazenice již při aplikaci hnojiva, a to jak kontrolní skupinu, tak hnojené jedince. Druhá možnost je provést měření až po první vegetační sezóně. To je možné především v případě, že dodavatel sazenic je schopen zaručit vysokou kvalitu sadebního materiálu ve smyslu homogennosti jejich rozměrů a nehrozí tedy chyba měření způsobená výrazně rozdílnými rozměry sazenic na jedné ploše.
- Opakované měření se provádí po ukončení růstu, v době vegetačního klidu.
- Měření by mělo probíhat u stále stejné skupiny kontrolních i hnojených sazenic.
- Podrobněji lze vliv hnojení hodnotit pomocí opakovaných půdních analýz, případně i analýz asimilačního aparátu sazenic. Půda/asimilační aparát se analyzuje odděleně pro kontrolní a hnojené sazenice.
- Odběr půdy se provádí pomocí půdní sondýrky, a to v blízkosti kmínků, popř. na okraji korunky sazenic.

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Na trhu s lesnickými hnojivy lze nalézt produkty s podobným složením, jako má představovaný nový typ lesnického hnojiva. Ten se od současné nabídky lesnických hnojiv, kromě některých rozdílů v použitých vstupních surovinách a v chemickém složení, odlišuje ve vyráběné formě (granulát). Existující hnojiva jsou nejčastěji dodávána lisovaná v podobě tablet/pelet, popřípadě v práškové formě.

Nově je u tohoto typu hnojiva zaměřeno také jeho použití – těžiště využití je pro plochy, kde nebylo hnojení provedeno při výsadbě do jamky ani na povrch půdy a před dosažením lhůty pro zajištění kultury dojde k projevům nedostatku živin, zpomalení růstu apod. Nově vyvinuté hnojivo má potenciál zajistit sazenicím potřebné živiny ve chvíli, kdy začnou být odkázány pouze na živiny dostupné na lesním stanovišti a ještě nejsou ve stadiu zajištěné kultury. Lze jím přihnojit výsadby i více let po výsadbě (2–5 roky/let), přičemž je možné na velmi živinově nepříznivých stanovištích s odstupem 2–3 let přihnojení opakovat. Otevírá se tak možnost podpořit kultury i v období před dosažením stadia zajištění při přechodu k zapojenému porostu. Tím se vhodně doplňuje spektrum produktů určených pro lesní hospodářství a zvyšuje se výběr hnojiv použitelných v různých situacích, se kterými se lesnický provoz setkává.

Nově je v tomto hnojivu použitý zeolit, čímž je toto hnojivo velmi vhodné pro lokality ohrožené suchem. Jak je popsáno v kap. 2.2.1, pórovitý zeolit je schopen poutat vodu a živiny a i v dalších směrech zlepšit půdní vlastnosti. Hnojivo je tedy jednak zdrojem potřebných živin, včetně dusíku, a 30% podíl zeolitu zlepšuje jeho vlastnosti pro použití na stanovištích ohrožených suchem. Vzhledem k tomu, že přísušky jsou v poslední dekádě častým jevem, lze v použití zeolitu při výrobě hnojiva spatřovat jeho velký potenciál. Další důležité živiny jsou v hnojivu obsaženy ve vhodném vzájemném poměru a příměs mikroprvků doplňuje komplex živin důležitý pro potřebný růst nadzemní i podzemní části stromků. Rozpouštění hnojiva a uvolňování obsažených prvků probíhá postupně během celé vegetační sezony (květen – srpen).

4 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Vlastníci a správci lesa mohou aplikovat získané výsledky a navržené postupy jako nástroj pro systematické a dlouhodobé zlepšování stavu lesních půd a výživy porostů hnojením. V systémech dlouhodobého udržitelného obhospodařování lesních půd a pro nastartování a podporu přirozených procesů probíhajících v lesních půdách představuje hnojení důležitý pomocný nástroj.

Pro zavádění nutričně náročnějších druhů listnatých dřevin do porostních směsí je užítí jak existujících, tak i nově formulovaných hnojiv často nezbytným předpokladem, a to nejméně po dobu nutnou ke zvýšení podílu hlouběji kořenících druhů dřevin, které později pomohou aktivovat živiny uložené v hlubších vrstvách půdy a zapojit je tak do koloběhu.

Cílené bodové hnojení výsadeb je důležitým doplňkovým a podpůrným opatřením pro zahájení a podporu biologické meliorace, a to v první řadě na antropogenně acidifikovaných a degradovaných půdách a dále také na půdách výsypek a dalších typech antropozemí, na kterých je prováděna lesnická rekultivace pro návrat těchto stanovišť do kategorie pozemků určených k plnění funkcí lesa.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické přínosy aplikace těchto nových typů lesnických hnojiv lze hodnotit různými kritérii.

Vlastník lesa může ušetřit prostředky na nákup hnojiv používaných běžně při výsadbě sazenic, a to v případech, kdy vyhodnotí riziko nedostatku živin jako malé, hnojení při výsadbě neprovede a počká na reakci sazenic 1–3 roky od výsadby. Množství hnojiva, které vlastník lesa kupuje, pak může být nižší, protože k projevům deficitu živin nebo k problémům s růstem nemusí dojít u všech realizovaných výsadeb. Jako ekonomický přínos hnojení lze uvažovat také skutečnost, že přihnojení by mělo vést k urychlení růstu sazenic, a tedy i k rychlejšímu dosažení fáze zajištěné kultury, což by se mělo odrazit ve snížených nákladech na péči o výsadbu (zejm. ochrana proti buření).

Významným přínosem, obtížně kvantifikovatelným, je snížení množství hnojiv vnášených do ekosystému. Přestože použití hnojiv je směřováno především na problematiku stanoviště, včetně antropogenně degradovaných, a přestože se jedná o cílené, bodové přihnojení a dávky jsou stanoveny spíše zdrženlivě a na dolní hranici možného rozpětí, stále se jedná o vnější zásah do ekosystému. V zájmu vlastníka lesa, a přeneseně celé společnosti, je taková péče o lesy, která minimalizuje rizika poškození lesa a přispívá k vysoké stabilitě ekosystému. Z tohoto pohledu je hnojení opatřením jak pozitivním (snížení kyselosti půdy, zlepšení dostupnosti živin, podpora půdní bioty, stimulace růstu kořenů atd.), tak opatřením s určitou mírou rizika (vnější, umělý zásah do ekosystému), přičemž za hlavní riziko jsou zpravidla považovány především sloučeniny dusíku.

Další pohled na aplikaci nových typů hnojiv a jejich cílenou bodovou aplikaci je vyzdvihnout přínos v podobě zlepšení kvality stanoviště (viz odstavec výše), a tím následně i lesních porostů, které na stanovišti vznikají. Nacházíme se v období, kdy jsou vlastníci lesa nuceni zakládat porostní směsi tvořené třemi, pěti i více druhy dřevin, a to díky nejistotě, jak se bude dále vyvíjet klima a které druhy dřevin a jaké kombinace dřevin budou v budoucnu ekologicky a ekonomicky udržitelné. Cílené hnojení založené na znalosti stanoviště a úrovně výživy může pozitivně ovlivnit budoucí lesní porosty a přispět v dlouhodobém horizontu ke zvýšení ekologické stability i ekonomické situace vlastníků lesa.

6 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- De Vries W., Dobbertin M.H., Solberg S., Van Dobben H.F., Schaub M. 2014. Impacts of acid deposition, ozone, exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview. *Plant and Soil*, 380: 1-45. doi: 10.1007/s11104-014-2056-2
- De Vries W., Reinds G.J., Van Kerkvoorde M.S., Hendriks C.M.A., Leeters E.E.J.M., Gross C.P., Voogd J.C.H., Vel E.M. 2000. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 2000 technical report. EC, UN/ECE 2000, Brussels, Belgium and Geneva, Switzerland, pp. 191.
- Fiala P., Materna J., Reininger D., Samek T. 2009. Stav povrchových půdních vrstev a výživa smrkových porostů v přírodní lesní oblasti Český les. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54 (1): 1-11.
- Fiala P., Reininger D., Samek T. 2017. Chemismus půdního prostředí a jehlic smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.) ve vápněných a kontrolních porostech Krušných hor. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62 (1): 23-32.
- Fiala P., Reininger D., Samek T., Pospíchalová M. 2019. The changes of soil nutrient status after a 10y period in the Natural Forest Region of Český les. *Journal of Forest Science*, 65: 87-95.
- Hönig E. 1964. Poznatky o růstu a produkci smrkových porostů v Krušných horách. *Studie VÚLHM*, 80 s.
- Klimo E. 1998. *Lesnická pedologie*. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně: 259 s.
- Kozák J. a kol. *Pedologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, 2002. ISBN 9788021309074
- Kuneš I., Baláš M., Balcar V. 2014. Long-term influence of applied amphibolite powder on the chemistry of soil supporting Norway spruce plantation. *Journal of Forest Science*, 60 (2): 51-60.
- Kuneš I., Baláš M., Špulák O., Kacálek D., Balcar V., Šesták J., Millerová K. 2011. Stav výživy smrku ztepilého jako podklad pro zvážení potřeby přihnojení listnáčů a jedle vnášených do jehličnatých porostů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56, Issue Special, s. 36-43.

- Kuneš I., Balcar V., Vykyřelová E., Zadina J., Šedlbauerová J., Zahradník D. 2007. Vliv jamkové a pomístné povrchové aplikace dolomitického vápence na množství a chemické složení biomasy smrku ztepilého v Jizerských horách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52 (4): 316-327.
- Lomský B., Novotný R., Šrámek V. 2011. Změny ve výživě fosforem v mladých smrkových porostech. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56 (2): 83-93.
- Lomský B., Šrámek V., Novotný R. 2012. Changes in the air pollution load in the Jizera Mts.: effects on the health status and mineral nutrition of the young Norway spruce stands. *European Journal of Forest Research*, 131: 757-771. doi: 10.1007/s10342-011-0549-6
- Mayrhofer J. 1893. Über Pflanzenbeschädigung, veranlasst durch den Betrieb einer Superphosphatfabrik. (Freie Vereinigung d. bayr. Vertreter f. angew. Chemie, Bd. X, S. 127–129). In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*, 3: 50-51.
- MZe 2021. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2020. Praha, Ministerstvo zemědělství 2021. 128 s. ISBN 978-80-7434-625-5.
- Nárovec V. 2001. Stokrát o hnojení v lese. Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. Kostelec nad Č. lesy, Lesnická práce. 32 s.
- Nárovec V. 2004. Hnojivé tablety v soustavách hnojení lesních kultur. *Lesnická práce*, 83(3): 128-129.
- Novotný R., Buriánek V., Šrámek V., Hůnová I., Skořepová I., Zapletal M., Lomský B. 2017. Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic – change in soil chemistry and ground vegetation. *iForest*, 10: 48-54. – doi.org/10.3832/ifor1847-009
- Novotný R., Fadrhonsová V., Kulhavý J., Lorencová H., Matějčík J., Menšík L., Pešková V., Šrámek V. 2011. Vliv drčení klestu na půdu a na růst sazenic smrku, buku a jedle v podmínkách LS Ledec. Výzkumné projekty Grantové služby LČR, Závěrečná zpráva. 53 s. (<https://lesycr.cz/wp-content/uploads/2016/12/vliv-drceni-lestu-na-obnovu.pdf>)
- Remeš J., Zahradník D., Podrázský V., Kubíček J., Nárovec V. 2005. Účinky pomalu rozpustných tabletovaných hnojiv. *Lesnická práce*, 84 (6): 312-314.
- Rhode A. 1895. Schädigung von Roggenfeldern, durch die einer Superphosphat-Fabrik entströmenden Gase. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*, 5: 135-136.
- Singer J. 1916. Über Rauhref und Duftbruch im Erzgebirge. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 5/6: 161.

- Stoklasa J. 1923. Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen. Upravit: Berlin, Urban & Schwarzenberg. 487 s.
- Šrámek V. 1998. SO₂ air pollution and forest health status in northwestern Czech Republic. *Chemosphere*, 36: 1067–1072.
- Šrámek V., Fadrhonsová V., Jurkovská L. 2014. Kontroly aplikací vápnění v lesních porostech. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM. 30 s. Lesnický průvodce 6/2014.
- Šrámek V., Jurkovská V., Fadrhonsová V., Hellebrandová-Neudertová K. 2013. Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií – výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektu EU „BIOSOIL“. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58 (4): 314-323.
- Šrámek V., Novotný R., Fadrhonsová V. 2015. Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd v oblasti severní Moravy a Slezska (PLO 29 a 39). (Decay of Norway spruce stands and quality of forest soils in the region of northern Moravia and Silesia). *Zprávy lesnického výzkumu* 60 (2): 147 - 153.
- Šrámek V., Novotný R., Fiala P. (eds.). 2014. Vápnění lesů v České republice. Praha, Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s VÚLHM. 91 s. ISBN 978-80-7434-150-2.
- Thimonier A., Schmitt M., Waldner P., Rihm B. 2005. Atmospheric deposition on Swiss long-term forest ecosystem research (LWF) plots. *Environmental Monitoring and Assessment*. 104: 81-118. DOI: 10.1007/s10661-005-1605-9
- Waldner P., Thimonier A., Graf Panatier E., Etzold S., Schmitt M., Marcheto A., Rautio P., Derome K., Nieminen T.M., Nevalainen S., Lindroos A.J., Merilä P., Kindermann G., Neumann M., Cools N., De Vos B., Roskamps P., Vestraeten A., Hansen K., Karlsson G.P., Dietrich H-P., Raspe S., Fischer R., Lorenz M., Iost S., Granke. O, Sanders T., Michel A., Nagel H-D., Scheuschner T., Simoničič P., Von Wilpert K., Meesenburg H., Fleck S., Benham S., Vanguelova E., Clarke N., Ingerslev M., Vesterdals L., Gundersen P., Stupak I., Jonard M., Potočič N., Minaya M. 2015. Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. *Annals of Forest Science*, 72: 929-939. DOI: 10.1007/s13595-015-0489-2
- Web1: <https://www.mezistromy.cz/ekosystem-lesa/lesni-puda/>
- Zapletal M. 2014. Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice. Opava, Slezská univerzita v Opavě: 135 s.

7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Lomský B., Novotný R., Šrámek V. (2015): Jsou imise stále aktuálním problémem lesů v ČR? *Lesnická práce*, 94 (12): 818-820.
- Lomský B., Novotný R., Šrámek V. (2015): Nedostatečná výživa a imisní poškození – historie, ale i aktuální problém ovlivňující zdravotní stav lesa v ČR. In: Knížek M. (ed.): *Škodliví činitelé v lesích Česka 2014/2015. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 23. 4. 2015. Zpravodaj ochrany lesa*, s. 43-46.
- Novotný R., Fadrhonsová V., Šrámek V. (2020). Stav lesních půd, úroveň minerální výživy a vývoj zdravotního stavu smrkových mlazin v Orlických horách v období 2002-2018. [Forests soil condition, nutrition supply and the health state of young forest stands in the Eagle Mts. (Orlické hory) during 2002-2018 period.] *Zprávy lesnického výzkumu*, 65 (3): 175-189.
- Novotný R., Lomský B., Šrámek V. (2018). Changes in the phosphorus and nitrogen status and supply in the young spruce stands in the Lužické, the Jizerské and the Orlické Mts. in the Czech Republic during the 2004–2014 period. *European Journal of Forest Research*, 137: 879-894. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1146-8>
- Novotný R., Šrámek V., Menšík L. (2012): Drcení těžebních zbytků – vhodný způsob udržení živin v lesním ekosystému. *Lesnická práce*, 9, 33-35.
- Novotný R., Valenta J., Fadrhonsová V. 2020. Použití nově vyvinutých hnojiv v lesních porostech. *Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce* 4/2020.
- Šrámek V., Fadrhonsová V., Novotný R. (2019). Nakládání s těžebními zbytky v lesním hospodářství. *Lesnická práce* 98 (12): 834-837.
- Šrámek V., Fadrhonsová V., Novotný R. (2018). Udržitelnost lesního hospodářství z hlediska bilance živin na příkladu Žďárských vrchů. In: *Demonstrační objekty nepasečného hospodaření v ČR. 25 let přestavby stejnorodých a stejnověkých porostů smrku ztepilého a uplatnění principů Pro Silva na LÚ Kocanda. Sborník příspěvků ze semináře. Fryšava pod Žákovou horou, 25. - 26. října 2018. Ed. P. Bednář. Pro Silva Bohemica; [Strnady], Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 31-35. ISBN 978-80-7417-164-2*

- Šrámek V., Novotný R., Fadrhonsová V. (2015): Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd v oblasti severní Moravy a Slezska (PLO 29 a 39). (Decay of Norway spruce stands and quality of forest soils in the region of northern Moravia and Silesia). Zprávy lesnického výzkumu, 60 (2), 147-153.
- Šrámek V., Novotný R., Lomský B., Fadrhonsová V. (2014): Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd. In: Novák, J., Dušek, D.: Chřadnutí smrku v oblasti severní a střední Moravy. Sborník přednášek odborného semináře, Budišov nad Budišovkou 14. 10. 2014, s. 16-19.
- Šrámek V., Novotný R., Lubojacký J. (2015): Průzkum výživy žlutnoucích smrkových porostů na Opavsku a Šternbersku. Lesnická práce, 94 (12): 816-817.

8 DEDIKACE

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TH04030217 „Hnojiva se zrolity pro lesní hospodářství“, realizovaného v letech 2019–2022 v rámci 4. veřejné soutěže Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON (Podprogram 3 – Životní prostředí). Projekt finančně podpořila Technologická agentura České republiky.

Na řešení projektu se podíleli pracovníci Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., a pracovníci Lovochemie, a. s.

9 POUŽITÉ ZKRATKY

TA ČR	Technologická agentura České republiky
VÚLHM	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
LOS	Lesní ochranná služba
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesa
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
MZe	Ministerstvo zemědělství
NAZV	Národní agentura pro zemědělský výzkum
JV	javor
DB	dub
JD	jedle
BO	borovice
SM	smrk
FH	fermentační + humifikační horizont – svrchní organická vrstva půdy
A	organominerální horizont
PLO	přírodní lesní oblast

USE OF ZEOLITE-CONTAINING FERTILIZER IN FORESTS STANDS FOR FOREST REGENERATION

Summary

Fertilizing of the forest soil or additional fertilization of the plants is aimed to maintain or improve forest soil conditions, with respect to sufficient nutrient supply of the soil and mainly of the newly planted trees. As fertilizing is an artificial intervention to the ecosystem, this measure is usually used when trees show visible symptoms of nutrient deficiency, not as a preventive measure. On the other hand, fertilization of plants, growing on nutrient-poor sites, is an effective measure to ensure successful restoration and to support vitality and growth of the young seedlings. Targeted fertilizing is often basic precondition to support tree species of higher nutrient demand, mainly deciduous one.

To be applied in the forest stands, the slow release fertilizers are used, of the effect, ranging from several month to several years. These kind of fertilizers with long-term effect (slow-release fertilizers – SFR) can affect the soil environment and tree nutrition for many years. Application of fertilizing in the forest stands, therefore, has to be planned and used carefully and should be based on good knowledge of soil and nutrient conditions in specific localities (eg. Kuneš at al. 2007, 2011, 2014; Nárovec 2001, 2004; Remeš et al. 2005).

Besides naturally poor soils, there is a number of localities, where the soil conditions have been changed significantly by the human activity. Long-term impact of air pollution and deposition load resulted in gradual depletion of basic elements from the forest soils. Base elements (Ca, Mg, K) were depleted to neutralize the acid input, and their supply is very often low or completely exhausted.

The new type of forest fertilizer presented is designed to ensure nutrition of plantings during the whole vegetation period. The novelty of this new type of fertilizer is the use of zeolite as a component of the fertilizer. Zeolite is able to retain rainwater and then release it during drought period. This feature could help young trees on the forest sites threatened by drought. The nutrients are released continuously, so they are available during the whole period of vegetation – approx. from May to August. In lower altitudes, where seedlings flush earlier, vegetation period can be longer, from April till August. It is very important to apply the fertilizer only when the plantings are already flushing. The reason is to prevent loss of part of the nutrients released before flushing of the plants. However, our results confirm, that leaching losses of nutrients were very small.

Main scope of application is in areas, where fertilizing had not been applied during planting, in the pit or on the soil surface, and nutrient deficiency, growth retardation etc. was observed during next few years after planting. The newly developed fertilizer has the potential to provide seedlings with the necessary nutrients, so that they do not rely only on the nutrients available in the soil, before they are stabilized. The new fertilizer can be used even several years after planting (2–4 years), and, within the sites, which are very poor in nutrients, fertilizing can be repeated in 2–3 years interval. It is a suitable complement of the range of products (SFR) intended for forestry, and it increases the choice of fertilizers, which can be used in various situations encountered by forest management.

Fertilization by itself will not solve the situation in the forest, but it is an effective tool for improving the situation in the restoration of stands on poor and degraded sites and thus appropriately complements other measures to increase the vitality and resistance of the forest in current climatic conditions. Forest owners can apply the results obtained and procedures proposed in systematic and long-term improvement of forest soils and nutrition of forest trees by fertilization. Fertilization is an important measure in the long-term, sustainable forest soil management, and in the start-up and support of natural processes, taking place in forest soils. It should be suitably combined with other silviculture measures.

Příloha



Pokusná plocha LS Telč



Pokusná plocha LS Třeboň, sazenice jedle



Pokusná plocha LS Třeboň, sazenice borovice



Aplikace hnojiva zádovým aplikátorem granulátu



Aplikace hnojiva k rašícím jedlím



Aplikace hnojiva k rašícím smrčkům



Aplikace hnojiva k rašícím javorům



Aplikace hnojiva k sazenicím dubu



Aplikace hnojiva k sazenicím borovice



Měření sazenic a odběr vzorků, podzim 2021



Odběr půdních vzorků



Odběr vzorků půdy pomocí sondýrky



Odběr vzorků půdy pomocí sondýrky



Měření výšky sazenic pomocí dřevěné latě



Měření kořenového krčku pomocí šuplery



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v.v.i.

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 3/2022