

## STAV POVRCHOVÝCH PŮDNÍCH VRSTEV A VÝŽIVA SMRKOVÝCH POROSTŮ V PŘÍRODNÍ LESNÍ OBLASTI ČESKÝ LES

### CONDITIONS OF SURFACE SOIL LAYERS AND MINERAL NUTRITION OF NORWAY SPRUCE STANDS IN THE NATURAL FOREST AREA BOHEMIAN FOREST

PŘEMYSL FIALA - JAN MATERNA - DUŠAN REININGER - TOMÁŠ SAMEK

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

#### ABSTRACT

The Natural forest area Bohemian Forest was not heavily influenced by air pollution load in the past, in comparison with other areas within the territory of the Czech Republic. Nevertheless some indications on Norway spruce stands occurred commonly connected with the air pollution impact. A survey of Norway spruce conditions was conducted to detect, whether there are differences in comparison with forests in the rest of the Hercynian part of the country. Some heavily polluted areas of this Hercynian part are included. The surface soil layers in Bohemian Forest do not distinctly differ in soil reaction and the concentration of nutrients as well. The only exception is the calcium concentration that is substantially lower in the soils in this area. Significant differences could not be detected in the composition of Norway spruce needles. A comparison of the results between two surveys (1998 and 2001) demonstrated above all a decrease in concentration of calcium and phosphorus in the humus layer and in the top mineral soil, too. Concentration of magnesium in the Norway spruce needles was reduced. In the humus layer and in spruce needles some significant correlations between individual elements could be detected, but it was not possible to find out an antagonism between the concentration of nitrogen and other nutrients in the needles.

**Klíčová slova:** půdní průzkum, smrk, živiny, hliník, olovo, listová analýza, minerální výživa, Český les

**Key words:** soil survey, Norway spruce, nutrients, aluminium, lead, leaf analysis, mineral nutrition, Bohemian forest

#### ÚVOD

Řada výsledků starších prací vedla k poznání, že mimo intenzivního, přímého vlivu znečištěného ovzduší na vegetaci, existuje i nepřímý vliv, prostřednictvím změn v růstovém prostředí, zejména půdních změn (WIELER 1905, STOKLASA 1923, NĚMEC 1958). Přitom se uplatňovaly především sloučeniny síry a rizikové prvky v prašném spadu. Větší pozornost se půdním změnám, v celém komplexu působení imisí, počala věnovat při hledání příčin tzv. „nového poškození lesů“. Souhrn poznatků o vlivu kyselé depozice (Säurehaltige Niederschläge 1983, ALCAMO et al. 1990) ukázal na rozsah i intenzitu jejich vlivu, na význam procesů spojených s jejich působením i na vliv různých scénářů snižování emisí. Depozice, především sloučenin síry a dusíku, je významnou hnací silou půdních změn, která spolu s exportem živin v biomase může ovlivňovat koloběh látek v lesních ekosystémech, minerální výživu lesních dřevin i porostů a tak i jejich stabilitu.

Je pochopitelné, že na území ve střední Evropě, které bylo dlouhodobě ovlivněno velmi vysokou úrovní znečištění ovzduší a do kterého zasahuje i podstatná část teritoria České republiky, se dají očekávat zvláště výrazné změny a eventuálně i významná rizika. Emise, zejména oxidu siřičitého, ovlivňovaly lesní ekosystémy i zdravotní stav lesních dřevin již od poloviny 19. století a rozhodujícím způsobem ve druhé polovině 20. století. I přesto, že emise oxidů síry byly podle mezinárodních dohod v průběhu druhé poloviny 80. let a v 90. letech minulého století významně

redukovány a ke zlepšení došlo i u některých dalších sledovaných látek, rizika tím nejsou zcela odstraněna. Zejména půdní změny, vzhledem k jejich kumulativnímu charakteru, mohou přetrvávat dlouhou dobu i po skončení intenzivního vlivu znečištěného ovzduší. Je proto pochopitelná snaha získat informace o stavu lesních půd a především zásobách biogenních i rizikových prvků v nich (Deutscher Waldbodenbericht 1996, 1997).

Proto MZe ČR rozhodlo v r. 1992 o zahájení průzkumu stavu povrchových půdních vrstev horizontů a průzkumu stavu výživy hlavních lesních dřevin v lesích ČR, spadajících do jeho správy. Šlo o to, doplnit soustavu informací o stavu lesních půd, která zatím obsahovala:

- informace o půdě získávané během stanovištního průzkumu ÚHÚL,
- údaje získávané od roku 1979 v pětiletých periodách na plochách TZP, především v oblastech silně zatížených imisemi,
- informace na plochách monitoringu ICP Forests v pravidelné síti, pokrývající lesy v celé ČR.

Průzkum měl podstatně zahustit stávající místa odběrů a poskytnout podrobnější informace o tom, v jakém stavu jsou povrchové vrstvy horizonty lesních půd a výživa lesních dřevin. Tyto informace mají být využitelné především k posouzení nezbytnosti melioračních zásahů a hnojení, jednak v oblastech silně zatížených, dále tam, kde se připravuje ve větším rozsahu přeměna porostů, v genových základnách a postupně i na dalších místech.

Tento program, jehož smysl byl potvrzen i začleněním do trvalých úkolů Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (zákon č. 156/1998), zahrnul v období 1992 - 1999 většinu významných, významně ohrožených přírodních lesních oblastí v hercynské části ČR a v dalších letech byl rozšířen i na další přírodní lesní oblasti v karpatské části. V přírodní lesní oblasti 01 Krušné hory proběhl průzkum jako první (1992/1993) a pokračoval a pokračuje podle jednotlivých přírodních oblastí (PLÍVA, ŽLÁBEK 1986).

První část výsledků byla shrnuta v přehledu, týkajícího se přírodních lesních oblastí zpracovaných do roku 1999, a to jak výsledky půdních analýz (MATERNA 2002), tak i výsledky listových analýz (MATERNA 2003). Vesměs jde o přírodní lesní oblasti spadající do hercynské části ČR, připravuje se přehled výsledků získaných v karpatské části a souhrnné zpracování a zhodnocení.

V dalším jsou zpracovány výsledky získané v přírodní lesní oblasti 11 Český les. Tato oblast je zajímavá proto, že podle různých studií jde o oblast v minulosti i současnosti málo zatíženou znečištěním ovzduší – spadem sloučenin síry a dusíku a z toho důvodu i poměrně málo ohroženou dalším vývojem (Znečištění ovzduší na území České republiky 1997 - 2001, HRUŠKA et al. 2001).

Oproti těmto, poměrně optimistickým předpokladům, existují nepříliš povzbudivé skutečnosti. Především jde o oblast, kde se od 80. let minulého století vyskytovaly v dosti značném rozsahu zřetelné poruchy výživy, projevující se charakteristickým žloutnutím smrkového jehličí (nové poškození lesů). Mimoto zde byla zjištěna jedna lokalita, kde se výživa smrkového porostu v podstatě zhroutila, to vyústilo v odumírání smrku (bývalé polesí Lesná). Šlo sice o plochu jen několika arů, byl to však významný signál.

Publikované výsledky, získané dálkovým průzkumem Země (Monitoring stavu lesa v České republice, 1984 - 2003, vyd. VÚLHM), charakterizují zdravotní stav lesů v oblasti v průběhu 1985 - 2003. Vyhodnocení družicových snímků v tomto období ukazuje na to, že dochází k poměrně rychlým změnám v intenzitě poškození, defoliace i mortality, většinou nikoliv v příznivém smyslu. Zejména to platí pro období po roce 2000, tedy pro období, kdy se již velmi podstatně snížilo zatížení ovzduší u nás i v sousedních zemích. Do jaké míry tyto změny souvisejí s dalšími změnami v kvalitě ovzduší, např. se zvýšenými koncentracemi, resp. epizodami ozonu, průběhem počasí, nebo se změnami v úrovni výživy, není jasné.

Je proto žádoucí porovnat představy, odvozené z obecnějších poznatků, se skutečným stavem v dané oblasti. Podrobné zhodnocení situace na základě výsledků půdních a listových analýz tak umožní posoudit i význam prognóz o vývoji, resp. ohrožení lesa, založených na modelových představách půdních změn a změn prostředí.

## METODIKA

odpovídá postupům, používaným v průzkumných pracích v průběhu celého období ve všech dosud zpracovaných přírodních lesních oblastech. Vzorky půdy a asimilačních orgánů odebírají po dohodě s pracovníky ÚKZÚZ pracovníci Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů. Na každé lokalitě jsou odebírány vzorky povrchového humusu ze dvou plošek 25 x 25 cm až na rozhraní s minerální půdou, vzorek z vrstvy minerální půdy obohacené humusem pod organickým horizontem (většinou cca 5 cm mocné) a jeden vzorek minerální půdy do hloubky 30 cm, pokud zde v této vrstvě nejsou výrazně odlišené další horizonty.

Směsné vzorky asimilačních orgánů z většího počtu jedinců se odebírají v listnatých porostech v druhé polovině srpna, ze stále zelených jehličnatých dřevin po skončení vegetační doby a to jednoletého a dvouletého jehličí.

Analytickým zpracováním odebraných vzorků jsou pověřeny akreditované chemické laboratoře Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Zpracování zahrnuje:

- v materiálu z organického horizontu: zjištění celkového množství nadložního humusu, pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, stanovení celkového N a po mineralizaci rozkladem lučavkou královskou P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Al, Pb, Cd;
- ve vzorcích minerální půdy: pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, celkové N, C, ve výluhu Mehlich III: P, K, Ca, Mg, ve výluhu 2 M HNO<sub>3</sub>: Mn, Fe, Zn, Cu, Al;
- ve vzorcích asimilačních orgánů: stanovení celkového obsahu N a celkového obsahu P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu po mineralizaci lučavkou královskou, v části pak byl zjišťován celkový obsah S, B, Mo.

Extrakční činidlo Mehlich III je méně obvyklé při analýze vzorků lesních půd. Srovnávací studie metod používaných ve VÚLHM a ÚKZÚZ ukázala, že výsledky získané touto metodou, pokud jde o bazické kationy Ca, Mg, K, se významně neliší od výsledků získaných ve výluhu chloridem amonným (výměnné ionty) a jsou převoditelné s vysokou mírou spolehlivosti R<sup>2</sup> = 0,918 pro draslík, 0,955 pro vápník a 0,965 pro hořčík (ZAHORNADSKÁ 2002).

### Způsob statistického zpracování

Jelikož se jedná o data z opakovaných odběrů, byly pro zpracování použity dva testy, a to t-test pro závislé vzorky nebo Wilcoxonův párový test. T-test pro závislé vzorky byl použit v případech, kdy byly splněny podmínky, že rozptyly testovaných dat jsou homogenní a zároveň, že rozdíly párových dat pocházejí z normálního rozdělení. V opačném případě byl použit neparametrický Wilcoxonův párový test. Rozdíly byly testovány na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , respektive testy jsou významné na hladině  $p < 0,0500$ . V korelační analýze je použit Pearsonův korelační koeficient

## CHARAKTERISTIKA OBLASTI

Podrobná charakteristika vymezuje tento úzký pás pohraničních lesů jako oblast s poměrně příznivými růstovými podmínkami se značným rozsahem i vysoce produkčního hospodářského souboru 57 (oglejená stanoviště vyšších poloh - 23,8 %). Bonita smrku je vázána jak na geologické podloží, tak na klimatické podmínky, expozice hraje menší úlohu (PLÍVA, ŽLÁBEK 1986).

### Znečištění ovzduší

I v době vrcholící imisní zátěže, v polovině 80. let, zůstával Český les oblastí relativně málo zatíženou. Ve směru převládajících větrů byl exponován poměrně vzdálené bavorské průmyslové oblasti v okolí Ingolstadtu, severní část byla přímo ovlivněna emisemi z elektrárny v Arzbergu. Tam se uplatňovaly i vlivy domácích zdrojů, zejména z prostoru Sokolovské pánve. Stanice Dyleň (VÚLHM) v severní části oblasti měřila v té době koncentrace oxidu siřičitého na úrovni zvýšeného pozadí. V centrální oblasti Šumavy se roční průměry koncentrací oxidu siřičitého v ovzduší pohybovaly mezi 5 a 10  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a byly tedy velmi nízké. To je pravděpodobně také úroveň, která ovlivňovala i jižní část Českého lesa. Vliv našich

zdrojů ze severních Čech byl prokázán spektrografickým rozbořením prachu i v centrální oblasti Šumavy a je tedy pravděpodobné, že zasahoval i do jižních částí Českého lesa. Nebyly a nejsou zde zdroje lokálního znečištění ovzduší, které by mohly významným způsobem ovlivnit lesní komplex.

Nízká úroveň zatížení jak oxidem siřičitým, tak oxidy dusíku přetrvává dodnes, jak je možné zjistit z ročenek Znečištění ovzduší na území České republiky ČHMÚ.

Měření na stanici Přimda charakterizují výši depozice látek ve střední části Českého lesa. Tato stanice leží přibližně v polovině přírodní lesní oblasti, která se táhne v poměrně úzkém pruhu podél jihozápadní hranice ČR, v délce cca 100 km. Je proto sotva reprezentativní pro celé území, nicméně s přihlédnutím k hodnocení ČHMÚ, jak je rozloženo zatížení na území ČR, měla by být celá sledovaná oblast bez výraznějších vnitřních odlišností.

Vstup látek do lesních porostů na této lokalitě je dán těmito hlavními parametry (podle údajů ročenek ČHMÚ: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1997 - 2000):

**Tab. 1.**

Vstup látek do lesních porostů - celková depozice na volné ploše  
Entry of substances into forest stands – total deposition on open space

Celková roční depozice/ Total annual deposition (kg.ha <sup>-1</sup> )	Rok/Year			
	1997	1998	1999	2000
síra/sulphur	8,9	5,9	5,4	5,8
dusík/nitrogen	17,0	12,3	14,2	9,5
vodíkové ionty/hydrogen ions	0,22	0,19	0,31	0,13
vápník/calcium	4,1	2,8	3,3	3,1
hořčík/magnesium	0,7	0,5	0,5	0,3
draslík/potassium	2,4	2,2	1,9	1,2

Rok 1997 ještě reprezentuje období s poměrně vysokými emisemi oxidů síry na území ČR. Program jejich celkového snížení byl dokončen až v roce 1998. Rok 1999 však již odpovídá stavu po dokončení výrazné redukce emisí SO<sub>2</sub>. Tento pokles se promítá i do výsledků měření depozice síry i dusíku na lokalitě Přimda. Klesá však současně i depozice bazických kationů.

Tyto údaje nemohou sice vystihnout to, jakým vývojem prošly změny ve složení ovzduší a srážek v období maximálního zatížení jak u nás, tak v Evropě, ukazují však intenzitu v době, kdy u nás významně poklesly emise; v roce 1999 zhruba na úroveň emisí oxidu siřičitého, přetrvávající do současnosti. Od této úrovně se také odvozují rizika změn v lesních ekosystémech.

## VÝSLEDKY PRŮZKUMU

Pro Český les existují výsledky ze dvou průzkumů, z roku 1998 a 2001. V roce 2001 byly odebrány vzorky ze 150 lokalit, z toho 101 v jehličnatých a 49 v listnatých porostech.

### Výsledky půdních analýz

Z velkého souboru získaných údajů vybíráme ty, které jsou z ekologického hlediska nejvýznamnější. Uvádíme: v půdě především zásoby hlavních přístupných živin a aciditu půdy podle sledovaných horizontů v jehličnatých porostech, které v oblasti převládají; dále srovnání výsledků z Českého lesa s výsledky zjištěnými v celé hercynské oblasti ČR (20 přírodních lesních oblastí na výměře 1,715 mil. ha) a posuny hlavních sledovaných vlastností v období 1998 až 2001. Podobně srovnání výsledků listových analýz smrku ztepilého se širším souborem ČR a posuny mezi léty 1998 a 2001.

V tabulce 2 je přehled hlavních charakteristik půd pod čistě jehličnatými porosty, převážně smrkovými. Podíl podchycených smíšených a čistě listnatých porostů byl cca třetinový.

Půdní reakce se v Českém lese příliš neodchyluje od obecnějšího stavu, poněkud příznivější je v minerální půdě. Výrazněji se to jeví při srovnání aktivní kyselosti, podle ní spadají tři čtvrtiny vzorků minerální půdy do rozpětí daném silikátovou ústojčivostí, v širším průzkumu je to méně než jedna čtvrtina.

Pokud jde o dusík, jsou v Českém lese zřetelně vyšší jeho koncentrace v nadložním humusovém horizontu, resp. je zde menší podíl vzorků s velmi nízkými koncentracemi tohoto prvku. Může to být výrazem déle trvající, poměrně vyšší depozice dusíkatých látek - dají se předpokládat vyšší přenosy ze SRN v minulosti. Na druhé straně hraje roli i to, že celostátní průzkum podchycuje i případy organických horizontů velmi chudých dusíkem, např. v rašelinových smrčínách nebo na nížinných podzolech pod borovicí.

Obdobný rozdíl je patrný i v humusem obohacené povrchové vrstvě minerální půdy, hlouběji však rozdíly v podstatě mizí.

Celkově jsou půdy v Českém lese chudší fosforem. Méně výrazně se to projevuje v humusové vrstvě, o to výrazněji však v minerální půdě. Alespoň polovina půdních vzorků vykazuje velmi nízké, až extrémně nízké koncentrace, celostátně do této kategorie spadá méně než čtvrtina vzorků.

Rozdíly v koncentracích draslíku jsou zřetelné, i když nepříliš výrazné a celkově ukazují na poněkud příznivější situaci v Českém lese. Odlišné je postavení oblastí, pokud jde o vápník. Koncentrace ve vzorcích ze širšího průzkumu v ČR jsou zřetelné, až velmi výrazně vyšší a to jak v humusovém horizontu, tak v minerální půdě, kde medián koncentrací Ca vzorků z Českého lesa nedosahuje ani 40 % mediánu koncentrací zjištěných v lesních půdách ČR. Nejen toto srovnání ukazuje na nepříznivý stav. Za dostatečně zásobené je možno pokládat půdy s koncentrací 200 mg Ca.kg<sup>-1</sup> a více. Tomuto požadavku nevyhovuje dokonce 94 % všech vzorků minerální půdy z Českého lesa. Ani, posuzujeme-li celý soubor výsledků z Českého lesa, tj. včetně smíšených i čistě listnatých porostů, hodnocení se nezmění. V tomto širším souboru je medián koncentrací Ca v minerální půdě 48 mg Ca.kg<sup>-1</sup> a jen 5 % vzorků obsahuje více než 200 mg Ca.kg<sup>-1</sup>.

Posuzujeme-li koncentraci hořčíku, je minerální půda v Českém lese spíše chudší, než odpovídá širšímu průzkumu; v humusovém horizontu je podíl vzorků s velmi nízkou koncentrací Mg naproti tomu nižší.

Zarážející jsou velmi vysoké koncentrace hliníku i železa v humusovém horizontu i v minerální půdě; jsou výrazně vyšší, než jsou odpovídající hodnoty v souboru dalších přírodních oblastí.

Ze souboru výsledků se alespoň v některých směrech odlišují výsledky v nejjihnějších cípu Českého lesa. V tomto prostoru jsou půdy zřetelně méně kyselé a mají vyšší koncentrace vápníku i hořčíku. Souvisí to pravděpodobně s bohatším – amfibolitovým podložím.

**Tab. 2.**

Hodnoty půdních charakteristik v jednotlivých horizontech – srovnání s výsledky v ČR. Půdní reakce a koncentrace živin a hliníku  
 Values of soil characteristics in particular horizons – comparison with results in CR. Soil reaction and concentration of nutrients and aluminium

Půdní charakteristika/Soil characteristic	O <sub>h</sub>		A <sub>h</sub>		A <sub>e</sub>		
	Český les <sup>1)</sup>	ČR <sup>2)</sup>	Český les <sup>1)</sup>	ČR <sup>2)</sup>	Český les <sup>1)</sup>	ČR <sup>2)</sup>	
pH/CaCl <sub>2</sub>	dolní kvartil <sup>3)</sup>	3,0	2,8	3,1	3,0	3,6	3,2
	medián <sup>4)</sup>	3,1	3,2	3,2	3,2	3,7	3,4
	horní kvartil <sup>5)</sup>	3,3	3,5	3,3	3,5	3,9	3,6
pH/H <sub>2</sub> O	dolní kvartil <sup>3)</sup>	3,9	3,5	3,9	3,6	4,2	3,7
	medián <sup>4)</sup>	4,0	3,8	4,0	3,9	4,3	3,9
	horní kvartil <sup>5)</sup>	4,2	4,2	4,1	4,1	4,4	4,1
N (%)	dolní kvartil <sup>3)</sup>	1,26	1,08	0,21	0,12	0,07	0,07
	medián <sup>4)</sup>	1,43	1,38	0,29	0,22	0,10	0,10
	horní kvartil <sup>5)</sup>	1,53	1,54	0,36	0,46	0,13	0,15
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	714	610	1	3	1	2
	medián <sup>4)</sup>	792	778	2	6	2	5
	horní kvartil <sup>5)</sup>	876	943	5	14	3	11
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	808	653	54	44	35	27
	medián <sup>4)</sup>	1110	874	73	63	47	39
	horní kvartil <sup>5)</sup>	1481	1184	95	102	61	54
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	1340	1460	57	160	33	79
	medián <sup>4)</sup>	1813	2581	96	278	47	124
	horní kvartil <sup>5)</sup>	2731	4073	134	520	68	206
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	442	390	28	26	15	15
	medián <sup>4)</sup>	703	627	38	63	20	24
	horní kvartil <sup>5)</sup>	1108	1 113	47	77	27	38
Al (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	4 490	2 985	3 247	1 810	4 510	1 750
	medián <sup>4)</sup>	5 851	4 421	4 115	2 860	5 600	3 625
	horní kvartil <sup>5)</sup>	8 567	6 830	5 977	4 273	7 625	5 450
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>3)</sup>	4 949	3 172			6 249	2 760
	medián <sup>4)</sup>	6 735	4 739			8 451	4 993
	horní kvartil <sup>5)</sup>	9 810	7 680			10 336	7 940

<sup>1)</sup> Bohemian Forest; <sup>2)</sup> Czech Republic; <sup>3)</sup> lower quartile; <sup>4)</sup> median; <sup>5)</sup> upper quartile

### Výsledky listové analýzy

Údaje o rozložení koncentrací biogenních a některých rizikových prvků v jednoletém jehličí smrku jsou znázorněny v tabulce 3. Výsledky listových analýz zahrnují kompletní sadu živin s výjimkou molybdenu, obsahují i informaci o koncentracích některých rizikových prvků. Závěry je možno odvozovat jednak ze srovnání výsledků z Českého lesa s výsledky širšího průzkumu, jednak ze srovnání s obecněji používanými kritickými koncentracemi.

Srovnání úrovně výživy smrkových porostů v Českém lese a v ČR vede k těmto závěrům:

- nejsou rozdíly ve výživě dusíkem. Výsledky analýz jsou téměř shodné. U cca jedné čtvrtiny porostů je výživa tímto prvkem na poměrně nízké úrovni a pouze u 4 % porostů byl zjištěn luxusní konzum (nad 1,8 % N v sušině). To znamená, že i dlouhodobě zvýšený spad sloučenin dusíku zatím úroveň jeho koncentrací v jehličí výrazně neovlivnil.
- výrazně nižší je ve smrkovém jehličí z Českého lesa koncentrace fosforu. Odpovídá to celkově nižšímu obsahu této živiny v přístupné formě v půdě. Jedna čtvrtina porostů má tak fosforu nedostatek a celkově je zásobení porostů na nízké úrovni.
- nižší jsou v asimilačních orgánech smrku z Českého lesa koncentrace draslíku; to není v souladu s rozdílem v koncentraci přístupného prvku v půdách. Příčinou může být rychlý koloběh draslíku mezi porostem a půdou a s tím související poměrně rychlé změny i v humusovém horizontu, do značné míry i v závislosti na počasí.
- naopak v souladu s rozdílem koncentrací v půdě jsou rozdíly v obsazích vápníku v jehličí. Nejsou však zdaleka tak výrazné jako rozdíly v koncentracích zejména v minerální půdě. Potvrzuje však celkově nízkou úroveň zásobení.
- nízká až nedostatečná je úroveň výživy smrku hořčíkem podle výsledků listových analýz. Odpovídá tak výsledkům získaným

**Tab. 3.**

Koncentrace biogenních prvků v jehličí smrku; srovnání s výsledky celostátního průzkumu  
 Concentration of bioelements in spruce needles; comparison with results of national investigation

Prvek/Element		Český les/Bohemian Forest	ČR/CR
N (% sušiny/dry matter)	dolní kvartil <sup>1)</sup>	1,36	1,35
	medián <sup>2)</sup>	1,49	1,48
	horní kvartil <sup>3)</sup>	1,65	1,63
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	1 160	1 358
	medián <sup>2)</sup>	1 340	1 585
	horní kvartil <sup>3)</sup>	1 500	1 800
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	5 638	6 201
	medián <sup>2)</sup>	6 254	7 270
	horní kvartil <sup>3)</sup>	6 817	8 410
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	2 723	2 800
	medián <sup>2)</sup>	3 375	3 550
	horní kvartil <sup>3)</sup>	3 740	4 443
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	639	730
	medián <sup>2)</sup>	722	870
	horní kvartil <sup>3)</sup>	809	1 000
B (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	13,6	13,2
	medián <sup>2)</sup>	15,3	16,2
	horní kvartil <sup>3)</sup>	17,5	19,8
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	26	26
	medián <sup>2)</sup>	30	31
	horní kvartil <sup>3)</sup>	32	36
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	290	301
	medián <sup>2)</sup>	387	437
	horní kvartil <sup>3)</sup>	483	598
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	33	37
	medián <sup>2)</sup>	41	47
	horní kvartil <sup>3)</sup>	51	60
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	dolní kvartil <sup>1)</sup>	3,2	2,9
	medián <sup>2)</sup>	3,4	3,4
	horní kvartil <sup>3)</sup>	3,7	3,9

<sup>1)</sup> lower quartile; <sup>2)</sup> median; <sup>3)</sup> upper quartile

analýzami minerální půdy a je to i v souladu s výskytem vnějších příznaků nedostatku.

- nejsou žádné výrazné rozdíly mezi koncentracemi stopových prvků v obou souborech. A s výjimkou bóru není naznačen ani výskyt nedostatku.
- konečně obsahy sledovaných rizikových prvků se pohybují v rozsahu, který nevzbuzuje obavy z jejich eventuálního toxického působení.
- ve dvouletém jehličí byly zjištěny nižší koncentrace N, P, K, Mg, Zn, Cu, vyšší Ca, Mn, Fe a Al a v podstatě shodné koncentrace B. To odpovídá normálnímu rozložení koncentrací v různých starých ročních jehličí

#### Srovnání výsledků listových analýz z Českého lesa s obecněji používanými kritickými koncentracemi

Pro srovnání dále používáme údaje o hraničních hodnotách koncentrací prvků vymezujících nedostatek a nadbytek, uvažovaných pro hodnocení výsledků listových analýz v rámci mezinárodního programu ICP Forests (tab. 4).

Hodnocení podle kritických koncentrací ICP Forests sice umožňuje široké srovnání v rámci celé Evropy, hraniční hodnoty v řadě případů však neodpovídají našim podmínkám, pokud za kritérium, podle kterého se hraniční hodnoty posuzují, uvažujeme růst dřeviny, její vitalitu a eventuálně i odolnost. U smrku jsou hranice nedostatku příliš nízké u dusíku, fosforu, vápníku, hořčíku.

### Vztahy mezi koncentrací jednotlivých prvků v asimilačních orgánech

Vzhledem ke zvýšené depozici dusíkatých sloučenin v daném prostoru je žádoucí ověřit, zda výsledky listové analýzy neodhalí antagonismus mezi příjmem dusíku a některých dalších biogenních prvků (tab. 5).

Srovnání neprokázalo závislost koncentrace vápníku, hořčíku a draslíku na koncentraci dusíku, pouze u koncentrace fosforu a síry je naznačena kladná závislost na koncentraci N v jehličí smrku. Nebyla zjištěna ani závislost koncentrace dalších stopových a rizikových prvků v jehličí na hladině dusíku. Je tedy nepravděpodobné, že zvýšená depozice dusíku ovlivňuje nepříznivě příjem dalších sledovaných biogenních prvků. Určitá kladná závislost byla dále zjištěna mezi koncentrací hliníku a železa, vápníku a zinku, draslíku a mědi, draslíku a bóru.

Závislost mezi koncentracemi vápníku a manganu v jehličí smrku je poměrně častá. Negativní korelace mezi koncentrací vápníku a boru odpovídá jejich známému antagonistickému vztahu. Ta je také jediná, která se objevuje i ve výsledcích analýz dvouletého jehličí.

Při sledování dalších závislostí nebyla zjištěna závislost absolutní výškové bonity (AVB) na hladině kteréhokoliv biogenního prvku v půdě ani v asimilačních orgánech.

Pokud jde o vzájemné vztahy jednotlivých sledovaných prvků v půdě, je zejména zajímavá významná negativní závislost hladiny hořčíku a draslíku na hladině dusíku v humusovém horizontu smrkových porostů a významný kladný vztah mezi koncentrací hořčíku a draslíku ve stejném prostředí (tab. 6).

V povrchovém minerálním horizontu a v minerální půdě byly zjištěny významné kladné závislosti mezi bazickými kationy (Ca, Mg, K).

### Srovnání výsledků průzkumu 1998 a 2001

Průzkum 2001 je druhý v pořadí. Stejným postupem se uskutečnil průzkum o 4 roky dříve a je proto možné srovnávat výsledky obou šetření. Při hodnocení zjištěných rozdílů je třeba vzít v úvahu jak vysokou plošnou variabilitu jednotlivých ukazatelů, tak i to, že alespoň některé z nich se mění v průběhu vegetačního období i vlivem počasí. Tyto faktory nutně ovlivňují, možná i překrývají změny v koncentracích, způsobené využitím živin porosty nebo kyselou depozicí. Přesto skutečnost, že jsou pro srovnání k dispozici výsledky ze 101 lokalit u půdních vzorků a 60 lokalit s výsledky listových analýz u smrku, dává podklad k určitým závěrům. Souhrn výsledků je obsažen v tabulce 7.

Porovnáváme-li mediány výsledků, pak zřetelný je vzestup acidity (pH KCl) v humusovém horizontu, aktivní (pH H<sub>2</sub>O) se změnila nevýznamně. V obou dalších horizontech jsou rozdíly méně výrazné, nebo žádné. Významnější změna za tak krátkou dobu se konečně nedala ani očekávat.

Významné je, že se průměrné koncentrace hlavních rostlinných živin ve většině případů snížily, a to ve všech půdních horizontech. Výjimku tvoří draslík, jehož koncentrace se v humusu a v minerální půdě poněkud zvýšily, a hořčík s nevýrazným zvýšením koncentrace v humusu, pokud srovnáváme mediány nebo průměrné koncentrace obou prvků.

Naproti tomu výrazný je ve všech horizontech vzestup koncentrace hliníku a výrazný je i vzestup koncentrace železa. Železo je sice nezbytná rostlinná živina, je však otázka, zda při tak vysokých koncentracích, v jakých se v půdě vyskytuje, nejsou tyto koncentrace pro dřeviny již v méně příznivém rozpětí. Kromě přímého toxického působení může vysoká hladina železa nepříznivě ovlivňovat přístupnost fosforu. V nejkyselějších půdách ovlivňuje železo spolu s hliníkem míru ústojivosti půdy.

**Tab. 4.**

Srovnání výsledků listových analýz smrku ztepilého  
Comparison of results of leaf analyses for Norway spruce

Prvek/Element	Podíl porostů v % s nedostatkem/nadbytkem uvedeného prvku/ Proportion of stands in % with insufficiency/abundance of presented element	
	nedostatek/insufficiency	nadbytek/abundance
dusík/nitrogen	(< 1,2 % N) 11,6	(> 1,7 % N) 15,9
fosfor/phosphorus	(< 1 000 mg.kg <sup>-1</sup> ) 8,7	(> 2 000 mg.kg <sup>-1</sup> ) 1,5
draslík/potassium	(< 3 500 mg.kg <sup>-1</sup> ) 0	(> 9 000 mg.kg <sup>-1</sup> ) 1,5
vápník/calcium	(< 1 500 mg.kg <sup>-1</sup> ) 4,3	(> 6 000 mg.kg <sup>-1</sup> ) 5,8
hořčík/magnesium	(< 600 mg.kg <sup>-1</sup> ) 14,5	(> 1 500 mg.kg <sup>-1</sup> ) 0
síra/sulphur	(< 1 100 mg.kg <sup>-1</sup> ) 55,1	(> 1 800 mg.kg <sup>-1</sup> ) 0

**Tab. 5.**  
Smrk ztepilý – jednoleté jehlice – rok 2001  
Norway spruce – one-year old needles – year 2001

Al (mg.kg <sup>-1</sup> )	B (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	N (g.kg <sup>-1</sup> )	Na (mg.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	S (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
1,000000															
B (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,020273														
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,403220*	1,000000													
Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,134383	0,154131	1,000000												
Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,197927	0,094998	0,033522	1,000000											
Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,060547	0,453057*	-0,245417	0,432863*	1,000000										
Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,795515*	-0,089661	-0,212674	0,399039*	0,137551	1,000000									
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,079421	0,556750*	0,064194	0,030292	0,516460*	-0,106900	1,000000								
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,124592	-0,027499	0,345539*	0,123009	-0,203443	-0,165844	0,033645	1,000000							
Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,057320	0,001328	0,281062*	-0,060527	0,114380	-0,087898	0,031518	0,016887	1,000000						
N (g.kg <sup>-1</sup> )	0,094831	0,203983	-0,179622	-0,042109	-0,091271	-0,052581	0,211401	0,140402	0,140402	1,000000					
Na (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,226960	-0,034259	-0,274197	0,208838	0,400240*	0,156313	0,127877	-0,266527	-0,089467	0,055889	1,000000				
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,007563	0,446232*	-0,068414	0,174111	0,018325	-0,044899	0,543395*	0,048282	-0,072777	0,313918*	-0,000144	1,000000			
Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,044014	0,017899	-0,101762	0,187912	0,197350	0,443373*	0,232961	-0,215215	-0,126604	-0,088962	0,123018	0,083574	1,000000		
S (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,133895	0,492490*	-0,111396	-0,192754	0,013887	0,408769*	-0,218950	-0,071539	0,318676*	0,390822*	0,198413	0,331707*	-0,072406	1,000000	
Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	-0,229620	0,269368	0,325228*	0,217097	0,064689	0,314570*	-0,107367	0,238284	-0,008400	0,107326	0,118159	0,345179*	0,034537	0,376373*	1,000000

\* Označené korelace jsou významné na hladině  $p < 0,05$ /\* Marked correlations are important on level  $p < 0,05$

## DISKUSE

Jestliže hodnotíme stav v Českém lese srovnáním se situací podle celostátního průzkumu, jde o srovnání s velmi širokým souborem výsledků v hercynské oblasti ČR, který zahrnuje růstové podmínky ve velmi různorodých přírodních lesních oblastech i s velmi odlišnou intenzitou imisního působení v minulosti. Jestliže tedy Český les v některých parametrech vybočuje k horšímu, znamená to, že jde o mimořádný stav, který ukazuje na určité riziko a vyžaduje zvýšenou pozornost.

Celkem malé rozdíly jsou mezi koncentracemi dusíku v půdě, téměř žádné ve výsledcích listové analýzy. Statisticky významný je však pokles koncentrace dusíku v půdě v průběhu sledovaného období (1998 - 2001) a naopak jeho významný vzestup v jehličí smrku. Srovnání s obecnějšími standardy ukazuje jen na méně významné odchylky od dostatečné úrovně zásobení porostů tímto prvkem. Pokud však porovnáme výsledky z Českého lesa s kritickými koncentracemi, které spíše odpovídají našim podmínkám, zvyšuje se podíl případů s nedostatečnou úrovní výživy na celou čtvrtinu, a naopak počet případů luxusního konzumu klesne pod 4 %. Listová výživa tedy nenaznačuje nadměrné zásobení porostů dusíkem. O tom, že zvýšený vstup dusíku nepředstavuje zatím vážnější problém ve výživě porostů, svědčí i to, že ve výsledcích listové analýzy nebyl zjištěn antagonismus mezi tímto a dalšími prvky.

Nicméně je zřetelný rozpor mezi výsledky půdních a listových analýz. Zatímco koncentrace dusíku v půdě klesají, bylo zaznamenáno jejich zvýšení v jehličí smrku. V obou případech jde o statisticky významný posun.

Za velmi pozoruhodnou je nutno považovat velmi nízkou koncentraci vápníku v povrchových půdních vrstvách. Jestliže vyjdeme z poměrně nízkých zjištěných zásob nadložního humusu v jehličnatých porostech (35 t.ha<sup>-1</sup>) a z běžně používaných údajů o objemové hmotnosti půdy, činí zásoba vápníku do hloubky 30 cm nejvýše 146 kg.ha<sup>-1</sup> (celkový vápník v Oh + výměnný vápník v Ae a Ah) za předpokladu, že zanedbáme podíl skeletu. Ve srovnání se spotřebou porostů - odnímáním Ca těžbou, v daném případě ve výši cca 8 kg.ha<sup>-1</sup> ročně, jde o zásobu velmi nízkou. Přitom není znám rozsah vyplavování vápníku do hlubších vrstev půdního profilu z dosahu kořenů. Ten je přirozeným procesem a je kyselou depozicí významně urychlován (OLSSON, HENNING 1985) Zatímco údajů o koncentraci prvků v půdní vodě v různých hloubkách půdního profilu je poměrně dost, informace o množství vápníku, který se posunuje do hlubších vrstev, jsou dosti vzácné. LOCHMAN (2006 osobní sdělení) udává pro povodí Želivky rozdíl mezi depozicí ve smrkovém porostu a odtokem během desetiletého sledovaného období na 3,5 kg Ca.ha<sup>-1</sup>. To tedy představuje čistou ztrátu. Jiné údaje jsou vyšší (KREUTZER 1979, SCHAFF et al. 2004). S ještě vyšší ztrátou (23 kg.ha<sup>-1</sup>) tímto procesem počítá ULRICH (1991).

Pokud jde o vývoj, pak i ten – ve srovnání stavu v roce 1998 a 2001 není příznivý. Zvláště nápadný je pokles koncentrace bazických kationů, zejména vápníku na rozhraní mezi humusovým horizontem a minerálním horizontem (Ah). Je však nutno vzít v úvahu to, že tento horizont má malou

Tab. 6.

Horizont nadložního humusu  
Horizon of forest floor

N (%)	Al (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
1,0000										
-0,605228*	1,0000									
-0,005571	-0,128156	1,000000								
0,189250	0,096492	-0,174292	1,000000							
-0,671170*	0,860330*	-0,108331	0,227201*	1,000000						
-0,514373*	0,780024*	0,090518	-0,012789	0,747840*	1,000000					
-0,588284*	0,783856*	0,134393	0,033988	0,855082*	0,794947*	1,000000				
-0,094631	0,143332	0,619082*	-0,282844*	0,095833	0,318041*	0,319276*	1,000000			
0,260101*	0,108045	0,141602	0,047552	0,026642	0,156445	0,196069*	0,240076*	1,000000		
0,409465*	-0,34498*	-0,413340*	0,554220*	-0,290187*	-0,451417*	-0,439144*	-0,511636*	0,014639	1,000000	
0,066918	0,120608	0,426135*	0,338855*	0,279012*	0,181981	0,328087*	0,236836*	0,247223*	0,013522	1,000000

\* Označené korelace jsou významné na hladině  $p < 0,05$ /\* Marked correlations are important on level  $p < 0,05$ 

mocnost, zpravidla do 5 cm, a je v některých případech jak proti nadložnímu humusu, tak proti minerální půdě neostře oddělen. Proto může být odběr vzorků ovlivněn subjektivními vlivy. Mimo to jde o horizont s velmi výraznou dynamikou, do které se promítá i aktuální vliv počasí. Konečně se v Ah a Ae jedná o koncentraci vápníku ve výměnném půdním komplexu, tedy jen o menší část celkových zásob prvku v půdě. Z tohoto komplexu může být prvek odčerpáván, vytěšňován, může tam být i doplňován z mineralizace, zvětrávání, depozicí. Proto by nebylo správné činit ze zjištěného poklesu koncentrace v poměrně krátkém období dalekosáhlejší závěry. Avšak z porovnání zásob Ca v půdě, jeho spotřeby lesními porosty je zřejmé, že existuje riziko a situace by neměla být podceňována. I proto, že podobný trend jsme při opakovaných průzkumech zjistili i v Orlických horách, Českomoravské vrchovině i Krušných horách.

Tyto výsledky ukazují i to, že rizika spojená s rychlým poklesem zásob a s negativní bilancí vápníku v půdách zjištěná jinde (HUNTINGTON et al. 2000, FENN et al. 2006), existují i u nás.

Depozice vápníku ve výšce cca 3 - 4 kg.ha<sup>-1</sup> za rok během sledovaného období na stanici Přimda jako jediný skutečný vstup prvku z vnějšího prostředí ochuzování významně neovlivní. Pokles koncentrace vápníku je zaznamenán i v povrchovém humusu; zpomalená mineralizace látek v organickém horizontu se tedy na procesu ochuzování minerální půdy nepodílí.

V souladu s těmito výsledky nejsou výsledky listových analýz. Trend koncentrace vápníku v jehličí smrku je opačný než koncentrací Ca v půdě. Zvýšení je však neprůkazné a dá se vysvětlit běžným meziročním kolísáním, závislým zejména na průběhu počasí a růstových podmínkách vůbec.

Stejná situace jako u vápníku je i u fosforu. Také jeho koncentrace v půdě jsou poměrně nízké a značně se odlišují od celého souboru výsledků analýz v ČR. Jeho koncentrace ve sledovaném 4letém období se statisticky průkazně snížily. Koncentrace ve smrkovém jehličí se zvýšily, i když v tomto případě nejde o zvýšení statisticky významné a lze je opět vysvětlit běžným meziročním kolísáním.

U hořčíku je průměr koncentrací v jehličí roce 2001 nižší než při předchozím odběru. U tohoto prvku je to zvláště varující, protože jak průměrná hodnota, tak medián jsou velmi nízké a jsou na hranici nedostatku. V půdě - v organickém nadložním humusovém horizontu se koncentrace Mg zvýšila, v podstatě se nezměnila v hlubších vrstvách minerální půdy, statisticky významně však klesla v podhumusovém povrchovém minerálním horizontu. To tedy odpovídá vývoji podle listové analýzy.

Na výrazný vzestup koncentrace hliníku v nadložním humusu i v minerální půdě nereagovaly výsledky listové analýzy odpovídajícím způsobem. Přitom zvýšení koncentrací je velmi výrazné. V organickém horizontu vzrostla koncentrace o 48 % (celkový obsah), v podhumusovém o 33 % a v hlubší vrstvě minerální půdy do 30 cm o 26 % (v extraktu 2M HNO<sub>3</sub>). Opět se tento posun neprojevuje do změny v koncentraci Al v asimilačních orgánech. Ve smrkovém jehličí vzrostla koncentrace pouze o 7 % a posun nebyl statisticky významný.

To, že nebyla zjištěna žádná korelace mezi koncentrací jednotlivých biogenních (i rizikových) prvků v asimilačních orgánech smrku a buku, nelze vykládat tak, že úroveň výživy neovlivňuje přírůst. Aktuální změny ve výživě, které významně ovlivňují běžný přírůst v několika posledních letech a eventuálně i desetiletích, se nemusejí na absolutní výškové bonitě ještě výrazně projevit (MATERNA 2003). Mimoto, např. i výrazný nedostatek hořčíku, s charakteristickými změnami ve vybarvení jehlic smrku, nemusí



**Tab. 7.**

Srovnání průměrných koncentrací jednotlivých prvků v půdě a v jehličí smrku mezi rokem 1998 a 2001 (uvedeny pouze rozdíly na hladině významnosti  $p < 0,05$ )

Comparison of average concentrations of particular elements in soil and spruce needles between year 1989 and 2001 (presented only differences on significance level  $p < 0.05$ )

Prvek/Element	Změna průměrné koncentrace v %/Change of average concentration in %			
	Půda/Soil			Jehličí/Needles
	Oh	Ah	Ae	
dusík/nitrogen	- 7	- 54	- 14	+ 14
fosfor/phosphorus	- 26	- 67	- 59	
draslík/potassium	+ 22	- 47	+ 19	
vápník/calcium	- 18	- 80	- 20	
hořčík/magnesium		- 58		- 9
železo/iron	+ 42	+ 53		
mangan/manganese	- 26		+ 56	
zinek/zinc	- 13	- 19		+ 12
měď/copper	+ 8	- 29		+ 20
bor/boron				+ 10
hliník/aluminium	+ 48	+ 25	+ 26	
olovo/lead	+ 21	- 21		

ještě ovlivnit běžný výškový přírůst dřeviny v daném roce. Teprve po přetrvávajícím výrazném nedostatku zmíněného prvku dřevina reaguje zmenšením běžného přírůstu a celkové produkce.

Je nutno v této souvislosti se zmínit i o další pochybnosti: do jaké míry je listová analýza v současném pojetí skutečně objektivním obrazem úrovně výživy dřevin. Jde přitom o tři dílčí otázky:

- jsou koncentrace živin v asimilačních orgánech u všech prvků nejvhodnější charakteristikou úrovně výživy?
- je jednotný způsob odběru vzorků pro analýzy všech biogenních eventuálně i rizikových prvků nejvhodnějším postupem?
- jakým způsobem nejvhodněji výsledky analýz interpretovat.

V prvním případě jde o to, že hlavní role některých prvků se odehrává v jiných orgánech než v listech, např. molybden v kořenech, bóru v růstových vrcholech (pupenech) a i u dalších stopových prvků jsou rozdíly mezi koncentrací v listech a kořenech velmi výrazné (Cu, Zn, a zejména Fe). To platí i pro rizikové prvky, např. hliník, kadmium. To jsou výsledky z analýz jednotlivých orgánů sazenic dřevin v nádobových pokusech s různým zaměřením na pracovišti ÚKZÚZ v Přerově n. L. Rozdíly jsou patrné i z jiných pokusů (SVAČINOVÁ, KADEŘÁVKOVÁ 2007). Proto jsou pochybnosti, zda paušální listová analýza může být rozhodujícím kritériem úrovně výživy, na místě.

U stále zelených jehličnatých dřevin se běžně odebírají vzorky nejmladšího ročníku jehličí. Přitom jsou prvky, jejichž fyziologická úloha je spojena spíše se stárnutím. Projevuje se to se vzestupem jejich koncentrací ve starších ročních jehlicích. Jde např. o vápník. U jiných není sice vzestup zpravidla tak vyhraněn, ale může existovat (např. hořčík) a může mít svůj význam.

To, že nemusí být běžně používaný způsob odběru nejmladšího ročníku jehličí u smrku nejvhodnějším postupem pro odhalení rizik ve výživě porostů, naznačují i zjištěné vysoce významné závislosti

mezi koncentrací dusíku a koncentrací hořčíku a draslíku v humusovém horizontu smrkových porostů. Právě zde je složení materiálu ovlivněno opadem nejstarších, odumírajících a odumřelých jehlic.

Konečně způsob interpretace, opírající se o jednotný standard a o analýzy podle předepsaných postupů, nemusí proto odhalit skutečný nedostatek nebo nadbytek některých prvků.

Tyto pochybnosti a výhrady se netýkají běžného monitoringu, který má pomocí listové analýzy odhalit regionální rozdíly, nebo časové změny ve výživě. Tam asi jiná možnost není i z technických důvodů. Je však třeba při vyhodnocování výsledků brát ohled na omezení, která jsou s listovými analýzami, jak se běžně používají, spojena. Je žádoucí alespoň ve výzkumu postoupit dál, tj. k funkčním analýzám s rozrůzněným přístupem k jednotlivým živinám (SRIVASTAVA, SINGH 2006).

Aktuální je to v současné době zejména u vápníku. Bilance tohoto prvku je celkově nepříznivá, to potvrzují i výsledky získané v Českém lese. Vysoké ztráty zjištěné v krátkém období 4 let a kriticky nízké zásoby ve srovnání se spotřebou porostů, jsou velmi varující skutečností.

## ZÁVĚRY

Přírodní lesní oblast Českého lesa nebyla v minulosti významně ovlivněna znečištěním ovzduší ve srovnání s některými dalšími oblastmi ČR a není ani podle současných poznatků a předpokladů v perspektivě imisemi významně ohrožena. Přesto ve vývoji zdravotního stavu podle výsledků monitoringu, i ve stavu povrchových půdních vrstev a výživy porostů existují nepříznivé tendence. Jde jednak o velmi nízké zásoby vápníku a jeho významný pokles v poměrně krátkém období. Totéž platí pro fosfor a pro celkově

nepříznivý stav výživy porostů hořčíkem. Nelze pominout ani významný vzestup koncentrací hliníku a železa v organickém horizontu. Na druhé straně nejsou náznaky, že by porosty byly nepříznivě ovlivněny vyšší depozicí dusíkatých sloučenin.

Obecně je zřejmé, že bez podrobné analýzy stavu půd a výživy a jejich změn současnou úrovní depozice, při porovnání s jejím výhledem, mohou být závěry o míře ohrožení určité oblasti zkrácené.

## LITERATURA

- ALCAMO, J., SHAW, R., HORDUK, L. The RAINS model of acidification. IIASA. Dordrecht: Kluwer Acad Publ., 1990. 402 s.
- Deutscher Waldbodenbericht 1996, 1997. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bd. 1., 2. 144 s., příl.
- FENN, M. E., HUNTINGTON, T. G., MCLAUGHLIN, S. G., EAGAR, C., GOMEZ, A., COOK, R. B. Status of soil acidification in North America. *Jour. For. Sci.*, 2006, vol. 52, s. 3-13.
- HUNTINGTON, T. G., HOOPER, R. P., JOHNSON, C. E., AULENBACH, B. T., CAPPELLATO, R., BLUM, A. E. Calcium depletion in a northeastern United States forest ecosystem. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2000, vol. 64, s. 1845-1858.
- KREUTZER, K. Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. *Forstw. Cbl.*, 1979, vol. 98, no. 6, s. 298-308.
- MATERNA, J. Souhrnné výsledky průzkumu stavu povrchových vrstev lesních půd v období 1993 - 1999. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2002.
- MATERNA, J. Výsledky průzkumu výživy lesních porostů v lesích ČR. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2003.
- Monitoring stavu lesa v České republice 2004. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR a Jíloviště-Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 431 s.
- NĚMEC, A. Znečištění ovzduší a jeho vliv na půdu a odumírání lesů v Krušných horách. *Vědecké práce VÚL*, 1958, roč. 2, s. 141-176.
- OLSSON, M., HENNING, E. Lime limit changes. *Acta Agric. Scand.*, 1985, vol. 35, s. 78-86.
- PLÍVA, K., ŽLÁBEK, I. Přírodní lesní oblasti ČR. Praha: SZN 1986. 313 s.
- Säurehaltige Niederschläge - Entstehung und Wirkung auf terrestrische Ökosysteme 1983. VDI Verl. 277 s.
- SRIVASTAVA, A. K., SHYAM SINGH Biochemical markers and nutrient constraints diagnosis in citrus: A perspective. *Jour. Plant Nutr.*, 2006, vol. 29, s. 827-855.
- SCHAAF, W., WECKER, B., TAO PAO, HÜTTL, R. F. Changes in top soil properties of forest soils in north-eastern Germany due to long term element accumulation. *Plant and Soil*, 2004, vol. 264, s. 85-95.
- STOKLASA, J. Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen.: Berlin, Wien: Verl. Urban u. Schwarzenberg, 1923. 487 s.
- SVAČINOVÁ, M., KADEŘÁVKOVÁ, M. Výsevové substráty pro lesní dřeviny zkoušené ve vegetační hale Přerov nad Labem v letech 2005 – 2006. 2007
- ULRICH, B. Folgerungen aus 10 Jahren Waldökosystem- und Waldschadenforschung. *Forst u. Holz*, 1991, vol. 46, no. 21, s. 575-609.
- WIELER, A. Untersuchungen über die Einwirkung schwefeliger Säure auf die Pflanzen. Berlin: Verl. Gebr. Borntraeger 1905. 427 s.
- ZAHORNADSKÁ, J. Srovnávací studie analytických metodik pro rozborů půd VÚLHM a ÚKZÚZ. Jíloviště-Strnady, VÚLHM, 2002. 17 s.
- Znečištění ovzduší na území České republiky. Ročenky ČHMÚ 1997 – 2001.

## CONDITIONS OF SURFACE SOIL LAYERS AND MINERAL NUTRITION OF NORWAY SPRUCE STANDS IN THE NATURAL FOREST AREA BOHEMIAN FOREST

### SUMMARY

This article presents research results of chemistry of surface soil layers and leaf analyses of spruce in the natural forest area Bohemian Forest. In the past and at present this area has been belonging to the territory with the low level of pollution load and relatively low deposition level of air pollutants. This investigation is a part of wide observations provided in all important natural forest areas of the Czech Republic. Its target is to define the present state of soil and forest after long-term impact of high pollution level and long-term, somewhere even very intensive use of biomass from forest ecosystems.

Results from investigation in the Bohemian Forest did not prove any distinct differences both in acidity medians of humus horizon and in surface horizons of mineral soil (pH CaCl<sub>2</sub>) in comparison with other parts of the Czech Republic. Nitrogen concentrations were a little higher in humus horizon, in subsurface horizon of mineral soil the differences were negligible. The entire observed soil profile within the Bohemian Forest was significantly poorer above all in calcium, but markedly richer in iron and aluminium.

Median of results from leaf analyses in spruce stands showed identical nitrogen concentrations and lower concentrations of phosphorus, magnesium and potassium. Only concentration medians of magnesium and boron were, according to the limit values, on the edge of insufficiency.

Based on comparison of nutrition level in spruce stands within the Bohemian Forest as well as in the Czech Republic the following can be concluded:

- No significant dependence was found out on nitrogen concentration in spruce needles for any of the observed biogenic elements, with exception of sulphur concentration where the positive dependence is important.
- Significant negative dependence was found out between concentration of nitrogen and potassium, or magnesium, under spruce stands in organic horizon.
- No significant dependence was found out between absolute height yield class and level of any observed element in soil or in assimilation organs.
- The 2001 investigation was repetition of that realized in the year 1998. Based on the comparison the main conclusion is that the concentrations of calcium, nitrogen and phosphorus significantly dropped in all soil horizons in this period; for potassium and magnesium the decrease occurred only in surface mineral horizon. On the contrary, Al concentrations markedly increased in all horizons, and Fe concentrations in forest floor and subsurface mineral horizon. Magnesium concentrations distinctly decreased and concentrations of nitrogen, sulphur, zinc, copper and boron increased in spruce needles.

Recenzováno

---

#### ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Přemysl Fiala, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský,  
Hroznová 2, 656 06 Brno, Česká republika  
tel.: 543 548 111; e-mail: premysl.fiala@ukzuz.cz