

# HODNOCENÍ OBSAHU A ZÁSoby ŽIVIN V LESNÍCH POROSTECH - LITERÁRNÍ PŘEHLED

## CONTENT OF NUTRIENTS IN FOREST STANDS - REVIEW

VÍT ŠRÁMEK - BOHUMÍR LOMSKÝ - RADEK NOVOTNÝ

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

### ABSTRACT

From the perspective of the nutrient cycle, forestry is usually considered to be a long-term sustainable activity. The nutritional output from the ecosystem represented by timber harvesting should be compensated by weathering of soil particles and atmospheric deposition. This balance is enabled on one hand by the long interval of harvesting, which is on average 80 to 150 years; and on the other hand by the properties of wood, which consists mainly of carbon, oxygen and hydrogen – elements gained by plants from the atmosphere and water. The ideal equilibrium, however, is often disrupted by the long-term impacts of air pollution or by intensive forest management (whole tree harvesting, litter ranking, energy wood production). The article reviews the methods of leaf analysis for forest nutrition assessment and also focuses on the nutrition stock in other compartments of the tree biomass, such as the stem, branches or roots.

**Klíčová slova:** výživa lesních porostů, listové analýzy, biomasa

**Key words:** forest nutrition, leaf analysis, biomass

### ÚVOD

Lesní půda představuje jednu ze základních součástí lesních ekosystémů, která je v dynamické rovnováze s živými organismy i atmosférou. Kdykoliv se změní jedna z těchto komponent, jsou ovlivněny i ostatní složky (FISHER, BINKLEY 2000). Z hlediska lesnického hospodářství je význam lesní půdy chápán především (i když ne výhradně) jako zdroj živin potřebných pro růst lesních porostů. Obecně se přitom na lesní hospodářství nahlíží z hlediska koloběhu látek jako na trvale udržitelné – výstup živin z ekosystému představovaný těžbou a využíváním dřeva by měl být nahrazen postupným zvětráváním minerálních částic půdy a atmosférickou depozicí. Tato rovnováha je umožněna jednak dlouhodobostí lesnického hospodářství s obvyklým produkčním intervalem 80 - 150 let, jednak tím, že výsledným produktem je dřevo, které je tvořeno především uhlíkem, kyslíkem, a vodíkem, tedy prvky, jež rostliny získávají přímo z ovzduší a z vody. První práce zabývající se výzkumem výživy dřevin a jejich nároků na půdu spadají do poloviny 18. století, největšího rozsahu pak dosáhly po druhé světové válce (BINKLEY 1986). Přestože by se mohlo zdát, že veškeré problémy v oblasti výživy lesních porostů jsou již prostudovány, jde o disciplínu, která se v současné době dále dynamicky rozvíjí. Aktuální problémy představuje zejména narušená výživa na dlouhodobě acidifikovaných lokalitách při současné imisní zátěži, bilance a využívání živin v porostech různých dřevin a jejich směsích a využívání a rekompensace živin v porostech se zkráceným obmětím (rychlerostoucí dřeviny).

Od konce 90. let minulého století docházelo v různých oblastech České republiky k chřadnutí smrkových porostů, které se projevuje především jejich žloutnutím (LOMSKÝ, ŠRÁMEK 2004). Tento typ poškození je ve většině případů prokazatelně spojený s nedostatkem

bazických prvků, zejména hořčíku v lesních půdách i v asimilačních orgánech dřevin (HÜTTL 1986). Projevuje se tak dlouhodobě vysoká kyselá zátěž, která zejména v 70. a 80. letech minulého století narušovala sorpční komplex lesních půd a vedla k vyplavování důležitých biogenních prvků (KHANNA, ULRICH 1985, LANDMAN et al. 1997). Nejextrémnější případy poškození jsou řešeny chemickými melioracemi, obecně se za cestu k nápravě považuje také úprava druhového složení porostů ve prospěch listnáčů, ve vyšších nadmořských výškách zejména kleny, buku a jeřábu. Pozitivní efekty listnatých dřevin spočívají ve snížení depozice látek pod porostem oproti smrkovým porostům (LOCHMAN 1993), v rychlejší dynamice humusové vrstvy a v možnosti využívat živiny z hlubších částí půdního profilu (JENTSCHKE et al. 2001). V některých oblastech, kde jsou smrky poškozeny, vykazují bukové porosty skutečně vcelku uspokojivý zdravotní stav (ŠRÁMEK et al. 2008). Výzkumy prováděné různými organizacemi v posledních letech však přinesly také několik problematických zjištění:

1. Zhruba od nadmořské výšky 700 m n. m. nevykazují obsahy živin v půdě žádné rozdíly mezi smrkovými a bukovými porosty – přitom buk je náročnější na zabezpečení výživy bazickými prvky.
2. S bukovým dřevem je z ekosystému odnášeno poměrně vysoké množství bazických prvků (HERBAUTS et al. 2002).
3. Depozice kyselých látek do bukových porostů je nižší než u smrku, přesto zejména v horských oblastech překračuje hranice kritické dávky, například v oblasti Krušných hor je to na více než 90 % území (HADAŠ 2006).
4. Zatímco v ČR je zdravotní stav bukových porostů uspokojivý, v oblasti jižního Německa, Francie a Švýcarska dochází v posledních letech ke zhoršování zdravotního stavu této dřeviny (UNECE 2005). Pro hodnocení trvalé udržitelnosti lesního hospodářství

je tak nutné komplexně hodnotit nejen obsah živin v půdě, ale celkové vstupy a výstupy látek v rámci ekosystému (AKSELLSSON et al. 2007).

## LISTOVÁ ANALÝZA

Chemická analýza asimilačních orgánů - listů či jehličí - je základním a obecně používaným postupem pro zjištění úrovně výživy dřevin a identifikaci nerovnováhy v zásobení jednotlivými prvky. Sledování obsahu živin v jednotlivých orgánech bylo v minulém století spojeno s výzkumem výživy lesních dřevin, později v 70. letech se snahou plně využít biomasu těžných stromů a také s ověřením, k jakým dochází ztrátám biogenních prvků při tomto způsobu využití biomasy. V současné době jsou údaje získávány především pro ekosystémové studie a v souvislosti s nápravami poruch výživy hnojením.

Ze souboru starších prací (BECKER, DILLINGEN 1939, NĚMEC 1948, MATERNA 1963) lze odvodit obecně platné závěry:

a) obsahy biogenních prvků i křemíku se mezi různými druhy dřevin odlišují; celkově jsou zřetelné rozdíly mezi jehličnatými a listnatými dřevinami;

b) variabilita koncentrací jednotlivých prvků v orgánech dřevin je velmi vysoká; vezmeme-li v úvahu krajní hodnoty, pak mnohde překrývá i druhové rozdíly; rozptýl hodnot je dán vnějšími faktory – obsahem přístupných živin v půdě, její vlhkostí, průběhem počasí, někde i zatížením z atmosféry např. sloučeninami dusíku a síry; koncentraci prvků ovlivňují i vnitřní faktory dřeviny;

c) obecně platí, že mladší části kůry, větví, dřeva, listů, jehličí, kořenů jsou bohatší fosforem, draslíkem, dusíkem – platí to i o hořčíku, i když ne jednoznačně; obsahy vápníku a křemíku jsou naopak vyšší ve starších částech rostlin;

d) nejnižší koncentrace klíčových živin (N, P, K) jsou ve dřevě kmeňů, vyšší jsou ve dřevě větví, kůře, kořenech, asimilačních orgánech, plodech; vápník a hořčík nemají tak výraznou tendenci;

e) hladina určitého biogenního prvku v kterémkoliv orgánu lesní dřeviny nemusí nutně charakterizovat úroveň jeho disponibilních zásob v půdě.

V tabulce 1 jsou uvedeny údaje o obsahu biogenních prvků (N, P, K, Ca, Mg) v  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  v orgánech jehličnatých a listnatých dřevin.

**Tab. 1.**

Rozdíly v obsahu biogenních prvků u jehličnanů a listnáčů (podle MATERNA 1963, LYR, POSTER, FIEDLER 1974)

Differences in content of biogenic elements for conifers and broadleaves (according to MATERNA 1963, LYR, POSTER, FIEDLER 1974)

Obsah prvků/ Content of elements	Jehličnany/Conifers		Listnáče/Broadleaves	
	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	
	Asimilační orgány/Assimilation organs	LYR et al.		LYR et al.
N	7 000 – 20 000	5 000 – 28 000	10 000 – 32 000	10 000–34 000
P	900 – 2 000	200 – 3 400	1 000 – 2 800	1 000 – 6 900
K	2 000 – 10 000	2 000 – 14 800	4 000 – 17 000	4 000 – 13 000
Ca	1 000 – 12 000	1 000 – 15 600	3 000 – 23 000	3 000 – 17 200
Mg	300 – 2 500	300 – 3 100	700 – 4 000	700 – 3 600
	Kůra/Bark			
N	4 000 – 9 500	3 100 – 11 800	6 000 – 12 000	4 000 – 29 100
P	100 – 1 700	300 – 2 100	200 – 2 800	200 - 800
K	2 500 – 3 000	2 500 – 3 200	700 – 6 100	700 – 6 300
Ca	1 800 – 1 900	1 800 – 18 000	300 – 4 900	300 – 4 900
Mg	200 – 1 800	200 – 1 800	500 -	500 – 1 900
	Dřevo/Wood			
N	500 – 1 800	1 000 – 2 300	800 – 2 500	1 600 – 2 800
P	20 - 160	20 - 500	100 - 500	70 - 400
K	200 - 900	300 - 900	400 – 2 600	800 – 1 600
Ca	500 – 1 700	500 – 1 700	500 – 2 700	700 – 2 700
Mg	100 - 600	100 - 600	100 - 700	300 - 500
	Dřevo větví/Wood of branches			
N	800 – 1 900		1 000 – 2 800	
P	100 - 200		300 - 500	
K	500 - 900		1 100 – 2 900	
Ca	100 – 1 900		300 – 4 800	
Mg	200 – 1 800		500 – 1 700	

## POMĚRY ŽIVIN

Ve výživě lesních dřevin hrají významnou roli kromě množství dostupných biogenních prvků také jejich vyrovnané poměry. Základním přínosem v této oblasti byla studie INGESTADA (1982), který vyvinul hydroponický systém pro sazenice dřevin umožňující hodnotit rychlost příjmu živin a stanovit optimální rychlost zásobení i optimální poměry živin. Podstatné jsou jeho závěry, že potenciální růst sazenic je v ideálních podmínkách výživy vyšší než růst v živinami bohaté půdě. Poměry poskytovaných prvků musí být vyvážené a musí odpovídat požadavkům sazenic. Jejich relativní poměry jsou přitom velmi podobné pro široké spektrum lesních dřevin. Výsledky této práce však nebyly plně aplikovatelné pro dospělé porosty. Pro hodnocení stavu výživy dospělých porostů byly stanoveny „harmonické poměry živin“, tj. základní poměry mezi živinami (HÜTTL 1986), které byly později upřesněny a využívány pro hodnocení vyvážené výživy (HÜTTL 1990, STEFAN, HERMAN 1996, LINDER 1995, LUYSSAERT et al. 2004, LOMSKÝ 2004). Hlavní minerální živiny jsou hodnoceny ve vztahu k obsahu dusíku a bazické prvky mezi sebou. Poměry vyvážené výživy jsou: N/P – 7,01 - 10,00 (6 - 12), N/K - 1-3, N/Ca - 2-7, N/Mg – 8 - 14 (30), K/Ca 0,8 - 2,4, K/Mg 2,2 - 6,4 a Ca/Mg -2,5 - 5. K narušení rovnováhy výživy může dojít působením řady faktorů. Nízké obsahy bazických prvků v asimilačních orgánech jsou ovlivněny kyselou depozicí a pokračující acidifikací půd - na velmi silně kyselých půdách dochází k uvolňování toxických iontů  $Al^{3+}$ , Mn, k negativnímu ovlivnění mykorhiz a ke zhoršení příjmu živin (Mg/Al, Ca/Al) (ULRICH 1986, BEYSCHLAG et al. 1987). Narušení výživy dřevin může být spojeno i s působením vzdušných polutantů, jako jsou  $SO_2$  a  $O_3$  poškozující voskové vrstvy jehlic. V kombinaci s kyselými srážkami pak dochází k vyplavování živin z asimilačních orgánů a k jejich následnému nedostatku (PRINZ et al. 1982, GUDE-RIAN et al. 1985, SKEFINGTON, ROBERTS 1985). Rovněž kyselá horizontální srážka s vysokou koncentrací  $NH_3/NH_4$  způsobují ztráty živin – zejména K, Zn, Mg, Mn, Ca - a vedou k nevyváženosti výživy. Výrazně mohou narušit rovnováhu výživy porostů dlouhodobě působící zvýšené depozice dusíku (NIHLGARD 1985, FLÜCKIGER et al. 1986, TURK, HORN 1991, BUCHMANN et al. 1995).

Obsahy minerálních živin v asimilačních orgánech mohou jednoznačně indikovat, zda se dřevina nachází v oblasti dobré nebo nadbytečné (luxusní) výživy a nebo zda je obsah prvku v asimilačních orgánech v nedostatku. Vnější projev deficiencie ve výživě může být charakterizován určitou hranicí obsahu prvku, která však má v reálných podmínkách určitý rozsah. Ten se pohybuje od mírného nedostatku, kdy vznikají viditelné projevy poškození pouze při působení dalších nepříznivých podmínek, přes výrazný nedostatek výživy s obvyklými projevy poškození až k fyziologickému minimu obsahu prvku. Při něm jsou v rostlině ohroženy základní fyziologické procesy, jejichž narušení vede k výraznému zhoršení zdravotního stavu rostliny a může končit až jejím odumřením.

Pro smrk ztepilý v našich podmínkách lze použít následující rozsahy limitních hodnot: Obsahy dusíku se v jehličí pohybuje podle různých autorů od 5 000 do 35 000  $mg.kg^{-1}$ . Hranice nedostatku ve výživě se pohybuje od 7 000 do 13 000  $mg.kg^{-1}$ . Hranice obsahu dusíku ovlivňujícího fyziologické procesy leží v rozmezí 5 000 – 7 000  $mg.kg^{-1}$ . Obsahy fosforu v jehličí také významně kolísají od 200 do 3 500  $mg.kg^{-1}$ . Hranice nedostatku a výrazného nedostatku výživy leží v rozmezí 800 – 1 000  $mg.kg^{-1}$ , obsahy fosforu nižší než 500  $mg.kg^{-1}$  lze považovat za kritické z pohledu fyziologických procesů. Obsahy draslíku také mohou výrazně kolísat v závislosti na stanovišti a stáří dřeviny od 2 000 do 15 000  $mg.kg^{-1}$ . Hranice charakterizující nedostatek ve výživě leží v oblasti 3 500  $mg.kg^{-1}$ , výrazný nedostatek je kolem 2 000  $mg.kg^{-1}$ . Fyziologickým limitem můžeme charakterizovat hodnoty v rozmezí 1 000 – 1 500  $mg.kg^{-1}$ . Obsahy vápníku také silně kolísají a narůstají s věkem rostliny a leží v rozmezí od 1 000 do 15 000  $mg.kg^{-1}$ . Nedostatečná výživa vápníkem leží v rozmezí 1 000 až 1 500  $mg.kg^{-1}$ . Obsahy vápníku v jehličí v rozmezí 500 - 1 000  $mg.kg^{-1}$  již mohou negativně ovlivnit životně důležité procesy. Také obsahy hořčíku mohou značně kolísat od 300 – 2 800  $mg.kg^{-1}$ . Hranice nedostatku výživy leží v rozmezí 600 - 700  $mg.kg^{-1}$ , výrazný nedostatek je indikován hranicí 500  $mg.kg^{-1}$  a fyziologické procesy jsou významně ovlivněny, pokud obsahy hořčíku v jehličí klesnou pod hranici 300  $mg.kg^{-1}$ . Hranice nedostatku výživy sírou leží pod hodnotou 1 100  $mg.kg^{-1}$ . Výrazný nedostatek síry prozatím nebyl jednoznačně v našich podmínkách identifikován, stejně tak i hodnoty fyziologického minima.

**Tab. 2.**

Limitní obsahy prvků podle ICP Forests  
Limiting contents of elements according to ICP Forests

Živina/Nutrient	N (%)	P ( $mg.kg^{-1}$ )	K ( $mg.kg^{-1}$ )	Ca ( $mg.kg^{-1}$ )	Mg ( $mg.kg^{-1}$ )	S ( $mg.kg^{-1}$ )
Dřevina/Wood species						
Smrk/Spruce						
Hranice nedostatku <sup>1)</sup>	1,20	1 000	3 500	1 500	600	1 100
Hranice nadbytku <sup>2)</sup>	1,70	2 000	9 000	6 000	1 500	1 800
Borovice/Pine						
Hranice nedostatku <sup>1)</sup>	1,20	1 000	3 500	1 500	600	1 100
Hranice nadbytku <sup>2)</sup>	1,7	2 000	10 000	4 000	1 500	1 800
Buk/Beech						
Hranice nedostatku <sup>1)</sup>	1,80	1 000	5 000	4 000	1 000	1 000
Hranice nadbytku <sup>2)</sup>	2,50	1 700	10 000	8 000	1 500	2 500
Dub/Oak						
Hranice nedostatku <sup>1)</sup>	1,50	1 000	5 000	3 000	1 000	-
Hranice nadbytku <sup>2)</sup>	2,50	1 800	10 000	8 000	2 500	-

<sup>1)</sup>Limit of shortage; <sup>2)</sup>Limit of surplus

Výsledky listových analýz lze využít i pro stanovení příliš vysokých obsahů některých prvků. Zátěžové prvky jako síra, fluor a chlor se v asimilačních orgánech hromadí s věkem, ale také vlivem dlouhodobého působení imisí. Podle výše jejich obsahu lze usoudit na míru zátěže. Tak u jehličnanů obsahy síry nad 1 200 mg.kg<sup>-1</sup> indikují zvýšené imisní pozadí, zátěž a hodnoty přesahující 3 000 mg.kg<sup>-1</sup> pak vysokou míru znečištění ovzduší (MATERNA 1981, TESAŘ et al. 1982). U fluoru hodnoty obsahu do 5 mg.kg<sup>-1</sup> ukazují standardní či mírnou zátěž, obsahy do 8 mg.kg<sup>-1</sup> a více vysokou a velmi vysokou zátěž fluorem. U chloru leží hranice vysoké a velmi vysoké zátěže v rozmezí od 700 do 2 000 a více mg.kg<sup>-1</sup> (POLLE et al. 1992, HOFFMANN, KRAUSS 1988).

Výše uvedené limity jsou obvykle pro jednotlivé dřeviny rozpracovány do různých stupnic, na jejichž základě probíhá hodnocení vlastních listových analýz. (LOMSKÝ 2004). Tyto studie obvykle vycházejí z regionálních zkušeností a z prací, které byly zaměřeny na studium růstu (případně výskyt poškození) ve vztahu ke koncentracím jednotlivých živin v listových orgánech (např. WEHRMANN 1959a, b, STREBEL 1960, REHFUESS 1967). K vyhodnocení výsledků rozborů asimilačních orgánů je tak k dispozici řada tabulek poměrně přesně uvádějících limitní hodnoty a do jisté míry i rozmezí optima. Jednotlivé tabulky se mohou lišit v hodnotách obsahů různých živin. Při volbě vhodných klasifikačních kritérií lze vycházet z podobnosti přírodních podmínek v oblasti jejich vypracování a předpokládaného využívání (MATERNA 1964, 1981, INGESTAD 1979, FIEDLER, HÖHNE 1984, BERGMANN 1988, HOFFMANN, KRAUSS 1988, FOERST et al. 1987, GUSSONE 1987, HÜTTL 1986, BONNEAU 1995).

V tabulce 2 jsou uvedeny hraniční hodnoty nedostatku a nadbytku obsahu základních prvků výživy v asimilačních orgánech, stanovené mezinárodním Programem ICP Forests, které je možno využít pro relativní srovnání výsledků listových analýz v rámci Evropy při odběrech provedených v roce 1996. Při výběru těchto hodnot se vycházelo z národních hodnotících kritérií zemí účastnících se pro-

jektu ICP Forests. Výsledný materiál tak představuje konsenzus pro celou západní Evropu a pro většinu států východní Evropy.

Pro oblast střední Evropy (Německo, Česká republika) lze velmi dobře využít hodnoty, které byly stanoveny HÜTTELEM (1986) pro německé lesní oblasti, které jsou svými podmínkami velmi podobné lesním oblastem v České republice a jsou v úplném souladu s hodnotami, které stanovil MATERNA (1964). Hodnoty nedostatečné, dostatečné a nadbytečné výživy jsou uvedeny v tabulce 3.

Srovnání obou tabulek ukazuje na některé nepodstatné rozdíly. Mohou být způsobeny podmínkami, ve kterých byly získávány podklady pro jejich sestavení, ukazují i na nedostatečnou úroveň poznání v některých směrech.

Při hodnocení výsledků listové analýzy, jako metody sloužící k objektivnímu hodnocení úrovně výživy, je významné posouzení meziroční variability výsledků. Ta je poměrně značná u smrku i buku (HUNGER 1974). Rozdíly v koncentraci některých prvků (dusík, draslík, hořčík apod.) mezi jednotlivými roky mohou být větší než prostorové rozdíly mezi jednotlivými stromy v jednom roce. Proto jeden odběr nebo jen jednotlivé odběry opakované v delším časovém intervalu (např. 5 let), mohou skutečnou informaci o stavu výživy významně zkreslit (ASCHE 1997). Listová analýza má i některé další slabiny. Indikuje pouze to množství živin, které byla dřevina schopna za daných podmínek z prostředí (především z půdy) přijmout. To množství závisí však nejen na půdních zásobách, ale i na intenzitě koloběhu látek mezi porostem a půdou a například i na zdravotním stavu dřeviny. Při přípravě větších projektů hnojení by proto měly být prováděny vždy i půdní analýzy a v pilotní fázi také ověření výsledků zásahu na založených diagnostických pokusných plochách. Obecně lze ovšem říci, že stav výživy lesních dřevin indikuje velmi dobře situaci v biocyklech živin a lépe než stav půdy dokládá schopnost dřevin přijímat v dostatečné kvantitě bioelementy z jejich prostředí. Často i v nepříznivých podmínkách dokáží lesní dřeviny přijímat dostatek živin a díky fungování celého lesního ekosystému je udržet v oběhu.

**Tab. 3.**

Limitní obsahy prvků pro smrk, borovici a buk podle HÜTTLA (1986)

Limiting contents of elements for spruce, pine and beech according to HÜTTL (1986)

Výživa/ Nutrition	nedostatečná/ insufficient	dostatečná/ sufficient	nadbytečná/ surplus	nedostatečná/ insufficient	dostatečná/ sufficient	nadbytečná/ surplus	nedostatečná/ insufficient	dostatečná/ sufficient	nadbytečná/ surplus
Živina/ Nutrient	smrk/ <i>Picea abies</i>			Borovice/ <i>Pinus sylvestris</i>			Buk/ <i>Fagus sylvatica</i>		
	mg.g <sup>-1</sup>								
N	< 12 - 13	13 - 15	> 15	< 13 - 14	14 - 16	> 16	< 19	19 - 25	> 25
P	< 1,1 - 1,2	1,2 - 1,5	> 1,5	< 1,2 - 1,3	1,3 - 1,5	> 1,5	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
K	< 4,0 - 4,5	4,5 - 6,0	> 6,0	< 4,0 - 4,5	4,5 - 6,0	> 6,0	< 10,0	10 - 15,0	> 15,0
Ca	< 1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	< 1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	< 3,0	3,0 - 10,0	> 10,0
Mg	< 0,7 - 0,8	0,8 - 1,0	> 1,0	< 0,7 - 0,8	0,8 - 1,0	> 1,0	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
	µg.g <sup>-1</sup>								
Mn	< 20	20 - 80	> (80) 500	< 20	20 - 80	> (80)	< 35	35 - 150	> 150
Zn	< 13	13 - 25	> 25	< 13	13 - 25	> 25	< 15	15 - 50	> 50
Fe	< 17	17 - 30	> 30	< 17	17 - 30	> 30			
Cu	< 4	4 - 12	> 12	< 4	4 - 12	> 12	< 5	5 - 15	> 15
B	< 10	10 - 30	> 30	< 10	10 - 30	> 30	< 15	15 - 40	> 40
Al	0	0 - 400	> 400	0	0 - 400	> 400	0		

Propracování metodiky listové analýzy bylo věnováno v uplynulých několika desetiletích velké úsilí. Jeho vyvrcholením je metodika odběru vzorků asimilačních orgánů i jejich analytického zpracování, schválená programem ICP Forests (UNECE 1998). Je to metodika doporučená v rámci mezinárodního kooperativního programu, jehož hlavním cílem je zhodnotit vliv znečištěného ovzduší na lesy. Postup však vyhovuje i pro obecné posuzování úrovně výživy pro charakteristiku množství živin, které jsou dřeviny schopny získat z půdy, a pro následné praktické využití.

## OBSAHY PRVKŮ V BIOMASE DŘEVIN

Dostupnost živin je jedním z limitujících faktorů pro produkci lesa. Obsah živin v půdě je ovlivňován pěti hlavními toky (AUGUSTO et al. 2000, TOMLISON 2003):

1. zvětráváním hornin,
2. atmosférickou depozicí látek,
3. vymýváním látek z půdního horizontu,
4. antropogenním cíleným vstupem látek (hnojení),
5. odstraňováním biomasy (lesnické hospodaření).

Pokud nejsou vstupy látek v rovnováze s výstupy, není situace trvale udržitelná. Odstraňování živin v biomase tak může potenciálně vést k vyčerpání lesních půd. Již poměrně staré práce upozorňují na možnost vyčerpání zásoby kationtů v lesních půdách při použití tzv. stromové metody těžby, při které jsou z porostů odstraňovány

celé stromy včetně asimilačních orgánů (KREUTZER 1979, KRAPPENBAUER, BUCHLEITNER 1981, SMITH et al. 1986, BUBLINEC, ILAVSKÝ 1990) a že mohou být použity pouze za předpokladu doplnění zásoby těchto prvků aplikací melioračních materiálů – např. recyklací dřevěného popela (OLSSON et al. 1996). V podmínkách střední Evropy, kde byly lesní půdy dlouhodobě ovlivňovány atmosférickou depozicí kyselých látek, je ovšem legitimní otázka trvalé udržitelnosti lesního hospodaření i při tradičních způsobech obhospodařování lesů. Pro účely zajištění udržitelnosti lesního hospodářství je vhodné pokusit se o odhad:

- 1) obsahu živin v odstraňované biomase,
- 2) obsahu živin v těžebních zbytcích,
- 3) stanovit obsah živin, který by měl být doplněn případným hnojením pro zajištění budoucí produkce.

Obsahy živin vázané v jednotlivých částech dřevin jsou velmi rozdílné. Výskyt prvků v různých kompartmentech biomasy je ovlivněn jejich mobilitou v rostlinných pletivech. Ta je dána různými faktory (rozpuštěností iontů, iontovým nábojem, pH, kvalitou buněčných stěn, koncentračním gradientem). Obvykle nejvyšší obsahy látek jsou v asimilačních orgánech. Velmi vysoké koncentrace některých prvků – zejména vápníku, draslíku, ale i hořčíku jsou obsaženy v kůře dřevin (2x až 15x více než ve dřevě). Naopak na živiny poměrně chudé je dřevo větví a kmene, tvořené převážně celulózą a lignínem. Ani v těchto částech dřevin nejsou obsahy látek rovnoměrné. ROTHPEFFER a KARLTUN (2007) dospěli u smrkových porostů k závěru, že při zanedbání gradientu koncentrací živin

**Tab. 4.**

Orientační hodnoty zásoby hlavních živin [kg·ha<sup>-1</sup>] v porostech smrku podle FEGERA et al. (1991), ALRIKSSONA, ERICSSONA (1998), NIHLGÅRDA (1971), SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000) a ŠRÁMKA et al. (2005)

Orientation values of supplies for main nutrients [kg·ha<sup>-1</sup>] in spruce stands according to FEGER et al. (1991), ALRIKSSON, ERICSSON (1998), NIHLGÅRD (1971), SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000) and ŠRÁMEK et al. (2005)

		N	P	K	Ca	Mg
Jehličí/Needles	průměr <sup>1)</sup>	194,4	20,1	88,2	63,1	10,6
	rozsah <sup>2)</sup>	(104-288)	(7,9-28,7)	(36-136)	(34-103)	(3,6-23,4)
Větve/Branches	průměr <sup>1)</sup>	129,8	11,1	61,1	92,3	13,0
	rozsah <sup>2)</sup>	(60-280)	(8,5-18,8)	(36-143)	(68-150)	(5,8-20,7)
Kmen/Stem	průměr <sup>1)</sup>	192,8	15,8	114,3	239,2	28,5
	rozsah <sup>2)</sup>	(111-270)	(8,0-28,5)	(60-172)	(108-407)	(19,0-50,9)

<sup>1)</sup>average; <sup>2)</sup>volume

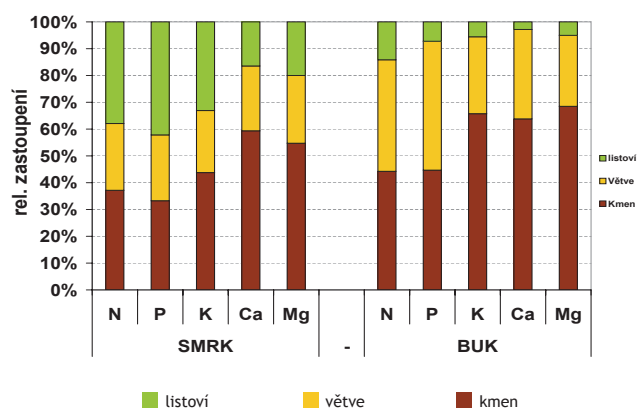
**Tab. 5.**

Orientační hodnoty zásoby hlavních živin [kg·ha<sup>-1</sup>] v porostech buku podle NIHLGÅRDA (1971) a SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000)

Orientation values of supply for main nutrients [kg·ha<sup>-1</sup>] in beech stand according to NIHLGÅRD (1971) and SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000)

		N	P	K	Ca	Mg
Listoví/Leaves	průměr <sup>1)</sup>	80,7	4,1	25,6	20,5	3,5
	rozsah <sup>2)</sup>	(40-130)	(2,1-6,4)	(13-33)	(8-34)	(1,6-7,5)
Větve/Branches	průměr <sup>1)</sup>	277,5	27,9	117,7	196,1	18,9
	rozsah <sup>2)</sup>	(67-760)	(9,2-61,4)	(63-251)	(122-401)	(10,7-47,7)
Kmen/Stem	průměr <sup>1)</sup>	242,5	22,6	261,6	381,6	44,0
	rozsah <sup>2)</sup>	(130-300)	(14,5-29,4)	(201-394)	(201-541)	(30,7-57,0)

<sup>1)</sup>average; <sup>2)</sup>volume



Obr. 1.

Poměrné zastoupení obsahu živin v biomase kmene, větví a listoví smrkových a bukových porostů. Data podle FEGERA et al. (1991), ALRIKSSONA, ERICSSONA (1998), NIHLGÅRDA (1971), SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000) a ŠRÁMKA et al. (2005)

Proportional representation of nutrient content in biomass of stem, branches and leaves in spruce and beech stands. Data according to FEGER et al. (1991), ALRIKSSON, ERICSSON (1998), NIHLGÅRD (1971), SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000) and ŠRÁMEK et al. (2005)

v kmeni dochází k podhodnocení obsahu K o 30 %, P o 51 % u Mg o 22 % - to se týká pouze obsahu živin v horní části kmene, nikoliv v celé nadzemní části. Vysoké koncentrace P a K indikují vyšší počet živých buněčných pletiv, naopak pokles koncentrací Ca od dřevě k okraji kmene indikuje vyšší koncentrace Ca ve starších částech rostlin. V kořenech smrku rostoucího na chudých písčitých půdách zjistili FEGER et al. (1991) 3x až 4x nižší obsahy živin než v nadzemní části. Téměř 50 % biomasy bylo alokováno v kořenovém kmeni, který šel do hloubky cca 30 cm, jemné kořeny představovaly cca 10 % biomasy kořenového systému.

Vázané obsahy živin se také pochopitelně odlišují podle věku lesního porostu a podle druhu dřeviny. Průměrné koncentrace živin v biomase klesají s narůstáním mladého porostu, po dosažení dospělosti (smrk cca 50 let, buk 80 let) se již tolik nemění (AUGUSTO et al. 2000). Přitom mladé porosty mají větší relativní zastoupení částí bohatých na živiny, jako je běl či dřev. U starších porostů je více zastoupeno jádrové dřevo s nižším obsahem živin. Stejná práce dokládá zajímavý fakt, že půdní vlastnosti mají pouze marginální vliv na obsah živin v biomase porostů (také HAGEN-THORN et al. 2004), přestože určitá variabilita ve výsledcích získaných různými autory existuje. Vázané obsahy živin tak odpovídají lépe celkové biomase dřevin než kvalitě stanoviště. I experimenty s hnojením lesních porostů ukázaly, že tyto zásahy ovlivňují obsah živin v asimilačních orgánech, méně v kůře a větvích a vůbec ne v jádrovém dřevě (INGERSLEV 1999).

Rozdíly mezi dřevinami spočívají jednak v odlišné celkové biomase na obdobných stanovištích, jednak na odlišných koncentracích látek v rostlinných pletivech. ALRIKSSON a ERIKSSON 1998 např. zjistili, že na lokalitách v severním Švédsku (výsadby na zemědělských půdách) mají břiza a modřín nejvyšší biomasu kmene, smrk a borovice naopak nejvyšší biomasu listoví.

Listnaté dřeviny mají obecně vyšší koncentrace obsahu prvků v biomase než jehličnany, ovšem u fosforu a vápníku to bývá naopak (HAGEN-THORN et al. 2004, WANG et al. 2000). Např. AUGUSTO et al. (2000) zjistili u buku vyšší obsah živin než u smrku, borovice a dou-

lasky. To se potvrdilo zejména pro N a K, pro Ca a Mg to již nebylo tak jasné a P nemohl být porovnán kvůli nedostatečnému množství dat. Ve skutečnosti nemusí tento fakt vždy znamenat výraznější vyčerpávání půd pod bukem, protože výše celkového odběru živin závisí na výši produkce, frekvenci a intenzitě pěstebních zásahů a době obmýti. Pokud se tyto údaje započítají do celkové bilance, pořadí dřevin se změní vzhledem k vyšší produkci a kratšímu obmýti u douglasky a smrku. Přes řadu prací věnovaných různým typům lesních porostů dosud chybí studie, které by se cíleně věnovaly problematice ovlivnění koloběhu živin při záměně dřevinné skladby v různých stanovištních podmínkách.

Orientační hodnoty zásoby prvků v biomase smrkových a bukových porostů jsou uvedeny v tabulce 4 pro dospělé smrkové a v tabulce 5 pro bukové porosty. Jak je patrné, absolutní hodnoty obsahu živin se mohou v závislosti na stanovištních podmínkách a produkční schopnosti porostů značně lišit. SCARASIA-MUGNOZZA et al. (2000) dokládá nárůst biomasy smrku v gradientu od Skandinávie do střední Evropy a následný pokles směrem ke středomoří. Lokální variabilita závislá na místních podmínkách ovlivňujících dostupnost živin a produkci však může být obdobná i vyšší než v gradientu zeměpisné šířky. Z porovnání tabulek vyplývá, že ve smrkových porostech je výrazně vyšší podíl živin vázaný v asimilačních orgánech, naopak v buku jsou celkově vyšší zásoby živin ve větvích a také zásoba živin ve kmeni je vyšší než u dospělých smrkových porostů. Relativní zastoupení živin v jednotlivých částech biomasy stromů v dospělých smrkových a bukových porostech je patrné z obrázku 1. V bukových porostech je zjevně větší část živin poutána v kmenech, což je výrazné zejména u fosforu (45 %), draslíku (66 %) a hořčíku (68 %). Ve větvích je pak poutána významná část zásoby fosforu (48 %) a dusíku (42 %). Pochopitelně je nutné si uvědomit, že u opadavých listnatých dřevin existuje větší dynamika obsahu jednotlivých prvků a že zejména ve větvích se zásoba živin v zimním a vegetačním období výrazně proměňuje.

Poměrně málo prací se vzhledem k náročnosti analýz věnuje podzemní biomase, která se u dospělých smrkových i bukových porostů obvykle pohybuje v rozsahu 13 až 30 % biomasy celkové, přičemž její hlavní součástí tvoří pařezy a hrubé kořeny. Jemné kořeny o průměru do 2 mm obvykle představují 1 – 4 % celkové biomasy porostů.

#### Poděkování:

Příspěvek vznikl v rámci projektu NAZV (QH81246) „Dynamika obsahů hlavních živin ve smrkových a bukových porostech v ČR – možnosti zajištění výživy lesních dřevin jako předpoklad trvale udržitelného rozvoje“ s významným přispěním výzkumného záměru Ministerstva zemědělství ČR (0002070203) „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

## LITERATURA

- AKSELLSON C., WESTLING O., SVERDRUP H., HOLMQUIST J., THELIN G., UGGLA E., MALM G. 2007. Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water, Air and Soil Pollution, Focus*, 7: 201-210.
- ALRIKSSON A., ERIKSSON, H. M. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden. *Forest Ecology and Management*, 108: 261-273.
- ASCHE N. 1997. Nährelementgehalt in Buchenblättern unter besonderer Berücksichtigung der zeitlichen Variation auf basenarmen Standorten in Nordrhein Westfalen. *Forstw. Cbl.*, 116: 394-402.
- AUGUSTO L., RANGER J., PONETTE Q., RAPP M. 2000. Relationship between forest tree species stand production and stand nutrient amount. *Annals of Forest Science*, 57: 313-324.
- BECKER-DILLINGEN J. 1939. *Die Ernährung des Waldes*. Berlin, Verl. f. Ackerbau: 589 s.
- BERGMANN, W. 1988. *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Jena, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag: 835 s.
- BEYSCHLAG W., WEDLE M., LANG O. L., HEBE U. 1987. Influence of magnesium fertilizer application on the photosynthesis and transpiration of Norway spruce on a magnesium-deficient site in the Fichtelgebirge. *Allgemeine-Forstzeitschrift*, no. 27-28-29: 738-741.
- BINKLEY D. 1986. *Forest Nutrition Management*. John Wiley & Sons: 290 s.
- BONNEAU M. 1995. *Fertilisation de forêts dans les pays tempérés*. Nancy, ENGREF: 367 s.
- BUBLINEC E., ILAVSKÝ J. 1990. Harvesting of aboveground biomass of trees and its effect on site conditions in forests. *Lesnictví*, 36: 887-894.
- BUCHMANN N., OREN R., ZIMMERMANN R. 1995. Response of magnesium-deficient saplings in a young, open stand of *Picea abies* (L.) KARST. to elevated soil magnesium, nitrogen and carbon. *Environmental-Pollution*, 87: 31-43.
- FEGER K. H., RASPE S., SCHMID M., ZÖTTL H. W. 1991. Verteilung der Elementvorräte in einem schlechtwüchsigen 100jährigen Fichtenbestand auf Buntsandstein. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 248-262.
- FIEDLER H., HÖHNE H. 1984. Die Bor-Ernährung von Koniferen und ihre Beziehung zum Gehalt an Calcium und Kalium in den Assimilationsorganen. *Beiträge für die Forstwirtschaft*, 18: 73-80.
- FISHER R. F., BINKLEY D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. Third edition. John Wiley & Sons: 489 s.
- FLÜCKIGER W., BRAUN S., FLÜCKIGER-KELLER H., LEONARDI S., ASCHE N., BUEHLER U., LIER M. 1986. *Untersuchungen über Waldschaden in festen Beobachtungsfeldern der Kantone Basel-Landschaft, Basel, Stadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zurich und Zug*. Schweiz. Zeitschr. f. Forstw.. 139: 917-1010.
- FOERST K., SAUTER U., NEUERBURG W. 1987. Bericht zur Ernährungssituation der Wälder in Bayern und über die Anlage von Walddüngeversuchen. München, Forstliche Forschungsberichte: 79: 7-9.
- GUDERIAN R., KUPPERS K., SIX R. 1985. Reaktionen von Fichte und Pappel auf Schwefeldioxid- und Ozonwirkung bei unterschiedlicher Versorgung mit Kalzium und Magnesium. *VDI-Berichte*, 560: 657-701.
- GUSSONE H. A. 1987. *Kompensationskalkung und die Anwendung von Düngemitteln im Walde*. *Forst- und Holzwirt*, 42: 158-163.
- HADAŠ P. 2006. Potenciální depoziční toky síry, dusíku, iontů vodíku a jejich vliv na zdravotní stav lesních porostů na území PLO Krušné hory. In: *Lesnický výzkum v Krušných horách. Recenzovaný sborník z celostátní vědecké konference*. Strnady, VÚLHM: 17-38.
- HAGEN-THORN A., ARMOLAITIS K., CALLESEN I., STJERNQUIST I., 2004. Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate species planted at the same stands. *Annals of Forest Science*, 61: 489-498.
- HERBAUTS J., PENNINGCKY V., GRUBER W., MEERTS P. 2002. Radial variations in cation exchange capacity and base saturation rate in the wood of pedunculate oak and European beech. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 1829-1837.
- HOFFMANN G., KRAUSS H. H. 1988. *Die Ausscheidung von Ernährungsstufen für die Baumarten Kiefer und Buche auf der Grundlage von Nadel und Blattanalyse und Anwendungsmöglichkeiten in der Überwachung des ökologischen Waldzustandes*. Berlin, Soz. Forstw. : 272-273.
- HUNGER W. 1974. Untersuchungen über die jahreszeitliche und jahresweise Fluktuation der Nährelementkonzentrationen in den Nadeln eines jüngeren Fichtenbestandes. *Flora*, 163: 422-442.
- HÜTTL R. F. 1986. *Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen in Südwestdeutschland am Beispiel Oberschwaben*. *Kali-Briefe*, 17: 1-7.
- HÜTTL R. F. 1990. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 128: 45-58.
- INGERSLEV M. 1999. Above ground biomass and nutrient distribution in a limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies*) plantation. Part I. Nutrient concentrations. *Forest Ecology and Management*, 119: 13-20.
- INGESTAD T. 1979. Mineral nutrition requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum*, 45: 373-380.
- INGESTAD T. 1982. Relative addition rate and external concentration: driving variables used in plant nutrition research. *Plant, Cell and Environment*, 5: 443-453.
- JENTSCHKE G., DREXHAGE M., FRITZ H. W., FRITZ E., SCHELLA B., LEE DOHYUNG, GRUBER F., HEIMANN J., KUHR M., SCHMIDT J., SCHMIDT S., ZIMMERMANN R., GODBOLD D. L. 2001. Does soil acidity reduce subsoil rooting in Norway spruce (*Picea abies*)? *Plant and Soil*, 237: 91-108.
- KHANNA P. K., ULRICH B. 1985. Processes associated with acidification of soils and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In: *Proc. symp. Air Pollution and Stability of Coniferous Forest Ecosystems*. Ostravice, October 1 - 5, 1984, Brno, Fac. Forestry Agric. Univ. 23-26.
- KRAPFENBAUER A., BUCHLEITNER E. 1981. *Holzernte, Biomassen- und Nährstoffaustrag, Nährstoffbilanz eines Fichtenbestandes*. *Centralblatt für das Gesamte Forstwesen*, 98: 193-223.
- KREUTZER 1979. *Ökologische Fragen zur Vollbaumernte*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 98: 298-308.
- LANDMAN G., HUNTER I. R., HENDERSHOT W. 1997. Temporal and spatial development of magnesium deficiency in forest stands in Europe, North America and New Zealand. In: Hüttl, R., F., Schaaf, W. (eds.): *Magnesium deficiency in forest ecosystems*. Kluwer Academic Publishers: 23-64.
- LINDER S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins*, 44: 178-190.

- LOCHMAN V. 1993. Spady imisních látek do lesních ekosystémů ve vztahu ke změnám v lesních půdách. *Lesnictví-Forestry*, 39: 58-72.
- LOMSKÝ B. 2004. Listové analýzy. In: Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu ICP Forests 2003. Jíloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 23-112. ISBN 80-86461-42-4.
- 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.
- LYR H., POSTER H., FIEDLER H. J. 1974. *Gehölzphysiologie*. Moskva, Lesnaja Promyšlenost: 421 s.
- MATERNA J. 1963. Hnojení lesních porostů. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 227 s.
- MATERNA J. 1964. Hnojení smrkových porostů. Metodiky ÚVTI. Praha
- MATERNA J. 1981. Výživa krušnohorských smrčín. *Lesnictví*, 27: 689-698.
- NĚMEC A. 1948. Hnojení lesních kultur. Lesní školky Brázda, Rádce zemědělce, 8: 218 s.
- NIHLGÅRD B. 1985. The ammonium hypothesis: An additional explanation of the forest dieback in Europe. *Ambio*, 14: 2-8.
- OLSSON B. A., BENGTSSON J., LUNDKVIST H. 1996. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest Ecology and Management*, 84: 135-147.
- POLLE A., MÖSSNANG M., SCHÖNBORN A., SLADKOVIC R., RENNENBERG H. 1992. Field studies on Norway spruce trees at high altitudes. *New Phytol.*, 121: 89-99.
- PRINZ B., KRAUSE G. H. M., STRATHMANN H. 1982. Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. *LIS-Berichte*, 28: 1-154.
- REHFUESS K. E. 1967. Beziehungen zwischen Standort, Ernährungszustand und Wuchsleistung von Tannenbeständen (*Abies alba* MILL.) in Süddeutschland. Gabilitätsschrift. München.
- ROTHPEFFER C., KARLTUN E. 2007. Inorganic elements in tree compartments of *Picea abies* – Concentrations versus stem diameter in wood and bark and concentrations in needles and branches. *Biomass and Bioenergy*, 31: 717-725.
- SCARASIA-MUGNOZZA G., BAUER G., A., PERSSON G., MATTEUCCI G., MASCI A. 2000. Tree biomass, growth and nutrient pools. In: Schulze, E., D. (ed.): Carbon and nitrogen cycling in European Forest Ecosystems. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 49-62
- SKEFFINGTON R. A., ROBERTS T. M. 1985. Effect of ozone and acid mist on Scots pine and Norway spruce: An experimental study. *VDI-Berichte*, 560: 747-760.
- SMITH C., T., MCCORMACK M. L., HORNBECK J. W., MARTIN C. W. 1986. Nutrient and biomass removals from a red spruce-balsam fir whole tree harvest. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 381-388.
- STEFAN K., HERMAN F. 1996. Nutrient contents of spruce needles from the Tyrolean Limestone Alps. *Phyton*, 36: 231-244.
- STREBEL O. 1960. Mineralstoffernährung und Wuchsleistung von Fichtebeständen in Bayern. *Forstw. Cbl.*: 79.
- ŠRÁMEK V., KULHAVÝ J., VEJPUŠKOVÁ M., MAXA M., FADRHOŇSOVÁ V., NOVOTNÝ R., LOMSKÝ B., ZÁHORA J., 2005. Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů. VÚLHM – závěrečná zpráva projektu NAZV QC1723, 54 s.
- ŠRÁMEK V., VEJPUŠKOVÁ M., NOVOTNÝ R., HELLEBRANDOVÁ K. 2008. Yellowing of Norway spruce stands in the Silesian Beskids – damage extent and dynamics. *Journal of Forest Science*, 54: 55-63.
- TESAŘ V., ANDĚL P., SCHWARZ O., VACEK S. 1982. Poznatky o míře ovlivnění lesních porostů Krkonoš imisemi na úrovni roku 1979. *Opera Concorctica*, 19: 79-94.
- TOMLISON G. H. 2003. Acidic deposition, nutrient leaching and forest growth. *Biogeochemistry*, 65: 51-81.
- TURK T., HORN R. 1991. Mineral balance in two differing deposition-affected Norway spruce ecosystems in Fichtelgebirge (NE-Bavaria). *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 66: 423-426.
- ULRICH B. 1986. Factors affecting the stability of temperate forest ecosystems. In: 18th IUFRO World Congress, Div. 1, vol. 1. Ljubljana, : 121-135.
- UNECE, 1998. 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. 4th edition, Hamburg, Germany.
- UNECE, 2005. The condition of forests in Europe, 2005 executive report. Federal Research Centre for Forestry and Forest Product (BFH), 32 s.
- UNECE, 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests Part IIIa. Sampling and Analysis of Soil. UNECE, CLRTAP, ICP Forests, 26 s.
- WANG J. R., LETCHFORD T., COMEAU, P., KIMMINS J. P. 2000. Above- and below-ground biomass and nutrient distribution of a paper birch and subalpine fir mixed-species stand in the sub-boreal spruce zone of British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 130: 17-26.
- WEHRMANN J. 1959a. Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. *Forstw. Cbl.*, 78: 65-97.
- WEHRMANN J. 1959b. Mineralstoffernährung in Kiefernbeständen in Bayern. *Forstw. Cbl.*, 78: 129-149.



## CONTENT OF NUTRIENTS IN FOREST STANDS - REVIEW

### SUMMARY

Chemical analysis of leaves or needles is the common basic procedure for assessing the nutritional status of trees and forest stands. Besides the absolute concentration, the ratio between single elements is also very important. The nutrient content of leaves can identify whether the plant is growing in the conditions of good or luxurious nutrition or whether it is stressed by an insufficient supply of some element. The exhibited signs of deficiency can be characterized by a certain level of nutrient concentration, with some range for different local conditions. This range starts with a "slight" deficiency, where the visual symptoms occur only in combination with other stresses (e. g., drought, insect attack), is followed by severe nutritional deficiency with common visible effects and ends with the physiological limit of nutrient content. These limits are usually handled in the form of nutritional tables that are used for the practical assessment of forest nutrition. Different sources can provide different limits for the nutrition of forest trees. The local site conditions and forest type should be considered as criteria for the evaluation of nutrition. Table 2 shows the limits used in the ICP Forests international monitoring programme, and table 3 shows the limits commonly used in the Czech Republic as more corresponding to the Central European values.

The results of foliar analysis can also be used for the detection of high concentrations of some elements. Sulphur, fluorine and chloride compounds accumulate in leaves under the impact of air pollution.

From the perspective of the nutrient cycle, forestry is usually considered to be a long-term sustainable activity. The nutritional output from the ecosystem represented by timber harvesting should be compensated by the weathering of soil particles and atmospheric deposition. This balance is enabled on one hand by the long interval of harvesting, which is on average 80 to 150 years; and on the other hand by the properties of wood, which consists mainly of carbon, oxygen and hydrogen – elements gained by plants from the atmosphere and water. The ideal equilibrium, however, is often disrupted by the long-term impacts of air pollution or by intensive forest management (whole tree harvesting, litter ranking, energy wood production).

Recenzováno

---

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Vít Šrámek, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.,  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 232; e-mail: sramek@vulhm.cz