

## ZMĚNY VE VÝŽIVĚ FOSFOREM V MLADÝCH SMRKOVÝCH POROSTECH

### CHANGES IN PHOSPHORUS SUPPLY IN THE YOUNG STANDS OF NORWAY SPRUCE

BOHUMÍR LOMSKÝ - RADEK NOVOTNÝ - VÍT ŠRÁMEK

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

#### ABSTRACT

Long-term effect of sulphur emission on the forest stands and soils in the past and high nitrogen deposition today affect stand nutrition, mainly in northern mountain ridges of CR. This contribution shows changes in phosphorus supply in long-term investigated spruce stands in the Lužické, Jizerské and Orlické Mts. During the last six years, low phosphorus concentrations were measured, often under the deficiency limit, and N/P ratio exceeding the optimal range of (6 – 12), in the spruce needles, mainly in the second needle-year class. Low phosphorus amount was stated also in mineral soil horizon. With respect to health status (crown defoliation) all the spruce stands investigated are of similar conditions, crown defoliation is ranging between 20 – 25%. Changes in P concentrations in the needles, and in N/P ratio are more significant in the spruce stands in the Jizerské and Lužické Mts. Up to date, P insufficiency is not reflected in the stand health state. N/P ratio could be suitable and fast indicator of nutrition changes and P supply. Low P concentrations and changes of N/P ratio show that optimal N/P ratio with respect to individual tree species should be revised.

**Klíčová slova:** smrk ztepilý, zdravotní stav, listová analýza, půdní analýzy, fosfor, poměr N/P

**Key words:** Norway spruce, health status, foliar analysis, soil survey, phosphorus, N/P ratio

#### ÚVOD

Nerovnováha výživy a zhoršení zdravotního stavu lesních porostů byla během posledních 30 let evidována jak v Severní Americe, tak v řadě evropských zemí (TKACZ et al. 2008; FENN et al. 2006; ERICSSON et al. 1993; MOHREN et al. 1986). Odumírání lesů ve střední Evropě bylo patrné v 70. až 90. letech 20. století a bylo převážně spojováno s přímým působením imisí, s kyselými depozicemi a nedostatkem bazických prvků, zvláště pak hořčíku (HÜTTL, SCHAAF 1997). Depozice dusíku, vedoucí mimo jiné k redukcí kořenové biomasy, mykorhiz a mikrobiální činnosti, mohou negativně ovlivňovat příjem živin (zvláště fosforu) a narušovat jejich rovnováhu (SALIH, ANDERSSON 1999; SCHULZE et al. 2005; MELLERT et al. 2008). Dusík však stále zůstává nejčastěji limitujícím prvkem výživy pro růst smrku ztepilého, vzrůstající koncentrace dusíku a deficitní koncentrace fosforu jsou dlouhodobě typické například pro jihozápad Švédska (ROSENGREN-BRINCK, NIHLGARD 1995), pro rašelinné půdy Irska a Finska (RENOU-WILSON, FARELL 2007; SAARSALMI, MÄLKÖNEN 2001; MELLERT et al. 2004).

Fosfor je velmi silně vázán v půdách a v biotě. To zvláště platí pro lesní půdy s nízkými hodnotami pH. Cyklus fosforu je možno charakterizovat jako uzavřený, převažují v něm spíše zásoby než toky tohoto prvku. Cestou atmosférické depozice a zvětráváním vstupuje do lesního ekosystému 2,7 kg.ha<sup>-1</sup>, i výstupy z něj způsobené vyluhováním a těžbou jsou prakticky zanedbatelné vzhledem k množství fosforu, které je uchováno v ekosystémech (2 400 kg.ha<sup>-1</sup>) (ILG et al. 2009). Na půdách s nízkými obsahy přístupného fosforu je pro výživu dřevin velmi důležitý kvalitní rozvoj mykorhiz. Ty umožňují jednak zvýšení sorpčního povrchu kořenových systémů, jednak přímý odběr P z minerálů, kde je pro rostliny v nepřístupných formách (WALLANDER 2000; HAGERBERG et al. 2003). V lokalitách se zvýšeným deficitem fosforu zpravidla dochází k nárůstu ektomykorhiz (POTILA et al. 2009). Samotný pojem „přístupný“ fosfor je tak poněkud problema-

tický, stejně jako jeho analytické stanovení v lesních půdách a vrstvě nadložního humusu. Obtížné je v této souvislosti i navržení obecné limitní hodnoty pro obsah přístupného fosforu v lesních půdách. Hranice deficitu musí být vždy vztažena ke konkrétní analytické metodě a je nutno ji brát pouze jako orientační. Pro hodnocení výživy fosforem je vždy nutné uvádět výsledky chemických analýz asimilačních orgánů dřevin. Z výsledků německé inventarizace lesních půd (GFSI) provedené v období 1988 až 1992 vyplynulo, že na více než 50 % odběrových míst, kde byly odebrány vzorky jehličí a listů smrku, borovice a buku, byla zjištěna nízká až velmi nízká koncentrace fosforu. Konkrétně u smrku ztepilého byly koncentrace fosforu nižší než 1 200 mg kg<sup>-1</sup> zjištěny ve 22,1 % hodnocených vzorků. V podobném průzkumu provedeném ÚKZÚZ v období 1993 – 1999 bylo stanoveno pod touto hranicí 12,7 % odebraných vzorků (WOLLE, RIEK 1997 in ILG et al. 2009; MATERNA 2003).

Jako doplnění stanovení absolutních obsahů živin lze použít poměr dusíku k hodnocené živině v asimilačních orgánech lesních dřevin. Poměr N/P tak může sloužit jako důležitý indikátor změn v zásobě fosforu. Např. BRITTON a FISHER (2007) využili poměr N/P pro hodnocení vlivu dusíkatých imisí na subalpínské systémy. Zvýšený vstup atmosférického dusíku do lesních ekosystémů v posledních desetiletích vedl ke zvýšení dostupnosti dusíku pro dřeviny oproti dalším živinám, zvláště pak oproti fosforu. Terestrické ekosystémy, zejména na písčitéch půdách, jsou obvykle limitovány nedostatkem dusíku. V případě nadbytku N, způsobeného např. antropogenními atmosférickými depozicemi, se stávají limitujícími pro růst a vývoj nízké obsahy fosforu a dalších živin. Výrazná nerovnováha v dostupnosti dusíku, fosforu a bazických kationtů pak může vést až k poškození jehličnatých i listnatých porostů (JOHNSON et al. 2004; BRAUN et al. 2010; OHEIMB et al. 2010). Disharmonický poměr N/P výrazně vyšší než 12 může indikovat limitované množství fosforu v půdě (GÜSEWELL 2004). Z německého průzkumu vyplynulo, že 20 % smrkových stanovišť má

poměr N/P vyšší než 12, výsledky byly interpretovány jako indikace možné podvýživy fosforem. V našich průzkumech bylo pouze 2,6 % vzorků smrku nad touto hodnotou (MATERNA 2003).

Cílem článku je na příkladu mladých smrkových porostů upozornit na změny absolutních koncentrací a změny v poměru N/P dlouhodobě se projevující v asimilačních orgánech smrku ztepilého v severních horských oblastech (Lužické hory, Jizerské hory a Orlické hory), které se dlouhodobě nacházejí pod vlivem depozic dusíku, a upozornit na nastupující deficit fosforu, jenž může ovlivnit vitalitu a růst porostů.

## METODIKA

### Charakteristika ploch

Šetření probíhalo na pokusných plochách založených v mladých smrkových porostech v Jizerských, Lužických a Orlických horách. Přehled počtu a charakteristika ploch je uvedena v tabulce 1. Na plochách byl každoročně hodnocen zdravotní stav porostů vyjádřený defoliací korun, byly odebírány vzorky asimilačních orgánů a ve čtyřletém intervalu také půdní vzorky pro chemické analýzy.

### Hodnocení zdravotního stavu porostů

Hodnocení zdravotního stavu smrkových porostů se provádí v Jizerských horách od roku 1993, v Orlických horách od roku 2002 a v Lužických horách od roku 2004. Šetření probíhá každoročně na vyznačených plochách po skončení vegetačního období (říjen - listopad). Zdravotní stav je zjišťován v úhlopříčném transektu na souboru minimálně 30 stromů. Hodnocení defoliace korun vychází z metodiky mezinárodního programu monitoringu zdravotního stavu lesů ICP Forests (UN-ECE 2010) a z její modifikace pro mladé smrkové porosty (LOMSKÝ, UHLÍŘOVÁ 1993). Výsledky jsou vyjádřeny jako průměrná defoliace pro jednotlivé plochy.

**Tab. 1.**

Počet a charakteristiky ploch (medián a rozmezí)  
Number and characteristics of sample plot (median and range)

Pohoří/Mountain	Lužické hory	Jizerské hory	Orlické hory
Dřevina/Tree species	SM	SM	SM
Počet ploch/Number of plots	10	19	10
Rok založení/Year of establishment	2004	1991	2002
Stáří porostů/Age	19 – 30	24 – 42	14 – 26
Nadmořská výška/Altitude	500 – 660	810 – 1060	870 – 1040
Odběry půd/Soil survey	2006	2003, 2009	2006
pH <sub>KCl</sub> (0 – 20 cm)	3,49 (2006) 3,23 – 3,94	3,61 (2003) 3,34 – 3,93	3,31 (2006) 3,10 – 3,56
P <sub>pf.</sub> (0 – 20 cm)/Available P in soil	< 5,39 5,30 – 5,50	12,61 5,64 – 74,44	< 5,40 5,34 – 8,11
Pásmo ohrožení/Risk zone	B(2), C(8)	A(5), B(14)	A(8), B(1), C(1)
Expozice/Exposition	JZ (5), S(2), Z, S, J (1)	JV, S (4), SV, J(3), SZ(2), Z, V, JZ(1)	plošina (5), Z(2), JV, SZ, údolí (1)
Soubor les. typů/Forest type	6K(4), 6S(4), 6I, 5K(1)	8K(8), 7K(4), 7G, R(2), 7V, 6K, 7S(1)	7K (5), 7Z, 8Z (2), 7F
Půdní typ (počet)/Soil unit (Nr.)	Kryptopodzol (8) Kambizem (1) Luvizem (1)	Podzol (9) Kryptopodzol (6) Glej(2) Organozem (2)	Podzol (6) Kryptopodzol (3) Kambizem (1)

### Odběry asimilačních orgánů

Odběry asimilačních orgánů pro stanovení úrovně minerální výživy a imisní zátěže se provádějí na sledovaných plochách každoročně na podzim souběžně s hodnocením zdravotního stavu. Vzorníkové větve byly odebírány vždy z deseti stromů z vrchní osluněné části koruny (3. – 6. přeslen). Pro analýzu byly pro první (nejmladší) a druhý ročník jehličí připraveny směsné vzorky.

### Odběry půdních vzorků

Půdní vzorky byly v Jizerských horách odebírány v letech 2003 a 2009, v Lužických a Orlických horách v roce 2006. Odebírány byly oddělené vzorky nadložního humusu a minerální půdy do hloubky 0 – 30 cm. Odběr byl proveden úhlopříčně ze tří míst pokusné plochy; ze vzorků byl vytvořen směsný vzorek, který byl analyticky zpracován.

### Laboratorní zpracování – analýza jehličí a půdy

Příprava a analýza vzorků asimilačních orgánů, nadložního humusu a minerální půdy probíhala podle standardních operačních postupů (UN-ECE 2010). Po rozkladu vzorků v mikrovlonné peci byly stanoveny obsahy P v jehličí na analyzátoru ICP-OES a obsahy dusíku elementární analýzou na CNS analyzátoru Elementar. Při analýzách byly stanovovány i další prvky (S, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn), které nejsou předmětem hodnocení této práce. V půdních vzorcích byl přístupný P stanovován po vyluhování půdního vzorku směsí kyselin chlorovodíkové a sírové spektrofotometricky při vlnové délce 880 nm na analyzátoru Skalar. I v případě půd jsou k dispozici výsledky komplexních analýz. Bylo stanoveno aktivní a výměnné pH. Obsah N byl stanoven elementární analýzou na CNS analyzátoru Elementar a přístupné obsahy Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Zn ve vyluhu NH<sub>4</sub>Cl na AAS.

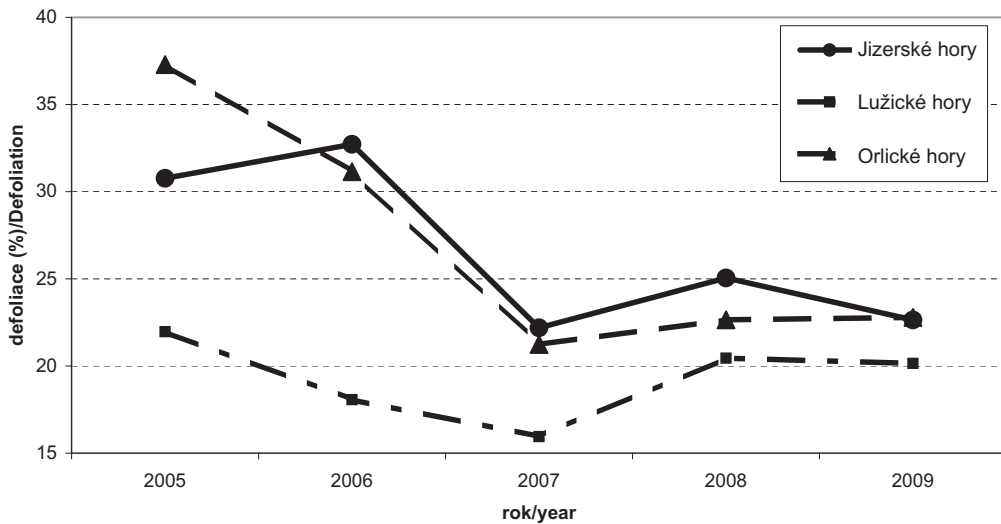
**Statistické zpracování**

Pro základní informaci o datech byla provedena průzkumová analýza dat. Základní statistiky jsou vyjádřeny zejména mediánem a kvantily. Porovnání hodnocených pohoří bylo provedeno grafickými metodami (krabicové grafy, kategorizované bodové grafy), pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu a metodami porovnávání dvou výběrů (Fisher-Snedecor F-test pro rozptyly, Studentův t-test pro průměry). Pro statistické vyhodnocení dat byl použit statistický program Statistica (StatSoft, USA) a QC Expert (Trylobyte, CZ).

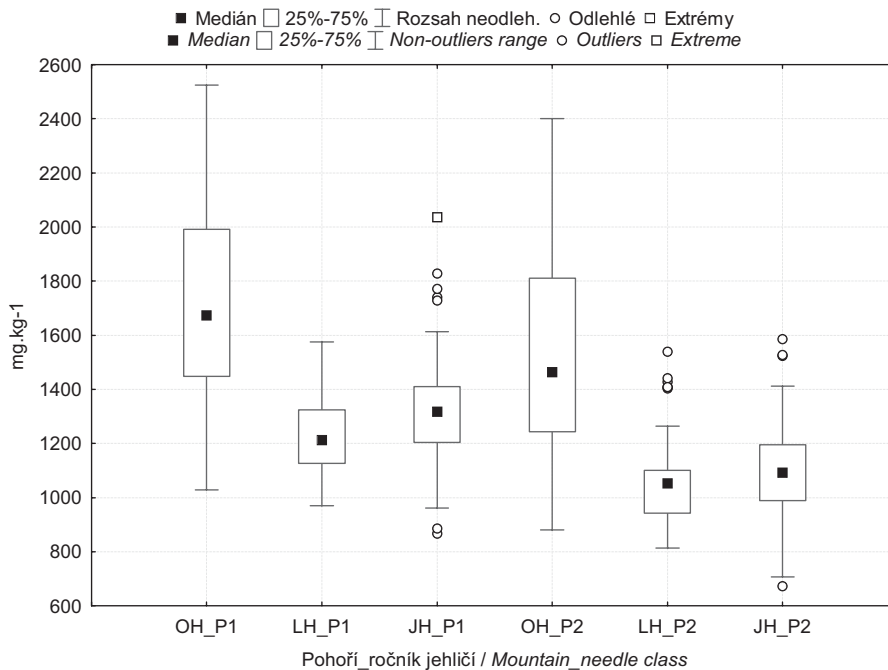
**VÝSLEDKY A DISKUSE**

**Zdravotní stav**

Výsledky hodnocení defoliace korun ukazují na to, že zdravotní stav ve všech třech hodnocených oblastech je srovnatelný. Při porovnání posledních pěti let je patrné zlepšování zdravotního stavu mladých smrkových porostů v Jizerských a Orlických horách a vyrovnaný průběh defoliace korun v mladších porostech Lužických hor (obr. 1). Stanovené průměrné hodnoty defoliace korun hodnocených smrkových



**Obr. 1.** Defoliace korun hodnocených smrkových porostů v Jizerských, Lužických a Orlických horách  
**Fig. 1.** Crown defoliation of evaluated spruce stands in the Jizerské, Lužické and Orlické Mts.



**Obr. 2.** Krabicový graf koncentrace fosforu v 1. (P1) a 2. (P2) ročníku jehličí v Jizerských (JH), Lužických (LH) a Orlických (OH) horách za období 2004 – 2009  
**Fig. 2.** Box plot of phosphorus concentrations in current and one-year-old needles in evaluated regions in the period 2004 – 2009

**Tab. 2.**

Fosfor, porovnání výběrů, nezávislé vzorky,  $\alpha = 0,05$   
Phosphorus, comparison of choices, independent samples

Ročník jehličí/Needle class	n	Srovnávaná dvojice/Compared couple	Test shody rozptylů <sup>1</sup>	Test shody průměrů <sup>2</sup>
C	JH - 114	JH - LH	rozdílné/different	rozdílné/different
	LH - 60	JH - OH	rozdílné/different	rozdílné/different
	OH - 60	LH - OH	rozdílné/different	rozdílné/different
C + 1	JH - 114	JH - LH	shodné/identical	shodné/identical
	LH - 60	JH - OH	rozdílné/different	rozdílné/different
	OH - 60	LH - OH	rozdílné/different	rozdílné/different

JH - Jizerské hory Mts. <sup>1</sup> Fisher-Snedecor F-test of the variances of two populations

LH - Lužické hory Mts. <sup>2</sup> Student t-test of population means

OH - Orlické hory Mts.

**Tab. 3.**

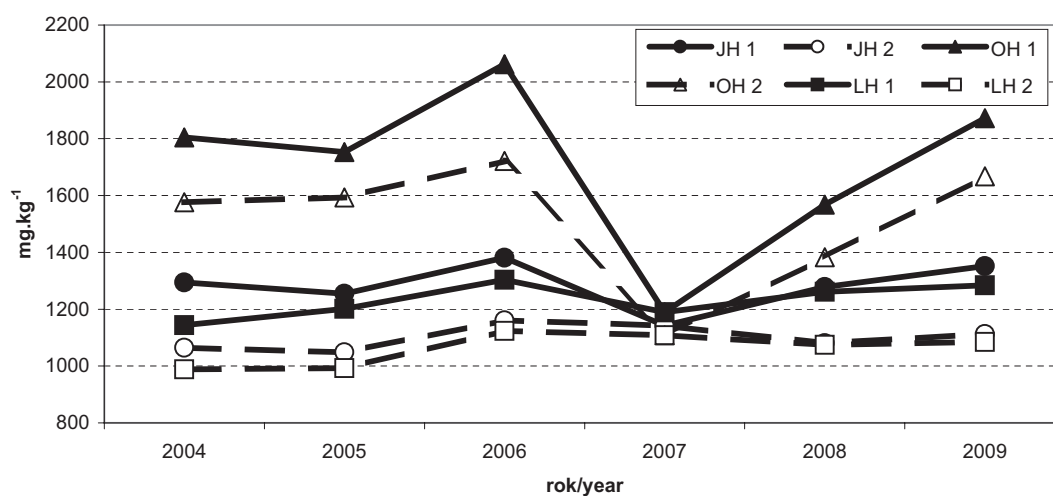
Dusík, porovnání výběrů, nezávislé vzorky,  $\alpha = 0,05$   
Nitrogen, comparison of choices, independent samples

Ročník jehličí/Needle class	n	Srovnávaná dvojice/Compared couple	Test shody rozptylů <sup>1</sup>	Test shody průměrů <sup>2</sup>
C	JH - 114	JH - LH	rozdílné/different	shodné/identical
	LH - 60	JH - OH	shodné/identical	rozdílné/different
	OH - 60	LH - OH	rozdílné/different	shodné/identical
C + 1	JH - 114	JH - LH	rozdílné/different	shodné/identical
	LH - 60	JH - OH	shodné/identical	shodné/identical
	OH - 60	LH - OH	rozdílné/different	shodné/identical

JH - Jizerské hory Mts. <sup>1</sup> Fisher-Snedecor F-test of the variances of two populations

LH - Lužické hory Mts. <sup>2</sup> Student t-test of population means

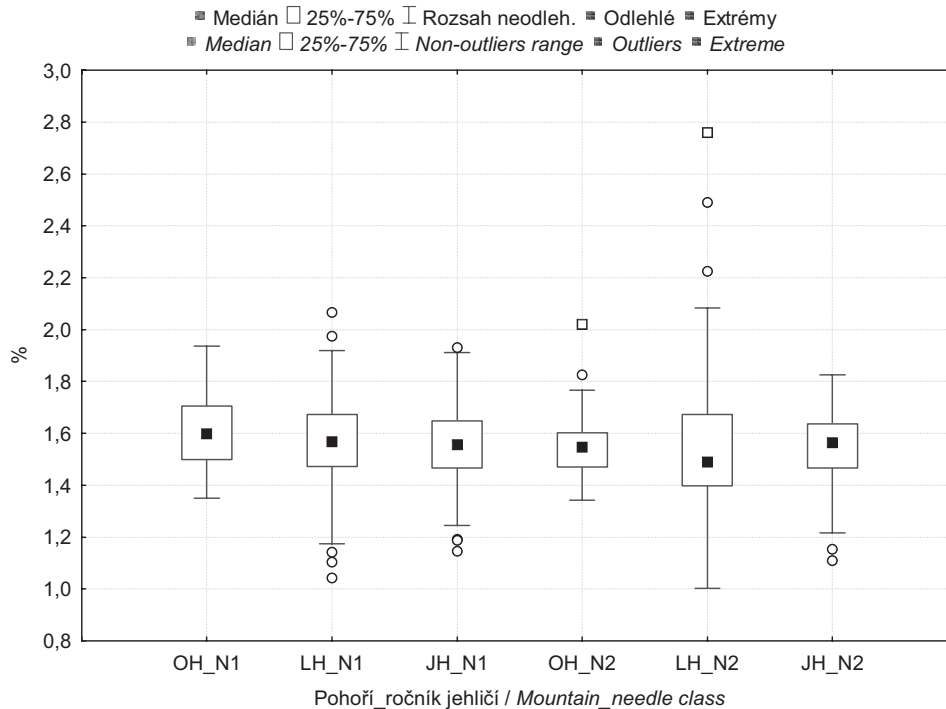
OH - Orlické hory Mts.

**Obr. 3.**

Průměrné koncentrace P v 1. (P1) a 2. (P2) ročníku jehličí v Jizerských, Lužických a Orlických horách za období 2004 – 2009

**Fig. 3.**

Average concentrations of P in current (P1) and one-year-old (P2) needles in the Jizerské, Lužické and Orlické Mts. in the period 2004 – 2009

**Obr. 4.**

Krabicový graf koncentrace dusíku v 1. (P1) a 2. (P2) ročníku jehličí v Jizerských (JH), Lužických (LH) a Orlických (OH) horách za období 2004 – 2009

**Fig. 4.**

Box plot of nitrogen concentration in current and one-year-old needles in evaluatead regions in the period 2004 – 2009

porostů byly v posledních pěti letech nižší než defoliace smrku ztepilého v ČR stanovená v rámci programu ICP Forests (BOHÁČOVÁ et al. 2009) a srovnatelná s hodnocením defoliace smrku ztepilého prováděným v rámci Evropy, kde se pohybuje v rozmezí od 20 do 25 % (FISHER et al. 2010).

#### Změny obsahu fosforu v asimilačních orgánech

V krabicovém grafu (obr. 2) jsou pro sledovaná pohoří uvedeny hodnoty koncentrace fosforu v prvním a druhém ročníku jehličí za období 2004 – 2009. Nejvyšší střední hodnoty (vyjádřeno mediánem) jsou u vzorků z Orlických hor, nejnižší jsou v jehličí smrků z Lužických hor. Platí to pro oba sledované ročníky jehličí. Při porovnání hodnot v jednotlivých pohořích podle ročníků (viz tab. 2) byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi Orlickými horami, kde jsou koncentrace fosforu vyšší, a mezi ostatními dvěma regiony. U jednoletého (nejmladšího) ročníku jehličí jsou významné rozdíly i mezi Lužickými a Jizerskými horami. Robustní test shody rozptylů (necitlivý k odlehlým hodnotám) v tomto případě rozptýly za rozdílné neoznačil, průměry statisticky významně rozdílné jsou. Zvolená hladina významnosti je 0,05.

Při porovnání změn koncentrací P v jehličí v čase jsme hodnotili poslední šestileté období. V Jizerských horách je během období 2004 – 2009 zřejmý vyrovnaný průběh koncentrací v 1. ročníku jehličí (obr. 3), pohybující se nad hranicí nedostatku, za kterou je považováno rozmezí 1 100 – 1 200 mg. P kg<sup>-1</sup> (HÜTTL 1988; MATERNA 1989; POLE et al. 1992; JONSSON et al. 2004). Zjištěné hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 867 do 2 037 mg.kg<sup>-1</sup> a medián dosáhl hodnoty 1 317,5 mg.kg<sup>-1</sup>. Koncentrace fosforu ve druhém ročníku jehličí se

pohybovaly v nižších hodnotách (medián 1 092,7 mg.kg<sup>-1</sup>), stanovený rozsah hodnot byl 673 – 1 586 mg.kg<sup>-1</sup>.

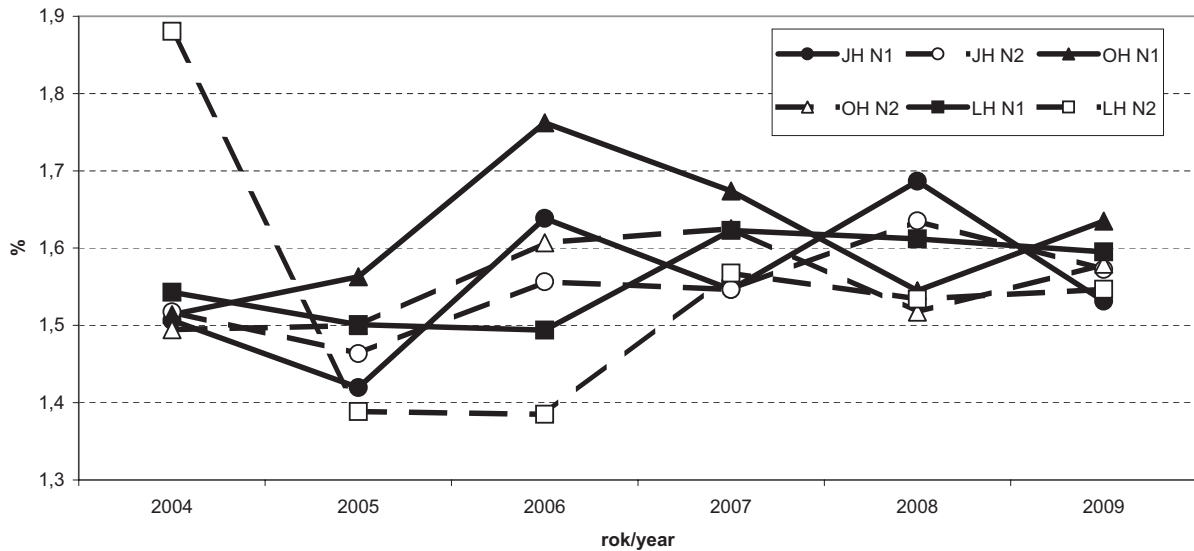
Až na výjimku v roce 2007 dosahovaly v Orlických horách (obr. 3) oba ročníky jehličí výrazně vyšších koncentrací P, než je hodnota nedostatku. Obsahy P se pohybovaly v rozsahu 1 028 – 2 525 mg.kg<sup>-1</sup> v 1. ročníku a 880 – 2 401 mg.kg<sup>-1</sup> v druhém ročníku jehličí. I hodnoty mediánu byly výrazně vyšší 1 674,1 a 1 463,9 mg.kg<sup>-1</sup> ve srovnání s dalšími hodnocenými pohořími. I přes mírně stoupající trend byly nejnižší hodnoty koncentrace P v jehličí, ležící na hranici a nebo pod hranicí nedostatku, zjištěny v Lužických horách. Pro 1. ročník jehličí smrků z Lužických hor v období 2004 – 2009 je medián 1 212,4 mg.kg<sup>-1</sup> a pro 2. ročník pak 1 062,1 mg.kg<sup>-1</sup>. Výrazně nižší byly i rozsahy hodnot v Lužických horách 970 – 1 575 mg.kg<sup>-1</sup> a 813 – 1 539 mg.kg<sup>-1</sup> v 1. a 2. ročníku jehličí.

Na obrázku 4 je uveden krabicový graf pro koncentrace N stanovené v obou ročnících jehličí ve sledovaných oblastech v období 2004 – 2009. Mediány se pohybují mezi hodnotami 1,5 – 1,6 % ve všech regionech, a to v obou sledovaných ročnících jehličí. Při testování rozdílů mezi pohořími nebyly na hladině významnosti 0,05 zjištěny rozdíly mezi průměry. U rozptylů byly zjištěny rozdíly u Lužických hor, kde byly nejčastěji zjištěny odlehlé hodnoty (viz tab. 3).

I když v jehličí smrkových porostů střední a západní Evropy byl zjištěn trend k poklesu koncentrací dusíku (MELLERT et al. 2004, 2008), z výsledků prezentovaných na obrázku 5 vyplývá, že koncentrace N v jehličí v Jizerských horách mají během sledovaného období stoupající tendenci, která je výraznější u druhého ročníku jehličí. Vyrovnané jsou hodnoty mediánů 1,580 a 1,575 % zjištěné pro 1. a 2. ročník jehličí, rovněž rozsahy hodnot jsou si velmi blízké (1,145 – 1,931 % a 1,10 – 1,826 %). Slabší nárůst koncentrací dusíku byl zjištěn v jehličí odebra-

ném v Orlických horách. Hodnoty mediánů 1,589 a 1,547 % jsou vyšší než hodnoty stanovené v Jizerských horách, stejně tak rozsahy obsahů N 1,349 – 1,937 % stanovené v 1. ročníku jehličí a 1,342 – 2,021 % ve 2. ročníku jehličí. Mírný nárůst koncentrací dusíku v jehličí je v obou uvedených oblastech pravděpodobně ovlivněn depozicemi dusíku, které mají stabilní charakter. V Jizerských a Orlických horách se cel-

ková depozice na volné ploše pohybuje v rozmezí od 10,1 do 18,5 kg. ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (SLODIČÁK et al. 2009; BOHÁČOVÁ et al. 2009). Hodnoty na hranici výrazného nedostatku obsahu N v jehličí (1,00 %), stejně jako vysoké hodnoty nad 2,00 % byly zjištěny ve smrkovém jehličí odebraném v Lužických horách. Slabý trend nárůstu koncentrací N byl patrný v 1. ročníku jehličí. Mediány s hodnotami 1,567 % pro

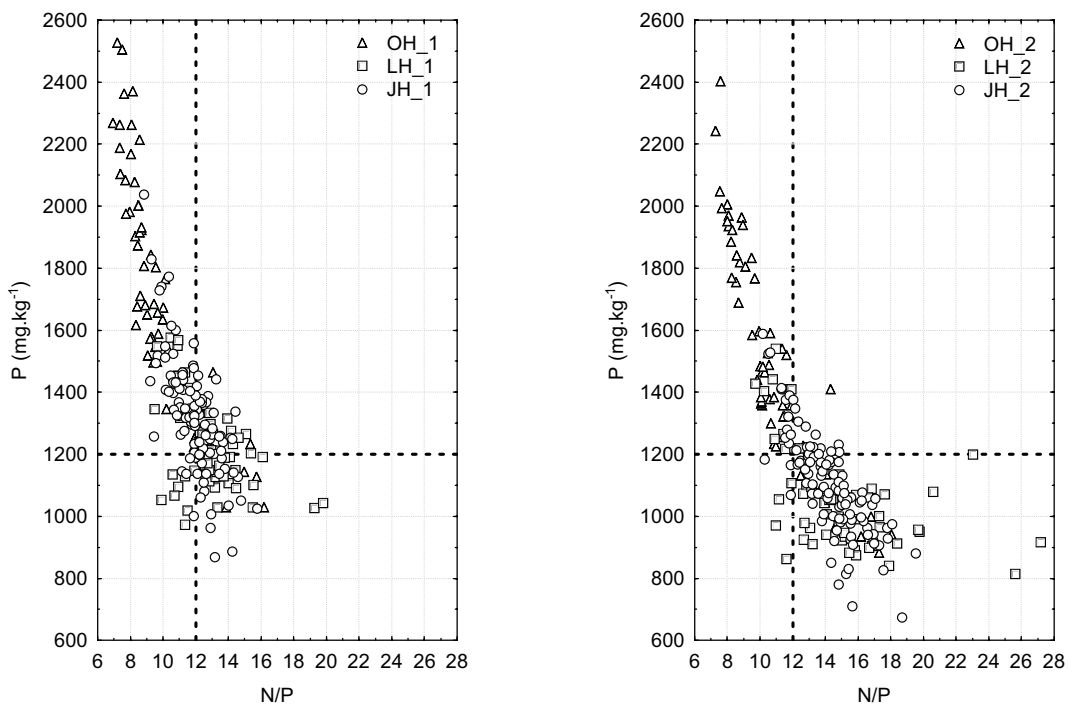


**Obr. 5.**

Průměrné koncentrace N v 1. (N1) a 2. (N2) ročníku jehličí v Jizerských, Lužických a Orlických horách za období 2004 – 2009

**Fig. 5.**

Average concentration of N in current (N1) and one-year-old (N2) needles in the Jizerské, Lužické and Orlické Mts. in the period 2004 – 2009

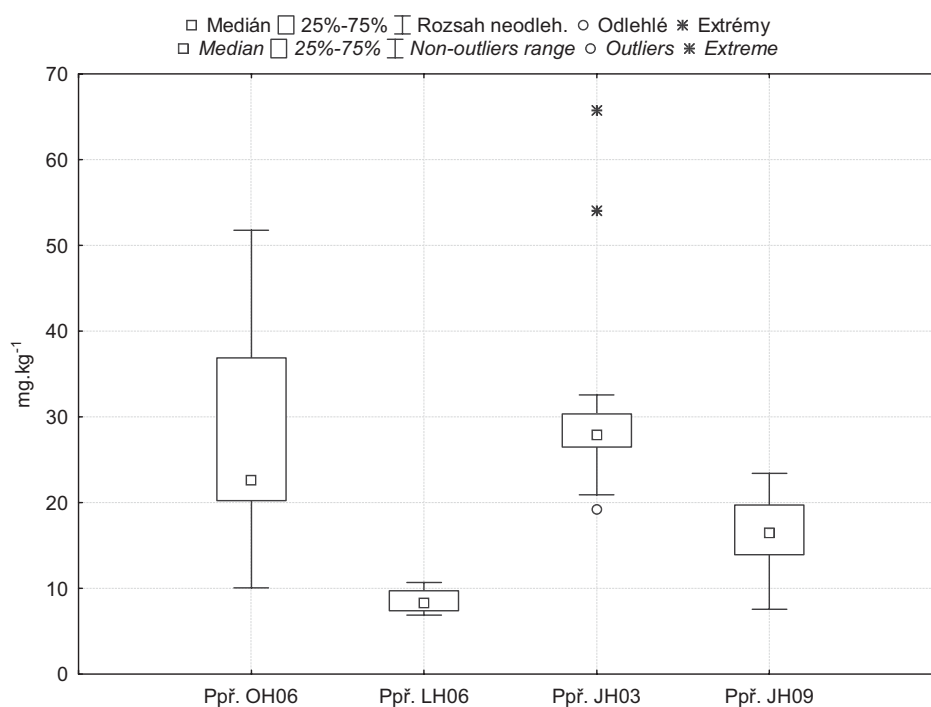


**Obr. 6.**

Korelace mezi koncentrací P a poměrem N/P odděleně pro 1. a 2. ročník jehličí pro všechny hodnocené pohoří (OH, LH, JH) za období 2004 – 2009

**Fig. 6.**

Correlation between P concentration and N/P ratio separately for the current (1) and one-year-old (2) needles for all evaluated regions (OH, LH, JH) in the period 2004 – 2009

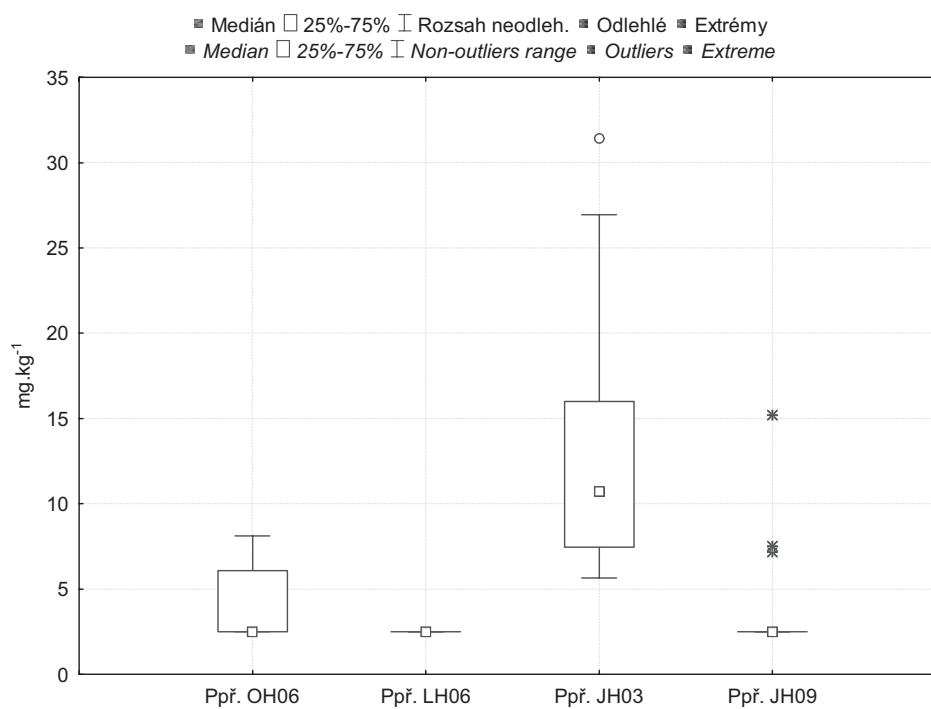


**Obr. 7.**

Krabicový graf koncentrace P v nadložním humusu odebraném na pokusných plochách v roce 2006 v Lužických (LH) a Orlických (OH) horách a v roce 2003 a 2009 v Jizerských horách (JH)

**Fig. 7.**

Box plot of P concentration in humus layer taken in sample plots in 2006 in the Lužické (LH) and Orlické Mts. (OH) and in 2003 and 2009 in the Jizerské Mts. (JH)



**Obr. 8.**

Krabicový graf koncentrace P v minerální půdě odebrané na pokusných plochách v roce 2006 v Lužických (LH) a Orlických (OH) horách a v roce 2003 a 2009 v Jizerských horách (JH)

**Fig. 8.**

Box plot of P concentration in mineral soil taken in sample plots in 2006 in the Lužické (LH) and Orlické Mts. (OH) and in 2003 and 2009 in the Jizerské Mts. (JH)



1. ročník (rozsah 1,043 – 2,066 %) a 1,490 % pro 2. ročník jehličí (rozsah 1,002 – 2,759 %) jsou srovnatelné s předcházejícími hodnotami stanovenými v Jizerských a Orlických horách.

#### Změny rovnováhy výživy (poměru N/P) během sledovaného období

Pro hodnocení stavu výživy lesních porostů byly stanoveny základní poměry mezi živinami (HÜTTL 1986) a byly využívány pro hodnocení vyvážené výživy (HÜTTL 1990; STEFAN, HERMAN 1996; LINDER 1995; LUYSSAERT 2004). Na obrázku 6 jsou uvedeny pro oba ročníky jehličí korelace mezi koncentrací P v jehličí a poměrem N/P pro plochy v Jizerských, Orlických a Lužických horách. Optimální rozsah tohoto poměru byl stanoven v rozmezí 6 – 12 (HÜTTL 1986). Rovněž provedený německý průzkum výživy považoval za horní kritickou hranici N/P hodnotu 12 u smrku ztepilého (ILG et al. 2009).

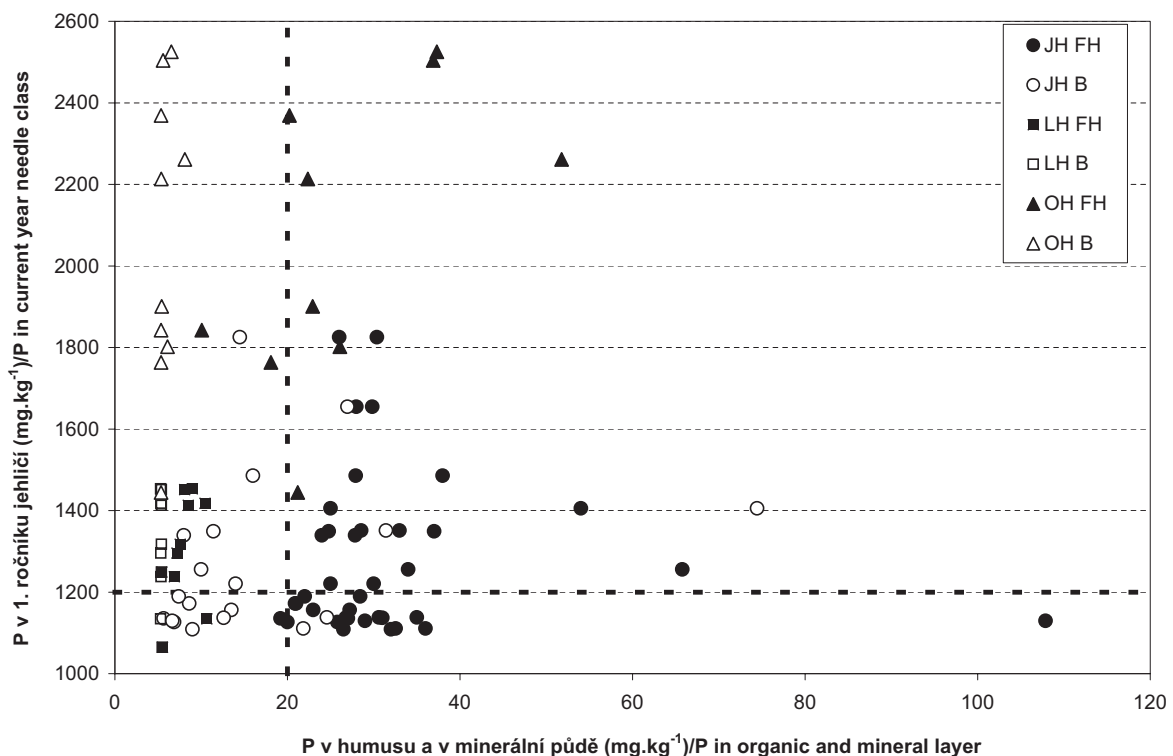
Posuny poměru směrem nad horní hranici jsou spojovány s vyšším vstupem dusíku do lesního ekosystému a nižší dostupností fosforu v minerální půdě. Navýšení foliárního poměru N/P indikovalo narušenou rovnováhu výživy u smrkových porostů ve střední a západní Evropě (MOHREN et al. 1986; MELLERT et al. 2004, 2008). Nejvýraznější překročení horní hranice optimálního rozmezí poměru N/P, začínající při obsahu P v jehličí cca 1 400 mg.kg<sup>-1</sup>, bylo zjištěno v Lužických horách, kde za sledované období 60 % vzorků 1. ročníku jehličí a 77 % 2. ročníku jehličí překročilo horní mez. Hodnota mediánu poměru N/P byla pro 1. ročník jehličí 12,8 a 14,6 pro 2. ročník jehličí. V Jizerských horách překročilo horní mez 37 % vzorků 1. ročníku jehličí (od koncentrace 1 600 mg.kg<sup>-1</sup>) a 63 % vzorků 2. ročníku jehličí. Hodnota mediánu poměru N/P byla pro 1. ročník jehličí 11,4 a 13,0 pro 2.

ročník jehličí. K výraznému posunu poměru došlo v posledních pěti letech. V Orlických horách je překročení horní hranice zjištěno při koncentraci 1 460 mg P.kg<sup>-1</sup> a je nejméně výrazné, pouze 18 % vzorků 1. ročníku jehličí a 23 % vzorků 2. ročníku jehličí překročilo horní mez indikující v asimilačních orgánech problém ve výživě fosforem. Hodnota mediánu poměru N/P byla pro 1. ročník jehličí 9,3 a 10,2 pro 2. ročník jehličí. Hodnoty poměru N/P mohou indikovat nastupující nedostatek ve výživě fosforem, proto lze tento poměr použít jako rychlý indikátor pro predikci omezení výživy a růstu (BRAUN et al. 2010) u lesních porostů, podobně jako byl tento poměr použit pro přízemní vegetaci (OHEIMB et al. 2010).

Aktualizace optimálních foliárních poměrů živin pro smrk a další dřeviny se při současné depoziční zátěži lesních ekosystémů jeví jako nezbytná.

#### Obsahy P v humusu a minerální půdě

Na obrázcích 7 a 8 jsou uvedeny koncentrace P v nadložním humusu a minerální půdě odebrané na pokusných plochách v roce 2006 v Lužických a Orlických horách a v roce 2003 a 2009 v Jizerských horách. Půdní reakci (pH KCl) lze ve všech oblastech označit jako silně kyselou. Nejnižší hodnoty mediánu byly zjištěny v Lužických horách 3,29, vyšší v Orlických horách 3,42. V Jizerských horách došlo mezi odběry k poklesu z 3,54 na 3,36. Nejnižší střední koncentrace fosforu v humusovém horizontu byla zaznamenána v odběrech v Lužických horách, což se odráží v nedostatku P v asimilačních orgánech. V Jizerských horách byl zaznamenán pokles koncentrace fosforu – v roce 2003 byl medián koncentrací fosforu ze 17 odebraných ploch 27,9 mg.kg<sup>-1</sup>,



Obr. 9.

Koncentrace P v humusové vrstvě (FH), v minerální půdě (B) a v 1. ročníku jehličí na pokusných plochách v roce 2006 v Lužických (LH) a Orlických (OH) horách a v roce 2009 v Jizerských horách (JH)

Fig. 9.

Concentration of P in humus layer (FH), in mineral soil (B) and in the current year-needle class in sample plots in 2006 in the Lužické (LH) and Orlické (OH) Mts. and 2009 in the Jizerské Mts. (JH)



v roce 2009 byl medián koncentrací fosforu z 18 odebraných ploch 16,5 mg.kg<sup>-1</sup>. Medián pro fosfor v humusu v Orlických horách byl z 10 odebraných ploch 22,6 mg.kg<sup>-1</sup>. V Orlických horách je výrazný rozdíl mezi obsahy přístupného P v nadložním humusu a minerální půdě. Vyšší obsahy přístupného P v humusové vrstvě korespondují s vyššími obsahy P v asimilačních orgánech.

U všech deseti odběrů v Lužických horách byla koncentrace fosforu v minerálním horizontu pod mezí analytické metody (5 mg P.kg<sup>-1</sup>), v odběrech z Jizerských hor v roce 2009 byla tato situace u šestnácti odběrů z celkových devatenácti. U Jizerských hor se tedy jedná o výrazné zhoršení obsahu přístupného fosforu v porovnání s odběry z roku 2003. Zjištěné výsledky jsou v souladu s hodnotami charakterizujícími velmi nízké až nízké zásoby fosforu, které byly stanoveny řadou odběrů různých pracovišť (SLODIČÁK et al. 2009). Nízké koncentrace přístupného fosforu v humusové vrstvě a v minerální půdě potvrzují pro řadu lesních oblastí také průzkumy provedené ÚKZÚZ (MATERNA 2002).

Při porovnání koncentrací přístupného P v humusu a minerální půdě a koncentrace P v 1. ročníku jehličí v daném odběrovém roce je z obrázku 9 zřejmé, že v kritické oblasti výživy je nejvíce vzorků z Jizerských a Lužických hor. Pouze vzorky z Orlických hor zůstávají mimo tuto oblast. V kritické oblasti výživy, která je charakterizována deficitními koncentracemi P v minerální půdě a v jehličí, leží 70 % vzorků odebraných v Lužických horách a 58 % vzorků z Jizerských hor. Budoucnost smrkových porostů na těchto plochách může být, při současných parametrech výživy fosforem, při pokračující acidifikaci lesních půd a dosud výrazné depozici dusíku, vážně ohrožena.

## ZÁVĚR

Z hlediska zdravotního stavu jsou sledované smrkové porosty srovnatelné, jejich defoliace korun se pohybuje v rozmezí od 20 do 25 %. V jehličí, zvláště ve druhém ročníku, byly během posledních šesti let zjištěny nízké koncentrace fosforu ležící na a pod hranici nedostatečné výživy. Koncentrace P byly nejvyšší v jehličí odebraném v Orlických horách, kde se pohybovaly v rozmezí 1 400 – 2 000 mg.kg<sup>-1</sup> a v hodnoceném období (2002 – 2009) měly vyrovnaný průběh. Mírná tendence k poklesu koncentrací v jehličí se projevuje v Jizerských horách (1 000 – 1 400 mg.kg<sup>-1</sup>). Deficitní koncentrace byly stanoveny jak v 1., tak ve 2. ročníku jehličí v Lužických horách (1 000 – 1 400 mg.kg<sup>-1</sup>). Důležitou roli v narušení rovnováhy výživy v Lužických, stejně jako v Jizerských a Orlických horách, má pokračující atmosférická depozice dusíku. Narušená rovnováha minerální výživy se odráží ve všech pohořích změnou poměru N/P (6 – 12). Výrazný podíl obsahů P v 1. ročníku jehličí a skoro polovina obsahů P ve 2. ročníku jehličí leží v rozmezí N/P 12 – 18 v Jizerských horách a v rozmezí 12 – 27 v Lužických horách. Porovnání obsahů P v jehličí a v minerální půdě ukázalo, že v kritické oblasti výživy, která je charakterizována deficitním obsahem P v jehličí a v minerální půdě, leží 70 % půdních vzorků odebraných v Lužických horách a 58 % vzorků z Jizerských hor. Pokračující depozice dusíku, okyselování půdního prostředí, snižující se dostupnost P a stoupající poměry N/P v jehličí indikují pro blízkou budoucnost problém ve výživě P smrkových porostů na většině sledovaných ploch v Lužických a Jizerských horách. Změny ve výživě P se prozatím neprojevují na zdravotním stavu a růstu porostů, přesto lze poměr N/P využít jako rychlý indikátor stavu výživy smrkových porostů.

## Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MZe000207203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

## LITERATURA

- BOHÁČOVÁ L., LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2009. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests/Forest Focus 2006 a 2007. Strnady, VÚLHM: 134 s.
- BRAUN S., THOMAS V. F. D., QUIRING R., FLUCKINGER W. 2010. Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. *Environmental Pollution*, 158/6: 2043-2052.
- BRITTON A., FISHER J. 2007. NP stoichiometry of low-alpine heathland: Usefulness for biomonitoring and prediction of pollutants impacts. *Biological Conservation*, 138/1-2: 100-108.
- ERICSSON A., NORDEN L. G., NÄSHOLM T., WALHEIM M. 1993. Mineral nutrient imbalances and arginine concentrations in needles of *Picea abies* (L.) KARST from two areas with different levels of airborne deposition. *Trees*, 8: 67-74.
- FENN M. E., PEREA-ESTRADA V. M., DE BAUER L. I., PEREZ-SUAREZ M., PARKER D. R., CETINA-ALCALA V. M. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the Basin of Mexico. *Environmental Pollution*, 140/2: 187-199.
- FISCHER R. et al. 2010. Forest condition in Europe. 2010 Technical report of ICP Forests. [on-line]. Hamburg, Institute for World Forestry: 175 s. [cit. 14. listopadu 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.icp-forests.org/pdf/TR2010.pdf>
- GUSEWELL S. 2004. N/P ratios in terrestrial plants: variations and functional significance. *New Phytologist*, 164/2: 243-266.
- HAGERBERG D., THELIN G., WALLANDER H. 2003: The production of ectomycorrhizal mycelium in forests: Relation between forest nutrient status and local mineral sources. *Plant and Soil*, 252: 279-290.
- HÜTTL R. F. 1986. Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen in Südwestdeutschland am Beispiel Oberschwaben. *Kali-Briefe*, 17: 1-7.
- HÜTTL R. F. 1988. „New type“ of forest decline and restabilization/revitalization strategies. A programatic focus. *Water, Air and Soil Pollution*, 41: 95-111.
- HÜTTL R. F. 1990. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 128: 45-58.
- HÜTTL R. F., SCHAAF W. 1997. Magnesium deficiency in forest ecosystems. London, Kluwer Academic Publishers: 362 s.
- ILG K., WELLBROCK N., LUX W. 2009. Phosphorus supply and cycling at long-term forest monitoring sites in Germany. *European Journal of Forest Research*, 128: 483-492.
- JOHNSON A. M., INGERSLAV M., RAULUND-RASMUSSEN K. 2004. Frost sensitivity and nutrient status in a fertilized Norway spruce in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 201/2-3: 199-209.
- 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.
- 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. 1989. Mineral nutrition of Norway spruce stands in the western part of Czechoslovakia. *Lesnictví*, 35: 975-982.
- MATERNA J. 2003. Výsledky průzkumu výživy lesních porostů v lesích ČR. Brno, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský: 125 s.
- 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.
- MELLERT K. H., PRIETZEL J., STRAUSSBERGER R., REHFUESS K. E., KAHLE H. P., PEREZ P., SPIECKER H. 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *European Journal of Forest Research*, 127: 507-524.
- MOHREN G. N., VAN DEN BURG J., BURGER F. W. 1986. Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir in Netherlands. *Plant and Soil*, 95: 191-200.
- OHEIMB G. VON, POWER S. A., FALK K., FRIEDRICH U., MOHAMED A., KRUG A., BOSCHATZKE N., HÄRDITL W. 2010. N : P ratio and the nature of nutrient limitation in Calluna-dominated heathlands. *Ecosystems*, 13: 317-327.
- POLLE A., MÖSSNANG M., SCHÖNBORN A., SLADKOVIC R., RENNENBERG H. 1992. Field studies on Norway spruce trees at high altitudes. *New Phytologist*, 121: 89-99.
- POTILA H., WALLANDER H., SARJALA T. 2009: Growth of ectomycorrhizal fungi in drained peatland forests with variable P and K availability. *Plant and Soil*, 316: 139-150
- RENOU-WILSON F., FARRELL F. P. 2007. The use of foliage and soil information for managing the nutrition of Sitka and Norway spruce on cutaway peatlands. *Silva Fennica*, 41/3: 409-424.
- ROSENGREN-BRINCK U., NIHLGARD B. 1995. Nutritional status in needles of Norway spruce in relation to water and nutrient supply. *Ecological Bulletins*, 44: 168-177.
- SAARSALMI A., MÄLKÖNEN E. 2001. Forest fertilization research in Finland: A literature review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16: 514-535.
- SALIH N., ANDERSSON F. 1999. Nutritional status of Norway spruce stand in SW Sweden in response to compensatory fertilization. *Plant and Soil*, 209: 85-100.
- SCHULZE E-D., BECK E., MÜLLER-HOHENSTEIN K. 2005. *Plant Ecology*. Berlin, Springer Verlag: 702 s.
- ŠLODIČÁK M. et al. 2009. Lesnické hospodaření v Jizerských horách. *Lesnická práce*: 232 s.
- STEFAN K., HERMAN F. 1996. Nutrient contents of spruce needles from the Tyrolean Limestone Alps. *Phyton*, 36/4: 231-244.
- TKACZ B., MOODY B., CASTILLO J. V., FENN M. E. 2008. Forest health conditions in North America. *Environmental Pollution*, 155/3: 409-425.
- UN-ECE. 2010. International co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. [online]. Hamburg, UNECE, ICP Forests. [cit. 14. listopadu 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.icp-forests.org/Manual2010.htm>.
- WALLANDER H. 2000. Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonised by different ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 218: 249-256
- WOLFF B., RIEK W. 1997. *Deutscher Waldbodenbericht*. Bonn, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

## CHANGES IN PHOSPHORUS SUPPLY IN THE YOUNG STANDS OF NORWAY SPRUCE

## SUMMARY

Long-term direct effect of sulphur emission on the forest stands and soils in the past and high nitrogen deposition today play a role in forest stand nutrition, mainly in the northern mountain ridges of CR. The contribution shows changes in phosphorus supply in the long-term investigated spruce stands in the Lužické, Jizerské and Orlické Mts. Results of the foliar analyses between 2004 – 2009, and soil survey done within these regions, are evaluated. With respect to the health status (crown defoliation) all the spruce stands investigated are comparable, crown defoliation ranging between 20 and 25%. In the needles, mainly in the second needle-year class, low phosphorus concentrations, even under insufficient level, were measured during the last six years. The P concentrations were the highest in needle samples taken in the Orlické Mts.; they were ranging between 1,400 – 2,000 mg.kg<sup>-1</sup> and of levelled development. Slight tendency to decrease of concentrations in the needles can be observed in the Jizerské Mts. (1,000 – 1,400 mg.kg<sup>-1</sup>). The lowest, deficit concentrations, were stated in the the first and second needle-year class of samples taken in the Lužické Mts. (1,000 – 1,400 mg.kg<sup>-1</sup>). Ongoing deposition of nitrogen in the forest ecosystems plays an important role in the Lužické, as well as in the Jizerské and Orlické Mts. Disturbed nutrition balance is reflected in disturbed N/P ratio (6 – 12) in all mountain regions investigated. Significant part of the samples of the first needle-year class and a half of the samples of the second needle-year class have P amount within N/P ration between 12 – 18 in the Jizerské Mts., and between 12 – 27 in the Lužické Mts. Comparing of P amount in the needles and in mineral soil shows that about 70% of the soil samples taken in the Lužické Mts., and 58% of samples in the Jizerské Mts. is in the critical range, characterized by deficit P amount in needles and soil. Only samples from the Orlické Mts. are over this range. Ongoing nitrogen deposition, acidification of the soil environment, decreasing P availability and growing N/P ratio in needles indicate problems in P supply in the spruce stands in most of the plots investigated in the Lužické and Jizerské Mts., in the near future. Up to date, changes in P supply are not reflected in the health state of forest stands, however, N/P ratio can be used as a fast indicator of the nutrition balance of the spruce stands.

Recenzováno

## ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

doc. RNDr. Bohumír Lomský, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 221; e-mail: lomsky@vulhm.cz