

# STAV LESNÍCH PŮD, ÚROVEŇ MINERÁLNÍ VÝŽIVY A VÝVOJ ZDRAVOTNÍHO STAVU SMRKOVÝCH MLAZIN V ORLICKÝCH HORÁCH V OBDOBÍ 2002-2018

FORESTS SOIL CONDITIONS, NUTRITION SUPPLY AND THE HEALTH STATE OF YOUNG FOREST STANDS IN THE EAGLE MTS. (ORLICKÉ HORY) DURING 2002-2018 PERIOD

RADEK NOVOTNÝ ✉ - VĚRA FADRHOŇSOVÁ - VÍT ŠRÁMEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

✉ e-mail: novotny@vulhm.cz

## ABSTRACT

Ten research plots were selected on the Eagle Mts. (Orlické hory, Czech Republic) ridge, within complexes of young Norway spruce stands. Since 2002 the defoliation of tree crowns and height increment have been assessed every year after the vegetation season. Sampling of needles for nutrient analyses has been carried out since 2004 every autumn together with the crown condition assessment. Soil samples were taken in 2006, 2010, 2014 and 2018. Samples of the upper organic layer and of the mineral soil in 0–25 cm depth were taken separately. Samples of assimilation organs, humus and mineral soil were prepared and analysed according to the standard ICP Forests methods. Long term results have confirmed that the crown defoliation is decreasing. Health status significantly improved, and crown defoliation values got comparable to those of other forest regions in the Czech Republic. Foliar concentrations of stress elements (sulfur, fluorine) decreased, and foliar analysis demonstrated a significant decrease in air pollution load. There is a problem with insufficient uptake of phosphorus. Soil analyses confirmed the fact that the soil environment is acidic, and the amounts of accessible phosphorus, exchangeable magnesium and calcium are significantly deficient in the mineral soil. In this region there is still high deposition load – total N deposition varies usually between 30–40 kg.ha<sup>-1</sup>.y<sup>-1</sup> and total S deposition between 15–30 kg.ha<sup>-1</sup>.y<sup>-1</sup>, i.e. 2–3 times higher than in other regions of the country.

For more information see Summary at the end of the article.

**Klíčová slova:** smrk ztepilý; zdravotní stav; defoliace; obsahy živin; fosfor; hořčík; stresové prvky; nedostatek živin v půdě; nadbytek dusíku; Orlické hory

**Key words:** Norway spruce; health status; defoliation; phosphorus; magnesium; stress elements; deficient nutritional status; nitrogen saturation; Orlické hory Mts.

## ÚVOD

Vliv lidské činnosti na lesní ekosystémy trvá stovky let, o významném vlivu průmyslových látek na lesy však zpravidla hovoříme ve vztahu k uplynulým cca 150-170 letům (PUHE, ULRICH 2001). Emise látek produkované lidskou činností se totiž výrazně zvýšily v industriální době po tzv. průmyslové revoluci, což je zhruba od poloviny 19. století. Během této doby se proměňovala jak intenzita antropogenní zátěže, tak složení emitovaných látek, a tím i projevy na vegetaci, včetně lesních porostů (WIELER 1905; GARBER 1966; SCHULZE et al. 1989; MATYSSEK et al. 1997; KARNOSKY et al. 2007). V České republice (ČR) byly v průběhu 20. století nejvýraznějšími škodlivými látkami sloučeniny síry a fluoru, které byly produkovány v takovém množství, že docházelo k přímému poškozování asimilačního aparátu dřevin a následně

k plošnému odumírání a rozpadu lesních porostů (VINŠ et al. 1982; MATERNA 1983; JIRGLE et al. 1983; PFANZ et al. 1994; ZIMMERMANN et al. 2002; LOMSKÝ et al. 2002). V průběhu 90. let 20. století došlo díky odsíření zdrojů znečišťování k výraznému poklesu koncentrací oxidu siřičitého v ovzduší na celém území ČR (LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2002). Přímé působení sloučenin síry a fluoru na lesní porosty ztrácelo na významu a do popředí zájmu se dostaly další působící látky a také nepřímé efekty přechodí zátěže. Za dominantní faktor ovlivňující významně současný stav lesa lze považovat dlouhodobou acidifikaci lesních půd. Ta se projevuje poklesem pH humusového horizontu (FH) a minerální půdy, vyplavením bazických kationů a mobilizací potenciálně rizikových prvků, zejména hliníku (CRONAN, GRIGAL 1995; VERSTRAETEN et al. 2014, VRIES et al. 2014). Česká republika v minulosti patřila a stále patří k oblastem s nejvyšší úrovní kyselé depozice v Evropě (HŮNO-

vá et al. 2004). Acidifikace se výrazně projevuje v horských oblastech s vysokými úhrny srážek a nízkou nasyceností půdy bazickými kationty, což má za důsledek nízkou pufrací kapacitu půdy. Po snížení depozice sloučenin síry se nejvýznamnějším acidifikačním faktorem stala depozice sloučenin dusíku. Do lesů v severním mírném a boreálním pásmu byl zaznamenán roční vstup dusíku dosahující 20 kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, v některých oblastech Velké Británie šlo o vstup až 120 kg·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> (JARVIS, LINDER 2007). Depozice nitrátů a amonných iontů nepůsobuje pouze acidifikaci. Vyšší dostupnost dusíku v lesních ekosystémech střední Evropy může zvýšit přírůst a produkci biomasy (CANDEL et al. 1998), ale může také způsobit nevyváženost výživy ve vztahu dusíku k dalším živinám – zejména k fosforu a hořčíku (HÜTTL 1990; LINDER 1995; STEFAN, HERMANN 1996; HÜTTL, SCHAAP 1997; DRENOVSKY, RICHARDS 2004; LUYSSAERT et al. 2004; MELLERT et al. 2004; EWALD 2005). Nevyvážená výživa lesních porostů, v posledních dekádách doprovázená často suchem a teplotními výkyvy, se následně stává limitujícím faktorem pro růst jehličnatých porostů v boreálním a mírném pásmu (JARVIS, LINDER 2000) a vede ke zhoršení jejich zdravotního stavu (PRIETZEL et al. 2008). Výrazný nedostatek živin v půdě a snížená dostupnost bazických prvků, zejména hořčíku, měly za následek např. žloutnutí smrkových porostů, jež bylo pozorováno v horských oblastech střední Evropy (HÜTTL, SCHNEIDER 1998; LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2004; SIEFERMANN-HARMS et al. 2004).

Orlické hory jsou regionem, kterému se imisní zátěž nevyhnula – zátěž sloučeninami síry, fluoru a dalších prvků měla a stále má původ v průmyslových oblastech Polska, Německa i Česka. V horském a vysokohorském prostředí jsou lesní porosty vystaveny vlivu extrémů počasí (vítr, mráz, sníh apod.), což samo o sobě představuje stresovou zátěž. K tomu se přidává imisní zátěž, která ovlivňuje stav ekosystémů dlouhodobě (acidifikace prostředí sloučeninami síry, dusíku). Vliv imisní zátěže a klimatických podmínek na stav lesa v Orlických horách dokumentuje např. práce VACEK et al. (2015). Sekundární imisní látkou, která zvyšuje míru stresu, je přízemní ozon. Jeho vliv na horské lesy na území Česka byl předmětem více studií, výsledky publikovala např. HŮNOVÁ et al. (2016) nebo HŮNOVÁ a SCHREIBEROVÁ (2012). Série monitoračních ploch v mladých smrkových porostech byla v Orlických horách zakládána v reakci na kalamitní výskyt houby *Ascochyta abietina* (Lagerb.) Schlöpfer-Bernhard v letech 2000–2002. Situaci, která byla na počátku založení tohoto transektu ploch, řešil projekt

„Poškození lesních porostů v oblasti Suchého vrchu (LS Lanškroun) a Anenského vrchu (LS Rychnov nad Kněžnou) zadaný Grantovou službou LČR (ŠRÁMEK et al. 2009).

Předkládaný příspěvek je zaměřen na zhodnocení změn a vývoje zdravotního stavu, růstu, stavu lesních půd a výživy mladých smrkových porostů a úrovně depozice prvků na hřebeni Orlických hor, sledovaných v období let 2002–2018.

## MATERIÁL A METODIKA

### Výzkumné plochy

Pravidelně sledované plochy v Orlických horách byly založeny v roce 2002. Transekt deseti ploch byl vybrán na hřebeni od Vrchmezí po Anenský vrch v mladých smrkových porostech do 20 let. Lokalizaci ploch a další jejich charakteristiky přináší tab. 1 a obr. 1.

### Depozice látek

Vstup prvků ve formě depozice je sledován v dospělém smrkovém porostu (plocha II. úrovně monitoringu ICP Forests Luisino údolí) ve výšce 940 m n. m., přibližně v polovině vzdálenosti mezi osadou Luisino údolí a vrcholem Velká Deštná (obr. 1). Podkorunové srážky jsou zachytávány ve třech plastových korytech o celkové zachytané ploše 1,2 m<sup>2</sup>, sněhové srážky pak ve čtyřech sněhoměrech s celkovou zachytanou plochou 0,2 m<sup>2</sup>. Odběr se řídí platnou verzí manuálu programu ICP Forests; vzorky dešťových srážek i sněhu se odebírají třikrát měsíčně v desetidenním intervalu a analyzují se měsíční směsné vzorky. Ve vzorcích se stanoví pH, alkalita, vodivost, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, TN (celkový dusík), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, F, Cl, Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn. Celková podkorunová depozice se vypočte jako součin průměrné koncentrace prvků ve srážkách a celkového množství srážek v daném období.

### Hodnocení zdravotního stavu

Od roku 2003 se každoročně na plochách provádí hodnocení zdravotního stavu očíslované skupiny stromů. Zdravotní stav je hodnocen na konci vegetačního období (září–říjen) na minimálně 30 očíslova-

**Tab. 1.**

Přehled hodnocených ploch; číslo plochy odpovídá číslu v mapě na obr. 1

List of evaluated plots; for plot numbers see the map in Fig. 1; plot numbers correspond with those in Fig. 1

číslo/number	Plocha/Plot	Nadm. výška/Altitude	SLT/ecosite	věk (2018)/age in 2018	expozice/slope exposure	N	E
1	Vrchmezí	1030	7K0	30	SZ / NW	50,355	16,359
2	Šerlišský mlýn	970	7K1	30	Z / W	50,331	16,376
3	Luisino údolí	870	7K5	33	V / E	50,285	16,389
4	Jelení lázeň	1075	8Z4	36/22	plato	50,313	16,397
5	Pod Velkou Deštnou	1040	7Z1	30	SV / NE	50,301	16,412
6	Solná stezka	1040	7Z2	30	JZ / SW	50,281	16,431
7	Pod Homolí	965	7K6	30	V / E	50,270	16,441
8	U Kunštátské kaple	1015	7Z2	31	JZ / SW	50,250	16,445
9	Lovecká chata	980	7K3	29	J / S	50,239	16,464
10	U Dvou louček	945	7K0	20	JV / SE	50,220	16,504
DEP	Luisino údolí – DEP	940	7K5	95	JZ / SW	50,292	16,390

ných stromech. Hodnocení vychází z metodiky ICP Forests (UN-ECE 2010) a z její modifikace pro mladé smrkové porosty (LOMSKÝ, UHLÍŘOVÁ 1993). Předmětem hodnocení je ztráta olistění – defoliace, kterou pro jednotlivé stromy určují zaškolení hodnotitelé v 5% stupních.

### Měření výškového přírůstu

Roční výškový přírůst – délka terminálu – je měřen na souboru 20 stromů, které jsou zahrnuty do hodnocení defoliace korun. Měření do výšky stromů ca 10 metrů se provádělo s pomocí výškoměrné tyče Sokkia, později u vyšších stromů s pomocí výškoměru Vertex. Hodnoty jsou odečítány s přesností na 1 cm u výškoměrné tyče Sokkia, resp. s přesností 10 cm u výškoměru Vertex.

### Odběry asimilačních orgánů a půdních vzorků

Asimilační orgány pro stanovení úrovně minerální výživy a imisní zátěže jsou odebírány každoročně na podzim souběžně s hodnocením zdravotního stavu. Z vrcholové části (3.–6. přeslen) 10 různých stromů jsou odebrány vzorky jehličí. Pro každou plochu jsou následně připraveny směsné vzorky, oddělené pro 1. ročník (letorosty) a 2. ročník (jehlice předchozího roku).

Půdní vzorky byly odebrány v letech 2006, 2010, 2014 a 2018. Odběr byl proveden úhlopříčně ze tří míst hodnocené plochy. Pro každou plochu byl vytvořen směsný vzorek nadložního humusu (horizont FH) a minerální půdy do hloubky 25 (30) cm bez dalšího rozlišování genetických horizontů (AB).

### Analýza jehličí a půdy

Příprava a analýza vzorků asimilačních orgánů, nadložního humusu a minerální půdy probíhala dle standardních metodik (UN-ECE 2010). Po rozkladu vzorků v mikrovlnné peci byly stanoveny koncentrace K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn, P v jehličí na ICP-OES a obsahy C, N a S na elementárním analyzátoru fy. Leco. V půdních vzorcích bylo stanoveno aktivní pH(H<sub>2</sub>O) a výměnné pH(KCl). Koncentrace uhlíku, dusíku a síry byla určena na elementárním analyzátoru fy. Leco. Koncentrace výměnných prvků byla stanovena ve výluhu chloridem amonným na AAS. Přístupný fosfor byl analyzován spektrofotometricky na analyzátoru (CFA) Skalar po rozpuštění ve směsi HCl+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pseudototální koncentrace prvků byly stanoveny po výluhu půdy lučavkou královskou.

### Statistické zpracování

Pro statistické hodnocení dat byl použit program Statistica Cz. Po provedení průzkumové analýzy dat, zahrnující výpočet základních statistik, test normality (Shapiro-Wilk's W test, Kolmogorov-Smirnovův test), homogenity dat a další, byly použity vybrané statistické metody (MELOUN, MILITKÝ 2006) pro vyhodnocení vztahů mezi sledovanými parametry (korelační koeficienty, t-test). V případě zamítnutí normality dat byly pro hodnocení používány neparametrické testy (Mann-Whitney U test, Kendall Tau).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### Zdravotní stav porostů

Průměrná defoliace korun mladých smrkových porostů na deseti sledovaných plochách dosahovala na počátku sledování (2002–2005) ca 40 % (obr. 2). V následujícím období docházelo k postupnému pozvolnému snižování míry defoliace a v letech 2007–2016 kolísala průměrná hodnota defoliace kolem 20 %. V posledních dvou hodnocených letech se dostala na úroveň ca 10 % (obr. 2). Zjištěné hodnoty v posledních deseti letech odpovídají průměrné defoliaci smrku v ČR i v ostatních státech střední a západní Evropy (MICHEL et al. 2018).

Průměrný výškový přírůst dosahoval na deseti sledovaných smrkových plochách na počátku hodnocení (2002–2006) 45–50 cm, od roku 2007 se pohybuje nejčastěji v rozpětí 55–65 cm a je již relativně vyrovnaný (obr. 3). Teplý a suchý průběh roku 2003 se mohl projevit snížením výškového přírůstu, nicméně příznivé podmínky roku 2004, a také pravděpodobně odstranění nejvíce poškozených stromů těžbou, vrátilo hodnotu průměrného výškového přírůstu nad 50 cm.

Suma výškového přírůstu za období 2002–2018 dosáhla hodnot od 7,8 m na ploše Jelení lázeň až po 10,87 m na ploše U dvou louček (obr. 4).



**Obr. 1.** Lokalizace zájmového území v rámci ČR a rozmístění ploch v zájmovém území; DEP = Plocha intenzivního monitoringu ICP Forests Luisino údolí (sledování depozice látek)

**Fig. 1.** Localization of the Eagle Mts. in the Czech Republic and evaluated plots (1–10); DEP = ICP Forests level II monitoring plot Luisino údolí (deposition load measurement)

Korelační analýza prokázala negativní ovlivnění výškového přírůstu narůstající defoliací korun (obr. 5), vztah mezi defoliací a přírůstem je statisticky významný i na hladině  $\alpha = 0,0001$ . Nicméně ztráta olistění není jistě jediným faktorem, který ovlivňuje výškový přírůst mladých smrkových porostů v tomto pohoří.

### Depozice látek

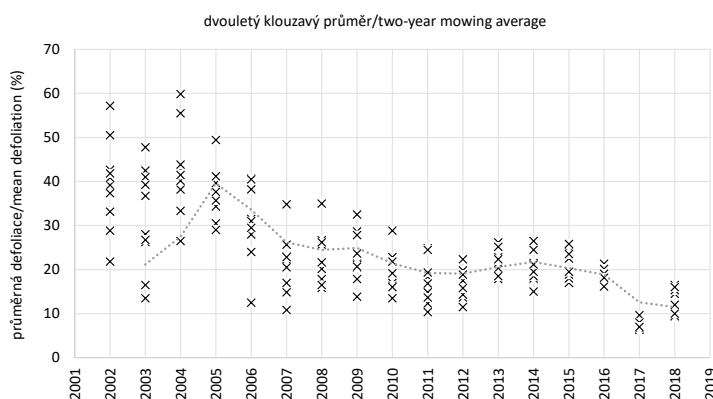
Údaje o depozici látek pod korunami dospělého smrkového porostu jsou k dispozici od roku 2004 z plochy II. úrovně monitoringu ICP Forests – Luisino údolí. Vstup síry ve formě síranů dosahoval maxima v letech 2006 a 2007 s hodnotou ca  $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Až do roku 2012 depozice síry klesala, a to k hodnotě ca  $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . V roce 2013 dosáhla ca  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  a klesala až do roku 2017 na hodnotu ca  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . V roce 2018 dosáhla hodnoty  $16,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Depozice dusíku v amonné formě byla nejvyšší v letech 2006 a 2007, tehdy dosahovala hodnoty 21,8, resp.  $21,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . V letech 2008–2015 se pohybovala v rozmezí hodnot ca  $14\text{--}19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  a minima dosáhla v roce 2016, kdy bylo naměřeno ca  $9 \text{ kg}$  dusíku v amonné formě na hektar. V letech 2017 a 2018 dochází opět k nárůstu depozice této formy dusíku, a to až k hodnotě  $19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Depozice dusíku v dusičnanové (nitrátové) formě má velmi podobný průběh za sledované období 2004–2018. Nejvyšší depozice bylo dosaženo v letech 2006–2008, a to  $19\text{--}20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . V následujícím období dochází k pozvolnému poklesu až do roku 2016. V roce 2018 dosáhla depozice dusíku v dusičnanech hodnoty  $16,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Celková depozice dusíku (TN) na této ploše překračovala v letech 2006 a 2007  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , v letech 2008–2012 se pohybovala v rozpětí  $35,6\text{--}38,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , v letech 2013–2017 v rozpětí  $24\text{--}30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  a v roce 2018 dosáhla celková depozice dusíku v porostu hodnoty  $37,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  (obr. 6a). V případě dusíku jde o vysokou zátěž, která je v porovnání s dalšími horskými regiony Česka nadprůměrná. Zdrojem depozice dusíku jsou především spalovací procesy (doprava, výroba tepla a energie). Dle ČHMÚ (ŠKÁCHOVÁ, VLASÁKOVÁ 2019) se např. v roce 2017 podílela doprava na emisích  $\text{NO}_x$  ze 40 %, veřejná energetika a výroba tepla přispěla k emisím sloučenin dusíku 26 %. Region Orlických hor je navíc vystaven vlivu emisí ze zdrojů v Polsku.

Celková depozice bazických prvků (Ca a Mg) v průběhu sledování rovněž klesá, depozice vápníku se snížila z  $2,54 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  v roce 2004 na  $1,47 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  v roce 2018; velmi obdobný průběh je zřejmý i v případě depozice hořčíku, která se snížila ze  $7,55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  v roce 2004 na  $3,65 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  v roce 2018 (obr. 6b).

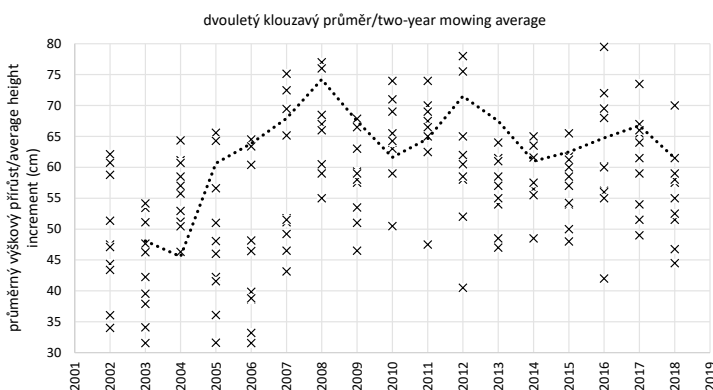


Obr. 2.

Průměrná defoliace na deseti sledovaných plochách v období 2002–2018

Fig. 2.

Mean defoliation within ten evaluated plots during 2002–2018; dotted line = two-year moving average



Obr. 3.

Průměrný výškový přírůst na deseti sledovaných plochách v období 2002–2018

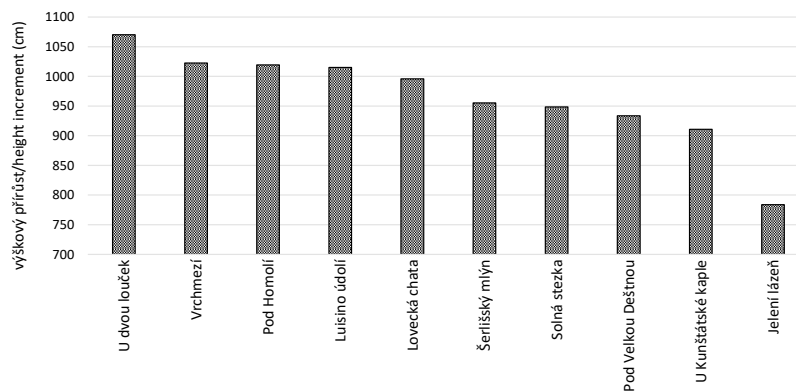
Fig. 3.

Mean height increment within ten evaluated plots during 2002–2018; dotted line = two-year moving average

Přestože se depozice síry výrazně snížila, a to nejen na konci minulého století, ale i během posledních dvaceti let (VET et al. 2014; WALDNER et al. 2014; HŮNOVÁ, BÄUMELT 2018), v oblasti Orlických hor je stále poměrně vysoká ve srovnání s ostatními plochami, kde je v porostech tři- až čtyřikrát nižší. Depozice dusíku se také snížila, přesto však na mnoha místech stále dosahuje hodnot překračujících úroveň kritické zátěže (THIMONIER et al. 2005; WALDNER et al. 2015; NOVOTNÝ et al. 2017); spolu s poklesem depozice bazických prvků, především Ca a Mg, má stále rozhodující vliv na půdu a její acidifikaci, protože kromě zvětrávání je atmosférická depozice jediným zdrojem doplňování bazických prvků v lesním ekosystému (WARFVINGE et al. 1993; WATMOUGH, DILLON 2003).

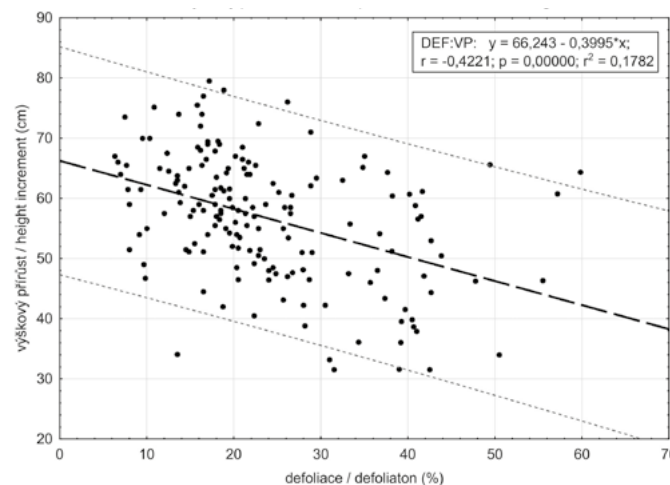
**Koncentrace prvků v půdě**

Podle klasifikace používané ve VÚLHM (modifikováno dle KLIMO 1998) je půda silně ( $pH_{KCl} < 4$ ) až velmi silně ( $pH_{KCl} < 3$ ) kyselá a platí to pro oba vzorkované půdní horizonty – humus (FH) a svrchní minerální půdu do hloubky 25 (30) cm (AB). Při prvním vzorkování v roce 2006 bylo rozpětí  $pH_{KCl}$  na deseti vzorkovaných plochách pro humusový horizont 3,15–3,67. Při zatím posledním vzorkování v roce 2018 bylo toto rozpětí 2,97–3,85. Nejnižší hodnoty  $pH_{KCl}$  byly zjištěny v roce 2014, kdy bylo rozpětí hodnot 2,79–3,30, přičemž hodnoty poklesly pod hranici 3 jednotek pH na čtyřech z deseti vzorkovaných ploch (obr. 7).



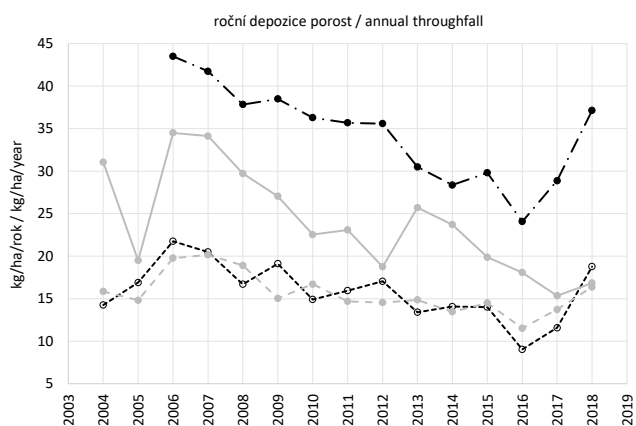
**Obr. 4.** Kumulativní výškový přírůst na deseti sledovaných plochách v období 2002–2018

**Fig. 4.** Cumulative height increment (sum of height increment) within ten evaluated plots during 2002–2018

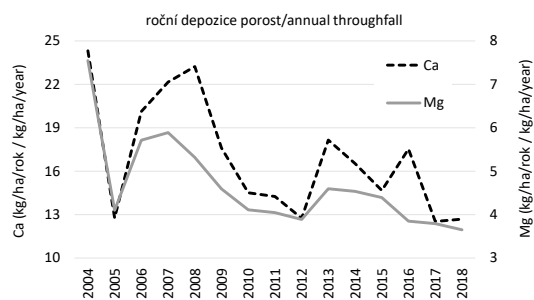


**Obr. 5.** Vztah mezi výškovým přírůstem a defoliací na deseti sledovaných plochách v období 2002–2018

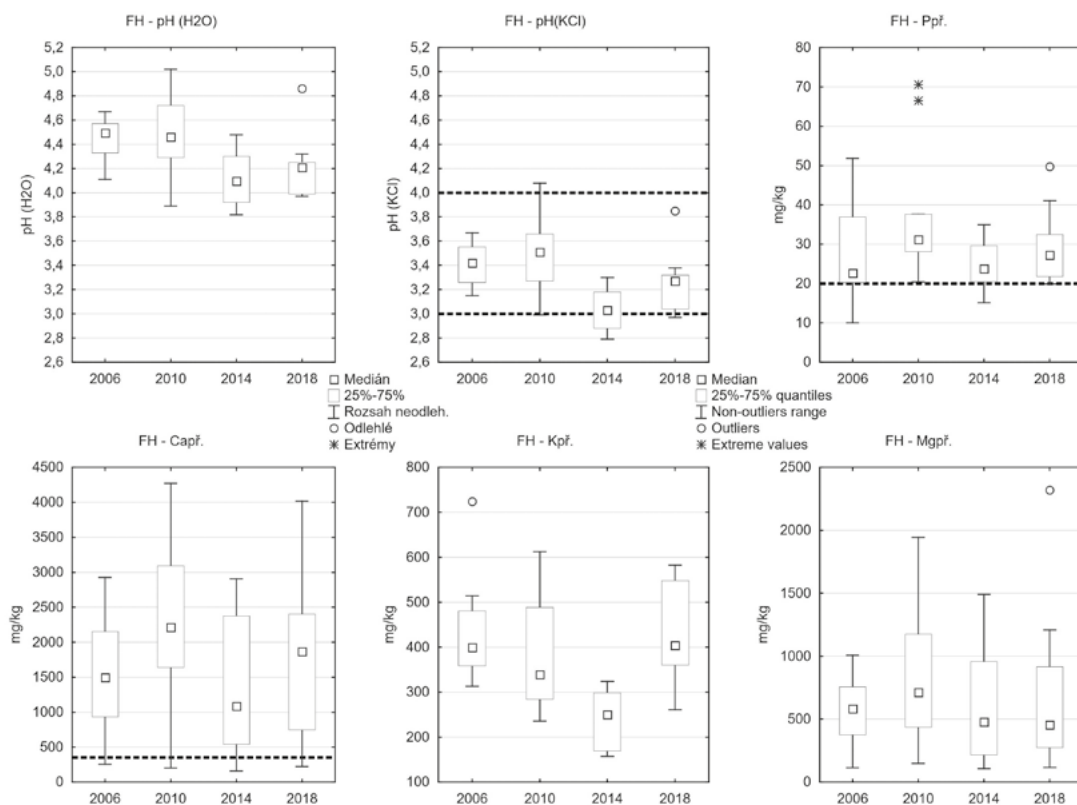
**Fig. 5.** Relationship between height increment and crown defoliation within ten evaluated plots during 2002–2018; VP = height increment, defoliace = defoliation



**Obr. 6a.**  
 Vývoj deponice dusíku a síry na ploše Luisino údolí (dospělý porost, plocha II. úrovně monitoringu lesa ICP Forests) v období 2004–2018  
**Fig. 6a.**  
 Nitrogen and sulphur deposition on the ICP Forests level II plot Luisino údolí (throughfall) during 2004–2018



**Obr. 6b.**  
 Vývoj deponice hořčíku a vápníku na ploše Luisino údolí (dospělý porost, plocha II. úrovně monitoringu lesa ICP Forests) v období 2004–2018  
**Fig. 6b.**  
 Magnesium and calcium deposition on the ICP Forests level II plot Luisino údolí (throughfall) during 2004–2018



**Obr. 7.**  
 pH a koncentrace živin v přístupné formě v humusovém horizontu při odběrech půd na deseti sledovaných plochách v mladých porostech na hřebeni Orlických hor; přerušované linie označují hranici nízké, příp. velmi nízké koncentrace, viz text  
**Fig. 7.**  
 pH value and available nutrient concentration in humus/organic layer (FH) on ten evaluated plots in the Eagle Mts.; dashed lines show limit of low and/or very low concentration of element, see the text



U minerální půdy bylo v roce 2006 zjištěno rozpětí  $pH_{KCl}$  3,10–3,56 a v roce 2018 se pohybovalo od 2,90 do 3,31 (obr. 8). Konstatujeme tedy postupné mírné okyselování obou vzorkovaných půdních horizontů za sledované období od roku 2006 do roku 2018 (obr. 7 a 8).

Koncentrace bazických živin (Ca, K, Mg) jsou nízké až velmi nízké především ve vzorkované svrchní minerální půdě (ve srovnání s horizontem FH; obr. 7 a 8).

Koncentrace přístupného vápníku se v minerální půdě ani v jednom případě nedostaly nad hodnotu  $350 \text{ mg.kg}^{-1}$ , která je používána jako hranice nízké koncentrace. Jinými slovy, 100 % odebraných vzorků mělo nízkou koncentraci vápníku v přístupné formě. Navíc ve 24 případech z celkem 40 vzorků (60 %) odebraných ve sledovaném období byla zjištěna velmi nízká koncentrace ( $< 140 \text{ mg Ca.kg}^{-1}$ ; obr. 8). Nízké i velmi nízké koncentrace vápníku byly zjištěny i ve výluhu lučavkou královskou – pouze ve třech případech ve vzorcích z roku 2006 byly koncentrace vápníku vyšší než  $350 \text{ mg.kg}^{-1}$  (obr. 9). Z výsledků vyplývá, že koncentrace vápníku ve sledovaném období postupně stále klesají.

Pro draslík je používána hranice nízké koncentrace  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  a pod touto hranicí bylo za sledované období 29 ze 40 odebraných vzorků (72,5 %). Velmi nízká koncentrace draslíku ( $< 30 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) byla ve sledovaném období zjištěna u 6 vzorků ze 40 (15 %).

Mírně lepší je situace u hořčíku, kde v minerální půdě byla nízká koncentrace ( $< 40 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) v přístupné formě zjištěna u 10 vzorků ze 40 odebraných (25 %). Nicméně celková koncentrace hořčíku zjišťovaná

ve výluhu lučavkou královskou pouze v jedné třetině případů překračuje hodnotu  $500 \text{ mg.kg}^{-1}$  (obr. 9). Celková koncentrace hořčíku je nejvyšší na plochách Vrchmezi a Šerlišský mlýn.

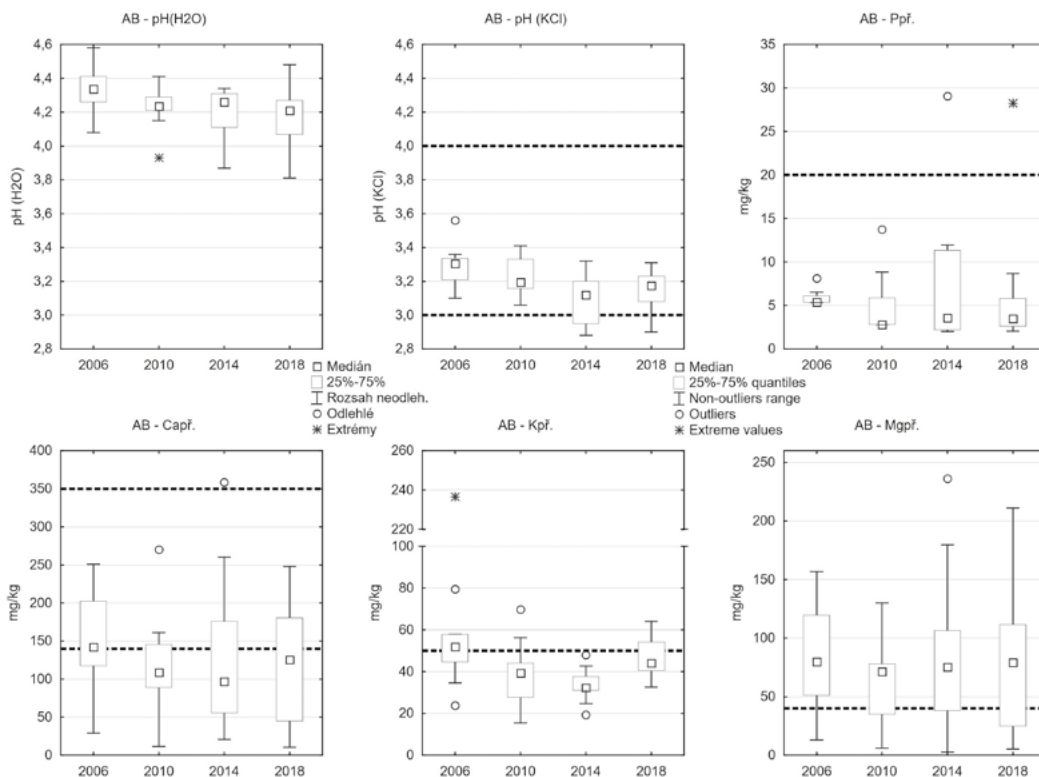
Zatímco u přístupné koncentrace vápníku a draslíku nelze jednoznačně určit lokality, kde je opakovaně a dlouhodobě jejich nedostatek, u hořčíku jsou nejvýraznější deficitními lokalitami Šerlišský mlýn a Luisino údolí, následované lokalitou Jelení lázeň.

U fosforu je pro velmi nízkou koncentraci používána hodnota  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$ . V minerální půdě byly zjištěny hodnoty nižší než tato hranice u 38 ze 40 odebraných půdních vzorků (95 %) v období 2006–2018. Fosfor je navíc v přístupné formě deficitní i v humusovém horizontu, kde se za dobu sledování jeho koncentrace pohybuje v rozpětí ca  $18\text{--}50 \text{ mg.kg}^{-1}$  (obr. 7).

Ze zátěžových prvků se v humusovém horizontu kumuluje do vysokých koncentrací především olovo (obr. 10).

### Minerální živiny a zátěžové prvky v jehličí

Koncentrace hlavních živin a zátěžových prvků v jehličích jsou uvedeny na obr. 11 pro 1. ročník a na obr. 12 pro 2. ročník. Průměrné koncentrace dusíku v 1. ročníku jehličí se během hodnoceného období pohybovaly v rozmezí od  $14,6 \text{ g.kg}^{-1}$  (rok 2016) do  $18,1 \text{ g.kg}^{-1}$  (rok 2010). Do roku 2010 byly průměrné koncentrace dusíku poměrně rozkolísané, od roku 2011 lze konstatovat mnohem vyrovnanější průběh hodnot, které se nejčastěji pohybují v rozmezí  $15\text{--}16 \text{ g.kg}^{-1}$ . Výraznější kolísání koncentrací dusíku (případně i dalších prvků)



Obr. 8.

pH a koncentrace živin v přístupné formě v minerální půdě 0–25 (30) cm při odběrech půd na deseti sledovaných plochách v mladých porostech na hřebeni Orlických hor; přerušované linie označují hranici nízké, příp. velmi nízké koncentrace, viz text

Fig. 8.

pH value and available nutrient concentration in mineral layer (0–25/30cm) on ten evaluated plots in the Eagle Mts.; dashed lines show limit of low and/or very low concentration of element, see the text

v jehlicích v období 2004–2010 mohlo být způsobeno reakcí na gradaci houby *Ascoalex abietina*, která poškodila velké plochy mladých smrkových porostů Orlických hor v předchozím období a porosty se s jejím působením vyrovnávaly ještě několik let po skončení gradace jejího výskytu (SOUKUP, PEŠKOVÁ 2000; NÁROVEC 2001). Ve 2. ročníku jehlic se průměrné koncentrace dusíku pohybovaly od 13,6 g.kg<sup>-1</sup> (rok 2018) do 16,3 g.kg<sup>-1</sup> (rok 2007) a křivka jejich vývoje není tak výrazně rozkolísaná, jako je tomu u letorostů. Nedostatečný obsah dusíku v jehlicích je pro smrk charakterizován poklesem koncentrace pod 13,0 g.kg<sup>-1</sup> (MATERNA 1963; GÖTTLEIN et al. 2011). Průměrná koncentrace dusíku neklesla pod tuto hranici ani v 1. ani ve 2. ročníku jehlic za celé období sledování. Dobré až vysoké koncentrace dusíku v jehlicích mladých smrků jsou zřejmě důsledkem stále vysoké depozice dusíku, která se v severních pohořích pohybuje v rozmezí 10–47 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (RABEN, ANDRAE 1999; SLODIČÁK et al. 2005; HADAŠ 2006). Nadbytek dusíku ve výživě smrkových porostů může nepříznivě ovlivňovat relativní dostupnost dalších významných biogenních prvků, zejména fosforu a hořčíku (MELLERT et al. 2004).

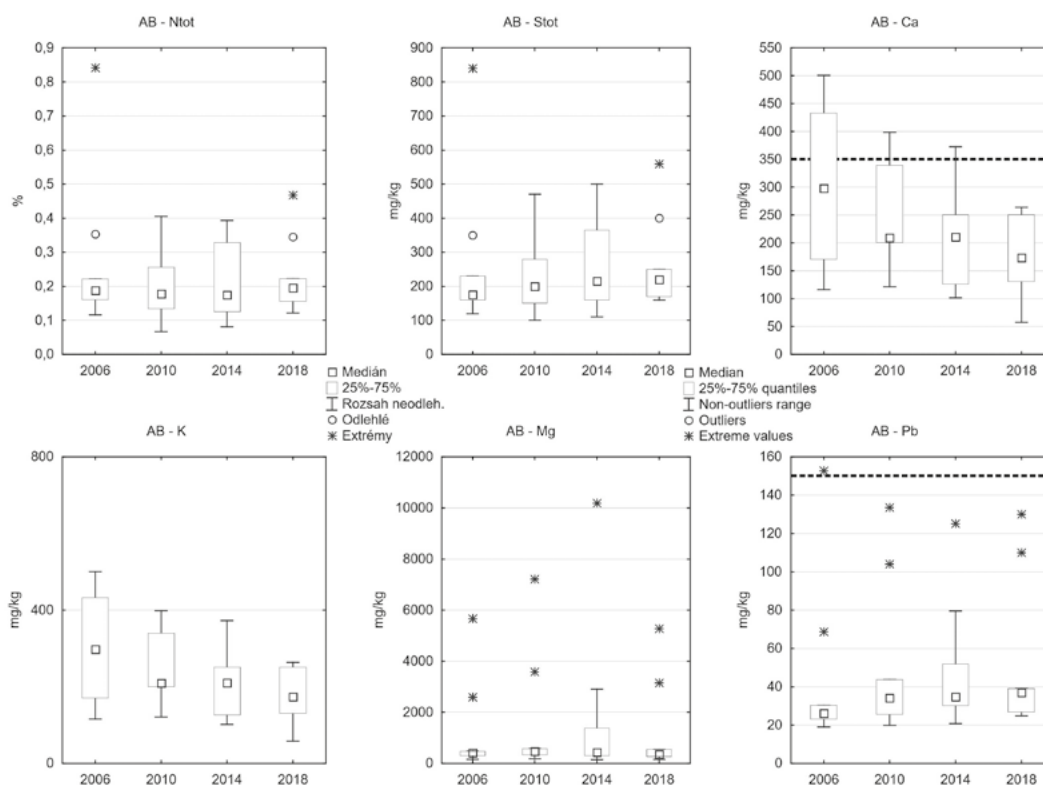
Průměrné koncentrace fosforu v 1. ročníku jehlic se během hodnoceného období (2004–2018) pohybovaly v rozmezí od 1,19 (rok 2007) do 2,06 (rok 2006) g.kg<sup>-1</sup>; ve 2. ročníku jehlic bylo toto rozpětí od 1,11 (rok 2007) do 1,72 (rok 2006) g.kg<sup>-1</sup>. Mezi roky 2006 a 2007 tedy došlo k výraznému poklesu koncentrace fosforu, následovanému pozvolným navyšováním až do roku 2009, resp. 2010. Od té doby koncentrace fosforu v obou analyzovaných ročnících stále pozvolna klesá. Nepříznivá situace je především u druhého ročníku jehlic, kde se průměrné koncentrace fosforu pohybují v blízkosti hranice deficitu (1,2 g.kg<sup>-1</sup>)

a na přibližně polovině z deseti hodnocených ploch koncentrace fosforu pod hranici deficitu klesá opakovaně, často řadu let po sobě (především se jedná o plochy Jelení lázeň a Lovecká chata).

Přístupnost fosforu může být omezována vstupem kyselé depozice, která udržuje výraznou aciditu půd a snižuje dostupnost fosforu pro smrk (HEINSDORF, BRANSE 2002; PRIETZEL et al. 2008), a to vznikem fosforečnanů železa a hliníku, které váží fosfor do nerozpustných nebo špatně rozpustných sloučenin (LARCHER 1995).

Koncentrace draslíku jsou ve 2. ročníku jehlic nižší ve srovnání s letorosty, ale rozdíly nejsou velké. Ve sledovaném období se průměrné koncentrace draslíku pohybovaly v rozmezí od 5,14 do 8,07 g.kg<sup>-1</sup> v 1. ročníku, resp. od 4,49 do 7,49 g.kg<sup>-1</sup> ve 2. ročníku, a lze je tedy hodnotit jako dostatečné až dobré. Vyšší koncentrace byly zjišťovány v první polovině hodnoceného období, kdy se pohybovaly mezi 7–8 g.kg<sup>-1</sup>, od roku 2011 se zjišťované průměrné koncentrace pohybují mezi 5–6 g.kg<sup>-1</sup>. Roční spotřeba draslíku smrkového porostu se pohybuje v rozmezí 4–12 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (FINÉR 1989), podkorunové depozice draslíku dosahují v horských oblastech vyšších hodnot, konkrétně 11,3–27,6 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (BOHÁČOVÁ et al. 2009, 2010), proto výživa draslíkem patří zpravidla mezi méně problémové.

Koncentrace vápníku stoupají s věkem jehlic. Důvodem je jejich pevné poutání ve stěnách buněk i v dalších buněčných strukturách, a vápník není tak mobilní jako jiné makroživiny. Průměrná koncentrace vápníku v 1. ročníku jehlic se na deseti sledovaných plochách v Orlických horách dlouhodobě pohybuje v rozmezí od 2,86 do 4,12 g.kg<sup>-1</sup> a ve 2. ročníku v rozmezí od 4,10 do 5,71 g.kg<sup>-1</sup>. Jedná se o poměrně nízké



Obr. 9.

Koncentrace prvků ve výluhu lučavkou královskou v minerální půdě 0–25 (30) cm při odběrech půd na deseti sledovaných plochách v mladých porostech na hřebeni Orlických hor; přerušované linie označují hranici nízké, příp. velmi nízké koncentrace, viz text

Fig. 9.

Total nutrient concentration in aqua regia solution in mineral soil (0–25/30cm) on ten evaluated plots in Eagle Mts.; dashed lines show limit of low and/or very low concentration of element, see the text



hodnoty, navíc se stále častěji setkáváme s koncentracemi klesajícími pod  $2 \text{ g.kg}^{-1}$ , výjimkou nejsou ani hodnoty nižší než  $1,5 \text{ g.kg}^{-1}$ . Graf průběhu průměrných koncentrací za sledované období neukazuje pro hodnocené ročníky jehlic žádný trend, jedná se o kolísání hodnot ve stále stejném rozpětí. (obr. 11 a 12).

Průměrná koncentrace hořčíku v 1. ročníku jehlic od roku 2004 stoupla z  $0,87 \text{ g.kg}^{-1}$  na  $1,19 \text{ g.kg}^{-1}$  v roce 2018. K mírnému nárůstu koncentrace hořčíku došlo za sledované období i ve druhém ročníku jehlic, hodnoty se pohybují nejčastěji v rozmezí  $0,8-1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ .

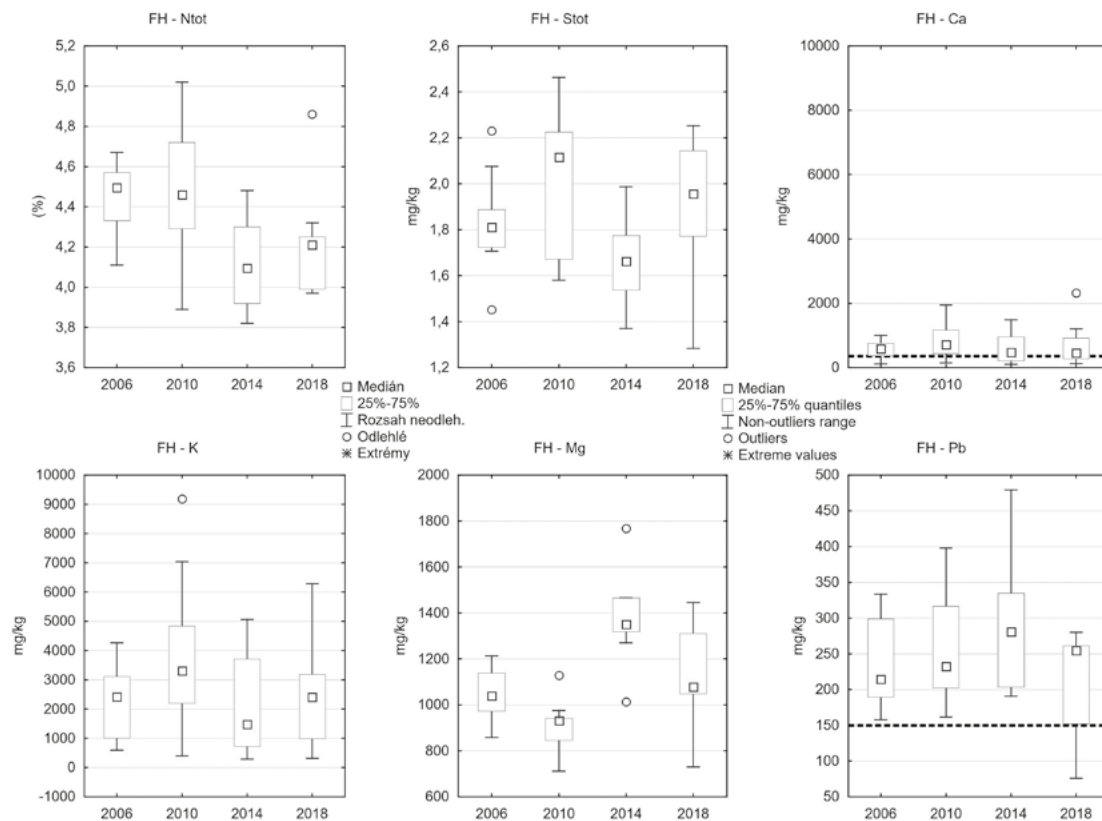
Žloutnutí smrkových porostů může být kromě nevyváženého příjmu hořčíku, fosforu a dusíku doprovázeno také deficitem stopového prvku zinku v jehlicích (KANDLER et al. 1990; SCHALL 1991). Průměrná koncentrace zinku se v 1. ročníku jehlic pohybovala v rozsahu od  $25,5$  do  $38,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ , ve druhém ročníku jehlic pak od  $21,8$  do  $35,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Z dlouhodobého pohledu za celé sledované období koncentrace zinku ve druhém ročníku mírně klesají, platí to především od roku 2010, a často se setkáváme s koncentracemi pod hranici  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Přímé působení imisí (oxid siřičitý a fluor) je možné identifikovat např. podle obsahu síry a fluoru v jehličí (MATERNA 1981; AUGUSTIN et al. 2005; ANDREASSEN et al. 2007). Koncentrace síry byla pro sledované plochy nejvyšší v letech 2009–2011, v dalších odběrech dochází k jejímu poklesu v obou analyzovaných ročnících jehličí (obr. 11 a 12). Průměrná koncentrace v 1. ročníku jehlic se pohybovala v rozmezí od  $1,06$  do  $1,36 \text{ g.kg}^{-1}$  a odpovídá pouze mírné zátěži smrko-

vých porostů (LOMSKÝ et al. 2002). Ve druhém ročníku se průměrná koncentrace za sledované období pohybovala v rozmezí od  $1,20$  do  $1,37 \text{ g.kg}^{-1}$ .

Obsah fluoru v jehlicích v českých horách, včetně Orlických, vždy souvisel se spalováním hnědého uhlí ve velkých příhraničních zdrojích znečištění a se spalováním uhlí v lokálních topeništích. Průměrné koncentrace fluoru v jehlicích měly během hodnoceného období vrchol v roce 2007, následně došlo ke skokovému poklesu, ale od roku 2009 pozorujeme sice mírný, ale neustálý nárůst hodnot až k hranici mírné zátěže ( $2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

Při hodnocení poměrů mezi dusíkem a hlavními živinami považujeme za důležité upozornit na stoupající hodnoty poměru dusíku a fosforu. Situace ve vzájemném poměru těchto dvou důležitých živin je horší v Lužických a v Jizerských horách, nicméně i v Orlických horách pozorujeme pozvolný nárůst hodnot vzájemného poměru N/P, blíží se horní hranici optima (HÜTTL 1990), viz obr. 13. Problematika vzájemného poměru dusíku a fosforu v mladých smrkových porostech severních pohraničních pohoří je podrobně rozebrána v publikaci NOVOTNÝ et al. (2018). U dalších živin pozorujeme nárůst hodnot vzájemného poměru N/K, což souvisí s mírným poklesem koncentrace draslíku v jehličí sledovaných ploch. Naopak mírný nárůst koncentrace hořčíku se projevuje pozvolným poklesem hodnot vzájemného poměru N/Mg (obr. 13).



**Obr. 10.**

Koncentrace prvků ve výluhu lučavkou královskou v humusovém horizontu při odběrech půd na deseti sledovaných plochách v mladých porostech na hřebeni Orlických hor; přerušované linie označují hranici nízké, příp. velmi nízké koncentrace, viz text

**Fig. 10.**

Total nutrient concentration in aqua regia solution in humus/organic layer (FH) on ten evaluated plots in the Eagle Mts.; dashed lines show limit of low and/or very low concentration of element, see the text

## ZÁVĚR

Mladé smrkové porosty v hřebenové partii Orlických hor jsou sledovány od roku 2002. Za období let 2002–2018 je možné konstatovat, že zdravotní stav mladých smrkových porostů, vyjádřený mírou defoliace korun, se po kalamitním výskytu houby *Ascochyta abietina* výrazně zlepšil a hodnoty defoliace korun jsou srovnatelné s ostatním územím ČR. Statistickou analýzou byl prokázán dlouhodobý klesající trend defoliace korun, byla zjištěna silná závislost mezi defoliací korun a výškovým přírůstkem. V oblasti Orlických hor stále existuje vysoká depoziční zátěž sloučeninami dusíku, což se projevuje pokračujícím okyselováním půdního prostředí. To je spojené s trvalým mírným poklesem koncentrace bazických prvků v půdě sledovaných porostů. Není možné předpokládat doplňování bazických prvků, především vápníku a hořčíku, do půdy prostřednictvím atmosférické depozice, neboť depozice Ca a Mg se stále snižuje. Analýza jehličí prokázala, že zvýšený vstup dusíku je dřevinami využíván a dochází k jeho příjmu, což se potvrzuje i na výškovém přírůstu stromů. Zvýšený vstup dusíku ovšem představuje pro lesní ekosystém riziko, které se kromě probíhající acidifikace prostředí může projevit také vznikem nerovnováhy mezi hlavními živinami, narušením procesu vyzrání dřeva, a tím vyšší pravděpodobností škod mrazem nebo zhoršením mechanických a technických vlastností dřeva.

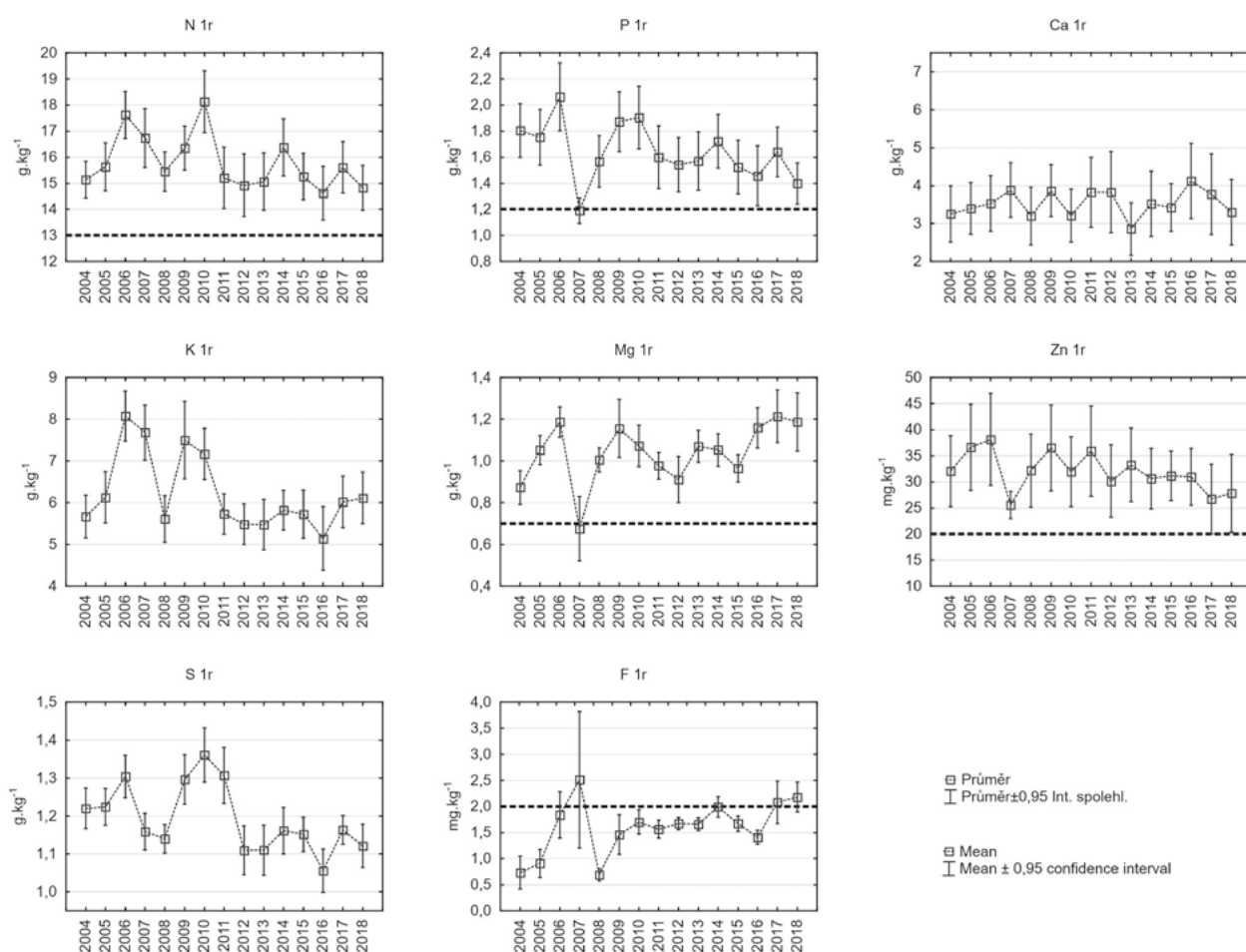
Na základě listové analýzy byl prokázán pokles zátěže sloučeninami síry, současně byl indikován počínající problém s nedostatečným příjmem fosforu, riziko nastupujících problémů nelze vyloučit ani u draslíku a vápníku.

### Poděkování:

Příspěvek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118.

## LITERATURA

ANDREASSEN K., SOLBERG S., TVEITO O.E., LYSTAD S.L. 2007. Some effects of climate on Norway spruce growth in Norway. In: Eichhorn, J. (ed.): Symposium: Forests in a changing environment. Results of 20 years ICP forests monitoring Göttingen. 25.–28. 10. 2006. Frankfurt am Main, Sauerländer: 112–117. Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 142.



Obr. 11.

Koncentrace prvků v jednoletém jehličí smrkových porostů v období 2004–2018

Fig. 11.

Nutrient concentrations in current year needles of ten young Norway spruce stands during 2004–2018

AUGUSTIN S., BOLTE A., HOLZHAUSEN M., WOLFF B. 2005. Exceedance of critical loads of nitrogen and sulphur and its relation to forest conditions. *European Journal Forest Research*, 124: 289–300.

BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2009. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/Forest Focus 2006 a 2007. Strnady, VÚLHM: 134 s.

BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. (eds.) 2010. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/FutMon data 2008 a 2009. Strnady, VÚLHM: 157 s.

CANNELL M.G.R., THORNLEY J.H.M., MOBBS D.C., FRIEND A.D. 1998. UK conifer forests may be growing faster in response to increased N deposition, atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature. *Forestry*, 71: 277–296.

CRONAN C.S., GRIGAL D.F. 1995. Use of calcium/aluminium ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 24: 209–226.

DRENOVSKY R.E., RICHARDS J.H. 2004. Critical N:P values: Predicting nutrient deficiencies in desert shrublands. *Plant and Soil*, 259: 59–69. DOI: 10.1023/B:PLSO.0000020945.09809.3d

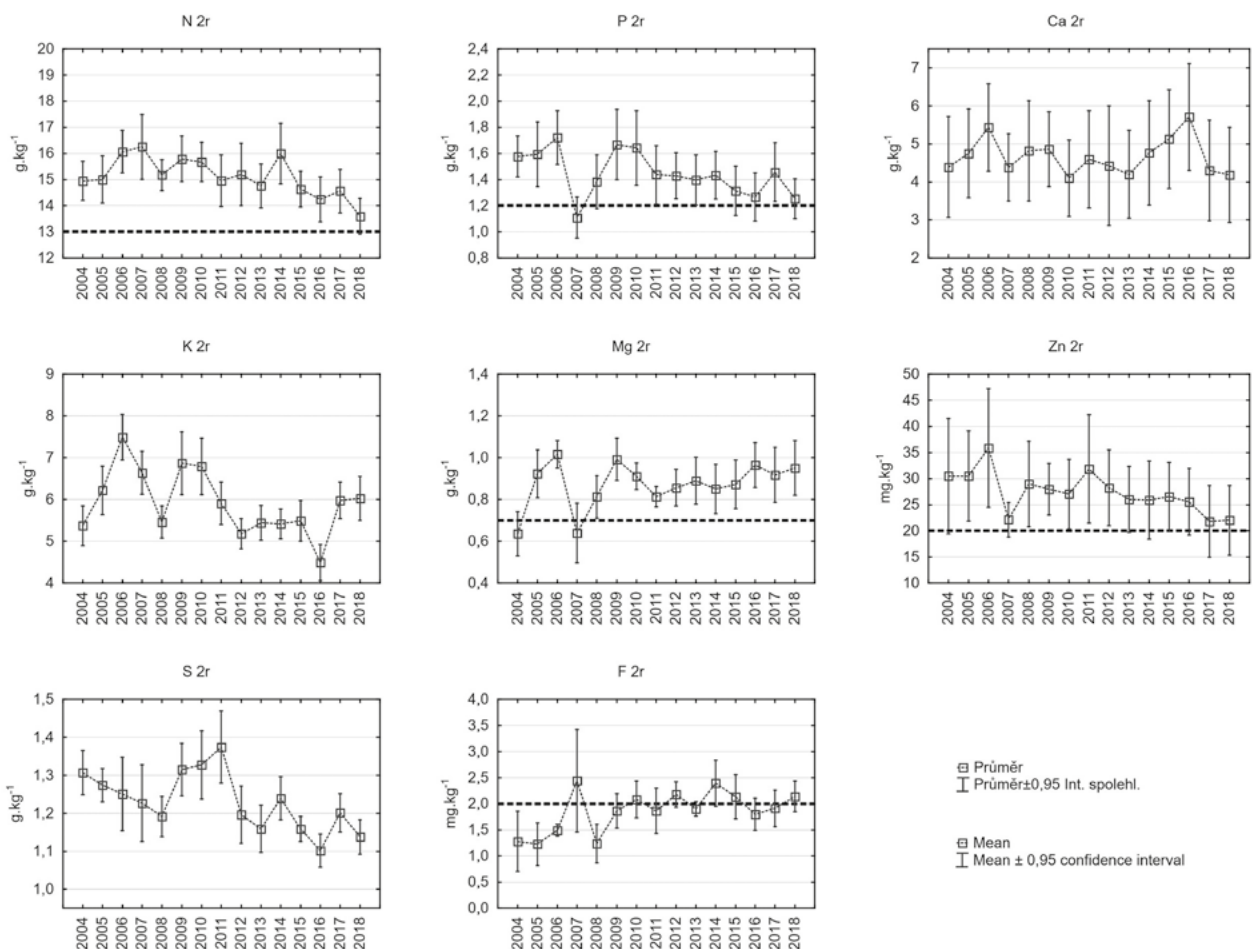
EWALD J. 2005. Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research*, 124: 9–18. DOI: 10.1007/s10342-004-0051-5

FINÉR L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Acta Forestalia Fennica*, 208: 63 s.

GARBER K. 1966. The influence on vegetation of an F-polluted atmosphere. *Angewandte Botanik*, 40: 12–21.

GÖTTLEIN A., BAIER R., MELLERT K.H. 2011. Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus VAN DEN BURG’s Literaturzusammenstellung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 182 (9/10): 173–186

HADAŠ P. 2006. Potenciální depoziční toky síry, dusíku, iontů vodíku a jejich vliv na zdravotní stav lesních porostů na území PLO Krušné hory. In: Slodičák, M., Novák, J. (eds.): *Lesnický výzkum v Krušných horách. Recenzovaný sborník z celostátní vědecké konference konané 20. 4. 2006 v Teplicích. Jíloviště-Strnady, VÚLHM – VS Opočno: 17–38.*



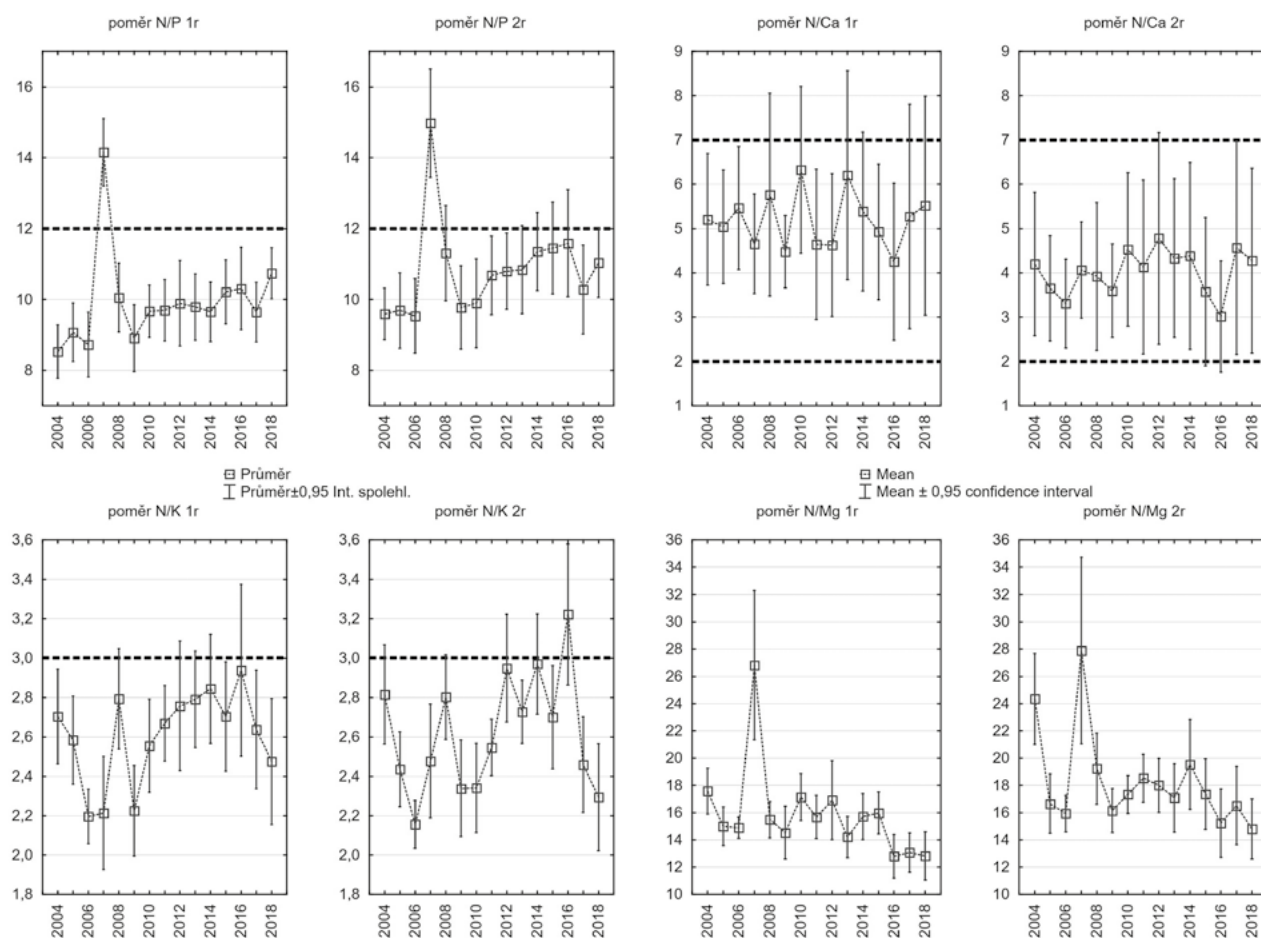
Obr. 12.

Koncentrace prvků ve dvouletém jehličí smrkových porostů v období 2004–2018

Fig. 12.

Nutrient concentration in one year old needles of ten young Norway spruce stands during 2004–2018

- HEINSDORF D., BRANSE C.H. 2002. Entwicklung der N Närelementgehalte in den Nadeln von Kiefernbeständen auf charakteristischen pleistozänen Standorten Brandenburgs in den Jahren 1964 bis 1999. *Forst und Holz*, 57: 421–428.
- HŮNOVÁ I., ŠANTROCH J., OSTATNICKÁ J. 2004. Ambient air quality and deposition trends at rural stations in the Czech Republic during 1993–2001. *Atmospheric Environment*, 38: 887–898. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2003.10.032
- HŮNOVÁ I., SCHREIBEROVÁ M. 2012. Ambient ozone phytotoxic potential over the Czech forests as assessed by AOT40. *i-Forest – Biogeosciences and Forestry*, 5:153–162. DOI: 10.3832/ifer0617-005
- HŮNOVÁ I., STOKLASOVÁ P., SCHOVÁNKOVÁ J., KULASOVÁ, A. 2016. Spatial and temporal trends of ozone distribution in the Jizerské hory Mountains of the Czech Republic. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 377–387. DOI: 10.1007/s11356-015-5258-0
- HŮNOVÁ I., BÄUMELT V. 2018. Observation-based trends in ambient ozone in the Czech Republic over the past two decades. *Atmospheric Environment*, 172: 157–167. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.10.039
- HÜTTL R.F. 1990. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 128: 45–58. DOI: 10.1007/BF00009395
- HÜTTL R.F., SCHAAF W. 1997. Magnesium deficiency in forest ecosystems. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 362 s.
- HÜTTL R.F., SCHNEIDER B.U. 1998. Forest ecosystem degradation and rehabilitation. *Ecological Engineering*, 10: 19–31.
- JARVIS P.G., LINDER S. 2000. Constraints to growth of boreal forests. *Nature*, 405: 904–905. DOI: 10.1038/35016154
- JARVIS P.G., LINDER S. 2007. Forests remove carbon dioxide from the atmosphere: spruce forest tales! In: Freer-Smith, P.H. et al. (eds.): *Forestry and climate change*. Wallingford, CABI: 60–72.
- JIRGLE J., KUČERA J., TICHÝ J., MATERNA J. 1983. Damage to forests in the Jizera Mountains by pollution. *Zprávy lesnického výzkumu*, 28: 16–24.
- KANDLER O., SENSER M., MILLER W. 1990. Vergilbung und Wiedergrünung der Fichte. In: Jositz, J. (ed.): *Neuartige Waldschaden – Erkenntnisse und Folgerungen*. München, Hans-Siedel-Stiftung: 113–138.



Obr. 13.

Vzájemný poměr dusíku a hlavních živin v mladých smrkových porostech Orlických hor v období 2004–2018

Fig. 13.

Ratio between nitrogen and other important nutrients in needles of ten young Norway spruce stand in the Eagle Mts. during 2004–2018

- KARNOSKY D.F., TALLIS M., DARBACH J., TAYLOR G. 2007. Direct effect of elevated carbon dioxide on forest tree productivity. In: Freer-Smith P.H. et al. (eds.): *Forestry and climate change*. Wallingford, CABI: 136–142.
- KLIMO E. 1998. *Lesnická pedologie*. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně: 259 s.
- LARCHER W. 1995. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Berlin, Springer: 506 s.
- LINDER S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins*, 44: 178–190.
- LOMSKÝ B., UHLÍŘOVÁ H. 1993. Evaluation of the experiment with fertilization and liming of young-growth spruce stands in the Jizerské hory Mts. *Lesnictví-Forestry*, 39: 80–86.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2002. Damage of the forest stands in 1990s. In: Lomský B. et al. (eds.): *SO<sub>2</sub>-pollution and forests decline in the Ore Mountains*. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 139–155.
- LOMSKÝ B., MATERNA J., PEANZ H. (eds.) 2002. *SO<sub>2</sub>-pollution forests decline in the Ore Mountains*. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 342 s.
- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2004. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 50: 533–537.
- LUYSSAERT S., SULKAVA M., RAITIO H., HOLLMEN J. 2004. Evaluation of forest nutrition based on large-scale foliar surveys: are nutrition profiles the way of the future? *Journal of Environmental Monitoring*, 6: 160–167.
- MATERNA J. 1963. *Hnojení lesních porostů*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 227 s.
- MATERNA J. 1981. Výživa krušnohorských smrčín. *Lesnictví*, 27: 689–698.
- MATERNA J. 1983. Relation between SO<sub>2</sub> concentration and reaction of spruce stands. *Aquilo, Ser. Botanica*, 19: 147–156.
- MATYSSEK R., HAVRANEK W.M., WIESER G., INNES J.L. 1997. Ozone and the forests in Austria and Switzerland. In: Sandermann, H. et al. (eds.): *Forest decline and ozone. A comparison of controlled chamber and field experiments*. Berlin, Springer: 95–134.
- MELLERT K.H., PRIETZEL J., STRAUSSBERGER R., REHFUESS K.E. 2004. Long-term nutritional trends of conifer stands in Europe: results from the RECOGNITION project. *European Journal of Forest Research*, 123: 305–319. DOI: 10.1007/s10342-004-0044-4
- MELOUN M., MILITKÝ J. 2006. *Kompedium statistického zpracování dat. Metody a řešené úlohy*. Praha, Academia: 984 s.
- MICHEL A., SEIDLING W., PRESCHER A.-K. (eds.) 2018. *Forest condition in Europe: 2018 Technical report of ICP Forests*. Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention). BFW-Dokumentation 25/2018. Vienna, BFW Austrian Research Centre for Forests: 92 s. Dostupné na/Available on: <https://www.icp-forests.org/pdf/TR2018.pdf>
- NÁROVEC V. 2001. K nálezu houby *Ascocalyx abietina* v Orlických horách. *Lesnická práce*, 80: 268–270.
- 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: 10.3832/ifor1847-009
- 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. DOI: 10.1007/s10342-018-1146-8
- PEANZ H., VOLLRATH B., LOMSKÝ B., OPPMANN B., HYNEK V., BEYSCHLAG W., BILGER W., WHITE M.V., MATERNA J. 1994. Life expectancy of spruce needles under extremely high air pollution stress: performance of trees in the Ore Mts. *Tree*, 8: 213–222. DOI: 10.1007/BF00196624
- PRIETZEL J., REHFUESS K.E., STETTER U., PRETZSCH H. 2008. Changes of soil chemistry, stand nutrition, and stand growth at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in Central Europe during 40 years after fertilization, liming, and lupine introduction. *European Journal of Forest Research*, 127: 43–61. DOI: 10.1007/s10342-007-0181-7
- PUHE J., ULRICH J. 2001. *Global climate change and human impacts on forest ecosystems. Postglacial development, present situation and future trends in Central Europe*. Berlin, Springer: 592 s. *Ecological studies*, 143.
- RABEN G., ANDRAE H. 1999. Short- and long-term pulses of acidification in forest ecosystems of Saxony (Germany). *Journal of Forest Science*, 45: 163–168.
- SCHALL P. 1991. Productivity and vitality of spruce stands: dynamic feedback simulation for responses to different annual and seasonal levels of magnesium supply from soil. *Vegetatio*, 92: 111–118.
- SCHULZE E.D., LANGE O.L., OREN R. 1989. *Forest decline and air pollution: a study of spruce (Picea abies) on acid soils*. Berlin, Springer: 475 s.
- SIEFERMANN-HARMS D., BOXLER-BALDOMA C., WILPERT K. VON, HEUMANN H.G. 2004. The rapid yellowing of spruce at a mountain site in the Central Black Forest (Germany). Combined effects of Mg deficiency and ozone on biochemical, physiological and structural properties of the chloroplasts. *Journal of Physiology*, 161: 423–437. DOI: 10.1078/0176-1617-01095
- SLODIČÁK M. et al. 2005. *Lesnické hospodaření v Jizerských horách*. Hradec Králové, Lesy České republiky; Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 232 s.
- SOUKUP F., PEŠKOVÁ V. 2000. Napadení poškozených smrků v Orlických horách houbou *Ascocalyx abietina*. *Lesnická práce*, 79: 472–473.
- STEFAN K., HERMAN F. 1996. Nutrient contents of spruce needles from the Tyrolean Limestone Alps. *Phyton*, 36: 231–244.
- ŠKÁCHOVÁ H., VLASÁKOVÁ L. (eds.) 2019. *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2018. Air pollution in the Czech Republic in 2018*. Praha, Český hydrometeorologický ústav, Úsek kvality ovzduší: 303 s. Dostupné na/Available on: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/KO\\_rocenka\\_2018.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/KO_rocenka_2018.pdf)
- ŠRÁMEK V. et al. 2009. Orlické hory – poškození porostů. Poškození lesních porostů v oblasti Suchého vrchu (LS Lanškroun) a Anenského vrchu (LS Rychnov nad Kněžnou). Hradec Králové, Lesy České republiky: 93 s. Edice Grantové služby LČR, č. 1.
- 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
- UN-ECE. 2010. *ICP forests manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests: international co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests*. Hamburg, Johann Heinrich von Thünen Inst., Inst. For World Forestry: 577 s.
- VACEK S., HŮNOVÁ I., VACEK Z., HEJCMANOVÁ P., PODRÁZSKÝ V., KRÁL J., PUTALOVÁ T., MOSER W.K. 2015. Effects of air pollution

- and climatic factors on Norway spruce forests in the Orlické hory Mts. (Czech Republic), 1979–2014. *European Journal of Forest Research*, 134: 1127–1142. DOI: 10.1007/s10342-015-0915-x
- VET R., ARTZ R.S., CAROU S., SHAW M., RO C-U., AAS W., BAKER A., BOWERSOX C. VAN, DENTENER F., GALY-LACAUX C., HOU A., PIENAAR J.J., GILLET R., FORTI M.C., GROMOV S., HARA H., KHODZHER T., MAHOWALD N.M., NICKOVIC S., RAO P.S.P., REID N.W. 2014. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. *Atmospheric Environment*, 93: 3–100. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.060
- VERSTRAETEN A., VOS B. DE, NEIRYNCK J., ROSKAMS P., HENS M. 2014. Impact of air-borne or canopy-derived dissolved organic carbon (DOC) on forest soil solution DOC in Flanders, Belgium. *Atmospheric Environment*, 83: 155–165. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.058
- VINŠ B., POSPÍŠIL F., KUČERA J. 1982. A contribution to the assessment of the development of smoke damage in the Jizera Mountains Protected Landscape Area. *Lesnictví*, 28: 87–102.
- 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 ecosystem in Europe: an overview. *Plant and Soil*, 380: 1–45. DOI: 10.1007/s11104-014-2056-2
- WALDNER P., MARCHETTO A., THIMONIER A., SCHMITT M., ROGORA M., GRANKE O., MUES V., HANSEN K., KARLSSON G.P., ŽLINDRA D., CLARKE N., VESTRAETEN A., LAZDINS A., SCHIMMING C., IACOBAN C., LINDROOS A.-J., VANGUELOVA E., BENHAM S., MEESENBURG H., NICOLAS M., KOWALSKA A., APUHTIN V., NAPA U., LACHMANOVÁ Z., KRISTOEFEL F., BLEEKER A., INGERSLEV M., VESTERDAL L., MOLINA J., FISCHER U., SEIDLING W., JONARD M., O'DEA F., JOHNSON J., FISCHER R., LORENZ M. 2014. Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forest in Europe. *Atmospheric Environment*, 95: 363–374. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.054
- WALDNER P., THIMONIER A., GRAF PANATIER E., ETZTOLD 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., VOS B. DE, ROSKAMS P., VESTRAETEN A., HANSEN K., KARLSSON G.P., DIETRICH H.-P., RASPE S., FISCHER R., LORENZ M., IOST S., GRANKE O., SANDERS T.G.M., MICHEL A., NAGEL H.-D., SCHEUSCHNER T., SIMONČIĆ P., WILPERT K. VON, 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
- WARFVINGE P., FALKENGREN-GRERUP U., SVERDRUP H. 1993. Modelling long-term cation supply in acidified forest stands. *Environmental Pollution*, 80, 209–221. DOI: 10.1016/0269-7491(93)90041-L
- WATMOUGH S.A., DILLON P.J. 2003. Calcium losses from a forested catchment in south-central Ontario, Canada. *Environmental Science & Technology* 37: 3085–3089. DOI: 10.1021/es034034t
- WIELER A. 1905. Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin, Bornträger: 427 s.
- ZIMMERMANN F., LUX H., REUTER F., WIENHAUS O. 2002. SO<sub>2</sub> pollution and forest decline in the Ore Mountains – historical aspects, scientific analysis, future developments. In: Lomský B. et al. (eds.): SO<sub>2</sub>-pollution and forest decline in the Ore Mountains. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 86–116.



## FORESTS SOIL CONDITIONS, NUTRITION SUPPLY AND THE HEALTH STATE OF YOUNG FOREST STANDS IN THE EAGLE MTS. (ORLICKÉ HORY) DURING 2002-2018 PERIOD

### SUMMARY

The aim of the article is to evaluate changes in the health state (crown defoliation), height increment and changes in nutrition level of young forest stands in the Eagle Mts. (Orlické hory) on the border between the Czech Republic and Poland. Ten stands were selected mainly on the ridge of the Eagle Mts. within complexes of the young Norway spruce stands, which were damaged by *Ascochyta abietina* twenty years ago (Tab. 1). Since 2002 the defoliation of tree crown and height increment have been assessed every year after the vegetation season (September–October). Sampling of needles for nutrient analyses was done every autumn, together with the crown condition assessment. Soil samples were taken in 2006, 2010, 2014 and 2018. Samples of the upper organic layer (FH) and of the mineral soil in 0–25 (30) cm (AB) depth were taken separately. Samples of foliage, humus and mineral soil were prepared and analysed according to the standard ICP Forests procedures.

Long term investigation of the young spruce stands in the Eagle Mts. shows that the health state, expressed in crown defoliation, has been improving during the last 15 years (Fig. 2). Average crown defoliation reached 40% at the beginning of investigation (2002). Since 2007, defoliation of crowns varies about 20%; in last few years it has been less than 20%, and crown defoliation values within evaluated plots are comparable to those of other forest regions in the Czech Republic. Correlation analysis of the height increment and crown defoliation showed a negative effect on height increment with increasing crown defoliation (Fig. 5). But height increment and defoliation of crowns are obviously affected by a combination of various stress factors (deposition load, frost and/or high temperature, water and nutrition supply etc.).

High nitrogen deposition is an important factor that influences the vulnerability of forest ecosystems in this region, which is polluted by nitrogen compound more than other mountain regions in the Czech Republic (Fig. 6a). Soil analyses confirmed the fact that the soil environment is acidic. Values of the exchange pH are usually below 3.5 and values below 3.0 are no exception (Fig. 7 and 8). Availability of phosphorus is being significantly limited by continuing input of acid deposition, which increases the soil acidity and reduces the availability of phosphorus for spruce. The amount of available phosphorus, potassium, magnesium and calcium is significantly deficient in the mineral soil (Fig. 8).

Very good supply of nitrogen can affect spruce nutrition and balance between nitrogen and other biogenic elements such as phosphorus and potassium on poor acidified sites. Phosphorus deficiency has been found on the half of evaluated plots almost every year, and concentration of phosphorus lower since 2010 (Fig. 11 and 12). The persistent problem of nutrition may adversely affect growth and development of the health status of the monitored spruce stands in the future.

Zasláno/Received: 26. 10. 2019

Přijato do tisku/Accepted: 06. 02. 2020