

CHEMISMUS PŮDNÍHO PROSTŘEDÍ A JEHLIC SMRKU ZTEPILÉHO (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) VE VÁPŇNÝCH A KONTROLNÍCH POROSTECH KRUŠNÝCH HOR

CHEMISTRY OF SOIL ENVIRONMENT AND NORWAY SPRUCE NEEDLES (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) ON LIMED AND CONTROL FOREST SITES IN THE ORE MOUNTAINS (CZECH REPUBLIC)

PŘEMYSL FIALA ✉ - DUŠAN REININGER - TOMÁŠ SAMEK

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Hroznová 63/2, 656 06 Brno, Czech Republic

✉ e-mail: premysl.fiala@ukzuz.cz

ABSTRACT

The object of the study is to compare chemical properties of forest sites being limed in 2004 with the ones in their vicinity, which were not limed. The forests in the investigated area are supposed to have been affected by air pollution. Three soil horizons were sampled. The value of pH, amount of organic material, total soil nitrogen, oxidizable soil carbon and extractable contents of chosen elements (P, K, Ca, Al, Mn and Fe) were determined in the forest floor horizon. The same characteristic supplemented by values of plant accessible elements (P, K, Ca, Mg, Al, Mn, Fe, S) and the investigation of soil sorption complex ((Al + H)⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, CEC, BS) were carried out in the organomineral and mineral horizons. The investigation of contents of chosen elements (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, B, S) in the Norway spruce needles was done to evaluate the difference in the nutritional level on the compared sites. For this purpose, the needles of current and previous year were investigated. The statistical processing focused on the characteristics, which are supposed to have been induced by forest liming performed ten years ago. This study reveals that soils of the limed sites were richer and healthier than of the unlimed ones and that the trees on the limed sites were in better nutritional conditions.

Klíčová slova: vápněná lesní stanoviště, chemismus půdního prostředí, chemismus jehlic smrku, Krušné hory

Key words: limed forest sites, soil environment chemistry, spruce needles chemistry, Ore Mountains Czech Republic

ÚVOD

Od konce 70. let minulého století je ve vyšších polohách západní i střední Evropy a částečně v Severní Americe pozorováno chřadnutí lesů (HÜTTL, SCHNEIDER 1998), později nazvané „nové poškození lesa“ (HUETTL, ZOETTL 1993; LOMSKÝ et al. 2006). Tento jev je mimo jiné provázen zvyšováním půdní kyselosti a snižováním zásob přístupných živin v půdě. Výsledkem jsou žlutnoucí lesní porosty s nedostatkem hořčíku a vápníku a nevyváženým poměrem živin v asimilačních pletivech. Vliv nedostatku živin v půdě může být zesilován sníženým příjmem živin kořeny, poškozených potenciálně toxickým hliníkem uvolněným do půdního roztoku v podmínkách zvýšené půdní kyselosti (DELHAIZE, RYAN 1995; BORŮVKA et al. 2005; NYGGARD, WIT 2004; COLLIGNON et al. 2012; VRIES et al. 2014). Následuje chřadnutí stromů a jejich úhyn. Zvýšená kyselost půdního prostředí ztěžuje úspěšnost umělé obnovy lesa, dochází ke zpomalení koloběhu živin a energie, hromadění surového humusu a vytváření těžko zalesnitelných holin.

V oblasti Krušných hor bylo ve druhé polovině minulého století letecké vápnění prováděno na velkých rozlohách imisemi poškozených lesů (ŠRÁMEK et al. 2014a). Po opětovném zhoršování zdravotního stavu lesa na přelomu století se na základě rozhodnutí vlády České re-

publiky pokračovalo v hnojení a vápnění (ŠRÁMEK et al. 2014b) a tento způsob sledující ozdravení lesů se provádí dosud.

Je pravděpodobné, že působení imisí a následné vápnění poškozených porostů změnilo vlastnosti původních stanovišť. Cílem naší studie je srovnání chemických vlastností půdního prostředí a asimilačních pletiv smrku ztepilého v lesních porostech Krušných hor, které byly vápněny v roce 2004 (vápněné plochy) a na sousedních plochách, které vápněny nebyly (kontrolní plochy). Pozornost je kladena na očekávané – kladné účinky vápnění, tedy snížení půdní kyselosti a zvýšení obsahů živin v půdě i dřevinách a případné negativní důsledky – nežádoucí snížení množství organického materiálu a obsahů draslíku a fosforu.

MATERIÁL A METODIKA

K vápnění byla vybrána lesní stanoviště s vysokou kyselostí, nízkou zásobou bazických prvků v půdním prostředí a s projevy chřadnutí, které je spojeno s nízkou úrovní výživy hořčíkem a vápníkem. V roce 2014 jsme srovnávali chemismus půd a jehlic smrku v Krušných horách v lesních porostech vápněných v roce 2004 a vybraných kontrolních plochách. Odděleně jsme šetřili porosty v územní působnosti lesních správ (dále LS) Kraslice, Horní Blatná a Děčín. Šetření poros-

ty náleží převážně ke stanovištím souboru lesních typů 5K – *Abieto-Fagetum acidophilum* a 6K – *Piceeto-Fagetum acidophilum*. Na území LS Horní Blatná náleží část stanovišť k 7K – *Fageto-Piceetum acidophilum* (VIEWEGH et al. 2003). Na území LS Kraslice a LS Horní Blatná proběhlo vzorkování v porostech kategorie hospodářského lesa, na LS Děčín v kategorii lesa zvláštního určení v porostech náhradních dřevin (SLODIČÁK et al. 2008). Při výběru kontrolních stanovišť je dbáno jejich typologické jednotnosti (souborů lesních typů) s plochami vápněnými.

Geologickým podložím na LS Kraslice jsou břidlice na kontrolních plochách a žula na vápněných plochách. Na LS Horní Blatná a LS Děčín je geologické podloží tvořeno převážně rulami. Půdním typem těchto stanovišť jsou kambizemě dystrikové, případně humózní podzoly a kryptopodzoly ve vyšších polohách. Na území LS Děčín jsou stanoviště náhradních porostů s mechanicky úpravenou půdou.

Lesní porosty byly vápněny letecky. Použitým materiálem byl vápenný dolomit hrubě mletý s příslušnými (deklarovanými) chemickými i fyzikálními vlastnostmi ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ min. 90,0 %, MgCO_3 min. 35 %, částice nad 3,15 mm – 0 %, nad 1,0 mm max 20,0 %, pod 0,09 mm max, 35,0 %) v dávce 3 t·ha⁻¹.

Vzorek nadložního organického horizontu se odebírá z plochy 25 cm × 25 cm až na rozhraní s minerální půdou. Z této plochy se jako vzorek odebírá veškerá hmota horizontu drti – F a měli – H dohromady (opad – L se neodebírá). Horizont nadložního humusu dosahuje v Krušných horách mocnosti od 5 cm do 30 cm. Z minerální půdy se odebírají směsné vzorky u organominerálního horizontu (epipedonu) – A (mocnost 9–15 cm) a z horizontu minerálního – B do hloubky 35–40 cm. Směsné vzorky se odebírají ze tří až pěti míst na vzorkovaném stanovišti. Půdní vzorky jsou uloženy do polyetylenových sáčků a přepraveny do laboratoře, kde jsou skladovány v teplotě do 10 °C. Odběry vzorků půd i asimilačních orgánů byly provedeny na konci vegetačního období (srpen, září) před podzimním žloutnutím a opadem listů.

Pro potřebu analýz pletiv asimilačních orgánů se odebíraly u smrku ztepilého jehlice běžného a předchozího roku, a to z porostů ve stadiu tyčkovin až tyčovin z 2.–7. přeslenu z osluněné strany. K odběru se používají teleskopické nůžky s dosahem 4 m. Vzorky jehlic jsou uloženy v papírových sáčcích a předány do laboratoře k sušení. Smrk ztepilý byl vzorkován na všech lokalitách.

Ke statistickému zpracování byl použit software StatSoft, Inc. (2013), STATISTICA (data analysis software system), version 12. (www.statsoft.com). K testování rozdílů mezi vápněnými a kontrolními porosty byl použit neparametrický Mann-Whitney U Test. V tabulkách jsou uvedeny střední hodnoty (mediány) sledovaných parametrů v půdních vzorcích a v jehlicích smrku ztepilého. Mediány byly vypočítány z hodnot zjištěných na odběrných místech. Na území LS Kraslice z 11 kontrolních a 10 vápněných, na LS Horní Blatná z 12 kontrolních a 10 vápněných a na LS Děčín z 8 kontrolních a 8 vápněných.

Metody chemických analýz lesních půd

Nadložní organický horizont (F + H):

- půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a výměnná ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) měřeno iontově – selektivní elektrodou,
- stanovení obsahu celkového dusíku a oxidovatelného uhlíku (N_{tot} a C_{ox}) metodou NIRS,
- stanovení celkových (extrahovatelných) obsahů P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, měřených na ICP - OES po mineralizaci na suché cestě a vyluhou kyselinou dusičnou,
- stanovení obsahu organických látek gravimetricky,
- stanovení hmotnosti skeletu gravimetricky,
- stanovení sušiny gravimetricky.

Organominerální (A) a minerální (B) horizont:

- půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a výměnná ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), stanovení výměnné acidity z dvojího měření pH (po přidání tlumivého roztoku se pH tlumivého roztoku půdní suspenze změní vlivem uvolněných hydroxoniových kationtů; závislost je v běžném rozsahu půdních vzorků lineární a změna pH suspenze po přidání tlumivého roztoku se vyjádří jako množství uvolněných hydroxoniových iontů ze sorpčního komplexu půdy),
- stanovení obsahu celkového dusíku a oxidovatelného uhlíku (N_{tot} a C_{ox}) metodou NIRS,
- stanovení celkových (extrahovatelných) obsahů P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, měřených na ICP - OES po mineralizaci na suché cestě a vyluhou kyselinou dusičnou,
- stanovení obsahu přístupných živin P, K, Ca, Mg, Al, Fe a S ve vyluhou Mehlich III měřených na ICP - OES, P měřen na spektrofotometru,
- stanovení aktuální kationtové výměnné kapacity a výměnných kationtů ve vyluhou $\text{BaCl}_2 \cdot \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} měřeno FAAS, výměnná acidita $(\text{Al} + \text{H})^+$ stanovena titrací a výpočet aktuální výměnné kationtové kapacity „CEC“ a nasycení bázemi „BS“.

Jehlice smrku ztepilého:

Rozklad: N – mineralizace na mokré cestě ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Se}, \text{H}_2\text{O}_2$)

Stanovení: N – destilačně (automatická destilačně titrační jednotka – UDK 159)

Rozklad: B, Mn, Fe, Al, P, K, Ca, Mg – mineralizace na suché cestě (2 mol/l HNO_3).

Stanovení: B, Mn, Fe, Al, P, K, Ca, Mg - ICP OES – Spetro Arcos

Rozklad: S – mineralizace na mokré cestě ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$)

Stanovení: S – ICP OES – Spectro Arcos

VÝSLEDKY

Kraslice

U vápněných porostů je v nadložním organickém horizontu nevýznamně vyšší množství nadložního organického materiálu, statisticky významně vyšší hodnoty chemické půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) i výměnné ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), obsahy spalitelného uhlíku C_{ox} jsou podobné a celkový dusík N_{tot} je významně vyšší na vápněných plochách (tab. 1). Jsou zde rovněž statisticky významně vyšší extrahovatelné obsahy vápníku a hořčíku a je zde zjištěn významně menší obsah draslíku (tab. 2).

V organominerálním horizontu vápněných porostů je statisticky významně vyšší hodnota půdní chemické reakce aktivní a výměnné (tab. 3a). Podmínkám nižší kyselosti na vápněných plochách odpovídají statisticky významně vyšší obsahy přístupného a výměnného hořčíku i nevýznamně vyšší obsahy vápníku (tab. 3a, 3b). Obsahy přístupného draslíku a celkového uhlíku (C_{ox}) a dusíku (N_{tot}) jsou na porovnávaných plochách podobné a přístupný fosfor je statisticky významně vyšší na vápněných plochách (tab. 3a).

Na vápněných plochách jsme konstatovali statisticky významně vyšší nasycení sorpčního komplexu bazickými kationty, především Mg^{2+} a statisticky významně nižší zastoupení Mn^{2+} a podobný obsah Al^{3+} (tab. 3b).

Půdní prostředí obou minerálních horizontů na vápněných plochách je podle poměrů $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ a $\text{Mg}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ vzdálenější oblasti nastupujícího stresu (BONNEAU et al. 1992).

V minerálním horizontu vápněných ploch je statisticky významně vyšší hodnota chemické půdní reakce aktivní, nevýznamně vyšší obsahy přístupného vápníku (Ca_{MIII}), statisticky významně vyšší obsah hořčíku (Mg_{MIII}) a fosforu (P_{MIII}) (tab. 4a), podobně jako v horizontu

Tab. 1.

Nadložní organický horizont – organický materiál (t.ha⁻¹), chemická půdní reakce (pH_{H₂O}; pH_{CaCl₂}), celkový dusík (N_{tot} %), oxidovatelný uhlík (C_{ox} %)
Forest floor horizon – organic material (t.ha⁻¹), chemical soil reaction (pH_{H₂O}; pH_{CaCl₂}), total nitrogen (N_{tot} %), oxidizable carbon (C_{ox} %)

Kraslice	N – počet odběrných míst/ number of sample plots	Množství nadložního materiálu/ Quantity of forest floor material (t.ha ⁻¹)	pH _{H₂O}	pH _{CaCl₂}	N _{tot} %	C _{ox} %
Kontrolní/Control	11	91	3,70*	2,90*	1,07*	26,9
Vápněná/Limed	10	120	4,30	3,40	1,41	27,6

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 2.

Nadložní organický horizont – extrahovatelné obsahy (2M HNO₃) vybraných prvků (mg.kg⁻¹)
Forest floor horizon – extractable contents (2M HNO₃) of selected elements (mg.kg⁻¹)

Kraslice	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	mg.kg ⁻¹						
Kontrolní/Control	593	1260	966	443	6040	218	8110
Vápněná/Limed	587	823*	2170*	1050*	5290	92,3	3020*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 3a.

Organominerální horizont – chemická půdní reakce (pH_{H₂O}; pH_{CaCl₂}), oxidovatelný uhlík, celkový dusík a přístupné prvky
Organomineral horizon – chemical soil reaction (pH_{H₂O}; pH_{CaCl₂}), oxidizable carbon, total nitrogen and accessible elements

Kraslice	pH _{H₂O}	pH _{CaCl₂}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
			%	%							
	mg.kg ⁻¹										
Kontrolní/Control	3,70	3,10	4,8	0,16	< 3	45,8	47,6	21,4	1530	708	21
Vápněná/Limed	4,10*	3,25*	4,9	0,15	5,0*	45,7	61,7	99,9*	1370	626*	12*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 3b.

Organominerální horizont – výměnné prvky, CEC a sycení sorpčního komplexu
Organomineral horizon – exchangeable elements, CEC and base saturation

Kraslice	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹									%	
Kontrolní/Control	103	0,92	2,25	1,42	0,62	79,7	3,37	107	4,4	0,03	0,02
Vápněná/Limed	76,6*	0,88	3,00	7,62*	< 0,10*	62,9	1,80*	87,1	13,8*	0,05	0,12*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 4a.

Minerální horizont – půdní kyselost, oxidovatelný uhlík, celkový dusík a přístupné prvky
Mineral horizon – soil acidity, accessible elements, oxidizable carbon, total nitrogen

Kraslice	pH _{H₂O}	pH _{CaCl₂}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
			%	%							
	mg.kg ⁻¹										
Kontrolní/Control	4,10	3,70	0,7	0,13	< 3,0	30,1	< 30	< 15	1640	518	38,3
Vápněná/Limed	4,40*	3,70	2,2	0,06*	6,21*	31,2	37,3	34,0*	1600	527	15,2*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

organominerálním. Ve vápněných porostech je zjištěna statisticky významně nižší hodnota obsahu celkového dusíku (tab. 4a). Nevýznamně vyšší je zde sycení kationtem vápníku Ca^{2+} a statisticky významně vyšší je zde sycení kationtem hořčíku Mg^{2+} . Nevýznamně nižší je sycení manganem (tab. 4b).

Ve vápněných porostech jsou zjištěny statisticky významně vyšší obsahy vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) v pletivech jehlic běžného i předchozího roku (tab. 5). Obsahy draslíku (K) jsou přibližně stejné a jsou hodnoceny jako nízké (FÜRST 2005). Obsahy fosforu (P) jsou ve vápněných porostech poněkud vyšší, na rozdíl od bóru (B), který zde má statisticky významně nižší obsahy. Úroveň výživy dusíkem (N) i vápníkem (Ca) je na obou srovnávaných plochách nízká (FÜRST 2005).

Horní Blatná

V nadložním organickém horizontu jsou po deseti letech od vápnění na vápněných stanovištích statisticky významně vyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ i $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$. Obsahy celkového dusíku (N_{tot}) jsou podobné a procento spalitelného uhlíku (C_{ox}) je poněkud nižší (tab. 6). Obsahy vápníku a fosforu jsou na vápněných plochách významně vyšší. Nevýznamně vyšší jsou zde také obsahy draslíku a hořčíku i ostatních kovů – hliníku, manganu a železa (tab. 7).

V organominerálním horizontu jsou ve vápněných porostech zjištěny významně vyšší hodnoty chemické půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a obsahů přístupného Ca_{MIII} a Mg_{MIII} (tab. 8a). Významně vyšší jsou rovněž hodnoty celkové kationtové výměnné kapacity (CEC) a nasycení sorpčního komplexu. To je představováno vyšším sycením kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} (tab. 8b).

Půdní prostředí obou minerálních horizontů na vápněných plochách je podle poměrů $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ a $\text{Mg}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ vzdálenější oblasti nastupujícího fyziologického stresu (BONNEAU et al. 1992).

Minerální horizont půd vápněných porostů se vyznačuje statisticky významně vyššími obsahy přístupného draslíku (K_{MIII}), vápníku (Ca_{MIII}) a hořčíku (Mg_{MIII}) (tab. 9a) a hodnotou celkové sorpční kapacity CEC i nasyceností sorpčního komplexu. Na tom se podílí především sycení Ca^{2+} a Mg^{2+} (tab. 9b).

Ve vápněných porostech jsou zjištěny statisticky významně vyšší obsahy vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) v pletivech jehlic běžného a v případě hořčíku i předchozího roku (tab. 10). Nevýznamně nižší jsou obsahy Mn. Obsahy fosforu a bóru jsou podobné.

Děčín

Množství nadložního organického materiálu a obsahy celkového dusíku a uhlíku jsou na porovnávaných plochách podobné. Na vápněných plochách jsou nevýznamně vyšší hodnoty půdní reakce aktivní i výměnné (tab. 11) a obsahy hořčíku, ale významně vyšší jsou obsahy vápníku (tab. 12). Nevýznamně vyšší jsou zde obsahy fosforu a draslíku (tab. 12).

Chemismus půdy organominerálního horizontu není na vápněných a kontrolních plochách příliš rozdílný. Hodnoty mediánu chemické půdní reakce a obsahů vápníku a hořčíku jsou na vápněných plochách nevýznamně vyšší než na plochách kontrolních (tab. 13a).

Nevýznamně vyšší je na vápněných plochách i sycení sorpčního komplexu bazickými kationty (tab. 13b). Je zde také nevýznamně menší výměnná kyselost ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$).

Půdní prostředí obou minerálních horizontů na vápněných plochách je podle poměrů $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ a $\text{Mg}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ vzdálenější oblasti nastupujícího fyziologického stresu (BONNEAU et al. 1992).

V minerálním horizontu vápněných ploch je vyšší hodnota mediánu kyselosti aktivní i výměnné, vyšší jsou přístupné obsahy Ca a Mg (tab. 14a) i sycení sorpčního komplexu kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} (tab. 14b). Obsahy draslíku a manganu jsou podobné.

Ve vápněných porostech jsou zjištěny statisticky významně vyšší obsahy vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) v pletivech jehlic běžného i předchozího roku. U fosforu, draslíku a bóru je úroveň výživy na srovnávaných plochách podobná. Obsahy manganu jsou v jehlicích vápněných porostů nevýznamně nižší (tab. 15).

DISKUSE

Na žádné z vápněných ploch není zjištěno významně nižší množství nadložního organického materiálu, jenž by mohlo znamenat nežádoucí účinek vápnění, na který upozorňuje řada autorů (HÜTTL, SCHNEIDER 1998; HUBER et al. 2006; FOREY et al. 2015). Vyšší množství ve vápněných porostech na LS Kraslice je zřejmě způsobeno pomalejším rozkladem látek na chudším žulovém stanovišti. S tím souvisí zřejmě i vyšší obsah celkového dusíku (N_{tot}) na této lokalitě. Ten je způsoben vyšší inkorporací NH_3 do humusu, stabilizací dusíku v polymerech, zvýšením mikrobiální biomasy nebo zvýšením biomasy jemných a středně velkých kořínků. Hodnota celkového uhlíku je na srovnávaných plochách na LS Kraslice podobná. Rozdíl je pravděpodobně v kvalitě organického materiálu. HUETTL, ZOETTL (1993) uvádějí příklad úbytku množství nadložního organického materiálu po vápnění a jeho současného zvýšení v minerální půdě. To je v naší studii potvrzeno vyššími hodnotami C_{ox} ve všech vápněných lokalitách.

Vyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ i $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ v nadložních organických horizontech na vápněných plochách ve všech lokalitách rovněž jako vyšší přístupné obsahy Ca a Mg odpovídají zjištěním řady autorů (BONNEAU et al. 1992; HUETTL, ZOETTL 1993; KREUTZER 1995; BONNEAU 2000; REINAUD et al. 2009; ŠRÁMEK et al. 2012; FIALA et al. 2013).

Vápnění v uplynulých letech mohlo ovlivnit pohyb fosforu v koloběhu. Rozdíl je pozorován pouze na lokalitě Horní Blatná, kde je v minerálním horizontu velmi nízká hodnota přístupného fosforu ($< 3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Fosfor je znám silnou retencí na organický materiál (BONNEAU 2000), jehož obsah není v tomto horizontu odlišný od jiných lokalit. Vysvětlení může spočívat v jeho silné afinitě nejen na Fe a Al oxidy, jejichž obsahy zde nejsou výjimečné, ale také v transformaci do Ca – fosfátů (DEGALDO, TORRENT 2000). Tato možnost se zdá pravděpodobná vzhledem k obsahu přístupného Ca, který je v tomto horizontu nejvyšší ($\text{Ca}_{\text{MIII}} - 78,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) ze všech sledovaných ploch.

Významně nižší hodnota draslíku v nadložním organickém horizontu vápněných ploch, pozorovaná na LS Kraslice, může souviset s K/Ca antagonismem (HUETTL, ZOETTL 1993). Ten se ovšem neprojevuje v níže položených horizontech ani ve statisticky významně nižší úrovni výživy smrku ($5 \text{ 425 mg K.kg}^{-1}$ na vápněných a 5 850 mg.kg^{-1} na kontrolních plochách). Na plochách LS Horní Blatná a LS Děčín nejsou nižší obsahy K na vápněných plochách zjištěny. K podobným závěrům dochází QUIMET a MOORE (2015), kteří zjišťují po sedmi letech od vápnění, dávkou $1\text{--}4 \text{ t.ha}^{-1}$, mírné snížení obsahu draslíku v organominerálním horizontu, zatímco hodnota pH a koncentrace Ca a Mg spolu se sycením sorpčního komplexu bázemi se zvýšily. Změny v obsazích draslíku v jehlicích jedle balzámové nezjistili.

Vyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ i $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ i studované formy vápníku a hořčíku zjištěné v organominerálním a minerálním horizontu jsou rovněž v souladu s poznatky uvedených autorů. Na vápněných plochách všech lokalit je vyšší sycení sorpčního komplexu bazickými kationty a stejné nebo vyšší hodnoty CEC.

Na relativně vysoké hodnotě CEC v organominerálním horizontu kontrolních ploch LS Kraslice ($\text{CEC} = 107 \text{ mekv.kg}^{-1}$) se podílí vysoké zastoupení jílnaté frakce $< 0,001\text{--}0,01 \text{ mm}$ (data neuvedena), dále migrující organické půdní látky ($\text{C}_{\text{ox}} = 4,42 \%$) a efektivní sorpční kapacita, která je u spodikových horizontů výrazně závislá na pH (NĚMEČEK et al. 1990). HÜTTL, SCHNEIDER (1998) uvádějí poznatek Kaupenjohanna o specifické možnosti lesních půd vytvořit za přítomnosti SO_4^{2-} jurbanit (AlOHSO_4). Ten zvyšuje CEC a adsorpci celkového hořčíku. Tuto

Tab. 4b.

Minerální horizont – výměnné prvky, CEC, syčení sorpčního komplexu a poměr Ca^{2+}/Al^{3+} a Mg^{2+}/Al^{3+}
Mineral horizon – exchangeable elements, CEC, base saturation and Ca^{2+}/Al^{3+} and Mg^{2+}/Al^{3+} ratio

Kraslice	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹							%			
Kontrolní/Control	65,4	0,61	< 1	0,47	0,57	56,2	0,75	67,7	3,40	< 0,01	0,01
Vápněná/Limed	62,2	0,58	1,87	2,59*	0,18	56,6	0,85	70,1	7,35*	0,03	0,04*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 5.

Smrk ztepilý – obsahy prvků v jehlicích
Norway spruce – contents of elements in the needles

Kraslice	jehlice běžného roku/current-year needles									
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S
	mg.kg ⁻¹									
Kontrolní/Control	1,29	1170	5850	2050	771	821	66,7	30,6	22,6	1020
Vápněná/Limed	1,27	1390	5425	3870*	1090*	311*	40,3*	25,0*	15,8*	994

Kraslice	jehlice předchozího roku /previous-year needles									
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S
	mg.kg ⁻¹									
Kontrolní/Control	1,23	927	4550	2420	638	863	100	40	26	1100
Vápněná/Limed	1,22	1130*	3830	6175*	1050*	360*	55,8*	35*	14*	1001*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 6.

Nadložní organický horizont – organický materiál (t.ha⁻¹), chemická půdní reakce (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), celkový dusík (N_{tot} %), oxidovatelný uhlík (C_{ox} %)
Forest floor horizon – organic material (t.ha⁻¹), chemical soil reaction (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), total nitrogen (N_{tot} %), oxidizable carbon (C_{ox} %)

Horní Blatná	N – počet odběrných míst/ number of sample plots	Množství nadložního materiálu/ Quantity of forest floor material (t.ha ⁻¹)	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	N _{tot} %	C _{ox} %
Kontrolní/Control	12	119	3,80	3,00	1,04	23,7
Vápněná/Limed	10	113	4,35*	3,60*	1,00	19,1

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 7.

Nadložní organický horizont – extrahovatelné obsahy (2M HNO₃) vybraných prvků (mg.kg⁻¹)
Forest floor horizon – extractable contents (2M HNO₃) of selected elements (mg.kg⁻¹)

Horní Blatná	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	mg.kg ⁻¹						
Kontrolní/Control	706*	1375	487*	808	6810	136	8945
Vápněná/Limed	978	1500	2255	1185	7560	146	10300

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 8a.

Organominerální horizont – chemická půdní reakce (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), oxidovatelný uhlík, celkový dusík a přístupné prvky
Organomineral horizon – chemical soil reaction (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), oxidizable carbon, total nitrogen and accessible elements

Horní Blatná	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
	mg.kg ⁻¹										
Kontrolní/Control	4,05	3,35	5,9	0,17	4,9	57,5	42,2	23,8	1615	668	19,0
Vápněná/Limed	4,20*	3,40	7,2	0,18	3,7	82,0*	153,0*	197,0*	1915	698	14,4

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 8b.

Organominerální horizont – výměnné prvky, CEC, sycení sorpčního komplexu a poměr Ca^{2+}/Al^{3+} a Mg^{2+}/Al^{3+}
Organomineral horizon – exchangeable elements, CEC, base saturation and Ca^{2+}/Al^{3+} and Mg^{2+}/Al^{3+} ratio

Horní Blatná	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹							%			
Kontrolní/Control	83,5	0,91	2,14*	1,36*	0,20	75,1	2,25	88,3*	5,6*	0,03*	0,02*
Vápněná/Limed	87,8	1,45	8,00	14,20	0,31	80,2	2,64	123,0	23,2	0,09	0,18

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0.05)

Tab. 9a.

Minerální horizont – půdní kyselost, oxidovatelný uhlík, celkový dusík a přístupné prvky
Mineral horizon – soil acidity, oxidizable carbon, total nitrogen and accessible elements

Horní Blatná	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
			%	%			mg.kg ⁻¹				
Kontrolní/Control	4,30	3,70	4,1	0,11	6,04	42,7	< 30	< 15	1800	585	20,9
Vápněná/Limed	4,50	3,70	5,7*	0,07	< 3,0	58,6*	78,6*	71,5*	2055	564	17,5

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0.05)

Tab. 9b.

Minerální horizont – výměnné prvky, CEC, sycení sorpčního komplexu a poměr Ca^{2+}/Al^{3+} a Mg^{2+}/Al^{3+}
Mineral horizon – exchangeable elements, CEC, base saturation and Ca^{2+}/Al^{3+} and Mg^{2+}/Al^{3+} ratio

Horní Blatná	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹							%			
Kontrolní/Control	56,1	0,66	1,31	0,73	0,28	53,4	0,40	59,0	4,9	0,02	0,01
Vápněná/Limed	70,7	0,67	4,47*	5,07*	0,26	66,3	< 0,30	88,2*	11,1*	0,06*	0,07*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0.05)

Tab. 10.

Smrk ztepilý – obsahy prvků v jehlicích
Norway spruce – contents of elements in the needles

jehlice běžného roku/current-year needles											
Horní Blatná	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S	
	%			mg.kg ⁻¹							
Kontrolní/Control	1,32	1760	6330	3005	808	580	59,0	29,3	13,4	985	
Vápněná/Limed	1,29	1805	5275*	3715*	1145*	357	46,2	24,4	13,6	965	
jehlice předchozího roku/previous-year needles											
Horní Blatná	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S	
	%			mg.kg ⁻¹							
Kontrolní/Control	1,23	1270	4560	4355	649	693	96	45	12	1040	
Vápněná/Limed	1,25	1300	3710*	5715	1335*	500	63*	38*	13	973	

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0.05)

Tab. 11.

Nadložní organický horizont – organický materiál (t.ha⁻¹), chemická půdní reakce (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), celkový dusík (N_{tot} %), oxidovatelný uhlík (C_{ox} %)
Forest floor horizon – organic material (t.ha⁻¹), chemical soil reaction (pH_{H2O}; pH_{CaCl2}), total nitrogen (N_{tot} %), oxidizable carbon (C_{ox} %)

Děčín	N – počet odběrných míst/ Number of sample plots	Množství nadložního materiálu/ Quantity of forest floor material (t.ha ⁻¹)	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	N _{tot} %	C _{ox} %
Kontrolní/Control	8	97,2	3,95	3,05	1,36	24,4
Vápněná/Limed	8	94,1	4,45	3,55	1,40	23,7

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 12.

Nadložní organický horizont – extrahovatelné obsahy (2M HNO₃) vybraných prvků (mg.kg⁻¹)
Forest floor horizon – extractable contents (2M HNO₃) of selected elements (mg.kg⁻¹)

Děčín	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	mg.kg ⁻¹						
Kontrolní/Control	930	1140	914*	484	6230	139	8215
Vápněná/Limed	1065	1225	3020*	1420	7060	316	10000

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters

* statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab.13a.

Organominerální horizont – půdní reakce (pH_{H2O}, pH_{CaCl2}), oxidovatelný uhlík (C_{ox}), celkový dusík (N_{tot}) a přístupné prvky
Organomineral horizon – soil acidity (pH_{H2O}, pH_{CaCl2}), oxidizable carbon (C_{ox}), total nitrogen (N_{tot}) and accessible elements

Děčín	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
			%	%				mg.kg ⁻¹			
Kontrolní/Control	3,85	3,20	7,0	0,21	14,3	66,3	68,2	31,0	1535	658	22,3
Vápněná/Limed	4,15	3,45	7,5	0,22	14,3	66,1	199	98,5	1615	630	29,8

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters

* statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 13b.

Organominerální horizont – výměnné prvky, CEC, nasycení sorpčního komplexu a poměr Ca²⁺/Al³⁺ a Mg²⁺/Al³⁺
Organomineral horizon – exchangeable elements, CEC, base saturation and Ca²⁺/Al³⁺ and Mg²⁺/Al³⁺ratio

Děčín	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹								%		
Kontrolní/Control	75,6	1,10	3,88	2,36	0,34	64,4	2,24	102	9,55	0,06	0,04
Vápněná/Limed	63,4	1,15	11,9	7,93	0,32	57,0	1,27	102	24,6	0,20	0,09

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters

* statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 14a.

Minerální horizont – oxidovatelný uhlík, celkový dusík a přístupné prvky
Mineral horizon – soil acidity, oxidizable carbon, total nitrogen and accessible elements

Děčín	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	C _{ox}	N _{tot}	P _{MIII}	K _{MIII}	Ca _{MIII}	Mg _{MIII}	Al _{MIII}	Fe _{MIII}	S _{MIII}
			%	%				mg.kg ⁻¹			
Kontrolní/Control	4,05	3,55	3,8	0,11	10,5	41,1	39,3	< 15	1700	589	32,1
Vápněná/Limed	4,40*	3,75	4,3	0,15	7,46	44,6	64,0*	39,9	1730	466	40,0

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters

* statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 14b.

Minerální horizont – výměnné prvky, CEC, syčení sorpčního komplexu a poměr Ca²⁺/Al³⁺ a Mg²⁺/Al³⁺
Mineral horizon – exchangeable elements, CEC, base saturation and Ca²⁺/Al³⁺ and Mg²⁺/Al³⁺ratio

Děčín	(Al+H) ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	CEC	BS	Ca ²⁺ /Al ³⁺	Mg ²⁺ /Al ³⁺
	mekv.kg ⁻¹								%		
Kontrolní/Control	62,9	0,65	2,14	1,07	0,44	55,2	1,24	69,4	6,2	0,04	0,02
Vápněná/Limed	46,9	0,67	4,46	3,06*	0,48	43,7	0,43	55,1	13,2*	0,09	0,06*

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/Table shows the middle values (median) of the parameters

* statisticky významný rozdíl/statistically significant difference (p < 0,05)

Tab. 15.

Smrk ztepilý – obsahy prvků v jehlicích
Norway spruce – contents of elements in the needles

jehlice běžného roku/current-year needles										
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S
Děčín	%									
	mg.kg ⁻¹									
Kontrolní/Control	1,51	1940	8440	2720	1010	683	55,4	37,6	23,1	1100
Vápněná/Limed	1,63	1950	8200	4450*	1250*	426	62,0	43,7	20,1*	1220
jehlice předchozího roku/previous-year needles										
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	B	S
	%									
	mg.kg ⁻¹									
Kontrolní/Control	1,46	1380	6250	3040	822	694	77	54	24	1180
Vápněná/Limed	1,49	1540	6250	6360*	1300*	586	85	59	22	1230

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty (medián) sledovaných parametrů/ Table shows the middle values (median) of the parameters
*statisticky významný rozdíl/statistically significant difference ($p < 0,05$)

možnost nevylučujeme v uvedeném případě, protože na některých studovaných stanovištích jsou zjištěny vedle vysoké hodnoty CEC i vysoké pseudototální obsahy (neuvezeno) hořčíku. Rovněž atmosférické spady SO_4^{2-} byly v minulosti vysoké (MATERNA 1999).

V minerálních horizontech ulehavých půd kontrolních stanovišť na LS Kraslice jsou zjištěny nižší hodnoty C_{ox} než v humusových podzolech (PLÍVA, ŽLÁBEK 1986) kyselých bukových smrčín LS Horní Blatná nebo náhradních porostech (ŠLODIČÁK et al. 2008) na LS Děčín.

Nízká hodnota mediánu celkového dusíku N_{tot} (0,06 %) v minerálním horizontu na vápněných plochách LS Kraslice zřejmě souvisí s nízkými sorpčními vlastnostmi v prostředí s nízkým podílem zrnitostní frakce 0,001–0,01 mm na žulovém podkladu ve srovnání s břidlicovým podložím kontrolních ploch (neuvezeno). Identita stejného stanoviště (souboru lesních typů) srovnávaných, tedy vápněných a kontrolních stanovišť, je zde zachována.

V organominerálním i minerálním horizontu vápněných ploch jsou významně vyšší nebo podobné hodnoty půdní chemické reakce aktivní a přístupných a výměnných forem Ca a Mg pozorované na území všech LS. RENAUD et al. (2009) zjišťují při pokusech s vápenato-hořečnatými hnojivy ve Vogézách v dávce 2,5 t.ha⁻¹ zvýšení poměrů Ca^{2+}/Al^{3+} a Mg^{2+}/Al^{3+} . Pokud vezmeme jimi použitá kritéria ukazatele stresu $Ca^{2+}/Al^{3+} < 0,1$ – $0,2$ a $Mg^{2+}/Al^{3+} < 0,05$ (BONNEAU et al. 1992) a porovnáme je s poměry mediánů z našich analýz, zjistíme, že na nevápněných plochách se v případě vápníku poměr blíží ke kritické hodnotě a u hořčíku je pod touto hranicí. Na vápněných plochách odpovídá poměr mediánů vyhovujícímu sycení těmito kationty.

Na vápněných a kontrolních plochách není zjištěna rozdílnost přístupných obsahů Al, Fe a S s výjimkou přístupného železa (Fe_{MII}) v organominerálním horizontu na LS Kraslice, což může souviset s nízkými obsahy železa v jehlicích i v nadložním organickém materiálu na tomto stanovišti.

Významné rozdíly jsou v hodnotách sycení sorpčního komplexu bazickými kationty, které je na všech vápněných plochách v minerálních částech profilů významně vyšší a v případě hořčíku přesahuje hodnotu 2 mekv. Mg kg⁻¹, což je předpokládaná hodnota dostatečného sycení podle Liu a Trüby (1989) in HÜTTL, SCHNEIDER (1998).

Na LS Kraslice je zjištěno nižší sycení kationtem Mn^{2+} na vápněných plochách ve srovnání s kontrolními, kde je sycení tímto prvkem relativně vysoké.

Na všech vápněných lokalitách jsou vyšší obsahy Ca a Mg v jehlicích běžného i předchozího roku. Významně nižší úroveň výživy bórem na vápněných plochách je zjištěna na LS Kraslice a LS Děčín. Na LS

Horní Blatná je zjištěna významně nižší úroveň výživy draslíkem.

V jehlicích kontrolních porostů se medián poměrů Mg/N blíží k hodnotě 0,05, která je považována za hraniční vzhledem k vyváženosti výživy (KREUTZER 1995). Na všech vápněných stanovištích nabývá hodnoty 0,07–0,10.

Vyšší jsou i obsahy fosforu na vápněných plochách. Tento rozdíl není statisticky významný, nicméně může informovat o vyšším příjmu fosforu na vápněných plochách. Na LS Kraslice a LS Horní Blatná jsou v jehlicích předchozího roku nižší hodnoty draslíku, které mohou být projevem antagonismu vůči vápníku. Podle hodnocení Fürsta (FÜRST 2005) jsou obsahy mezi optimem (9000 mg.kg⁻¹ a 3500 mg.kg⁻¹) hodnoceny jako nízké a hodnoty nižší než 3500 mg.kg⁻¹ jsou klasifikovány, jako nedostatečné. Této hranici se blíží obsahy zjištěné na všech lokalitách. Na vápněných plochách všech LS jsou zjištěny nižší obsahy Mn, který může být při vysokých zásobách v půdě přijímán až do toxické úrovně (HUE et al. 2001).

ZÁVĚR

Vápněné plochy se po deseti letech od vápnění vyznačují významně vyššími obsahy vápníku a hořčíku ve všech studovaných půdních horizontech. S těmito obsahy souvisí zvýšené hodnoty chemické půdní reakce. V nadložním organickém horizontu není zaznamenáno nižší množství nadložního humusu a obsahů spalitelného uhlíku C_{ox} na vápněných plochách. Podobné hodnoty celkového dusíku nenačítají zvýšenou nitrifikaci na vápněných plochách. Citlivě na vápnění reaguje sycení sorpčního půdního komplexu bazickými kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} , které je vyšší na vápněných plochách. Zde je rovněž vidět nižší sycení potenciálně toxickým hliníkem a manganem. Podle poměrů výměnného vápníku a hořčíku k hliníku, které jsou brány jako hranice "stresové oblasti", je půdní prostředí vápněných porostů posunuto do bezpečnější oblasti.

Vyšší obsahy vápníku a hořčíku v půdě se kladně projevují vyššími obsahy těchto prvků v asimilačních pletvech jehlic smrku.

V půdním prostředí i v jehlicích smrku na vápněných pozemcích jsou zaznamenány poněkud nižší obsahy draslíku. Nižší obsahy boru na území LS Kraslice vyjadřují vliv stanoviště a nelze jej spojovat s vyššími obsahy bazí dodaných vápněním. Ve vápněných porostech jsou nižší obsahy manganu. Úroveň a vyrovnanost výživy posuzovaná podle chemismu jehlic je lepší na vápněných plochách.

Poděkování:

Příspěvek je souhrnem poznatků z šetření financovaných MZe ČR.

LITERATURA

- BONNEAU M., LANDMANN G., ADRIAN M. 1992. La fertilization comme remède au dépérissement des forêts en sol acide: Essais dans les Vosges. *Revue Forestière Française*, XLIV (3): 207–223.
- BONNEAU M. 2000. Évolution sur dix ans de la fertilité minérale d'un sol acide des Vosges. *Revue Forestière Française*, 52 (6): 519–529.
- BORŮVKA L., MLÁDKOVÁ L., DRÁBEK O. 2005. Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99: 1796–1806. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2005.06.028
- COLLIGNON C., BOUDOT J.-P., TURPAULT M.-P. 2012. Time change of aluminium toxicity in the acid bulk soil and the rhizosphere in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. *Plant and Soil*, 375: 259 – 274. DOI: 10.1007/s11104-012-1154-2
- DEGALDO A., TORRENT J. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2031–2037. DOI: 10.2136/sssaj2000.6462031x
- DELHAIZE E., RYAN P.R. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*, 107: 315–321.
- FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A. 2013. Průzkum výživy lesa v České republice 1996 – 2011. Brno, ÚKZÚZ: 148 s.
- FOREY E., TRAP J., AUBERT M. 2015. Liming impacts *Fagus sylvatica* leaf traits and litter decomposition 25 years after amendment. *Forest Ecology and Management*, 353: 67–76. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.050
- FÜRST A. 2005. Classification values for European foliage data. [online]. Forest Foliar Coordinating Centre – FFCC. [cit. 2016-05-18]. Dostupné na World Wide Web: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=2888>
- HUBER C., BAIER R., GÖTTLEIN A., WEIS W. 2006. Changes in soil, seepage water and needle chemistry between 1984 and 2004 after liming an N-saturated Norway spruce stand at the Höglwald, Germany. *Forest Ecology and Management*, 233: 11–20.
- HUE N.V., VEGA S., SILVA J.A. 2001. Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendments. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 153–160.
- HUETTL R.F., ZOETTL H.W. 1993. Liming as a mitigation tool in Germany's declining forests – reviewing results from former and recent trials. *Forest Ecology and Management*, 61: 325–338.
- HÜTTL R.F., SCHNEIDER B.U. 1998. Forest ecosystem degradation and rehabilitation, *Ecological Engineering*, 10: 19–31.
- KREUTZER K. 1995. Effects of forest liming on soil processes, *Plant and Soil*, 168–169: 447–470.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V., MAXA M. 2006. Fertilizing measures to decrease Norway spruce yellowing, *Journal of Forest Science*, 52: 65–72.
- MATERNA J. 1999. Development and causes of forest damage in the Ore Mts. *Journal of Forest Science*, 45: 147–152.
- NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M. 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Praha, Academia: 552 s.
- NYGAARD P.H., WIT H.A. DE. 2004. Effects of elevated soil solution Al concentrations on fine roots in a middle-aged Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *Plant and Soil*, 265: 131–140.
- PLÍVA K., ŽLÁBEK I. 1986. *Přírodní lesní oblasti ČSR*. Praha, SZN: 613 s.
- QUIMET R., MOORE J.-D. 2015. Effects of fertilization and liming on tree growth, vitality and nutrient status in boreal balsam fir stands. *Forest Ecology and Management*, 345: 39–49.
- RENAUD J.-P., PICARD J.-F., RICHTER C., LEGOUT A., NYS C. 2009. Ammendements calco-magnésiens et fonctionnement écologique. Bilan des expériences conduites dans l'est de la France (Massif Vosgien et Ardennes). *Revue Forestière Française*, LXI (3): 283–301.
- ŠAARSALMI A., TAMMINEN P., KUKKOLA M., LEVULA T. 2011. Effects of liming on chemical properties of soil, needle nutrients and growth of Scots pine transplants. *Forest Ecology and Management*, 262: 278–285.
- SLODIČÁK M., BALCAR V., NOVÁK J., ŠRÁMEK V. et al. 2008. *Lesnické hospodaření v Krušných horách*. Hradec Králové, IČR: 480 s.
- ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V., VORTELOVÁ L., LOMSKÝ B. 2012. Development of chemical soil properties in the western Ore Mts. (Czech Republic) 10 years after liming. *Journal of Forest Science*, 58 (2): 57–66.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., FIALA P., NEUDERTOVÁ-HELLEBRANDOVÁ K., REININGER D., SAMEK T., ČIHÁK T., FADRHOŇSOVÁ V. 2014a. *Vápnění lesů v České republice*. [Praha], MZe: 91 s.
- ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V., JURKOVSKÁ L. 2014b. *Metodika výběru ploch pro vápnění lesních půd*. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 32 s. *Lesnický průvodce 7/2014*.
- VIEWEGH J., KUZBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49: 85–93.
- VRIES W. DE, DOBBERTIN M.H., SOLBERG S., DOBBEN H.F. VAN, 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

CHEMISTRY OF SOIL ENVIRONMENT AND NORWAY SPRUCE NEEDLES (*PICEA ABIES* /L./ KARST.) ON LIMED AND CONTROL FOREST SITES IN THE ORE MOUNTAINS (CZECH REPUBLIC)

SUMMARY

The paper presents results of the investigation of differences between limed and control sites in the Ore Mountains (Czech Republic) using the median of data files. This investigation is focused on the area of forest districts Kraslice (FDK), Horní Blatná (FDHB) and Děčín (FDD). The whole area has been affected by air pollution and the forest plants show symptoms of “the new damage to forest trees”. The same or similar qualities of the compared forest ecosystems in the investigated area over the last ten years (2004–2014) are expected. The comparison itself comes out of the investigation of soil environment chemistry and spruce needles chemistry.

The problem of forest liming was investigated by many authors in the Czech Republic. MATERNA (1999) investigated the impact of acid deposition on forest ecosystems, ŠRÁMEK et al. (2012, 2014a, 2014b) evaluated the effectivity of liming, BORŮVKA et al. (2005) studied the Al- forms in the soil and their toxicity to plants, and LOMSKÝ et al. (2006) focused on the fertilization of forest stands. A collection of texts by foreign authors, such as BONNEAU (2000), COLLIGNON et al. (2012), DELHAIZE, RYAN (1995), FOREY et al. (2015), HUBER et al. (2006) was taken as a reference material.

The amount of organic material remained unaffected by liming in the areas of all three investigated forest districts. The chemical soil reaction (pH_{H_2O} ; pH_{CaCl_2}) was higher in the whole investigated forest profile of limed sites. The value of pH, amount of organic material, nitrogen total, carbon total and the extractable contents of chosen elements (P, K, Ca, Al, Mn, and Fe) were determined in the forest floor horizon. The important increase occurred on the area of FDK in the forest floor of limed sites ($pH_{H_2Ocontrol} = 3.70$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.30$) (Tab. 1), in the organomineral horizon ($pH_{H_2Ocontrol} = 3.70$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.10$) (Tab. 3a), and in the mineral horizon ($pH_{H_2Ocontrol} = 4.10$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.40$) (Tab. 4a). On the area of FDHB in the forest floor horizon ($pH_{H_2Ocontrol} = 3.80$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.35$) (Tab. 6) and in the organomineral horizon ($pH_{H_2Ocontrol} = 4.05$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.20$) (Tab. 8a) and in the area of FDD in the mineral horizon ($pH_{H_2Ocontrol} = 4.05$ vs. $pH_{H_2Olimed} = 4.40$) (Tab. 14a). The same applies to contents of accessible calcium (Ca_{MIII}) and magnesium (Mg_{MIII}) and their exchangeable forms (Ca^{2+} , Mg^{2+}) and base saturation (BS). The important increase is on the area of FDK in the organomineral horizon for magnesium ($Mg_{MIIIcontrol} = 21.4$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 99.9$ mg.kg⁻¹) (Tab. 3a) and the mineral horizon ($Mg_{MIIIcontrol} < 15$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 34.0$ mg.kg⁻¹) (Tab. 4a), in the area of FDHB for calcium and magnesium in the organomineral horizon ($Ca_{MIIIcontrol} = 42.2$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{MIIIlimed} = 153.0$ mg.kg⁻¹), ($Mg_{MIIIcontrol} = 23.8$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 197$ mg.kg⁻¹) (Tab. 8a) and in the mineral horizon ($Ca_{MIIIcontrol} < 30$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{MIIIlimed} = 78.6$ mg.kg⁻¹), ($Mg_{MIIIcontrol} < 15$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 71.5$ mg.kg⁻¹) (Tab. 9a) and in the area of FDD for calcium in the mineral horizon ($Ca_{MIIIcontrol} = 39.3$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{MIIIlimed} = 64.0$ mg.kg⁻¹) (Tab. 14a). The exchangeable forms changed significantly in the area of FDK in organomineral horizon for magnesium ($Mg^{2+control} = 1.42$ mekv.kg⁻¹ vs. $Mg^{2+limed} = 7.62$ mekv.kg⁻¹) and base saturation ($BS_{control} = 4.40\%$ vs. $BS_{limed} = 13.80\%$) (Tab. 3b) and in the mineral horizon ($Mg^{2+control} = 0.47$ mekv.kg⁻¹ vs. $Mg^{2+limed} = 2.59$ mekv.kg⁻¹) and base saturation ($BS_{control} = 3.40\%$ vs. $BS_{limed} = 7.35\%$) (Tab. 4b) on the area of FDHB in the organomineral horizon for calcium and magnesium ($Ca^{2+control} = 2.14$ mekv.kg⁻¹ vs. $Ca^{2+limed} = 8.00$ mekv.kg⁻¹) and ($Mg^{2+control} = 1.36$ mekv.kg⁻¹ vs. $Mg^{2+limed} = 14.20$ mekv.kg⁻¹) and base saturation ($BS_{control} = 5.60\%$ vs. $BS_{limed} = 23.2\%$) (Tab. 8b) and in the mineral horizon ($Ca^{2+control} = 1.31$ mekv.kg⁻¹ vs. $Ca^{2+limed} = 4.47$ mekv.kg⁻¹) and ($Mg^{2+control} = 0.73$ mekv.kg⁻¹ vs. $Mg^{2+limed} = 5.07$ mekv.kg⁻¹) and base saturation ($BS_{control} = 4.90\%$ vs. $BS_{limed} = 11.10\%$) (Tab. 9b). On the area of FDD the only change was for magnesium ($Mg^{2+control} = 1.07$ mekv.kg⁻¹ vs. $Mg^{2+limed} = 3.06$ mekv.kg⁻¹) and base saturation ($BS_{control} = 6.20\%$ vs. $BS_{limed} = 13.20\%$) (Tab. 14b). The contents of accessible phosphorus (P_{MIII}) remained unaffected. The forms of potassium – accessible (K_{MIII}) and exchangeable (K^+) were rather lower in the limed sites. The total nitrogen (N_{tot}) remained unaffected so the possibility of unwanted increase in nitrification is improbable.

The soil environment of control sites is closer to the area of stress, which is defined by the ratios of calcium and magnesium to aluminium. The soil environment of limed sites has been shifted to a safer area.

Significant differences between the compared sites can be seen in spruce needles chemistry of current and previous year. There are higher volumes of calcium and magnesium both in current and previous year needles. On the area of FDK we found higher contents of Ca and Mg ($Ca_{control} = 2050$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{limed} = 3870$ mg.kg⁻¹), ($Mg_{control} = 771$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 1090$ mg.kg⁻¹) and lower contents of Mn ($Mn_{control} = 821$ mg.kg⁻¹ vs. $Mn_{limed} = 311$ mg.kg⁻¹), Al ($Al_{control} = 66.7$ mg.kg⁻¹ vs. $Al_{limed} = 40.3$ mg.kg⁻¹), Fe ($Fe_{control} = 30.6$ mg.kg⁻¹ vs. $Fe_{limed} = 25.0$ mg.kg⁻¹) and B ($B_{control} = 22.6$ mg.kg⁻¹ vs. $B_{limed} = 15.8$ mg.kg⁻¹) (Tab. 5). Similar changes were found in the previous years needles. Higher contents of calcium and magnesium were found in the needles of current year on the area of FDHB on the limed sites ($Ca_{control} = 3005$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{limed} = 3715$ mg.kg⁻¹), ($Mg_{control} = 808$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{limed} = 1145$ mg.kg⁻¹) (Tab. 10) and on the area of FDD ($Ca_{control} = 2720$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{limed} = 4450$ mg.kg⁻¹) and ($Mg_{control} = 1010$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{limed} = 1250$ mg.kg⁻¹) (Tab. 15). On the area of DFHB the higher contents of Mg was found in the previous year needles on limed sites ($Mg_{control} = 649$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{limed} = 1335$ mg.kg⁻¹), the lower contents of Al ($Al_{control} = 96.0$ mg.kg⁻¹ vs. $Al_{limed} = 63.3$ mg.kg⁻¹) and Fe ($Fe_{control} = 45.0$ mg.kg⁻¹ vs. $Fe_{limed} = 38.0$ mg.kg⁻¹) (Tab. 10) and on the area of FDD higher contents of Ca ($Ca_{control} = 3040$ mg.kg⁻¹ vs. $Ca_{limed} = 6360$ mg.kg⁻¹) and Mg ($Mg_{control} = 822$ mg.kg⁻¹ vs. $Mg_{MIIIlimed} = 1300$ mg.kg⁻¹) (Tab. 15). The differences were found in contents of phosphorus in previous year needles on the area of FDK ($P_{control} = 927$ mg.kg⁻¹ vs. $P_{limed} = 1130$ mg.kg⁻¹) (tab. 5) and on the area of FDHB the contents of potassium in the current year needles ($K_{control} = 6330$ mg.kg⁻¹ vs. $K_{limed} = 5257$ mg.kg⁻¹) and the previous year needles ($K_{control} = 4560$ mg.kg⁻¹ vs. $K_{limed} = 3710$ mg.kg⁻¹) (Tab. 10). The content of boron is significantly lower on the limed sites in the current year needles ($B_{control} = 22.6$ mg.kg⁻¹ vs. $B_{limed} = 15.8$ mg.kg⁻¹) and the previous year ones ($B_{control} = 26.0$ mg.kg⁻¹ vs. $B_{limed} = 14.0$ mg.kg⁻¹) (Tab. 5) in the FDK only. This is caused by specific local properties of this limed site.

Supposing the same or similar qualities of forest ecosystem ten years ago and the same conditions of further development, we can talk about a clearly positive effect of liming in the investigated areas of the Ore Mountains.

Zasláno/Received: 14. 07. 2016

Přijato do tisku/Accepted: 02. 11. 2016