

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Oddělení půdy a lesnictví



Central Institute for Supervising
and Testing in Agriculture
ISO 9001 certified

**Výsledky průzkumu stavu výživy lesa v přírodní lesní
oblasti č. 21 Jizerské hory a Ještěd**

dle specifikace činností spojených s řešením úkolů, které pro MZe – úsek lesního hospodářství provádí ÚKZÚZ
Brno

Závěrečná zpráva

Zpracovali: Dr. Ing. Přemysl Fiala
Ing. Dušan Reininger, Ph.D.
Ing. Tomáš Svoboda

Obsah

1. ÚVOD A METODIKA.....	5
1.1. Účel průzkumu	5
1.2. Použité zkratky.....	5
1.3. Vzorkování.....	6
1.4. Chemické analýzy	6
1.4.1. Metody chemických analýz lesních půd	6
1.4.2. Metody chemických analýz rostlinných pletiv	7
1.5. Statistické zpracování.....	7
1.6. Seznam a poloha odběrných míst.....	8
2. POPIS OBLASTI	11
2.1. Poměry geologické, pedologické a typologické	11
2.1.1. Geologické údaje.....	11
2.1.2. Pedologické údaje	11
2.1.3. Typologické údaje.....	12
2.2. Imisní zatížení a atmosférické spady	13
3. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	14
3.1. Mocnost horizontů	14
3.2. Množství nadložního organického materiálu.....	14
3.3. Chemická půdní reakce.....	15
3.4. Uhlík.....	17
3.5. Poměr C/N	18
3.6. Poměr C/P	19
3.7. Dusík.....	20
3.8. Fosfor.....	22
3.9. Draslík.....	24
3.10. Vápník.....	26
3.11. Hořčík.....	29
3.12. Síra.....	32
3.13. Železo.....	34
3.14. Hliník.....	35
3.15. Mangan	37
3.16. Bor	40
3.17. Rizikové prvky	41
3.17.1. Kadmium.....	42

3.17.2. Chrom	43
3.17.3. Měď	44
3.17.4. Olovo	47
3.17.5. Zinek	49
4. VÝVOJ SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ V OBDOBÍ 2006-2021	52
4.1. Jehličnaté porosty	52
4.1.1. Nadložní organický horizont	52
4.1.2. Organominerální horizont	52
4.1.3. Minerální horizont.....	53
4.1.4. Smrk ztepilý (jehlice).....	54
4.2. Listnaté porosty.....	54
4.2.1. Nadložní organický horizont	54
4.2.2. Organominerální horizont	55
4.2.3. Minerální horizont.....	55
4.2.4. Buk lesní (listy).....	56
5. ZÁVĚR	57
6. LITERATURA	58
7. PŘÍLOHY (POPISNÉ STATISTIKY 2021).....	61
7.1. Nadložní organický horizont.....	61
7.2. Organominerální horizont	63
7.3. Minerální horizont.....	65
7.4. Asimilační orgány	67

1. ÚVOD A METODIKA

1.1. Účel průzkumu

V roce 2021 provedl ÚKZÚZ na základě specifikace MZe Č.j.: MZE-24276/2021-16212 průzkum výživy lesa v PLO č. 21 Jizerské hory. Odběr půdních vzorků a vzorků asimilačních orgánů nejvíce zastoupených dřevin byl proveden v srpnu až říjnu roku 2021. Vzorky byly analyzovány v laboratořích NRL ÚKZÚZ.

Při vzorkování, skladování a předávání vzorků bylo dbáno zásad zakotvených v příslušném metodickém pokynu, který je součástí řízené dokumentace ústavu.

Posláním průzkumu je informování vlastníků lesních pozemků o chemizmu půdního prostředí a pletiv asimilačních orgánů (jehlic běžného a předchozího roku u jehličnanů a listů u opadavých dřevin) s případným upozorněním a návrhy, vedoucími ke zlepšení zdravotního stavu lesa.

Průzkum byl proveden vzorkováním na 101 stanovištích (odběrných místech), které reprezentují plošně nejvíce zastoupené soubory lesních typů.

1.2. Použité zkratky

A – organominerální horizont

B – minerální horizont

C_{ox} – oxidovatelný uhlík

FAAS – plamenová atomová emisní absorpční spektrofotometrie

GPS – globální polohový systém

ICP – OES – optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu

LVS – lesní vegetační stupeň

MZe – Ministerstvo zemědělství

OM – odběrné místo

PLO – přírodní lesní oblast

ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

NRL – národní referenční laboratoř

NIRS – metoda blízké infračervené spektroskopie

N_{tot} – celkový dusík

Další zkratky ve vysvětlivkách pod tabulkami.

1.3. Vzorkování

Při plánování odběrů v PLO 21 byl brán ohled na několik zásadních faktorů: 1. vzorkování zahrne celou oblast, 2. v úvahu bylo rovněž bráno umístění dřívějších odběrných míst pro možnost zachycení vývoje chemizmu půdního prostředí a výživy dřevin, 3. zaměřit se na porosty ovlivněné vápněním v předcházejících letech, 4. byl brán v úvahu i současný zdravotní stav lesních porostů.

Získaný soubor výsledků umožňuje, i přes určitou rozdílnost vyhodnotit vývoj šetřených chemických vlastností v PLO. Celkem byly vzorky půd, jehlic a listů odebrány na 101 odběrných místech.

Vzorek nadložního organického horizontu se odebírá z plochy 25 x 25 cm až na rozhraní s minerální půdou. Z této plochy se jako vzorek odebírá veškerá hmota, která tvoří organický horizont. Z minerální půdy se odebírají směsné vzorky z organominerálního horizontu (epipedonu) a z horizontu minerálního do hloubky 35–40 cm. Směsné vzorky se odebírají ze tří až pěti míst na vzorkovaném stanovišti. Půdní vzorky jsou uloženy do polyetylenových sáčků a přepraveny do laboratoře, kde jsou skladovány v teplotě do 10 °C.

Pro potřebu analýz pletiv asimilačních orgánů byly odebírány u jehličnanů jehlice běžného a předchozího roku, a to z porostů ve stadiu tyčkovin až tyčovin z 2.–7. přeslenu z osluněné strany. K odběru se používají teleskopické nůžky s dosahem 6 m. Vzorky jehlic byly uloženy v papírových sáčcích a předány do laboratoře k sušení.

Odběrná místa jsou umístěna v porostních skupinách současného rozdělení lesa a jsou vyplněny průvodní listy s krátkým popisem odběrných míst. Při popisu půdního prostředí se používá odborných klasifikačních termínů (NĚMEČEK ET AL., 2001). Souřadnice jsou zaměřeny na místě systémem GPS.

1.4. Chemické analýzy

1.4.1. Metody chemických analýz lesních půd

Horizont nadložní organický:

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

Organominerální a minerální horizont:

půdní reakce aktivní a výměnná ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$), stanovení výměnné acidity z dvojího měření pH, stanovení obsahu dusíku a oxidovatelného uhlíku (N_{tot} a C_{ox}) metodou NIRS, stanovení obsahu přístupných živin K, Ca, Mg, Al, Fe a S ve výluhu Mehlich III měřených na ICP – OES, P - spektrofotometricky, stanovení extrahovatelných obsahů Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, Pb, Zn ve výluhu HNO_3 ($c = 2 \text{ mol/L}$) měřených na ICP OES,

stanovení celkových obsahů P, K, Ca, Mg, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn v lučavce královské měřených na ICP – OES.

1.4.2. Metody chemických analýz rostlinných pletiv

Rozklad: N – mineralizace na mokré cestě ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Se}$, H_2O_2)

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

Rozklad: B, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Al, Cu, Cr, Ni, P, K, Ca, Mg – mineralizace na suché cestě (2 mol/l HNO_3)

Stanovení: B, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Al, Cu, Cr, Ni, P, K, Ca, Mg – ICP – OES – Spectro Arcos

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

Stanovení: S – ICP – OES – Spectro Arcos

1.5. Statistické zpracování

Ke statistickému zpracování byl použit software Microsoft® Excel® pro Office 365 MSO, StatSoft, Inc. (2013) STATISTICA (data analysis software system), version 12. a software ArcGIS Desktop 10.5.1 © 1999–2019 Esri Inc., Applications: Esri® ArcCatalog™ 10.5.1.7333, Esri® ArcMap™ 10.5.1.7333

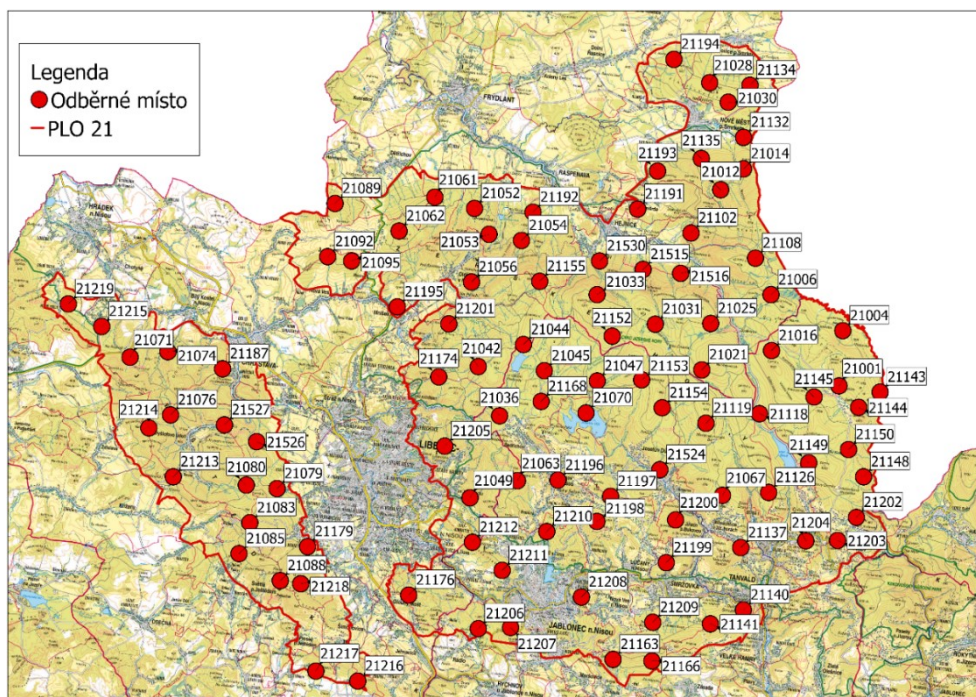
1.6. Seznam a poloha odběrných míst

Tab. 1: Seznam odběrných míst

Odběrné místo	Vlastník	Zastoupení dřevin	Lesní typ
21001	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21004	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21006	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21012	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, BR +	6K1
21014	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	6K2
21016	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21021	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	7K5
21025	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21028	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 80, BK 20	5K1
21030	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S1
21031	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21033	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	7K5
21036	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K2
21042	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21044	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21045	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21047	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21049	LČR LS Jablonec nad Nisou	BK 60, SM 40, MD +	4K4
21052	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, BK +	4K1
21053	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100, SM +	4N2
21054	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100, OL +	4S1
21056	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100	5S2
21061	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	4S2
21062	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5K1
21063	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K1
21067	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BK +	6S2
21070	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21071	LČR LS Ještěd	SM 70, BK 30	4S2
21074	LČR LS Ještěd	SM 100, BK +	4A1
21076	LČR LS Ještěd	BK 80, SM 20	5K1
21079	LČR LS Ještěd	SM 100	5K1
21080	LČR LS Ještěd	SM 100	6K1
21083	LČR LS Ještěd	SM 100	6K1
21085	LČR LS Ještěd	SM 100	6K1
21088	LČR LS Ještěd	SM 80, BK 20	6F1
21089	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S2
21092	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S2
21095	Město Chrastava	SM 100	5K1
21102	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100	5N4
21108	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21118	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	6K5
21119	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	7K5
21126	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BK +	6S2
21132	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S2

Odběrné místo	Vlastník	Zastoupení dřevin	Lesní typ
21134	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S1
21135	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	5S2
21137	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, MD +, JR +	6S2
21140	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21141	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BR +, BK +	6N2
21143	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21144	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K1
21145	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	8K3
21148	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6S2
21149	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K5
21150	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6S2
21152	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	7N2
21153	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	8G1
21154	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	7K3
21155	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100	6K9
21163	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6N2
21166	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 97, MD 3, BK +, BR +	6N2
21168	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BK +	6K5
21174	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 95, BK 5	6K1
21176	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, VJ +	6K1
21179	LČR LS Ještěd	SM 80, JR 10, BK 10	5O1
21187	LČR LS Ještěd	SM 100/ BK 100	4S2
21191	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, LP +	3S2
21192	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, BK +, DB	3K1
21193	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, BO +	5K1
21194	LČR LS Frýdlant v Čechách	SM 100, BK +	5K1
21195	Obec Mníšek	DB 100, BO +	3K1
21196	Římskokatolická farnost	SM 100, BK +, BR +, MD +	6K1
21197	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K1
21198	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BK +	6K1
21199	Fyzická osoba	SM 100	6K1
21200	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100, BK +, BR +, MD +	6N1
21201	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 80, BK 20	5N1
21202	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K1
21203	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 50, BK 50	6N3
21204	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 90, BK 10	6K1e
21205	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 50, BK 50	5K1
21206	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21207	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21208	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5V2
21209	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	6K1
21210	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21211	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21212	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 100	5K1
21213	LČR LS Ještěd	SM 100	5K1
21214	LČR LS Ještěd	SM 100, BK +	5S2
21215	LČR LS Ještěd	SM 100	3I2

Odběrné místo	Vlastník	Zastoupení dřevin	Lesní typ
21216	Obec Bílá	BO 40, BK 40, BR 10, SM 10	3K2
21217	Fyzická osoba	SM 40, BO 40, DB 20	3K1
21218	LČR LS Ještěd	SM 100	6F1
21219	LČR LS Ještěd	SM 100, BR +	3H1
21515	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100	5N2
21516	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100	5N2
21524	LČR LS Jablonec nad Nisou	SM 50, BK 50	6A2
21526	LČR LS Ještěd	BK 100	4W4
21527	LČR LS Ještěd	BK 100	4A9
21530	LČR LS Frýdlant v Čechách	BK 100, DB +	4M2



Obr. 1: Poloha odběrných míst (OM) v rámci PLO 21

Tab. 2: Vlastníci lesních pozemků

Vlastník	Počet odběrných míst
Fyzické osoby	2
LČR Frýdlant v Čechách	37
LČR Jablonec nad Nisou	41
LČR Ještěd	17
Město Chrastava	1
Obec Bílá	1
Obec Mníšek	1
římskokatolická farnost	1
Celkem	101

Šetřené porosty se nacházejí převážně na pozemcích spadajících pod správu Lesů české republiky. Nejvíce zastoupené jsou lesní správy Frýdlant v Čechách a Jablonec nad Nisou.

2. POPIS OBLASTI

2.1. Poměry geologické, pedologické a typologické

2.1.1. Geologické údaje

Průzkum výživy lesa se soustředil na porosty náležející k plošně nejvýznamnějším hospodářským souborům lesa.

Z hlediska geologického podkladu byly podchyceny porosty na nejvíce rozšířené liberecké žule, která patří ke Krkonošsko-jizerskému plutonu a je stará asi 300 mil. let. Tento pluton se táhne ve směru od východu k západu a tvoří ležatou osmičku se zúžením ve střední části. Jeho hloubka je asi 20 km. Od Harrachova po Sněžku je asi 70 km.

Další porosty leží na podloží, které je prostorově tvořeno několika facemi. První facie je dvojslídňá žula, ta je starší a nachází se na Černostudničním hřebenu a také mezi Mníškem a Chrastavou. Je kyselější s plagioklasy, jež obsahují albit (nejkyselější plagioklas). Biotit obsahuje hořčík a železo. Při zvětrávání tato žula „pláče“, objeví se šmouhy biotitu, ty se rozpouštějí a zase se sráží.

Na západě je hrubozrnější facie s porfyrickými vrostlicemi ortoklasu a směrem na východ se zmenšuje zrno. Jizerská žula není porfyrická, má více plagioklasů a je kyselější. Oblast Fojtky tvoří granodiorit, který je zásaditější. Zde se v tavenině smíchal amfibolit s křemenem.

Jižně od linie Smržovka – Bedřichov – Fojtka na západních a severních svazích se vyskytuje hrubozrná porfyrická žula. Černostudniční hřeben a Bedřichovský les u Stráže nad Nisou jsou budovány odlišným typem „tanvaldské“ žuly – středně zrnité, dvojslídňé. U Jizerky proráží žulu třetihorní kužel Bukovce (olivinický nefelinit). Významnou oblastí zachycenou při průzkumu je oblast Karlovských bučin, tvořená krystalickými vápenci a dolomity. Na Malém Ještědu a Ptačích kamenech se vyskytují metabazy a Hlubockém hřebenu s Ještědem se střídají různé druhy fylitů.

2.1.2. Pedologické údaje

Na odběrných místech průzkumu byly plošně nejvýznamnějšími půdními typy ve vyšších polohách podzoly a kryptopodzoly a v nižších polohách kambizemě. Dále kamenité rankery, případně kambizemě rankerové, nebo rendziny (Karlovské bučiny). Některá odběrná místa postihly přechody od podzolů k organozemím, případně fluvizemím s proudící vodou.

Jílovitá frakce jemnozemě je podle zběžného porovnání vyšší v organominerálních horizontech (A) (Tab. 3). Zastoupení frakce prachu a písku je v šetřených horizontech podobné.

Šetřením půdní zrnitosti jsme nezjistili rozdíly, které by mohly být spojené s vertikálním zastoupením jednotlivých frakcí. Rozhodující vliv na půdní úrodnost z hlediska půdních druhů má tedy zastoupení skeletu.

Na šetřených odběrných místech nebyla zjištěna významná spojitost zrnitosti s horninovým substrátem.

Tab. 3: Zrnitostní frakce půdy na šetřených půdotvorných substrátech.

Odběrné místo	<0,001 mm		(0,01 – 0,05) mm		(0,05 – 0,25) mm		hornina
	Horizont		Horizont		Horizont		
	A	B	A	B	A	B	
21004	8,82	4,86	32,69	35,56	15,44	19,03	1
21014	8,42	6,15	24,8	31,43	34,79	31,5	5
21025	6,41	5,13	23,58	23,04	16,46	17,88	1
21028	5,95	7,51	36,42	38,68	21,19	12,07	6
21030	10,4	10,33	43,19	42,04	13,26	13,65	6
21031	8,11	6,98	31,31	35,63	14,41	15,5	1
21033	7,08	6,18	24,25	25,5	19,42	20,96	1
21049	9,76	6,65	29,81	33,7	10,41	11,16	2
21053	5,76	2,89	17,96	30,47	21,64	18,59	2
21070	9,88	6,35	22,4	24,93	13,75	17,14	1
21074	10,44	7,31	37,88	35,62	13,52	16	3
21080	10,14	8,72	30,49	26,98	13,36	14,91	4
21083	12,26	13,81	22,3	22,24	13,53	11,89	5
21119	5,7	8,75	32,46	27,23	16,49	17,09	1
21140	---	3,72	---	31,99	---	24,75	2
21152	4,51	4,71	19,21	14,06	24,82	22,6	1
21153	8,02	5,81	24,8	23,06	20,26	19,32	1
21176	9,02	9,97	24,12	24,84	18,01	19,64	2
21187	12,34	13,86	34,7	36,45	7,41	7	5

1-granit až granodiorit, 2 – granit, 3- granodiorit, 4 – metalydit, 5 – fylit + svor, 6 - metagranit

2.1.3. Typologické údaje

Podle rozložení odběrných stanovišť ve vegetačních stupních je zřejmá přítomnost šetřených listnatých a smíšených porostů do 5. LVS. Šetřené jehličnaté porosty převažují v 5. a 6. LVS a jejich nezanedbatelný podíl je i ve vyšším 7. a 8. LVS (Tab. 4).

Tab. 4: Zastoupení lesních vegetačních stupňů v PLO (%) a počet odběrných míst

LVS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sa
zastoupení v PLO (%)*	4,9	10,8	25,9	21,1	21,1	11,2	3,8	1	0,2	100
OM celkem	---	---	7	11	29	38	5	11	---	101
OM jehličnaté	---	---	5	4	23	36	5	11	---	84
OM listnaté a smíšené	---	---	2	7	6	2	---	---	---	17

* Platné dokumenty OPRL (uhul.cz)

Tab. 5: Počet odběrných stanovišť podle edafických kategorií

Edafická kategorie	M	K	N	I	S	F	W	H	A	V	O	G	Sa
Jehličnaté porosty	---	55	6	1	15	2	---	1	1	1	1	1	84
Listnaté a smíšené porosty	1	5	5	---	3	---	1	---	2	---	---	---	17

Šetřené jehličnaté porosty se nacházejí převážně v kyselé a v menší části ve svěží edafické kategorii (Tab. 5). U listnatých a smíšených porostů je relativně vyšší podíl na kamenitých stanovištích edafických kategorií N, W, A.

2.2. Imisní zatížení a atmosférické spady

Tab. 6: Roční mokrá depozice celková – Souš

Roční mokrá depozice celková – Souš
$\text{NH}_4^+ = 655 \text{ mg/m}^2$, tj. $6,55 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$.
$\text{NO}_3^- = 1079 \text{ mg/m}^2$, tj. $10,79 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$.
$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- = 17,34 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$.
$\text{N} = 9,3 \text{ kg/ha/rok}$; $\text{Mg} = 0,25 \text{ kg/ha/rok}$; $\text{K} = 0,55 \text{ kg/ha/rok}$; $\text{Ca} = 1,76 \text{ kg/ha/rok}$

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html

Tab. 7: Roční průměrné koncentrace vážené srážkovým úhrnem týdenní hodnoty

rok	LUHLB ⁽¹⁾	LUHLB ⁽¹⁾	LUHLS ⁽¹⁾	LUHLS ⁽¹⁾	LUHLS ⁽²⁾	LUHLS ⁽²⁾	LSOUF ⁽²⁾	LSOUF ⁽²⁾
2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2021
Srážky (mm)	1496	2544	2776,4	1055,6	2776,4	1305,6	1124,3	1229,3
H^+ (mg.m ⁻²)	7,18	0,0	7,91	4,43	4,14	3,9	4,27	7,27
Na^+ (mg.m ⁻²)	255	1202	1436	350	1298	467	93	163
K^+ (mg.m ⁻²)	194	1093	5377	1719	4519	2037	154	56
NH_4^+ (mg.m ⁻²)	680	3991	3118	790	2353	735	655	657
Mg^{2+} (mg.m ⁻²)	69	270	406	129	290	112	39	35
Ca^{2+} (mg.m ⁻²)	248	1412	1132	477	953	474	116	190
Mn (mg.m ⁻²)	8,2	39,5	30,2	12,2	49,6	22,0	2,4	2,2
Zn (mg.m ⁻²)	8,3	55,8	42,2	12,4	22,4	16,3	9,4	7,1
Fe (mg.m ⁻²)	---	---	---	---	---	---	37	29
Pb (mg.m ⁻²)	0,5	2,4	1,9	0,6	1,0	0,7	0,7	0,6
Cd (mg.m ⁻²)	0,04	0,12	0,07	0,02	0,08	0,03	0,14	0,09
Ni (mg.m ⁻²)	7,4	8,9	9,9	2,5	2,0	2,7	0,3	0,2
F^- (mg.m ⁻²)	---	---	---	---	---	---	6	6
Cl^- (mg.m ⁻²)	476	2051	2734	841	2298	887	166	262
NO_3^- (mg.m ⁻²)	1357	6026	6366	1081	4375	1731	1079	1753
SO_4^{2-} (mg.m ⁻²)	1040	4799	4581	1763	3955	1677	709	1003

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/index_CZ.html

1) Roční mokrá depozice, ČGS; měsíční hodnoty Uhlířská, Bedřichov; Bulk, srážky s prašným spadem

2) Roční mokrá depozice, ČHMÚ; týdenní hodnoty, Souš, čisté srážky, automatický pluviokolektor

3) F⁻ v letech 2020 – 2021 neměřeno

Z měření ČGS vyplývá (Tab. 7), že v roce 2020 jsou podkorunové srážky vyšší než srážky celkové (bulk s prašným spadem) a vyšší jsou rovněž spady měřených iontů. V roce 2021 jsou naopak podkorunové srážky nižší a obsahy iontů vyšší.

3. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Pro účely vyhodnocení výsledků chemických analýz půd byly zvlášť hodnoceny výsledky z jehličnatých porostů (84 OM) a listnatých porostů (11 OM).

3.1. Mocnost horizontů

Mocnost nadložního organického horizontu (Tab. 8) souvisí s rychlostí koloběhu živin v biochemickém cyklu a vedle vnějších fyzikálních podmínek lesního prostředí je ovlivněna především chemizmem opadu. Mocnost nadložního horizontu ve smrkových porostech je nepatrně vyšší ve srovnání s listnatými porosty.

Tab. 8: Vybrané charakteristiky nadložního organického horizontu (medián)

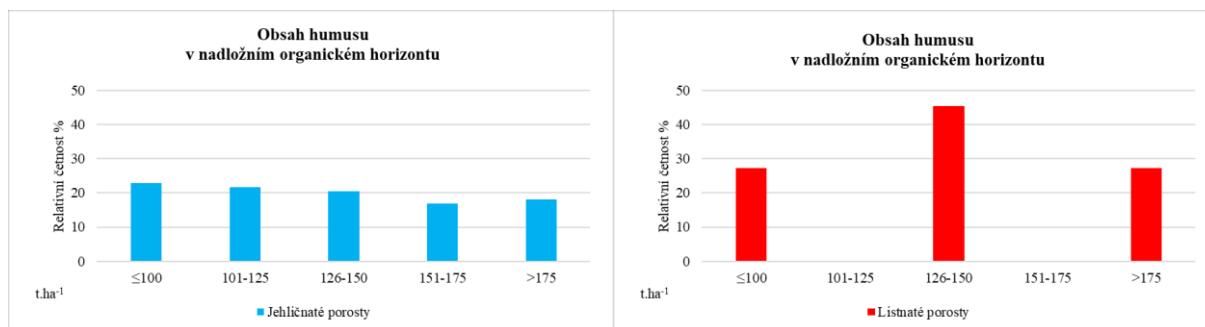
Půdní charakteristika	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Mocnost horizontu (cm)	8	7,3
Nadložní materiál (t/ha)	130	145
C _{ox} (%)	29,0	26,2
N _{tot} (%)	1,35	1,15
P (mg/kg)	928	789
pH _{CaCl}	3,2	3,4
pH _{H2O}	4,2	4,3
N _{tot} (kg/ha)	1734	1770
P (kg/ha)	115	97
C/N	21,0	22,2
C/P	327	329
Ca/(Ca + Al + Fe)	0,05	0,04

Tab. 9: Vybrané charakteristiky organominerálního a minerálního horizontu (medián)

Horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Mocnost horizontu (cm)		
Organominerální	6	12
Minerální	7	15
Obsah skeletu (%)		
Organominerální	45	59
Minerální	59	71
Obsah dusíku (%)		
Organominerální horizont	0,25	0,26
Minerální horizont	0,17	0,14

3.2. Množství nadložního organického materiálu

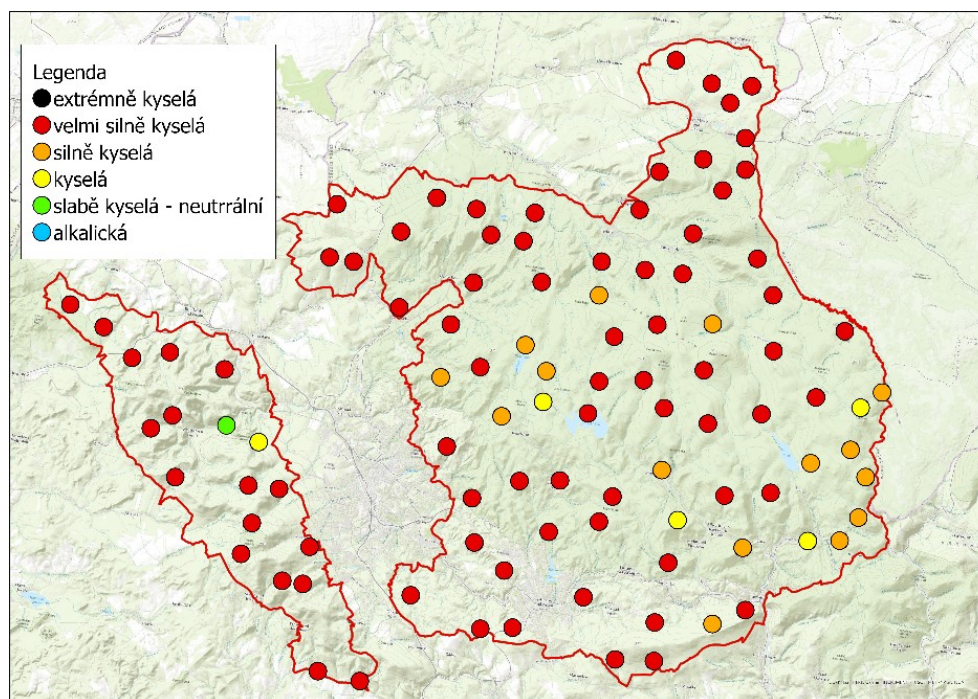
Množství nadložního organického materiálu je přibližně stejné na jehličnatých i listnatých stanovištích (Tab. 8). Podle pozorování BERGER ET BERGER (2014) po dvou letech po opadu jehlic a listů přestává být průkazný rozdíl rozpadu. Čerstvé bukové listy má vyšší kvalitu než smrkové jehlice. Bukové listy má vyšší obsahy živin s výjimkou Mn a P na bohatších stanovištích a retranslokace do starších pletiv (u buku do letorostů) je vyšší u buku než u smrku. Vedle samotné chemické povahy opadanky se uplatňují abiotičtí činitelé (mikro a makro klima, minerální síla hornin), v jejichž důsledku může docházet k hromadění bukového opadového materiálu ve výši srovnatelné se smrkovými stanovišti.



Obr. 2: Množství nadložního organického materiálu v nadložním organickém horizontu

3.3. Chemická půdní reakce

V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů převažuje na šetřených stanovištích velmi silně kyselá půdní reakce (Obr. 4). Ta převažuje i v listnatých porostech, zde jsou ovšem zjištěny i nižší hodnoty kyselosti na bohatších stanovištích. Nadložní organický materiál stanovišť jehličnatých porostů ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2$) má nižší hodnotu pH v porovnání s porosty listnatými ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,3$). Nižší kyselost nadložního organického materiálu v listnatých ekosystémech souvisí s chemickým složením opadu i s faktem, že buk přijímá bazické kationty z větších hloubek a vyrovnává tím okyselování nadložního horizontu (BERGER ET AL., 2004). V případě Jizerských hor nejsou vyšší hodnoty pH a obsahy bazických kationtů, všeobecně zjišťované v listnatých porostech, potvrzeny.



Obr. 3: Kartogram chemické půdní reakce aktivní v nadložním organickém horizontu



Obr. 4: Chemická půdní reakce aktivní v šetřených horizontech

Tab. 10: Chemizmus nadložního organického materiálu (medián)

	pH _{H2O}	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
Jehličnaté porosty	4,2	928	958	700	516	7442	6654	83,7
Listnaté porosty	4,3	789	1053	764	964	8446	9384	153

Mikrobiální uvolňování a imobilizaci prvků z nadložního organického materiálu studují BEREGR ET BERGER (2012) a zjišťují, že čistá imobilizace Al, Fe a Mn v nadložních organických horizontech je vyšší u buku než u smrku. Tento poznatek odpovídá našemu pozorování.

Tab. 11. Chemická půdní reakce v jednotlivých horizontech (medián)

	Půdní horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
pH _{CaCl2}	Nadložní organický	3,2	3,4
	Organominerální	3,4	3,7
	Minerální	3,8	4,3
pH _{H2O}	Nadložní organický	4,2	4,3
	Organominerální	4,1	4,4
	Minerální	4,5	4,7

V minerálních částech půdních profilů se hodnoty chemické půdní reakce pohybují v oblasti velmi silně kyselé (Tab. 11). Je zjištěno mírné zvyšování hodnoty pH směrem

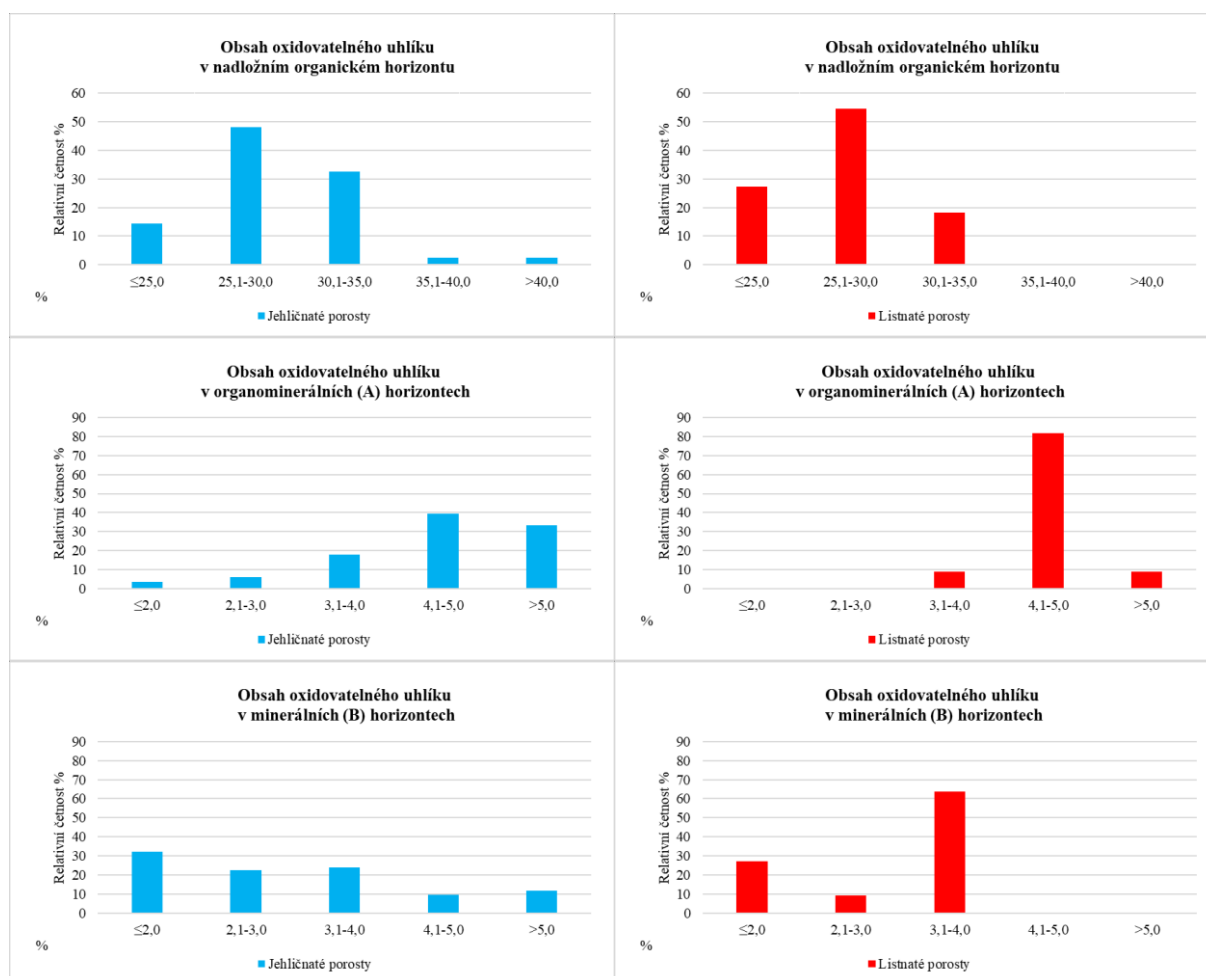
do spodin půdních profilů s výjimkou půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), kde je nejnižší hodnota v organominerálních horizontech, tedy pod horizonty nadložního organického materiálu ve smrkových porostech. Zde se poněkud rozcházíme se zjištěními autorů NOVOTNÝ ET FADRHOŇSOVÁ (2021), kteří publikují zvyšující se hodnotu pH paralelně v obou typech porostů.

Poznatky o průkazně vyšších hodnotách pH v organominerálních horizontech bukových porostů uvádí ŠPULÁK ET KACÁLEK (2017).

3.4. Uhlík

Hodnoty oxidovatelného uhlíku jsou v nadložním materiálu relativně shodné v jehličnatých a listnatých porostech.

V minerálních částech půdních profilů jsou poněkud vyšší obsahy C_{ox} v listnatých porostech, což je zřejmě spojeno s vyšší skeletovitostí a prostupností stanovišť kamenitých edafických kategorií. Svou roli může hrát i prostorové rozdělení, kdy listnaté porosty jsou soustředěny především v severozápadní části oblasti a na její severní hranici, a především v nižších polohách. Také půdní typy jsou územně rozděleny. Kambisoly převažují v nižších polohách a podzoly zaujímají vyšší partie (BORŮVKA ET AL., 2005).



Obr. 5: Obsahy oxidovatelného uhlíku v šetřených horizontech

Tab. 12. Oxidovatelný uhlík v % (medián)

Horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Nadložní organický	29,0	26,2
Organominerální	4,60	4,68
Minerální	2,90	3,22

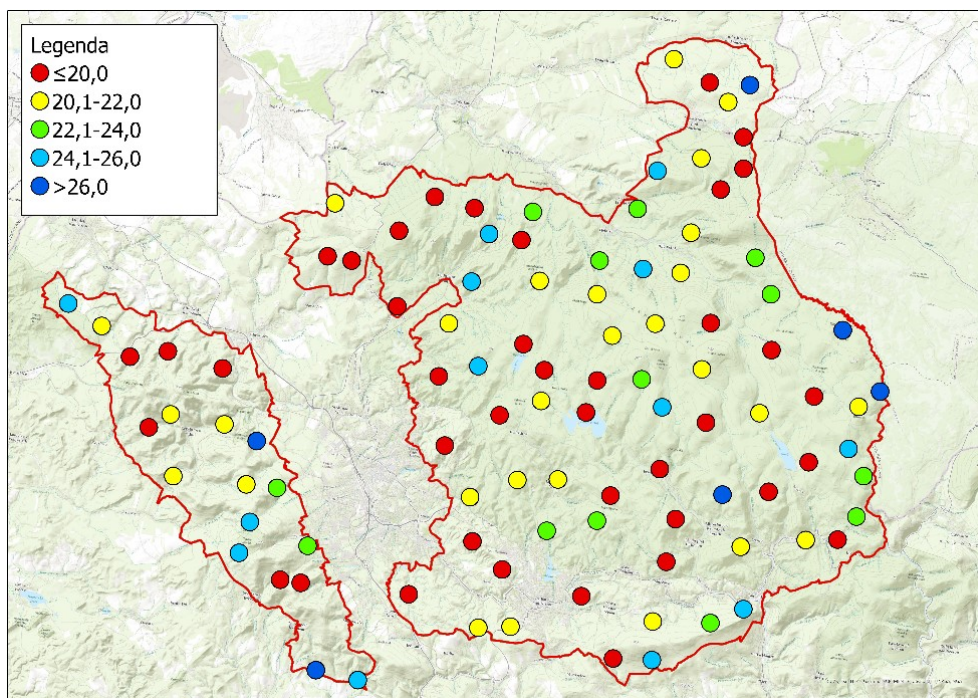
V listnatých porostech je ve všech šetřených horizontech nižší rozpětí hodnot obsahů, které může být odrazem nižší typologické variability šetřených 11 stanovišť ve srovnání se stanovišti jehličnatými. Obsahy C_{ox} jsou v nadložních i organominerálních horizontech podobné. V minerálních horizontech jsou obsahy oxidovatelného uhlíku poněkud vyšší.

3.5. Poměr C/N

Poměr C/N v nadložním organickém materiálu bývá všeobecně příznivější - nižší v listnatých zvláště bukových porostech. Nicméně naším průzkumem není tento trend potvrzen. Obsah oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) smrkových a bukových porostů je přibližně stejný a obsah celkového dusíku (N_{tot}) je vyšší v jehličnatých porostech. Působení atmosférického dusíku může mít depresivní efekt na míru dekompozice opadanky.

Tab. 13. Poměr C_{ox}/N_{tot} (medián)

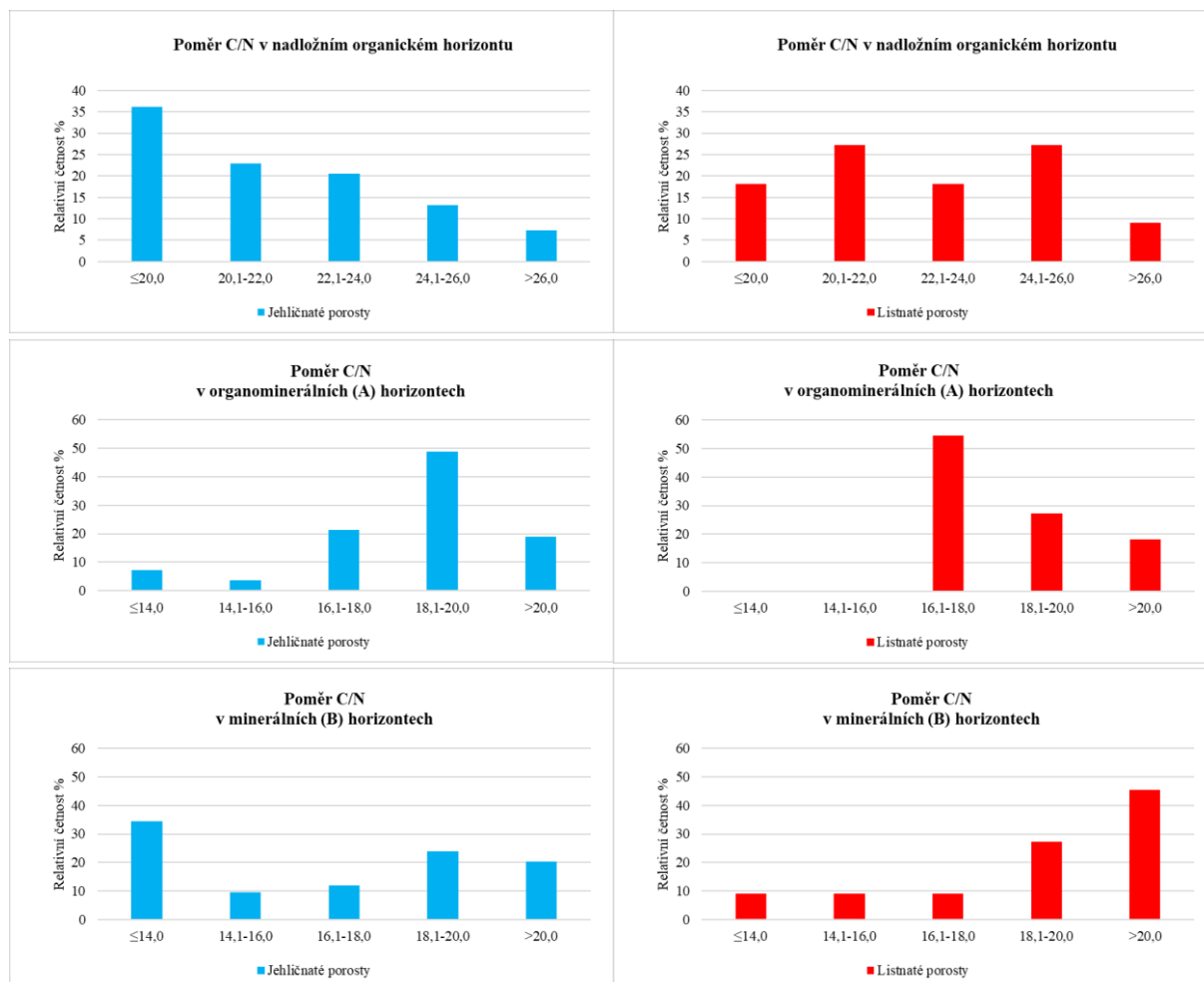
Horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Nadložní organický	21,0	22,2
Organominerální	18,9	16,8
Minerální	17,1	18,1



Obr. 6: Kartogram poměru C/N v nadložním organickém horizontu

Rozklad opadanky nižší kvality, tedy s vysokým obsahem ligninu, je pomalejší než rozklad opadanky s nízkým obsahem ligninu. Organický dusík může být přijímán u minerální půdy houbami a následně imobilizován v nadložním organickém materiálu (ZHENG

ET AL., 2017). Zde je pravděpodobná příčina nízkých poměrů C/N v organominerálních horizontech, a to jak v jehličnatých (C/N = 18,9), tak v listnatých (C/N = 16,8) porostech. Rozložení četností poměrů C/N ukazuje na podobné chemické složení i množství nadložního organického materiálu.



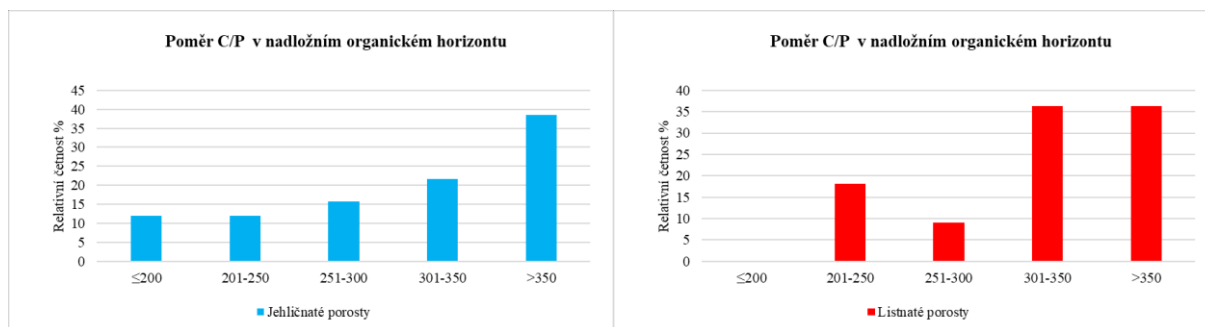
Obr. 7: Poměry C/N v šetřených horizontech

3.6. Poměr C/P

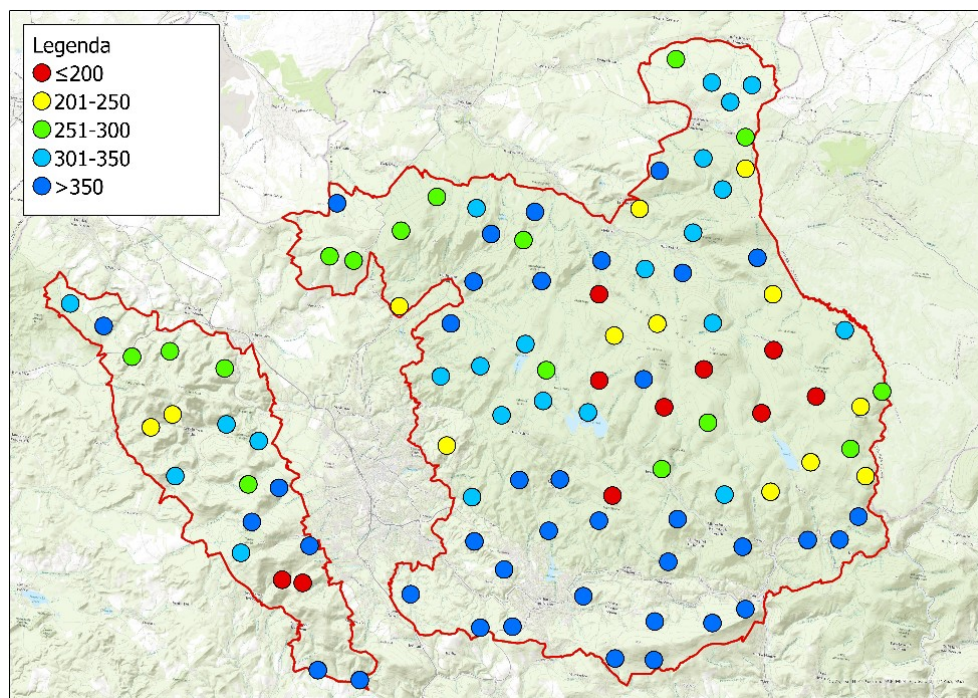
Poměr C/P v nadložních organických horizontech je kritériem vhodnosti vápnění lesa. Plochy s poměrem C/P v nadložních horizontech (F + H) nižším než 250 (C/P<250) je vhodné z leteckého vápnění vyloučit (ŠRÁMEK, 2005).

Tab. 14: Poměr C_{ox}/P (medián)

Horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Nadložní organický	327	329



Obr. 8: Poměry C/P v šetřených nadložních organických horizontech



Obr. 9: Kartogram poměru C/P v nadložním organickém horizontu

3.7. Dusík

Dusík je rostlinou přijímán ve formě NO_3^- , který se nachází v půdním roztoku. NH_4^+ je sorbován na záporně nabitých částicích koloidní povahy. Do půdy je pak dodáván mikrobiálním rozkladem.

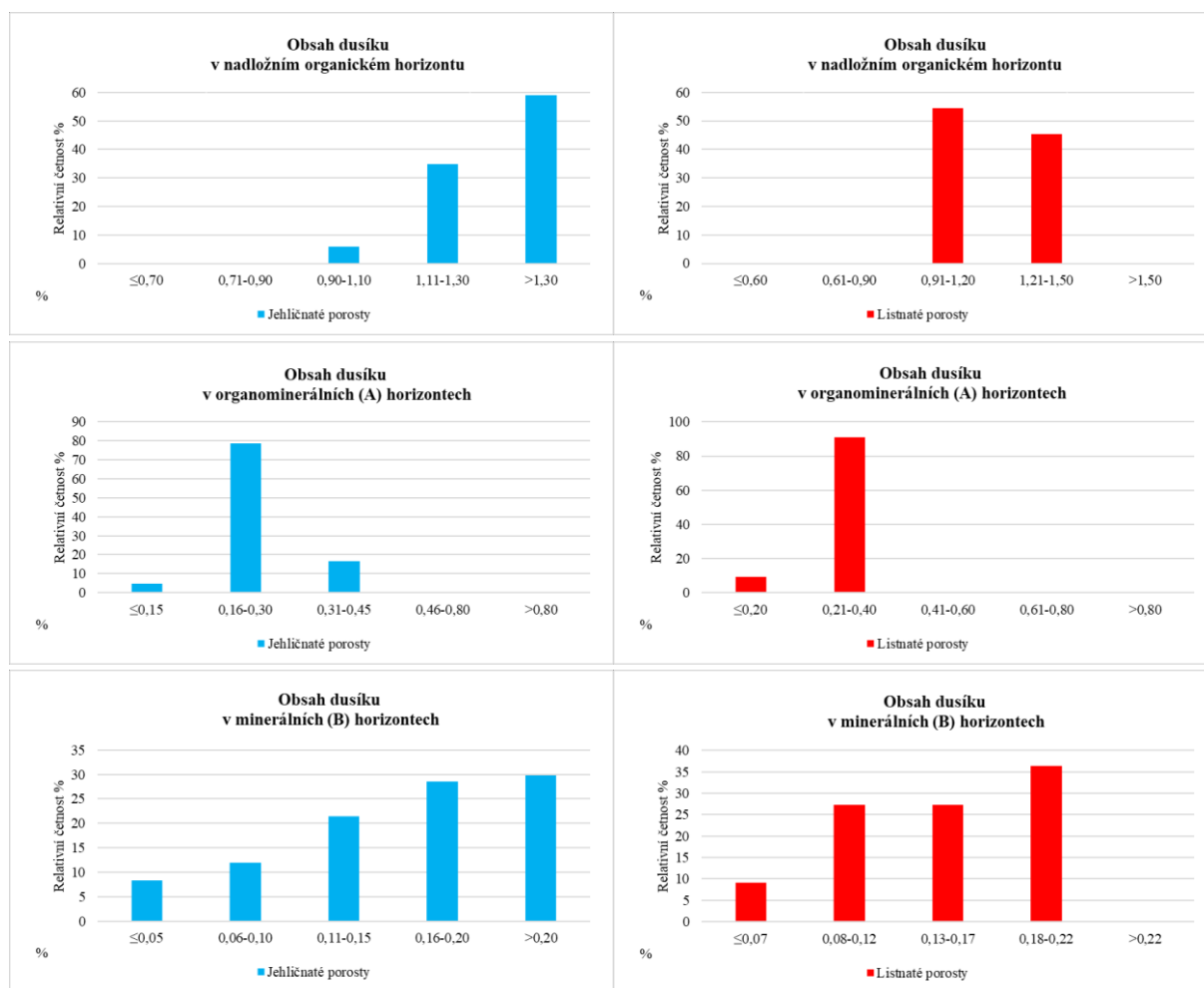
Dusík tvoří základní složku protoplazmy a enzymů a hromadí se v mladých prýtech, listech, pupenech, semenech a zásobních orgánech. Jeho nedostatek se projevuje zakrslým nebo trpasličím vzrůstem, předčasným žloutnutím listů a někdy červenáním rostliny (LARCHER, 1988). Mimo mikrobiální rozklad se do půdy dostává také atmosférickými spady.

Obsah dusíku v nadložních organických horizontech jehličnatých porostů je charakterizován hodnotou mediánu 1,35 % a vzestupným typem rozdělení četností. V listnatých porostech má rozdělení četností charakter rovnoměrný až pravostranný s poněkud nižší hodnotou mediánu 1,15 %. V jehličnatých porostech je zřejmá vyšší imobilizace dusíku v nadložním organickém materiálu. V organominerálních a minerálních horizontech jsou obsahy dusíku na rozdíl od organického horizontu nižší.

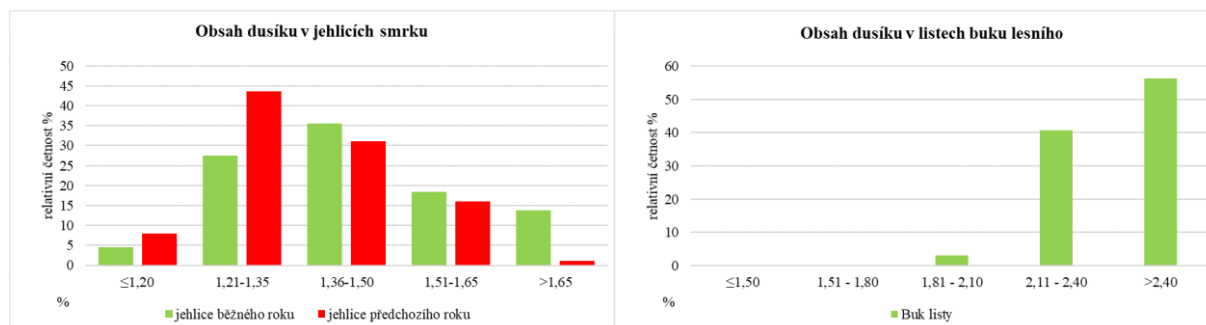
Tab. 15: Celkový dusík v % (medián)

Horizont	Jehličnaté porosty	Listnaté porosty
Nadložní organický	1,35	1,15
Organominerální	0,25	0,26
Minerální	0,17	0,14

V organominerálních horizontech je podle hodnoty mediánu v jehličnatých (N = 0,25%) a v listnatých (N = 0,26%) porostech obsah dusíku nízký a v horizontech minerálních jehličnatých (N = 0,17%) a v listnatých (N = 0,14%) porostů vyhovující až vysoký.

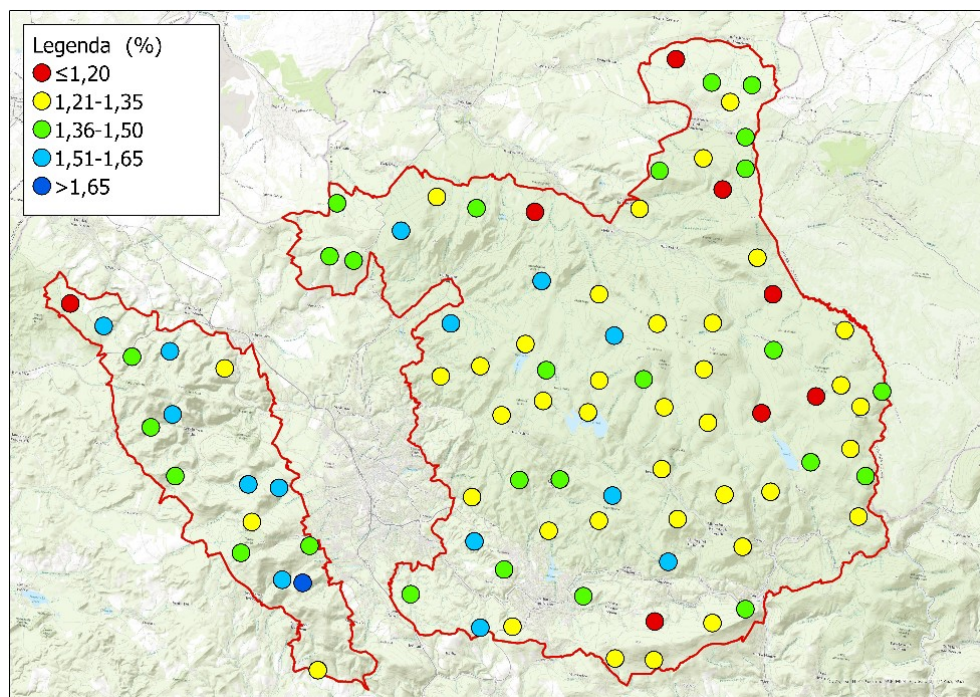


Obr. 10: Obsah dusíku v šetřených horizontech



Obr. 11: Obsah dusíku v asimilačních orgánech šetřených dřevin

Podle hodnot mediánů obsahů dusíku v jehlicích smrku (jehlice běžného roku) $N = 1,42 \%$ je úroveň výživy u smrku vyhovující a v listech buku $N = 2,44 \%$ je úroveň výživy luxusní. Úroveň výživy smrku dusíkem je podle hodnoty mediánu obsahu v jehlicích předchozího roku ($N = 1,35 \%$) na nízké úrovni.



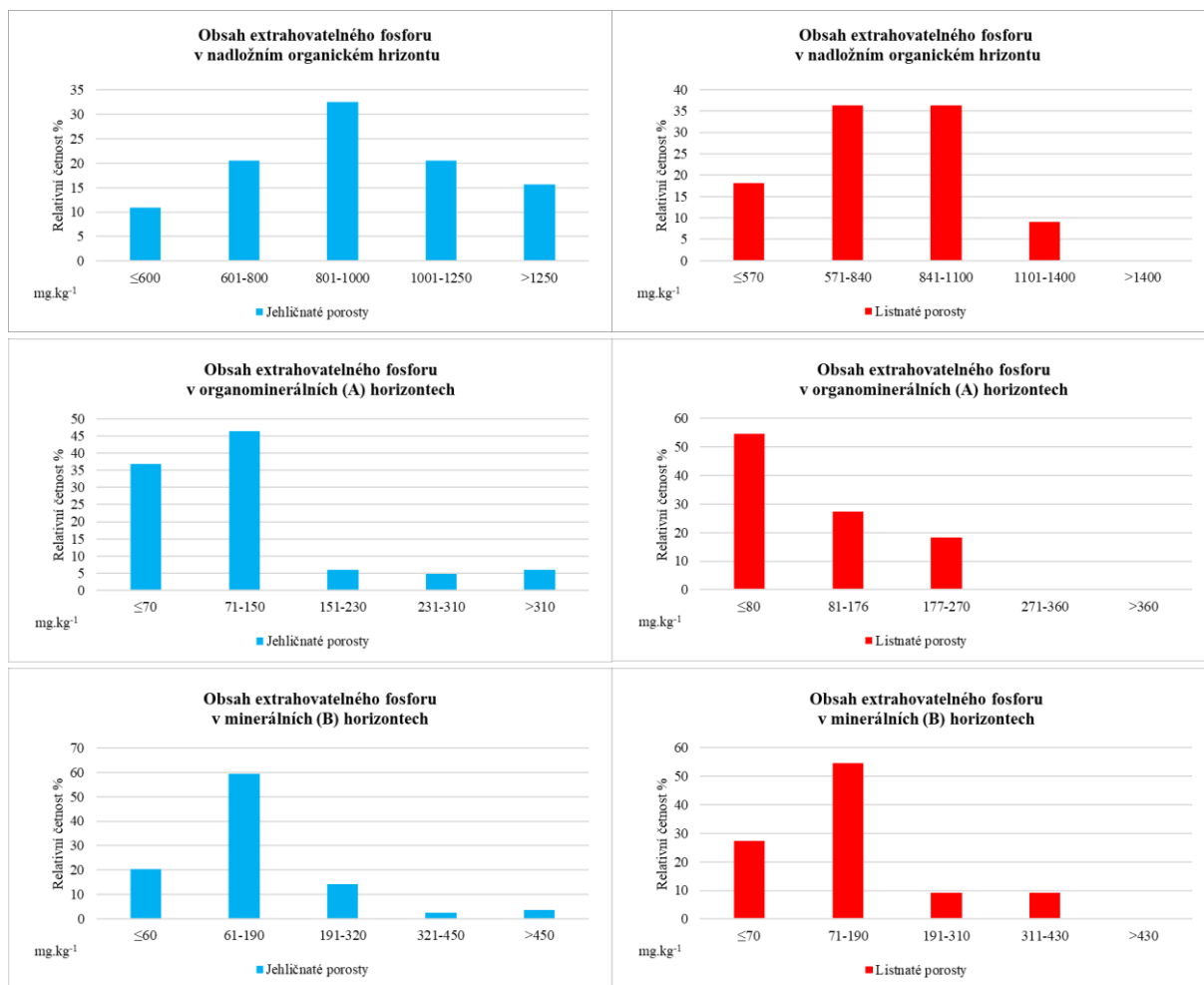
Obr. 12: Kartogram obsahu dusíku v jehlicích předchozího roku smrku ztepilého

3.8. Fosfor

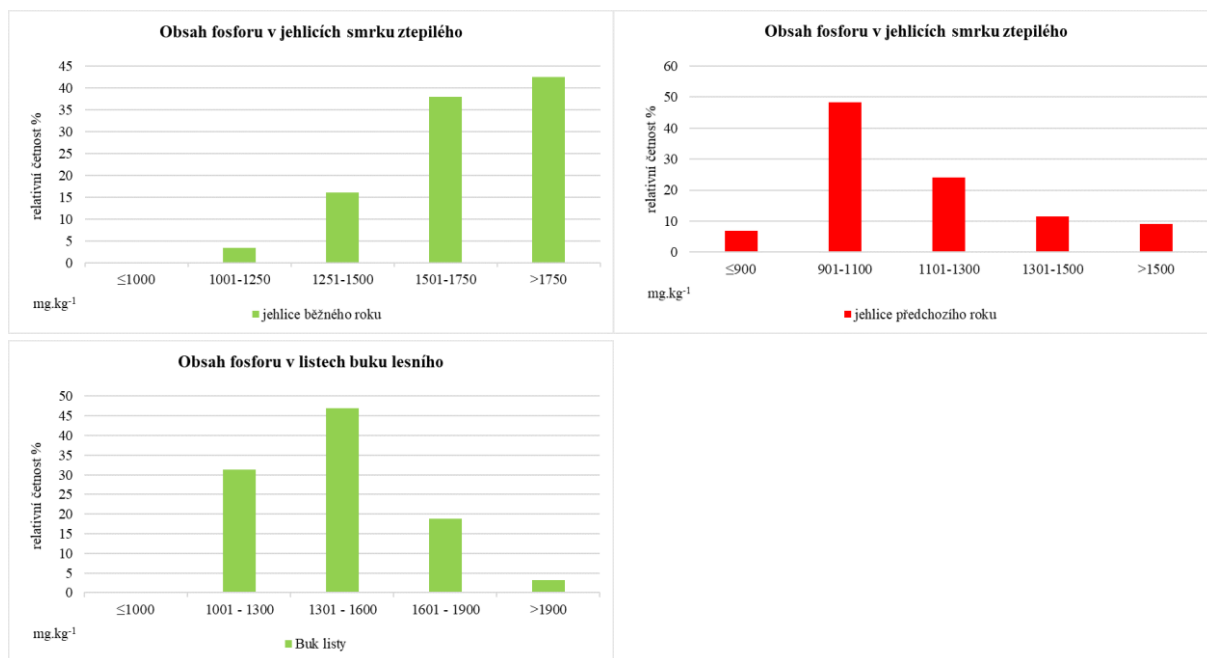
Přístupné formy fosforu PO_4^{3-} a HPO_4^{2-} jsou v půdě poměrně nerozpustné, adsorbované a v chelátových komplexech. V rostlině jsou volné v iontové formě a dále v esterech a nukleotidech a jsou zapojeny do základního metabolismu a fosforylace. Hromadí se především v reprodukčních orgánech. Jeho nedostatek se projevuje bronzově fialovým zbarvením listů a u jehličnanů zasycháním špiček (LARCHER, 1988). Jeho poměrně vysoké obsahy v jehlicích a listech lze vysvětlit vazbou na dusík a schopností přizpůsobit rostlinnou strategii pro získávání fosforu z pevných vazeb (LAMBERS ET AL., 2008), (LANG ET AL., 2016).

V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů jsou zjištěny podle klasifikace ÚKZÚZ vyhovující obsahy fosforu a v přepočtu na $kg \cdot ha^{-1}$ dosahují množství $136 kg \cdot ha^{-1}$, což odpovídá hodnotám zjištěným monitoringem v Německu (od $44 kgP \cdot ha^{-1}$ do $140 kgP \cdot ha^{-1}$) (ILG ET AL., 2009).

Nedostatečné a nízké obsahy jsou zjištěny v případě extrahovatelné a přístupné formy fosforu v minerálních částech půdních profilů jehličnatých porostů. Klesající rozdělení četností s výskytem několika vyšších obsahů souvisí s charakterem stanoviště a mírou uvolnění fosforu z organických a sesquioxidických vazeb Fe-P a Al-PO. V organominerálních horizontech je zásoba přístupného fosforu asi $1 kg \cdot ha^{-1}$, což je vzhledem k ročnímu odběru smrkovým porostem ($3,5 kgP \cdot ha^{-1}$) nízká zásoba.



Obr. 13: Obsah extrahovatelného fosforu v šetřených horizontech



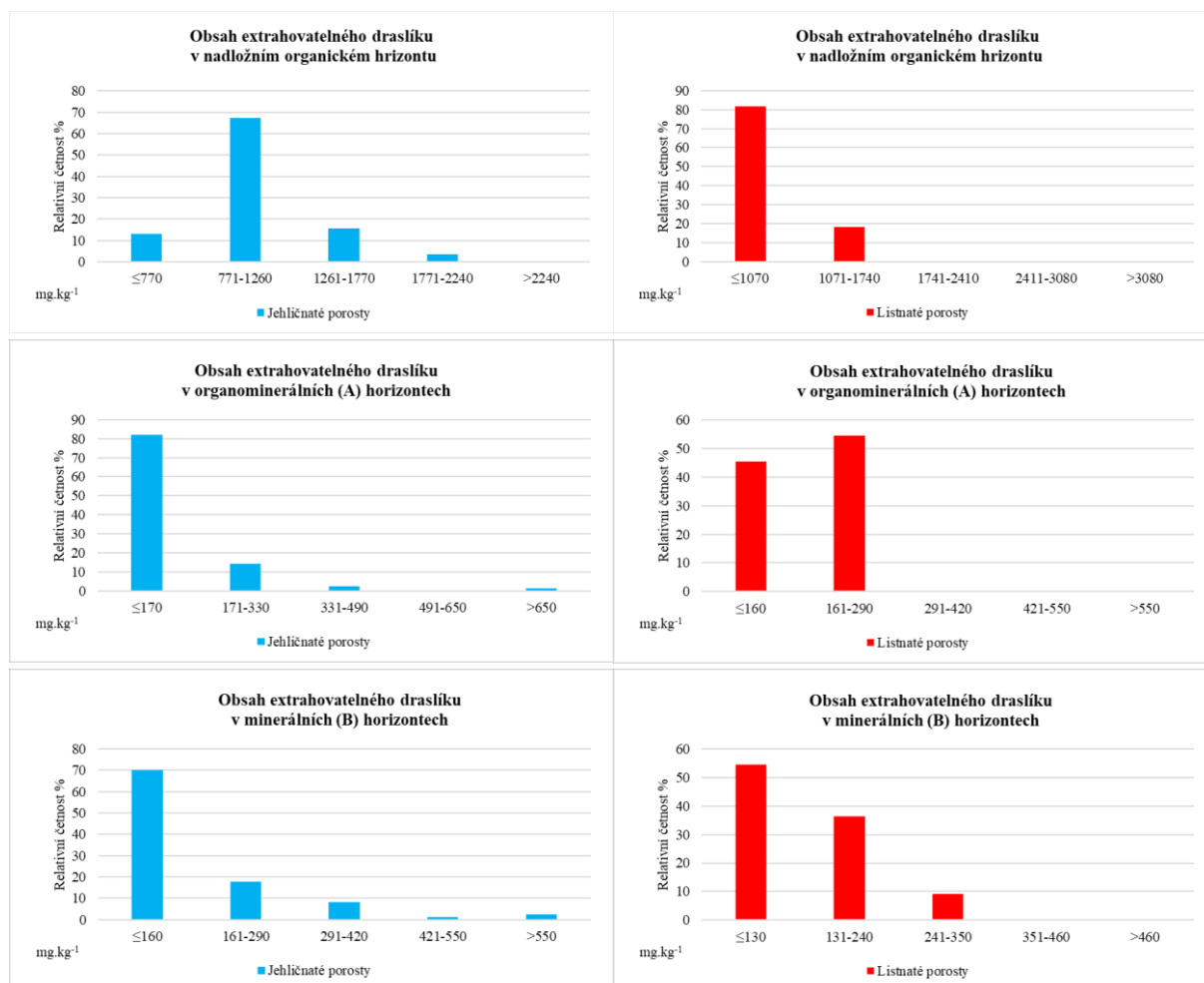
Obr. 14: Obsah fosforu v asimilačních orgánech šetřených dřevin

Vysoká úroveň výživy fosforem u smrku je důsledkem rostlinné strategie s vyšší intenzitou získávání fosforu. Nižší obsahy ve starších pletivech zřejmě souvisejí s vyšší mírou relokace do mladších pletiv v období intenzivního metabolismu.

V bukových porostech je podle evropské klasifikace (FÜRST, 2009) úroveň výživy (hodnota mediánu je 1443 mg.kg^{-1}) nižší než úroveň optimální (1700 mg.kg^{-1}). Hodnotíme-li úroveň výživy podle autorů citovaných (ILG ET AL., 2009) je poměr $N/P > 17$ kritický pro smrk a $N/P > 15$ pro buk. U smrku nebyl tento nepříznivý poměr zjištěn ani na jednom odběrném místě, zatímco u buku na 29 z 32 stanovišť poměr $N/P > 15$ odpovídal nedostatečné úrovni výživy fosforem.

3.9. Draslík

Zdrojem draslíku v půdě jsou živce, slídy jílovité minerály, v půdě je adsorbován jako K^+ kationt. V rostlině podporuje koloidní efekt (hydrataci) a jeho synergisty jsou NH_4^+ a Na^+ . Hromadí se v meristémech v mladých pletivech a na místech intenzivního metabolismu. Jeho nedostatek se projevuje zasycháním vrcholů, zvlněnými okraji starších listů, předčasným opadem starých jehlic a kořenovými hnilobami (LARCHER, 1988).

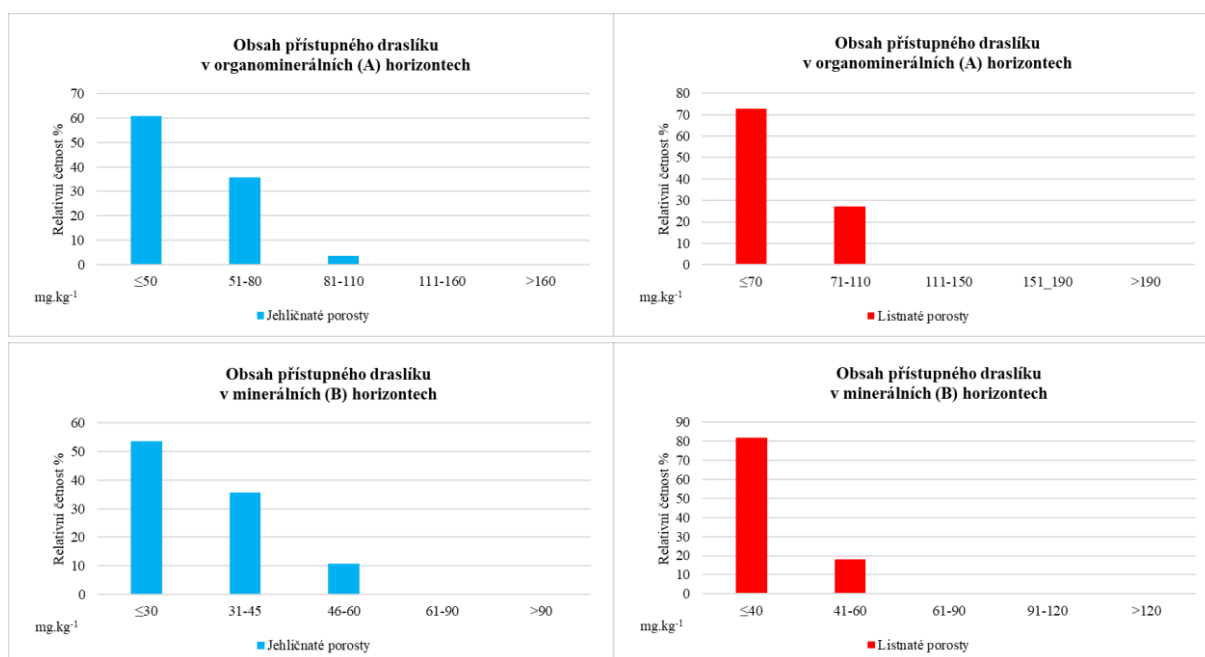


Obr. 15: Obsah extrahovatelného draslíku v šetřených horizontech

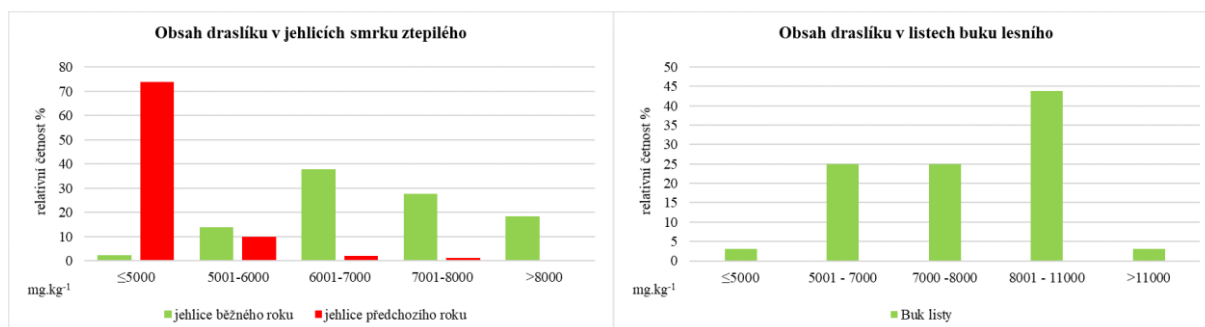
V nadložních organických horizontech je obsah draslíku podle hodnoty mediánu jehličnatých porostů hodnocen jako nízký ($K = 958 \text{ mg.kg}^{-1}$) a v listnatých porostech jako nedostatečný ($K = 1053 \text{ mg.kg}^{-1}$).

V organominerálních horizontech jsou naopak zjištěny poněkud vyšší extrahovatelné obsahy v listnatých porostech oproti jehličnatým a v horizontech minerálních jsou obsahy draslíku podobné, odpovídající nedostatečné úrovni. V organominerálních horizontech je hodnota mediánu v jehličnatých porostech 95 mg.kg^{-1} a v minerálních 109 mg.kg^{-1} . U listnatých porostů je to 161 mg.kg^{-1} v organominerálních a 130 mg.kg^{-1} v minerálních horizontech. Vyšší hodnoty obsahů v organominerálních horizontech bukových porostů mohou být výsledkem rychlejšího přesunu draslíku z nadložního organického materiálu.

Přístupné obsahy draslíku jsou u jehličnatých porostů na nízké a u listnatých na nedostatečné úrovni.



Obr. 16: Obsah přístupného draslíku v šetřených horizontech

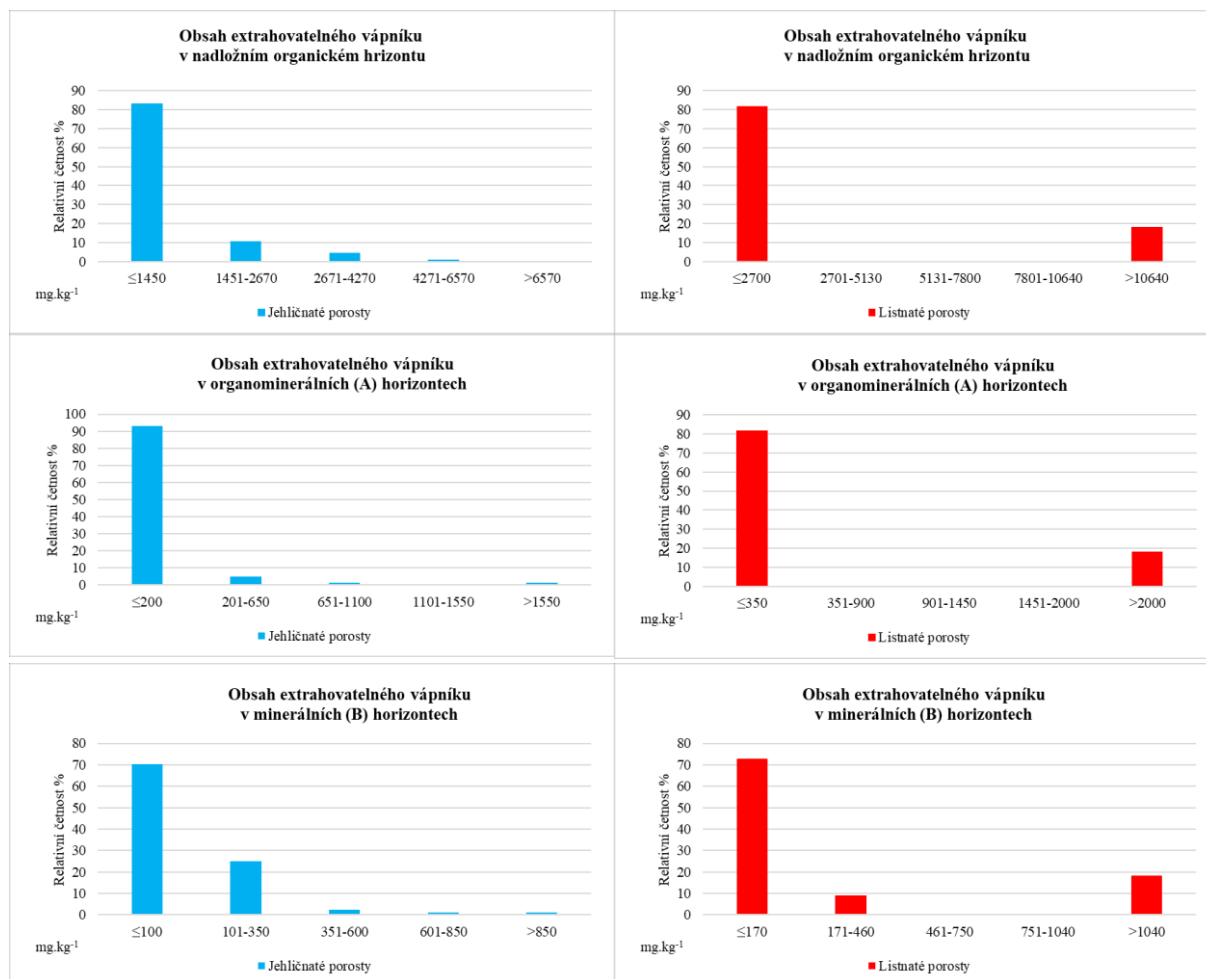


Obr. 17: Obsah draslíku v asimilačních orgánech šetřených dřevin

Obsahy draslíku v jehlicích běžného roku jsou na vyhovující úrovni. Nízká úroveň výživy ($K < 6000 \text{ mg.kg}^{-1}$) je zjištěna na 18 % stanovišť. Obsahy ve starších jehlicích jsou poněkud nižší. V listových pletivech buku je obsah draslíku podle hodnoty mediánu na vyhovující úrovni. Nedostatečná úroveň je zjištěna pouze ojediněle.

3.10. Vápník

Vápník se v půdě vyskytuje v uhličitanech, sádrovci, fosforečnanech a křemičitanech (živce, augit). V rostlině je vázán jako ion v rozpuštěných solích, krystalicky a inkrustovaný jako chelát a organicky vázaný v pektátech. V rostlině reguluje hydrataci, aktivuje enzymy (amyláza, ATPáza) a hromadí se v listech a stromové kůře. Jeho nedostatek se projevuje poruchami při dělivém růstu, zasýcháním vrcholků, deformací listů a zbrzděným růstem kořenů (LARCHER, 1988).

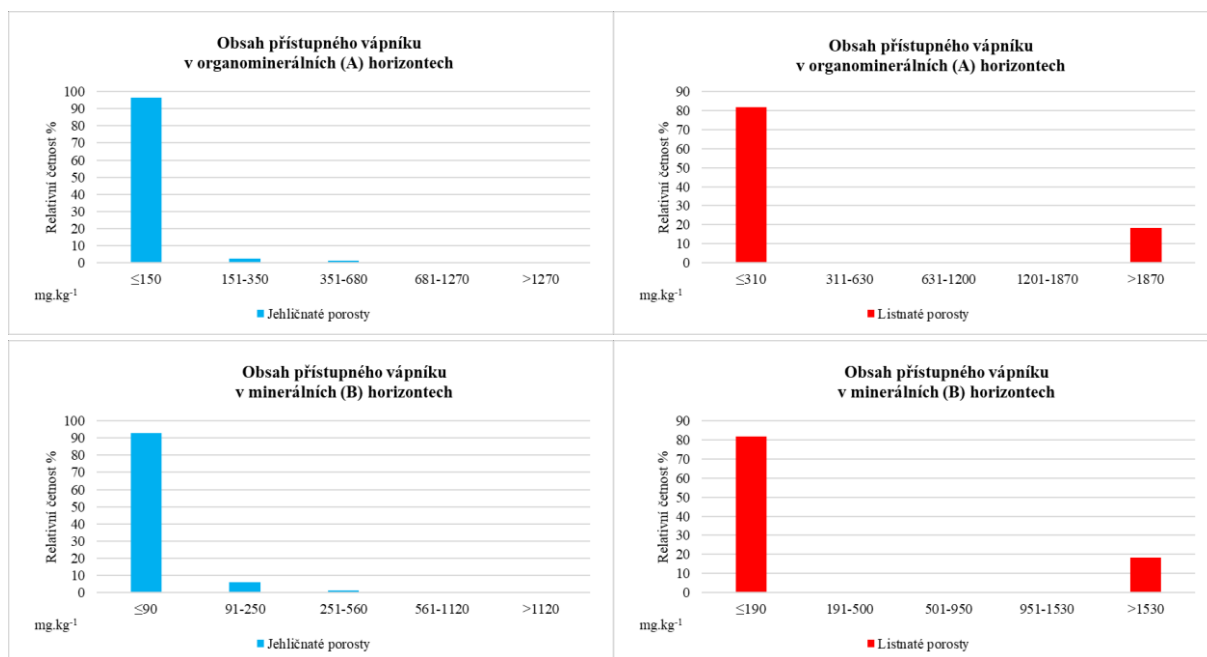


Obr. 18: Obsah extrahovatelného vápníku v šetřených horizontech

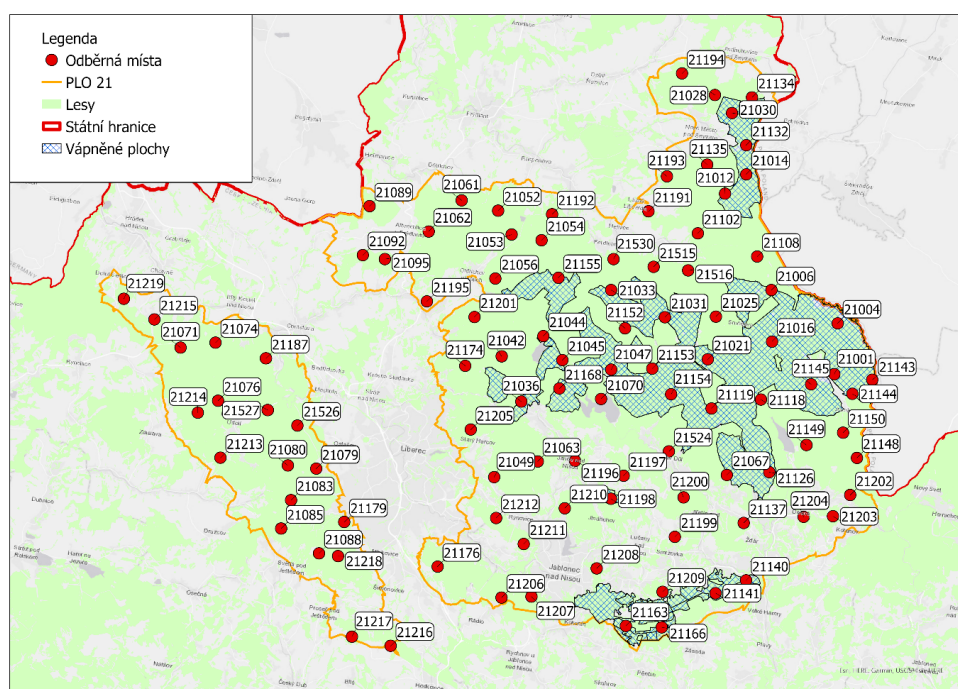
V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů jsou nedostatečné obsahy vápníku. Rozpětí obsahů od 218 do 4597 mg.kg⁻¹ svědčí o vysoké rozmanitosti stanovištních podmínek. Projevuje se zde i vápnění lesa v minulosti. Hodnota mediánu 700 mg.kg⁻¹ odpovídá nedostatečné zásobě Ca v těchto horizontech a na místech s obsahem vápníku vyššími než 1451 mg.kg⁻¹ zřejmě proběhlo v minulosti vápnění lesa.

V listnatých porostech je hodnota mediánu vyšší (764 mg.kg⁻¹). Na odběrných místech 21526 a 21527 jsou obsahy vyšší než 10000 mg.kg⁻¹. Zde se jedná o vliv krystalického vápence, který tvoří horninové podloží Karlovských bučin. Na 50 % odběrných míst jsou v listnatých porostech zjištěny obsahy od 424 do 1676 mg.kg⁻¹ a v jehličnatých od 532 do 1195 mg.kg⁻¹. Podobně velké rozpětí hodnot zjišťujeme i v organominerálních a minerálních horizontech.

Vzhledem k převážně silikátovému geologickému podkladu je návaznost na vápnění pravděpodobná. Klesající rozložení četností s výskytem několika vysokých hodnot je podobné jako v případě půdní kyselosti pH.

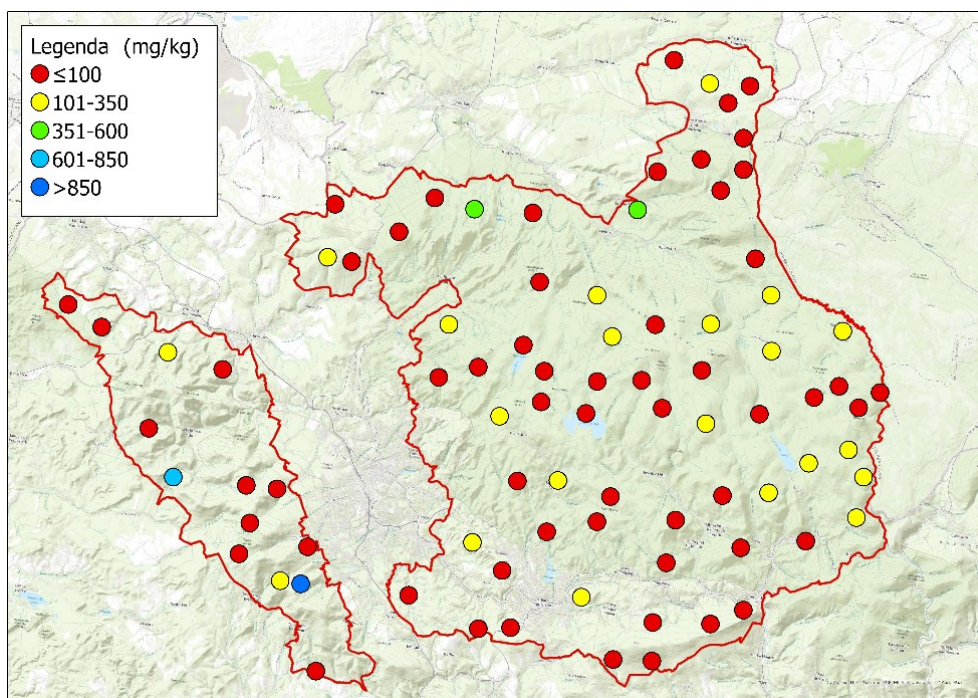


Obr. 19: Obsah přístupného vápníku v šetřených horizontech

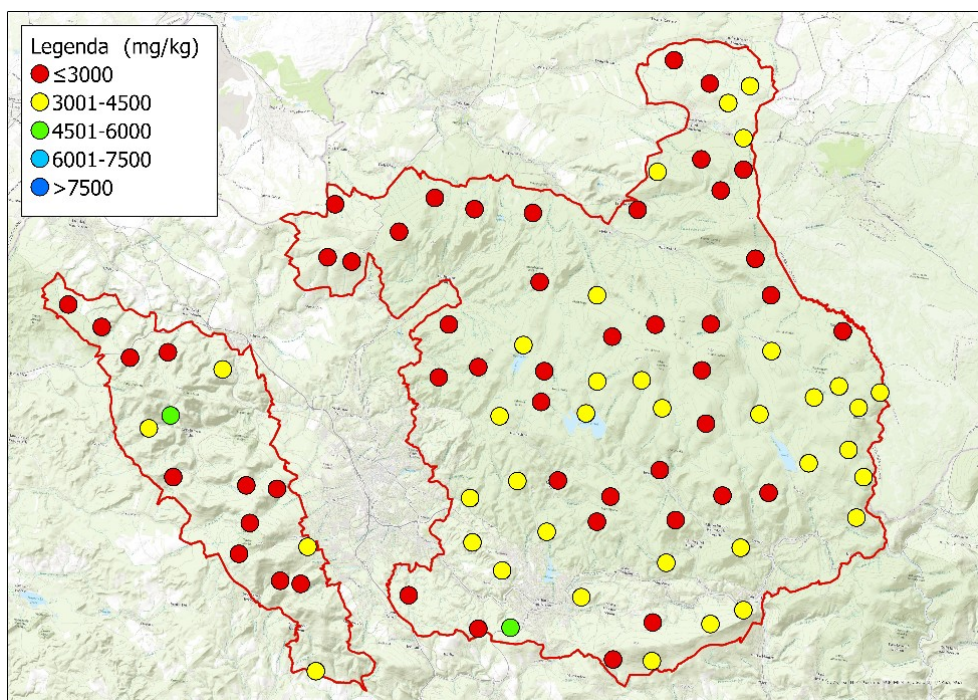


polohách je vyšší acidifikační tlak a bazické prvky dodané vápencem už byly spotřebovány jako pufrací materiál. Nízké obsahy extrahovatelných i přístupného vápníku v organominerálních a minerálních horizontech jsou navíc odčerpávány kořeny dřevin.

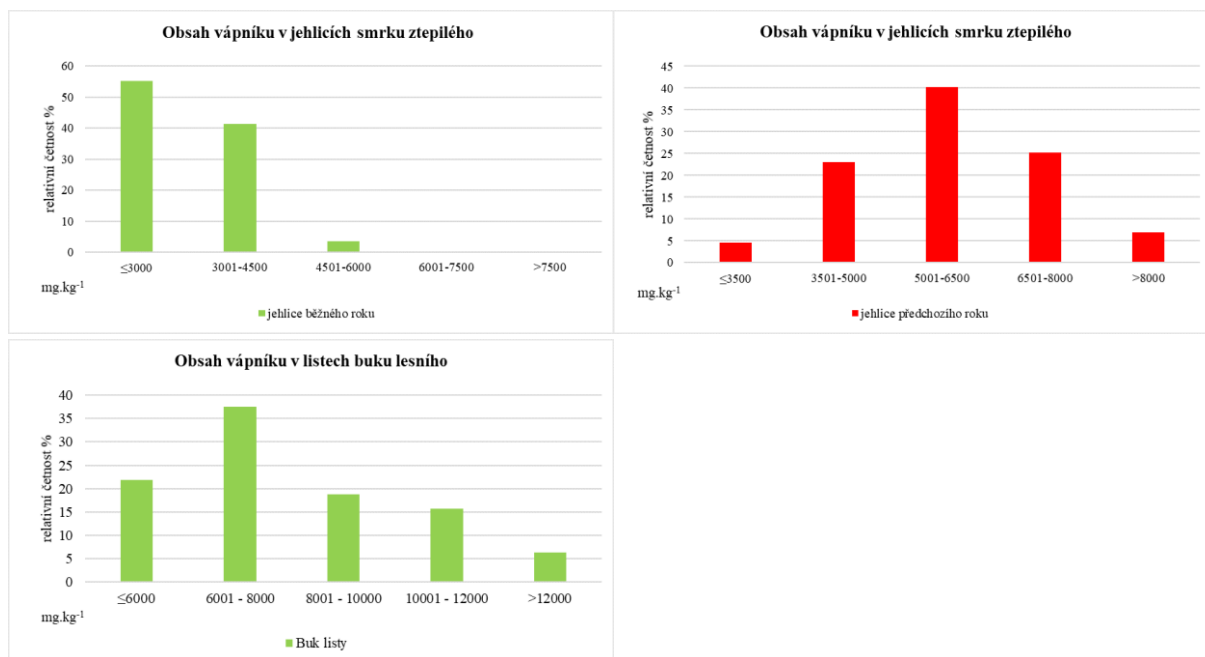
Obsahy přístupného vápníku jsou velmi nízké. Výjimečně vysoké obsahy jsou výsledkem vápnění lesa. V organominerálních a minerálních horizontech není zjištěna shoda s výjimečně vysokými obsahy z nadložního organického materiálu.



Obr. 21: Kartogram obsahu extrahovatelného vápníku v minerálním horizontu – jehličnaté porosty



Obr. 22: Kartogram obsahu vápníku v jehlicích běžného roku smrku ztepilého



Obr. 23: Obsah vápníku v asimilačních orgánech šetřených dřevin

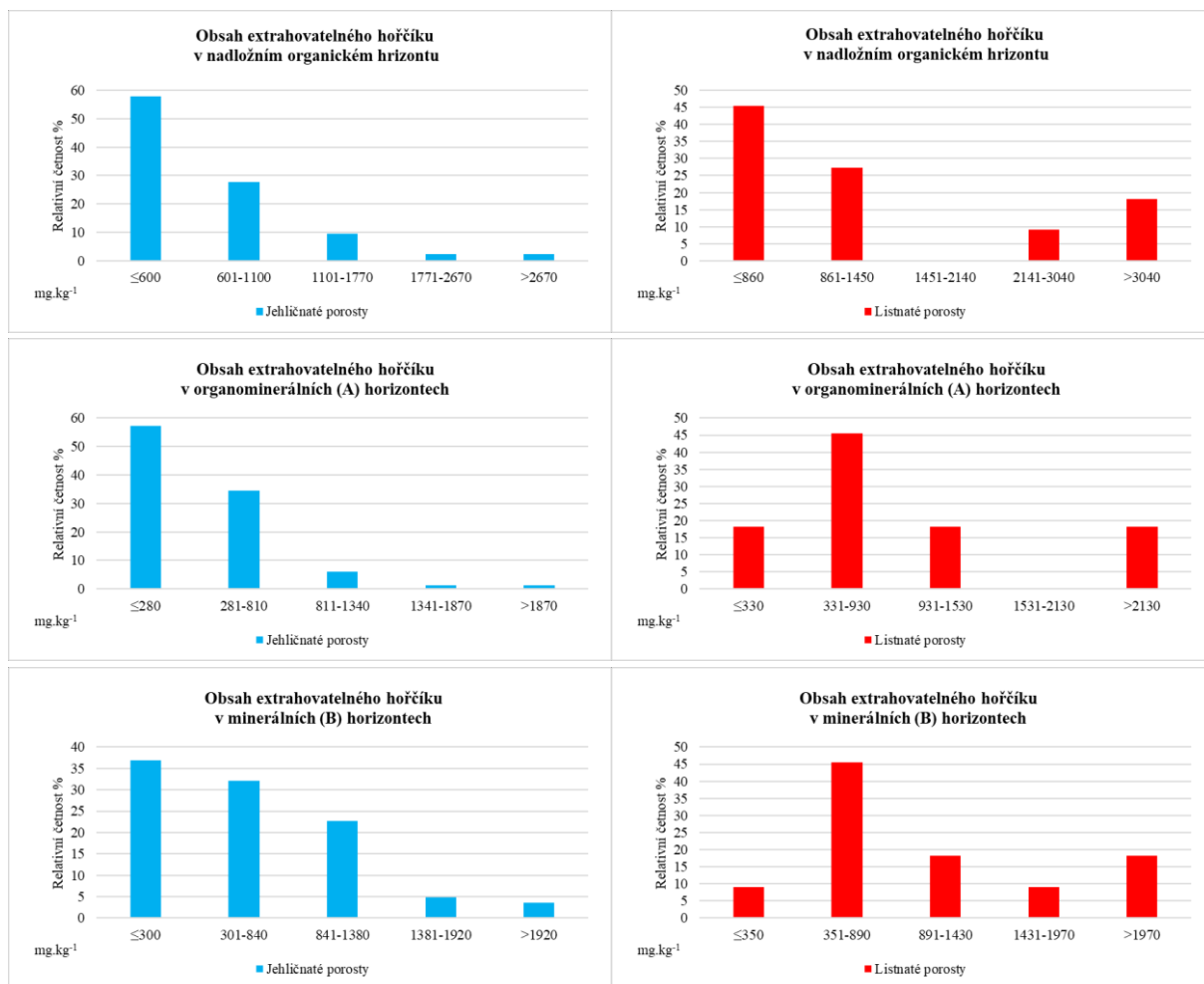
Úroveň výživy smrku je podle mediánů obsahů vápníku v jehlicích běžného roku na nedostatečné úrovni. Ve starších jehlicích jsou obsahy na vyhovující úrovni, což odpovídá dostatečné retranslokaci z mladších jehlic. V tomto směru můžeme považovat obsahy vápníku za dostatečné k plnění základních fyziologických funkcí. Úroveň výživy buku je podle obsahů v listech na nízké úrovni. Vyšší obsahy souvisí s příznivějšími podmínkami zřejmě v nižších polohách na deluvních svazích.

3.11. Hořčík

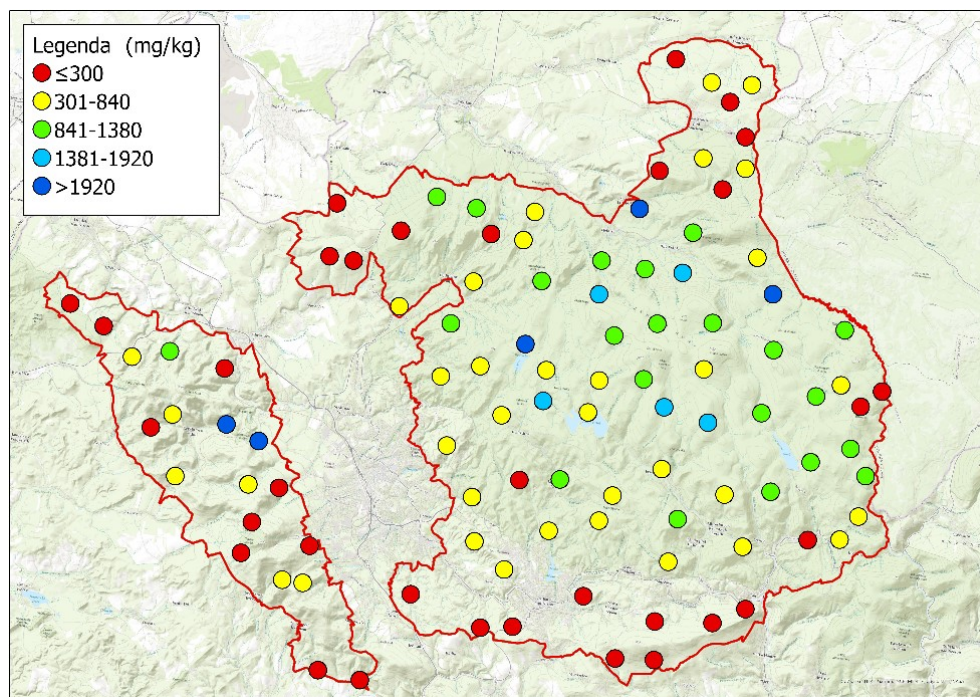
Hořčík je v půdě vázán na uhličitany (dolomit), křemičitany (augit, amfibol, olivín), sírany a chloridy. V rostlině je přítomen jako ion rozpuštěný a adsorbovaný, organicky vázán v chlorofylech a pektátech. Zúčastňuje se regulace hydratace, základního metabolismu (fotosyntéza, přenosy fosfátů) a hromadí se v listech. Jeho nedostatek se projevuje intervenální chlorózou (mezi žilnatinou) starých listů (LARCHER, 1988). Tento příznak byl při průzkumu občas na listech buku pozorován.

V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů jsou podle hodnoty mediánu (516 mg.kg⁻¹) nedostatečné obsahy hořčíku. V listnatých porostech (964 mg.kg⁻¹) jsou nízké obsahy hořčíku. Nedostatečné extrahovatelné obsahy u jehličnatých a nízké u listnatých jsou zjištěny také v horizontech organominerálních. V minerálních horizontech jsou u obou porostů na nízké úrovni.

Klesající rozložení četností ve smrkových porostech je charakteristické vysokými hodnotami v nejnižších třídách. Levostranná křivka rozdělení četností s výskytem několika vysokých hodnot v nejvyšších třídách v bukových porostech ukazuje na bohatší stanoviště na několika místech v minerálních horizontech.

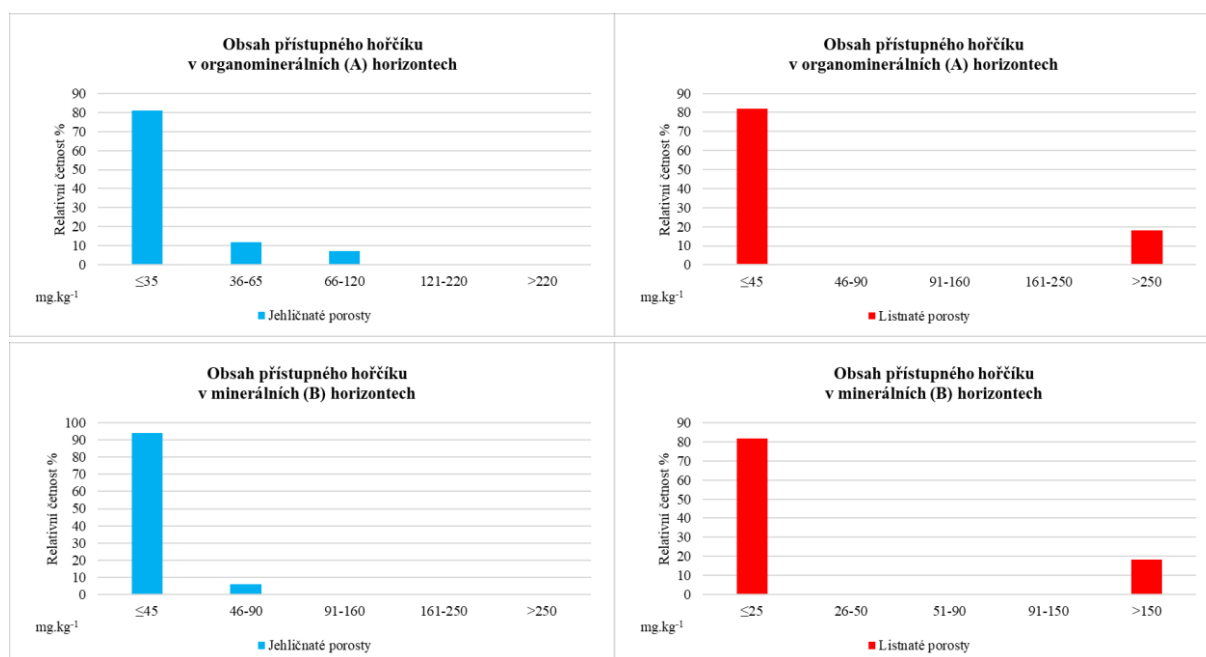


Obr. 24: Obsah extrahovatelného hořčíku v šetřených horizontech



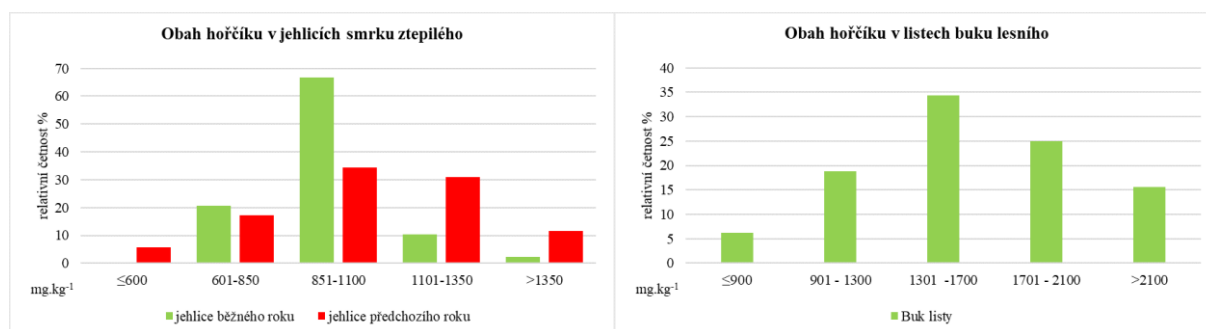
Obr. 25: Kartogram obsahu extrahovatelného hořčíku v minerálním horizontu

Na stanovištích s vysokým obsahem hořčíku v nadložních organických horizontech byly zjištěny vyšší obsahy Mg rovněž v minerálních fázích půdních profilů. Výjimkou je odběrné místo 21141, kde má vyšší obsah Mg původ v leteckém vápnění lesa. Na stanovištích na území LS Ještěd se jedná o geogenní původ hořčíku, který je součástí vápence. Dále je zde stanoviště 21213, které je typováno jako 5K1. Odběrné místo je v nadmořské výšce 589 m.n.m. Jedná se o podsvahové bohaté deluvium, kde vedle *Vaccinium myrtillus* převažuje *Rubus caesius*, *Senecio ovatus*, *Impatiens parviflora*, *Galeopsis speciosa*. Je zde vyvinuta moderová forma nadložního humusu na jílovito-hlinité, hrudkovité soudržné (uléhavé) půdě. Podobně je na Mg bohatší stanoviště 21191 na LS Frýdland, kde se jedná o stanoviště lesního typu 3S2 s *Impatiens noli tangere*, *Oxalis acetosella*, *Senecio ovatus* s mulovou formou humusu a prachovito-hlinitou krupnatou sypkou půdou. Vyšší obsahy Mg jsou na těchto stanovištích doprovázeny vyššími obsahy Ca v šetřených horizontech.

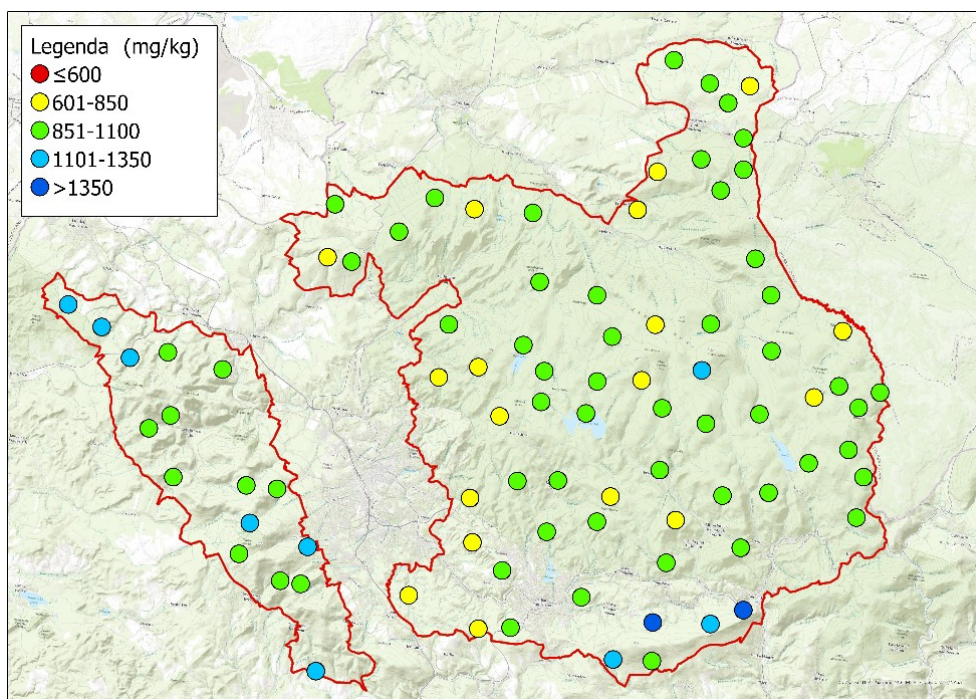


Obr. 26: Obsah přístupného hořčíku v šetřených horizontech

Obsahy přístupného hořčíku jsou ve smrkových porostech nedostatečné. Vyšší obsahy v porostech bukových jsou dány bohatostí krystalického vápence v Karlovských bučinách. V oblasti Jizerských hor jsou obsahy přístupného hořčíku také nedostatečné.



Obr. 27: Obsah hořčíku v asimilačních orgánech šetřených dřevin



Obr. 28: Kartogram obsahu hořčíku v jehlicích běžného roku smrku ztepilého

Nedostatečná úroveň výživy smrku hořčíkem podle mezinárodní klasifikace (FÜRST, 2009) i podle klasifikace ÚKZÚZ (FIALA ET AL., 2013) nebyla téměř zjištěna.

3.12. Síra

Síra je v půdě vázána organicky a dále v nerostech obsahujících síru a v síranech Ca, Mg a Na. Jako SO_4^{2-} je snadno rozpustná, v rostlině je volná v iontové formě, nebo vázaná ve skupinách -SH nebo -SS a v esterech, nukleotidech, fosfatidech a fyтину. Je složkou protoplazmy a enzymů a hromadí se v listech a semenech. Její nedostatek se projevuje interkostální (mezižeberní) chlorózou (LARCHER, 1988).

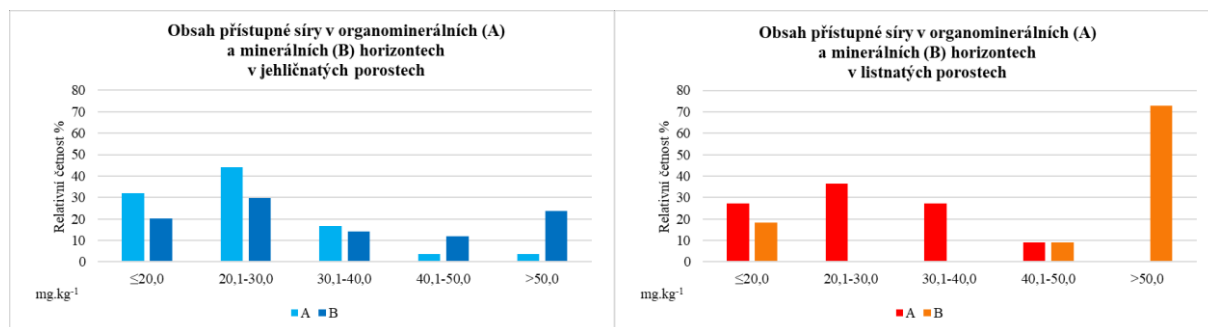
Řadu poznatků o koloběhu síry shrnuje (JOHNSON, 1984). Síra se nahromadila díky atmosférickému vstupu S a biologickým cyklem, tedy rozkladem organických látek. Atmosferické spady jsou v podkorunových srážkách doplněny sírou deponovanou na jehlicích a listech. Vyšší suchá depozice síry je zjištěna ve smrkových porostech, díky větší ploše listoví (jehlic) a stálosti korunové klenby.

Průměrná roční depozice síry měřená na 169 místech Evropského monitoringu stavu lesa (FISCHER ET AL., 2007) se zmenšila z hodnoty $7,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na $5,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ v letech 1996 až 2001. Ještě viditelnější je toto snížení v podkorunové depozici, která klesla z $16,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ na $9,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ v tomto období. Monitoring byl prováděn na 169 místech v borových, smrkových, bukových a dubových porostech.

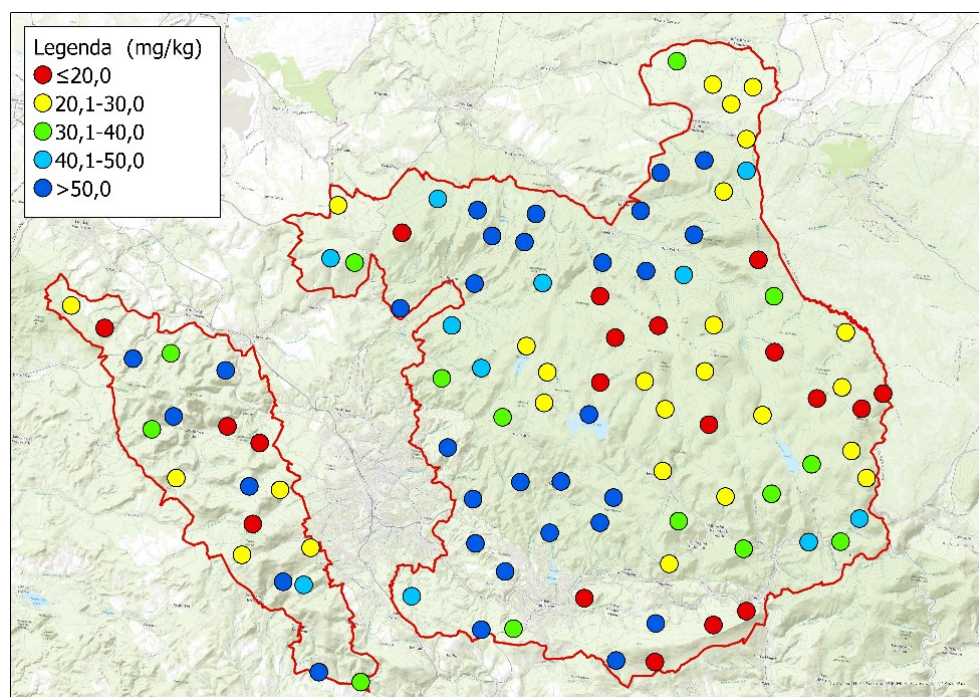
Propad srážkové vody korunovou klenbou a její chemické složení studovali v horském smrkovém lese u Plešného a Čertova jezera KOPÁČEK ET AL. (2009). Sezónní složení podkorunových srážek Ca^{2+} a SO_4^{2-} mělo podobné sezónní trendy, ve srovnání se srážkami byly podkorunové „toky“ obohaceny více Ca^{2+} a Mg^{2+} než SO_4^{2-} . Vymývání NO_3^- a SO_4^{2-}

z korunové klenby je zanedbatelné a potom jejich čistá depozice vyrovnává čistý propad korunami.

V oblasti Jizerských hor konstatují SLODIČÁK ET AL. (2005) depozici síranů u dospělých smrkových porostů v průměrné výši 420 % hodnoty z volné plochy a u buku asi 120 % této hodnoty.



Obr. 29: Obsah přístupné síry v šetřených horizontech



Obr. 30: Kartogram obsahu přístupné síry v minerálním horizontu

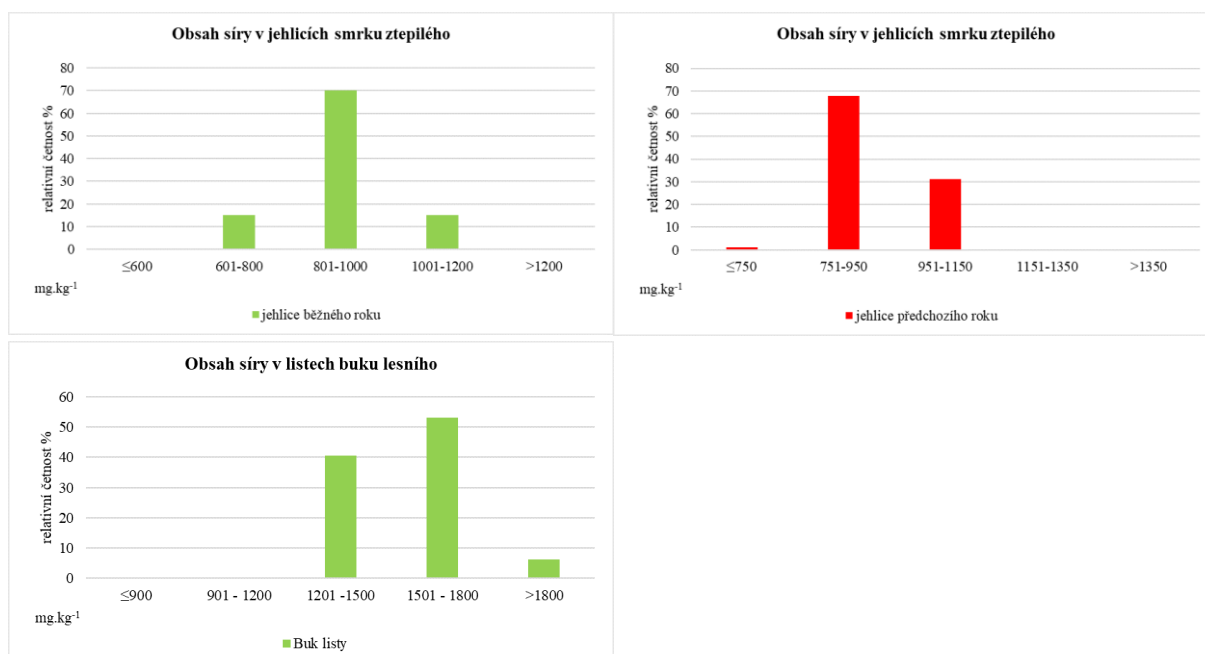
V jehličnatých porostech v Jizerských horách jsme šetřili obsahy přístupné síry (S_{M3}) v minerálních částech půdních profilů, tedy v horizontech organominerálních a minerálních. Zde jsme zjistili obsahy přístupné síry s hodnotami mediánů $23,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ v organominerálních a $29,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ v minerálních horizontech jehličnatých porostů. V listnatých porostech pak $29,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ v organominerálních a $68,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ v minerálních horizontech.

Vzhledem k vyšší akumulaci síry v organominerálních a minerálních horizontech listnatých porostů předpokládáme vyšší propad síry korunami a také možná její nižší odběr kořeny v listnatých porostech. S tím ovšem nekoresponduje zjištění KAISERA ET GUGGENBERGERA (2005), kteří uvádějí roční vymývání organické síry

z organických horizontů pro borovicový les v množství $0,09 \text{ g.m}^{-2}$, pro bukový les $0,19 \text{ g.m}^{-2}$ a pro smrkový $0,42 \text{ g.m}^{-2}$ na pokusných plochách poblíž Seybothenreuthu a Betzensteinu v severovýchodním Bavorsku. Zde se jedná o toky mezi nadložními organickými horizonty (obsahy S nejsou v průzkumu pro tento horizont analyzovány). Organická síra není ovšem, jak dále uvádějí KAISER ET GUGGENBERGER (2005), dominantním tokem rozpuštěné síry v půdě, jako je tomu u N a P. Značná část obsahů síry může souviset s průsakovou vodou, která představovala 75 % v bukovém porostu a 73 % v porostu borovice.

Vyšší akumulace síry ve spodních minerálních horizontech může souviset s její adsorpcí na Fe-oxidy, případně na polymery hydratovaných hydroxidů hliníku (PAHAC – polymer aluminium-hydroxy-akvo komplexes), které obsazují mezimřížková i adsorpční místa jílových micel. Má se za to, že srážení SO_4^{2-} s PAHAC a jubarnitem probíhá ve větších hloubkách (JOHNSON, 1984).

Z uvedených poznatků vyplývají souvislosti s vyšší akumulací v listnatých porostech a ve větších hloubkách, jak bylo zjištěno průzkumem.



Obr. 31: Obsah síry v asimilačních orgánech šetřených dřevin

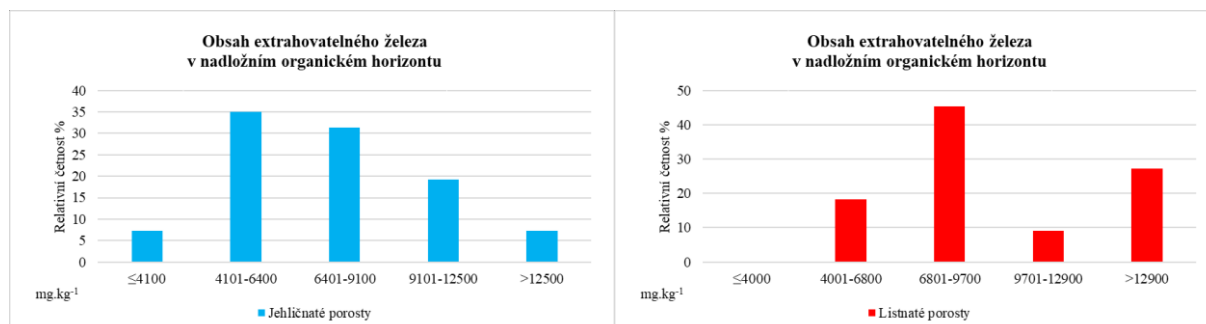
V mladých jehlicích smrku nabývají obsahy síry hodnot od 721 do 1158 mg.kg⁻¹. V jehlicích o rok starších jsou poněkud nižší. Podle evropské klasifikace (FÜRST, 2009) jsou tyto obsahy nedostatečné.

Obsahy síry v listech buku leží v rozpětí hodnot od 1294 do 1943 mg.kg⁻¹. Tyto obsahy odpovídají oblasti optimální úrovně výživy (FÜRST, 2009).

3.13. Železo

Železo je v půdě vázáno na sirníky, oxidy, fosforečnany a křemičitany (amfibol, augit, biotit) a je adsorbováno a ve vápenných půdách pevně vázáno. V rostlině je přítomno v metalorganických sloučeninách a jako složka enzymů (ferredoxin) a zúčastňuje se základních

metabolických procesů, metabolismu dusíku, syntézy chlorofylu. Hromadí se v listech. Jeho nedostatek se projevuje slámově žlutou intervenální chlorózou, v extrémních případech bílým zbarvením mladých listů (žilnatina zelená). Je potlačena tvorba apikálních pupenů (LARCHER, 1988).



Obr. 32: Obsah přístupného železa v šetřených horizontech

V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů je obsah extrahovatelného železa charakterizován hodnotou mediánu 6654 mg.kg⁻¹, v organominerálních hodnotou 6843 mg.kg⁻¹ a minerálních 9731 mg.kg⁻¹. V listnatých je potom tento sled hodnot 9384 mg.kg⁻¹, 10910 mg.kg⁻¹ a 9508 mg.kg⁻¹ v těchto horizontech. V jehličnatých porostech hodnotíme obsahy jako střední a vysoké úrovně dle širší klasifikace zjišťované v půdách ČR (FIALA ET AL., 2013). V listnatých porostech jsou tyto obsahy vyšší a hodnotíme je jako vysoké.

Úroveň výživy železem je ve smrkových i bukových porostech velmi nízká zřejmě v důsledku pevných vazeb na výše zmíněné sirníky, oxidy nebo křemičitany.

3.14. Hliník

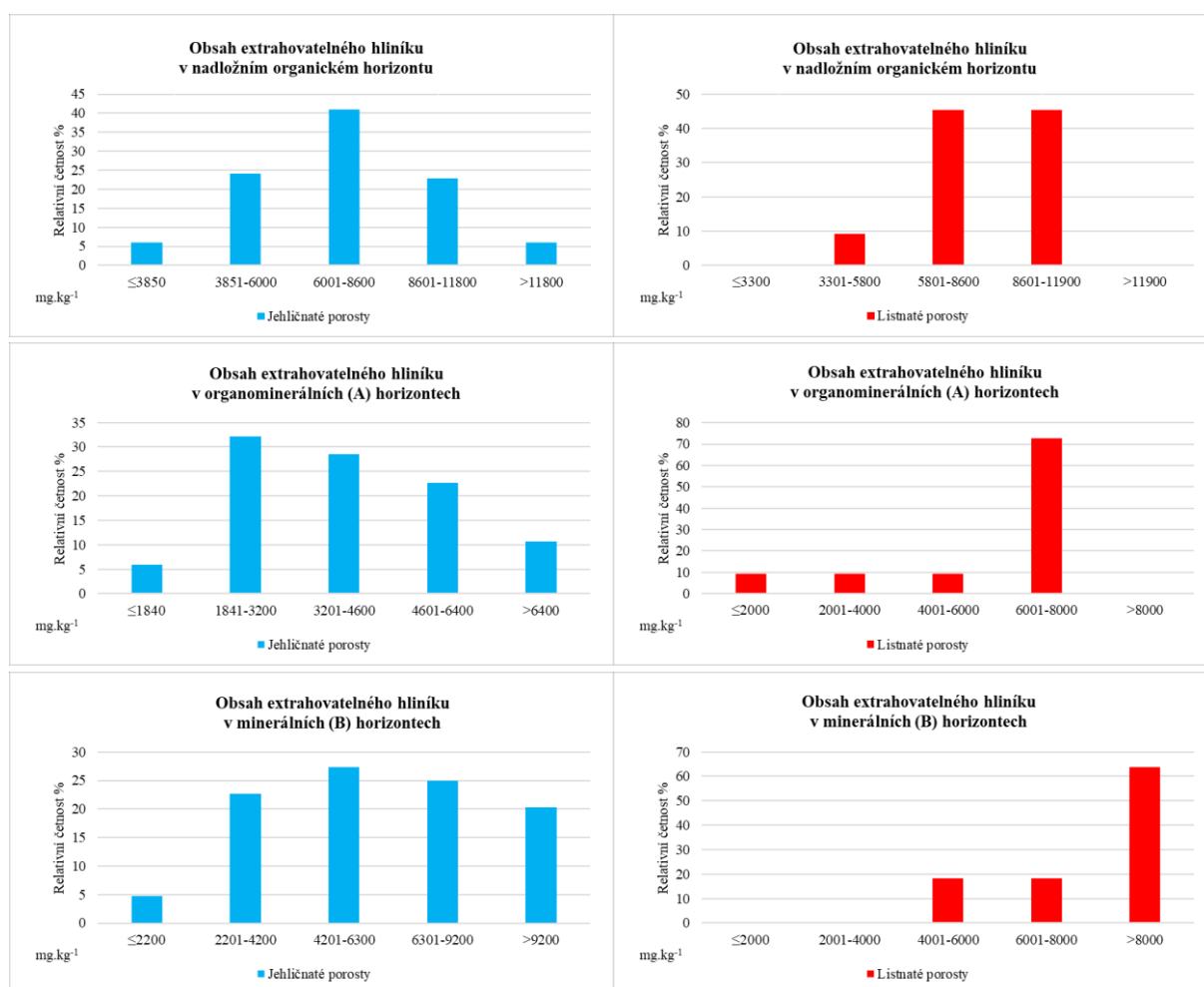
Hliník je nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře a zaujímá 7 % její hmoty. Aktivní hliníkové formy jsou uvolňovány při intenzivním vymývání kationtů během zvětrávání.

Mnohé rostliny jsou citlivé na mikromolární koncentrace Al a možnost toxického působení Al je významná. Naštěstí je většina Al vázána ligandy nebo se vyskytuje v jiných netoxických formách jako aluminosilikáty a sraženiny. Nicméně rozpustnost Al se zvyšuje při nízkém pH půdního prostředí a Al toxicita je hlavním činitelem limitujícím růst rostlin v kyselých půdách (DELHAIZE ET RYAN, 1995). Při hodnotách pH<5 se rhizotoxická forma Al – Al³⁺ rozpustí v půdním roztoku a zpomaluje růst kořenů a jeho funkce (KOCHAN ET AL., 2002).

Zmírnění toxicity hliníku lze dosáhnout kompeticí některých kationtů s monomerními formami Al a snížením Al aktivity. Netoxické divalentní kationty jsou účinnější než monovalentní podle následující všeobecné klasifikace: Ca²⁺=Mg²⁺≈Sr²⁺>>>K⁺=Na⁺ (citace několika autorů). Podle některých studií je nejúčinnější Mg²⁺ a méně nebo stejně účinný je Ca²⁺ (BOUDOT ET AL., 1994). Hlavním melioračním opatřením zmírňujícím škodlivost volných forem Al je vápnění lesů dolomitickým vápencem. Tento vápenec obsahuje dostatečné množství Ca i Mg. V oblasti Jizerských hor studovali toxicitu Al v rámci republikového monitoringu ŠRÁMEK ET AL. (2014). Jako potenciálně toxický považovali poměr Ca/Al<0,5 v pletivech jemných kořínků, jako toxický Ca/Al<0,2 a jako vysoce toxický Ca/Al<0,1.

Na ploše na Jizerce je tento poměr v hloubce 0–10 cm 0,46 a v hloubce 10–20 cm 0,34. Tyto poměry jsme počítali podle hodnot mediánů uvedených v textu, takže jsou orientační. Nebezpečí toxicity na uvedené ploše je ovšem zřejmé. Příznivou prognózu zmírnění škodlivosti Al přinesli BORŮVKA ET AL. (2005).

Rozpad lesa ve vyšších polohách a s tím související snížení acidifikačního tlaku ze suché depozice a expanze travin produkujících humus lepší kvality mohou vést ke zvýšení hodnoty pH. Vliv typu lesa (nikoli vápnění lesa) se projevil více v minerálních B horizontech. Prostorová analýza ukázala vyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve spodinových horizontech podzolů než v kambických B horizontech kambisolů. Tento závěr neodpovídá našemu šetření. V bukových porostech, u kterých předpokládáme výskyt na kambisolech, jsou hodnoty pH mírně vyšší než na smrkových stanovištích s podzoly. Vliv toxicity hliníku se podle autorů snižuje, a to i ve vyšších polohách, kde je acidifikace silná a podíl bazických kationtů v půdě nízký. Hliník je více vázán v organickém materiálu a menší podíl je ve škodlivých výměnných formách.



Obr. 33: Obsah extrahovatelného hliníku v šetřených horizontech

V nadložních organických horizontech jehličnatých porostů je zjištěno množství extrahovatelného hliníku dosahující hodnoty mediánu 7442 mg.kg⁻¹ a v porostech listnatých 8446 mg.kg⁻¹.

Obsah extrahovatelného hliníku má v organominerálních horizontech jehličnatých porostů rozpětí od 1188 do 11580 mg.kg⁻¹ a v minerálních od 1028 do 17100 mg.kg⁻¹. Obsahy se tedy směrem do hlubin zvyšují. Vezmeme-li potom přístupné obsahy, stanovené metodou Mehlichovou, jako potenciálně toxické, potvrzuje se správnost závěrů BORŮVKY ET AL. (2005) o nižším podílu volných (škodlivých) forem Al ve smrkových porostech vyskytujících se na chudších půdách.

Tab. 16: Hodnoty mediánů obsahů extrahovatelného (Al_{du}) a přístupného hliníku (Al_{M3})

Porost	Al _{du} (mg.kg ⁻¹)		Al _{M3} (mg.kg ⁻¹)	
	horizont A	horizont B	horizont A	horizont B
Jehličnatý	3775	5919	1664	1863
Listnatý	6786	11660	1870	2384

Obsah extrahovatelného hliníku má v organominerálních horizontech listnatých porostů rozpětí od 1928 do 7482 mg.kg⁻¹ a v minerálních od 4083 do 24550 mg.kg⁻¹. Obsahy se tedy směrem do hlubin zvyšují.

Hodnoty molárního poměru Ca/Al v asimilačních pletivech smrku (jehlice běžného roku) a buku byly vzdáleny oblasti škodlivého působení hliníku ($\text{Ca/Al} \leq 12,5$) (EIMIL-FRAGA ET AL., 2016). Nepohyblivé hliníkové monomery převažují nad labilními Al-monomery ve všech matečných horninách, ale výjimečně i ve slídnatých břidlicích. Významně vyšší množství škodlivého Al³⁺ v půdách se vyvinulo na žulách, břidlicích a slídnatých břidlicích, a to především na podzolech a kryptopodzolech ve vyšších polohách.

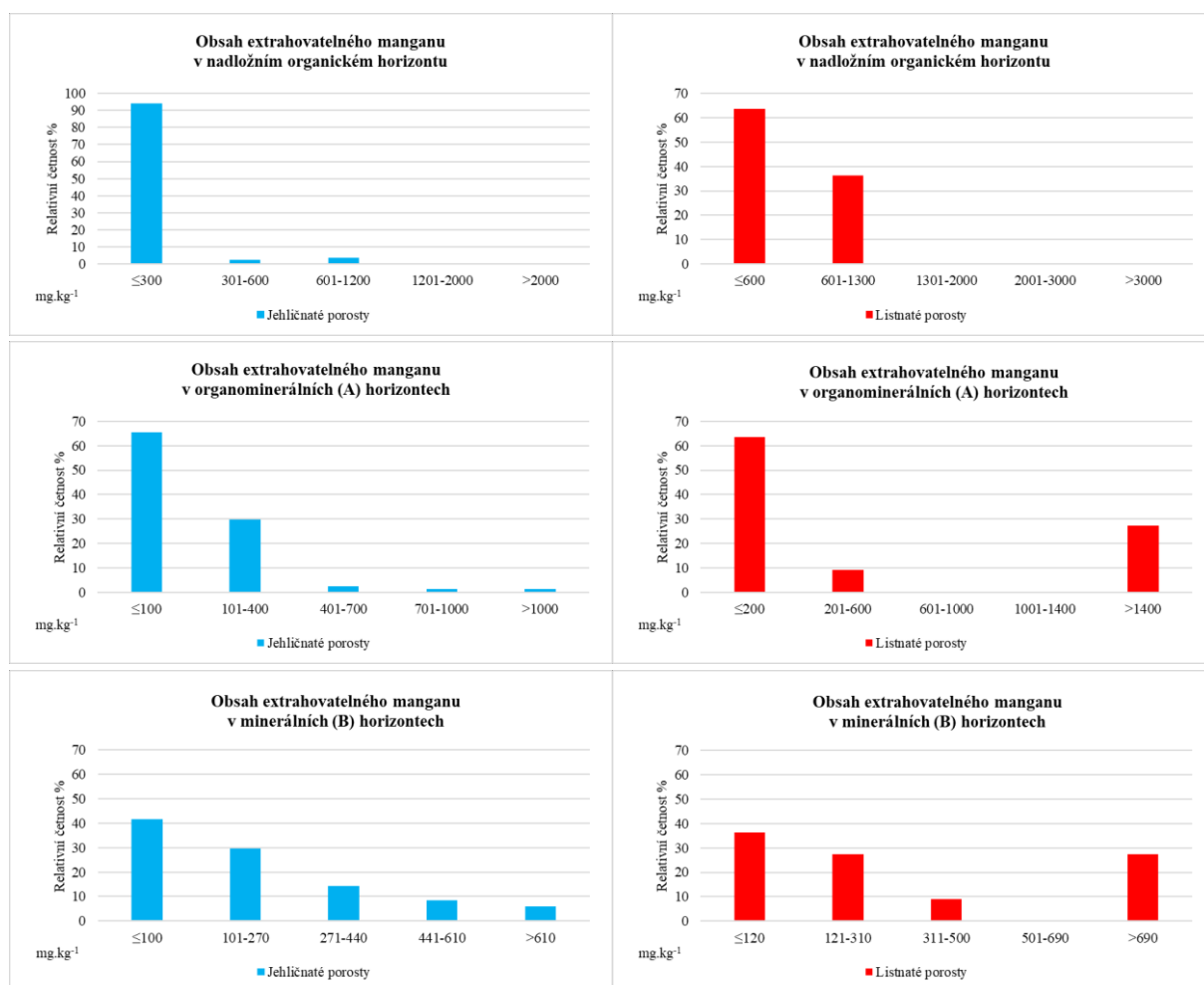
Vedle tlumícího vlivu organického materiálu může být toxicita Al redukována přítomností síry, která v podobě SO₄²⁺ vytváří v půdním roztoku komplexy Al-SO₄, méně toxické než volné formy Al. I přes tyto okolnosti nelze nebezpečí Al-toxicity v horských lesích podceňovat a případné projevy lze tlumit vápněním postižených porostů.

3.15. Mangan

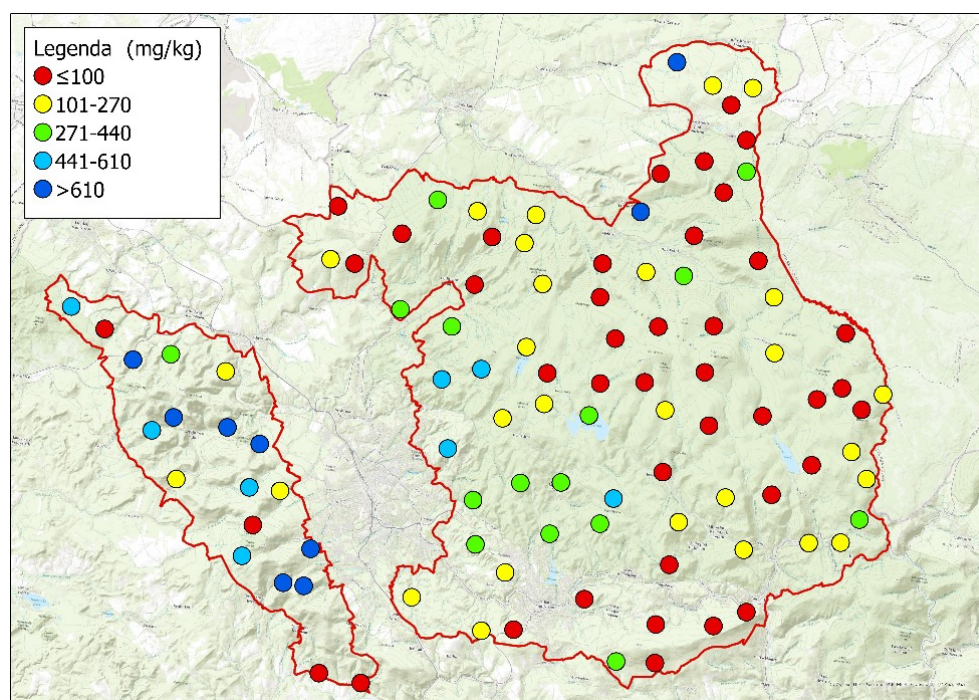
Mangan je v půdě přítomen jako amorfni oxid (MnO₂), v uhličitanech a v křemičitanech. Lépe rozpustný a tím pohyblivější je v kyselých půdách. V rostlině je přítomen v metaorganických sloučeninách a komplexech a zúčastňuje se základního metabolismu (oxidáza, fotosyntézy a přenosu fosfátů). Jeho synergisty jsou Mg a Zn. Hromadí se v listech. Jeho nedostatek se projevuje inhibicí růstu, chlorózami a nekrózami mladých listů a opadem listů (LARCHER, 1988).

Tab. 17: Obsah Mn_{du} a Mn_{ar} v mg.kg⁻¹ (medián)

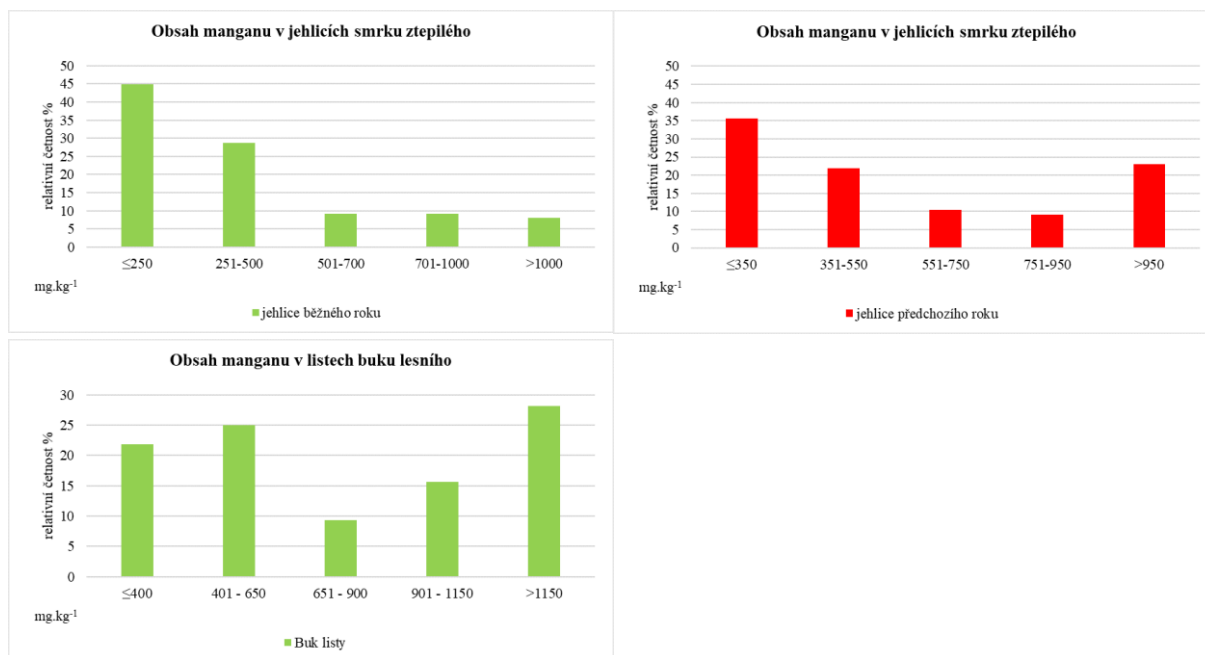
	Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
	horizont nadloží organický	horizont organominerální	horizont minerální	horizont nadloží organický	horizont organominerální	horizont minerální
Mn _{du}	83,7	47,8	133	153	111	235
Mn _{ar}		151	303		267	421



Obr. 34: Obsah extrahovatelného manganu v šetřených horizontech



Obr. 35: Kartogram obsahu extrahovatelného manganu v minerální horizontu



Obr. 36: Obsah manganu v asimilačních orgánech šetřených dřevin

V nadložních organických horizontech je podle klasifikace ÚKZÚZ velmi nízká zásoba manganu v jehličnatých a listnatých porostech.

Obsahy Mn v opadance na vybraných lokalitách ve Švédsku (nikoliv ve směsném nadložním organickém materiálu) nabíraly hodnoty od 310 do 7690 mg.kg⁻¹ (Mn detekovaná po oxidaci H₂SO₄), jak uvádějí BERG ET AL. (2007). V šetřených porostech jsme zjistili v jehličnatých ekosystémech hodnoty od 22 do 938 mg.kg⁻¹ a v listnatých od 23 do 808 mg.kg⁻¹. S těmito nižšími obsahy může souviset i nižší aktivita rozkladačů, kterou BERG ET AL. (2007) hodnotili.

V organominerálních i minerálních horizontech se na několika místech v listnatých porostech vyskytují vysoké obsahy manganu (Tab. 18). Při nízkých hodnotách pH (pH<4,8) je mangan pro rostliny toxický (SLATTERY ET AL., 1999). Ovšem vzhledem k dominantnímu postavení Al je nesnadné rozhodnout o toxicitě Al a Mn.

Tab. 18: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů manganu v šetřených horizontech listnatých porostů

Horizont			Listy buku
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	
>500 mg.kg ⁻¹	> 100 mg.kg ⁻¹	> 200 mg.kg ⁻¹	> 1400 mg.kg ⁻¹
21076	21054	21054	21049
21195	21076	21076	21071
21526	21195	21195	21074
21527	21516	21515	21214
	21526	21516	21216
	21527	21526	
		21527	

Ve smrkových jehlicích běžného roku je zjištěna hodnota mediánu obsahu Mn 277 mg.kg⁻¹ a v jehlicích předchozího roku 470 mg.kg⁻¹. V listových pletivech buku je tato hodnota 751 mg.kg⁻¹. Podle evropské klasifikace (FÜRST, 2009) je v případě smrku tato hodnota nízká (optimum je předpokládáno v oblasti kolem 2000 mg.kg⁻¹).

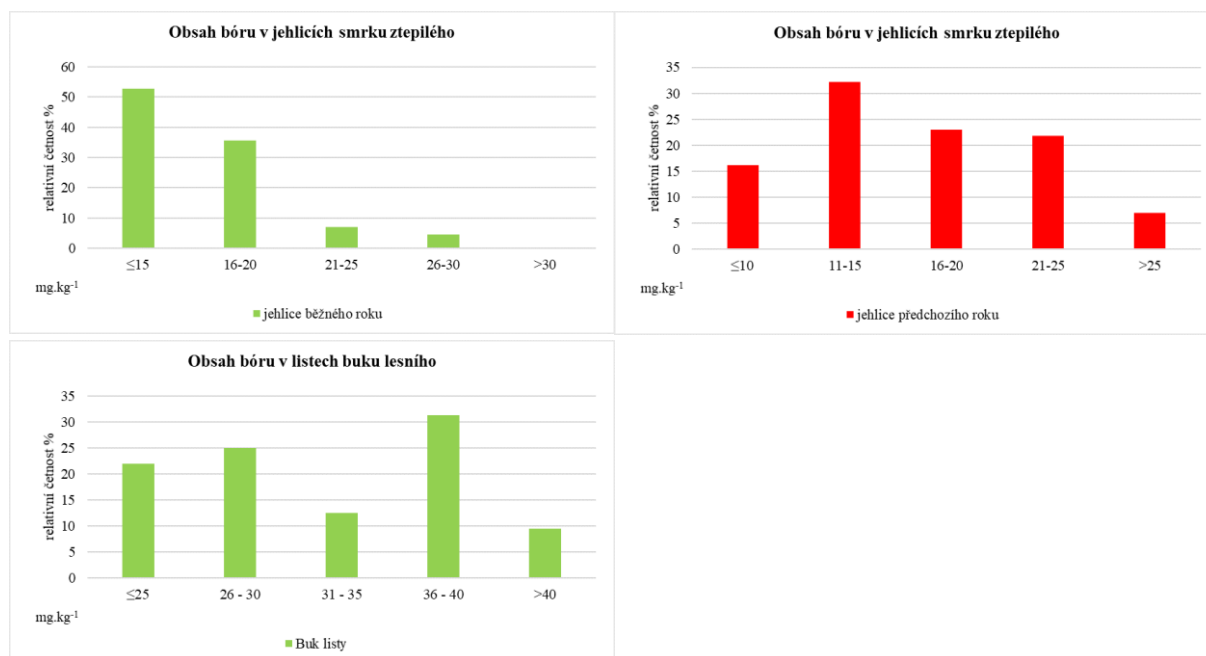
Mangan je součástí biologických i geochemických interakcí. Je znám jeho antagonistický vztah Mn-Fe, zvláště v kyselých půdách, které obsahují velké množství přístupného manganu. Zdravému vlivu na rostliny odpovídá poměr Fe:Mn od 1,5 do 2,5. V našem průzkumu jsou poměry Fe:Mn ve smrkových i bukových porostech pod touto oblastí „zdravé výživy“. U těchto rostlin můžeme očekávat příznaky Mn toxicity a Fe nedostatku (KABATA – PENDIAS, 2011).

V asimilačních pletivech buku není souvislost s vyššími obsahy manganu v půdním prostředí zřejmá. Mangan je rostlinami přijímán především jako Mn^{2+} kationt, který se v půdě vyskytuje při nižších hodnotách půdní reakce pH. Ostatní formy Mn(III) a Mn(IV) jsou přítomny v půdě při vyšších hodnotách pH a nejsou rostlinami přijímány (MILLALEO ET AL., 2010). Vyšší obsahy v pletivech tedy souvisejí nejen s množstvím manganu v půdním prostředí, ale především s podmínkami pro jeho přístupnost.

Podobně jako v případě hliníku nelze nebezpečí Mn-toxicity podceňovat a jeho případné projevy tlumit vápněním lesa.

3.16. Bor

Zdrojem boru v půdě je turmalín a boritany. Rostlinou je přijímán ve formě HBO_3^{2-} a $H_2BO_3^-$. V rostlině je vázán v komplexech s glycidy a zúčastňuje se metabolismu a transportu glycidů, metabolismu fenolů a aktivace růstových regulátorů (růst pylových láček). Hromadí se v listech a vrcholcích prýtů. Jeho nedostatek se projevuje poruchami růstu (nekrózy meristémů) a plodnosti, kořeny se málo větví, a nadměrnou tvorbou korku (LARCHER, 1988). Narušená apikální dominance způsobená nedostatkem boru vede ke keřovitému vzhledu stromů (SAARSALMI ET TAMMINEN, 2005).



Obr. 37: Obsah boru v asimilačních orgánech šetřených dřevin

Jedním z mála pramenů zabývajících se výživou lesních dřevin borem je studie SAURA (1990) shrnující obsahy mikroživin ve výživě vyšších rostlin. Ten uvádí poznatky několika

autorů. Za kritickou je považována hodnota obsahu B v jehlicích smrku 13 mg.kg^{-1} , za optimální $20\text{--}45 \text{ mg.kg}^{-1}$ na minerálních půdách a $8\text{--}12$ na organických půdách. Kritérium pro organické půdy by v oblasti Jizerských hor platilo při hodnocení porostů na Velké jizerské louce, případně v deluviu Desenského potoka. Evropská klasifikace (FÜRST, 2009) se zabývá v otázce boru pouze bukem a uvádí jako hranici nedostatku 2 mg.kg^{-1} a nadbytku 40 mg.kg^{-1} .

Obsahy boru nižší než 13 mg.kg^{-1} byly zjištěny na 26 odběrných místech, tj. na 30 %. SAARSALMI ET TAMMINEN (2005) uvádějí limity pro nedostatek B ve výživě 21-letého porostu smrku černého v hodnotách $B < 6 \text{ mg.kg}^{-1}$ a poznatek pozitivní korelace mezi výškovým růstem 37-letého smrkového porostu s nízkou koncentrací B v jehlicích ($2,9\text{--}8,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) v jihovýchodní části Finska. Problémem v otázce boru je nutnost melioračních opatření – opatření v předstihu před projevy poruchy růstu. Profylaktická šetření, což je v tomto případě průzkum výživy lesa, jsou nejlepší cestou, jak řešit problém nedostatku B.

3.17. Rizikové prvky

Obsahy rizikových prvků se v Evropě snížily od roku 1990 do roku 2012 o 89 % pro Pb, 67 % pro Ni, 42% pro Zn a 1% pro Cu (TÜRSCHER ET AL., 2017).

V nadložních organických horizontech listnatých porostů je zjištěno vyšší množství kadmia a zinku. Obsahy ostatních šetřených rizikových prvků jsou na přibližně stejné úrovni. Podle hodnocení UHLÍŘOVÁ ET HEJDOVÁ (1999) je zatížení organických horizontů kadmii ($< 0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$) a zinkem ($< 35 \text{ mg.kg}^{-1}$) na nízké a mědi ($5\text{--}20 \text{ mg.kg}^{-1}$) a olovem ($15\text{--}150 \text{ mg.kg}^{-1}$) na střední úrovni. RADEMARCHER (2003) uvádí maximální tolerantní hodnoty vůči půdní mikro a mezofauně pro olovo $7\text{--}25 \text{ mg.kg}^{-1}$, kadmium ($0,3\text{--}2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), zinek ($70\text{--}200 \text{ mg.kg}^{-1}$), měď ($30\text{--}70 \text{ mg.kg}^{-1}$) a chrom ($20\text{--}130 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Škodlivý vliv rizikových prvků se potom může projevovat v případě Cd v nadložních organických horizontech. Olovo může škodlivě působit v rozsahu celých půdních profilů. U chromu, mědi a zinku škodlivý vliv nepředpokládáme. Podle RADEMARCHERA (2003) je v kyselém prostředí vyšší pohyblivost zinku, manganu a kadmia.

Tab. 19: Obsahy rizikových prvků v mg.kg^{-1} (medián)

Porost	Horizont	Cd _{dus}	Cr _{dus}	Cu _{dus}	Pb _{dus}	Zn _{dus}	Cd _{ar}	Cr _{ar}	Cu _{ar}	Pb _{ar}	Zn _{ar}
Jehličnatý	Nadložní organický	0,32	6,96	8,89	97,4	25,4					
	Organominerální	< 0,20	2,84	2,68	50,6	6,57	0,40	17,5	6,99	62,4	27,2
	Minerální	< 0,20	4,15	1,80	24,6	11,5	0,23	22,5	6,28	33,0	40,5
Listnatý	Nadložní organický	0,16	8,81	8,66	91,6	35,7					
	Organominerální	< 0,20	3,64	2,51	55,0	18,7	0,44	19,5	7,18	66,5	44,3
	Minerální	< 0,20	4,44	1,35	18,6	20,8	0,22	22,8	5,43	30,6	57,1

dus: výluh HNO_3

ar: výluh lučavka královská

Pro rozlišení antropogenního a geogenního původu rizikového prvku jsme použili poměry obsahů zjištěných ve výluhu kyseliny dusičné (HNO_3) a po rozkladu lučavkou královskou (ar) (Tab. 20). Dalším doplňujícím kritériem pro důkaz atmosférického původu rizikových prvků je jejich porovnání se změnou obsahů v půdě, nicméně časové změny mohou být různé pro různé prvky (TÜRSCHER ET AL., 2017).

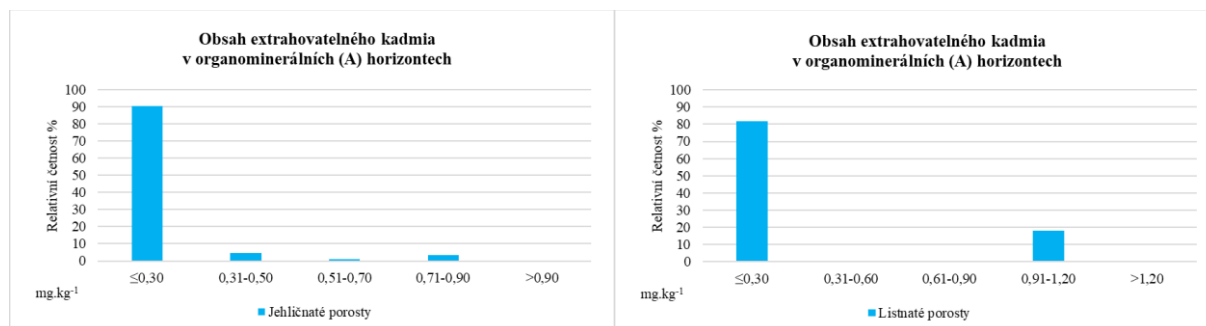
Tab. 20: Poměr $\text{HNO}_3/\text{ar} \cdot 100$

prvek	$\text{HNO}_3/\text{ar} \cdot 100$			
	Cr	Cu	Pb	Zn
Hraniční hodnoty	0,5	25	50	25
Organominerální horizont (A)	16	39	81	26
Minerální horizont (B)	19	29	73	44

Podle poměrů v tab. 20 lze považovat za vliv atmosférického vnosu obsahy chromu, mědi a olova. V případě zinku se přikláníme k vstupu zvětráváním hornin. Jako výhradně geogenní zátěž je podle těchto autorů brána v severočeském a západočeském regionu přítomnost Cr a Mn v areálech čedičů (amfibolitů a substrátů s podílem čediče). O geogenní zátěži lze uvažovat i v případech Pb, Cu a Zn v metalogenních zónách žul, rul a svorů (ROTTER ET AL., 2013).

3.17.1. Kadmium

Přírodními zdroji kadmia jsou vulkanické emise a zvětrávání hornin. Přirozený obsah v půdě je $0,1\text{--}1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. do atmosféry se dostává z mnoha průmyslových zdrojů, spaloven a prostřednictvím metalurgického průmyslu. V oblasti Jizerských hor byly zjištěny vyšší obsahy v mechu (UHLÍŘOVÁ ET HEJDOVÁ, 1999). Průměrný obsah Cd ve světových půdách je $0,41 \text{ mg.kg}^{-1}$. Kadmium a zinek mají podobné chemické vlastnosti, ale Cd má silnou afinitu na S a jeho mobilita v půdě je tedy vyšší (KABATA – PENDIAS, 2011). Přebytek Cd v rostlinách narušuje Kelvinův cyklus, a zvláště funkce enzymů. Rovněž narušuje symbiózu mikrobů a rostlin.



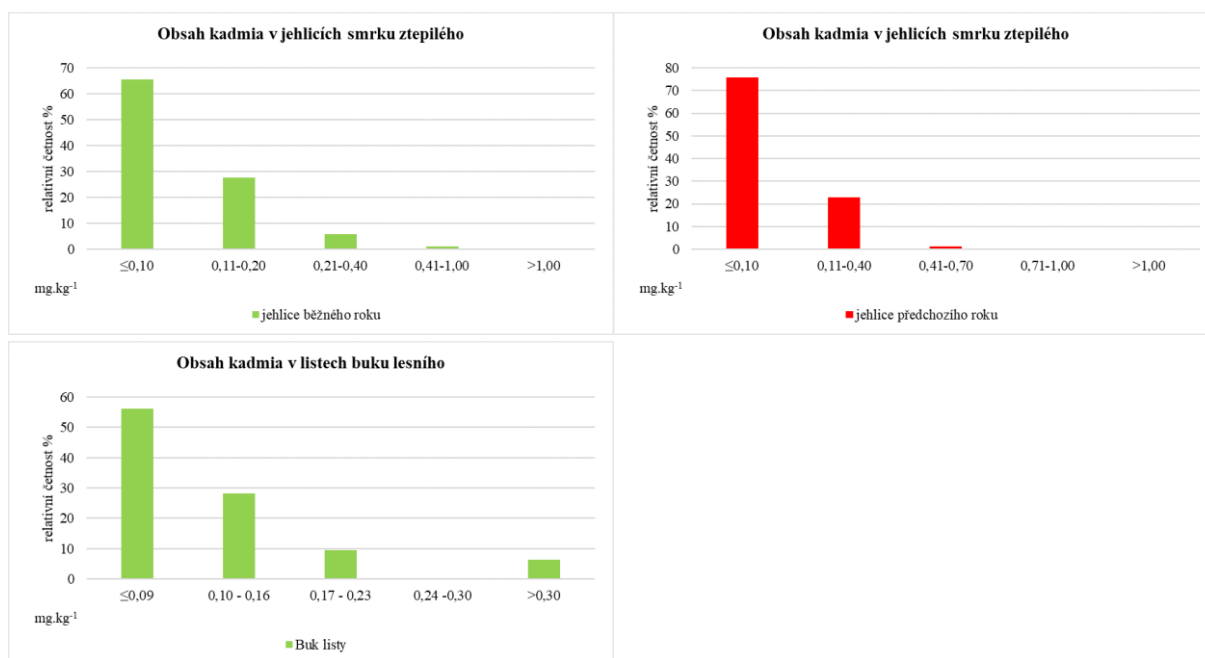
Obr. 38: Obsah extrahovatelného kadmia v organominerálních horizontech

Extrémní zatížení bylo zjištěno na odběrném místě 21204, kde v nadložních organických horizontech je obsah Cd $6,24 \text{ mg.kg}^{-1}$, v organominerálních $0,79 \text{ mg.kg}^{-1}$ a v minerálních $0,43 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Zvýšené obsahy Cd ve všech šetřených horizontech identického odběrného místa jsme zjistili v případech uvedených v tabulce (Tab. 21). Na těchto odběrných místech předpokládáme vyšší zatížení lesních ekosystémů atmosférickým kadmiiem. Vezmeme-li kritérium $0,3\text{--}2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ jako tolerantní hodnotu škodlivosti (RADEMARCHER, 2003), pak lze na těchto místech předpokládat ohrožení půdní mikrobioty kadmiiem.

Tab. 21: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů kadmia v šetřených horizontech

Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	Nadložní organický	Organominerální	Minerální
>1,0 mg.kg ⁻¹	>0,3 mg.kg ⁻¹	>0,10 mg.kg ⁻¹	>0,05 mg.kg ⁻¹	>0,3 mg.kg ⁻¹	>0,10 mg.kg ⁻¹
21004	21085	21083	21526	21526	21076
21137	21148	21088	21527	21527	21526
21140	21149	21149			21527
21145	21199	21199			
21148	21202	21203			
21149	21203	21204			
21150	21204	21218			
21199					
21202					
21203					
21204					



Obr. 39: Obsah kadmia v asimilačních orgánech šetřených dřevin

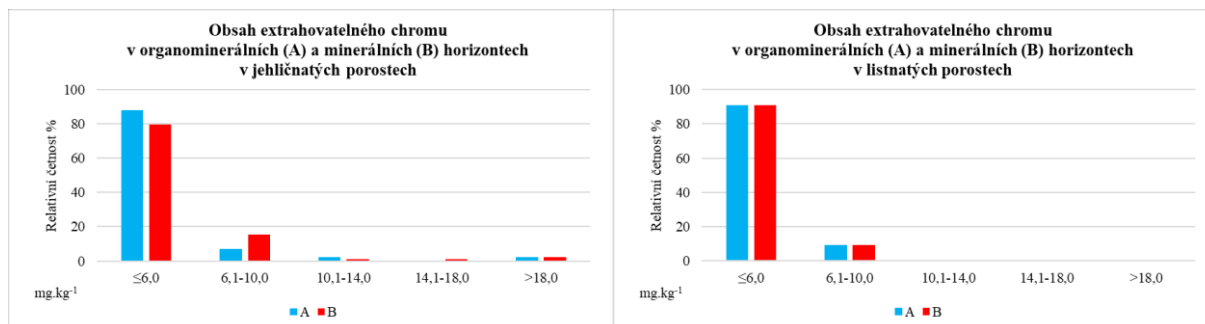
Vyšší obsahy v jehlicích běžného roku u smrku ($\text{Cd} > 0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) byly zjištěny na odběrných místech: 21074, 21191, 21196, 21199, 21202, 21215 a v bukových porostech ($\text{Cd} > 0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$) na odběrných místech: 21203 a 21204. Shodnost s vyššími obsahy v půdním prostředí je zjištěna pouze náhodně na místech 21199 a 21202.

3.17.2. Chrom

Chrom se dostává do ovzduší zvětráváním hornin a je přenášen na velké vzdálenosti. Průmyslovými zdroji jsou pokovování, antikorozivní nátěry a chemický průmysl (UHLÍŘOVÁ ET HEJDOVÁ, 1999).

Chrom se vyskytuje ve dvou formách - Cr (III) a Cr (VI) a obě formy jsou přijímány rostlinami. Cr (III) je málo rozpustný a méně toxický, zatímco Cr (VI) je více rozpustný ve vodě a vysoce toxický vůči biotě (VAJPAYEE ET AL., 2000). Jeho škodlivost spočívá v redukci biosyntézy chlorofylů, aktivity nitrát reduktázy a obsahu proteinů. Jeho škodlivá forma (Cr^{VI}) nahrazuje Mg na aktivních místech mnoha enzymů a snižuje množství chlorofylu.

Většina forem Cr^{III} v chromem znečištěné vodě a půdě je nerozpustná a nepohyblivá, pokud není pH nižší než 5. Zdá se, že Cr^{III} je jednak mobilizováno a jednak zachyceno ve spodozolech podobně jako Al. Cr^{III} je silněji vázáno než Al a může jej nahrazovat (BARTLETT, 1999).



Obr. 40: Obsah extrahovatelného chromu v šetřených horizontech

Tab. 22: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů chromu v šetřených horizontech

Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	Nadložní organický	Organominerální	Minerální
>12 mg.kg ⁻¹	>8 mg.kg ⁻¹	>8 mg.kg ⁻¹	>8 mg.kg ⁻¹	>3 mg.kg ⁻¹	>5 mg.kg ⁻¹
21061	21061	21004	21054	21054	21053
21071	21074	21014	21076	21076	21076
21074	21080	21061	21195	21102	21515
21080	21088	21074	21515	21195	21516
21088	21191	21080	21526	21515	21530
21191	21219	21191	21527	21516	
21213			21530	21526	
21218				21527	
21219				21530	

Výpisem je potvrzen výskyt vyšších obsahů chromu ve všech horizontech odebraných na jednom místě (Tab. 22). Vzhledem ke snižujícím se obsahům ve vertikálním směru předpokládáme atmosférický původ chromu.

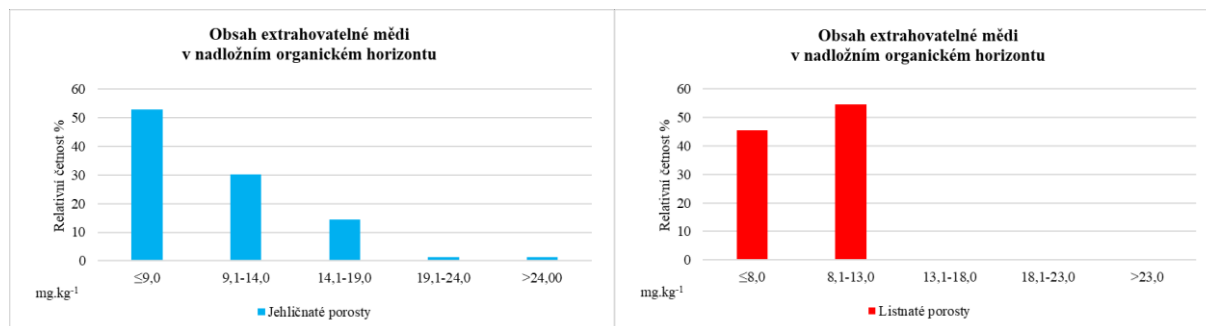
Obsahy v jehlicích smrku ukazují na mírnou akumulaci ve starších pletivech. Podle klasifikace ÚKZÚZ (FIALA ET AL., 2013) jsou obsahy na velmi nízké úrovni.

Vyšší obsahy v jehlicích běžného roku u smrku ($\text{Cr} > 0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$) byly zjištěny na odběrných místech: 21030, 21074, 21079, 21080, 21088, 21174, 21179, 21213, 21215, 21218, 21219 a v jehlicích předchozího roku ($\text{Cr} > 0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$) na OM: 21080, 21088, 21213, 21218, 21219 a v listech buku ($\text{Cd} > 0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$) na odběrných místech: 21085, 21088, 21204 a 21219. Shodnost s vyššími obsahy v půdním prostředí je zjištěna v jehličnatých ekosystémech.

3.17.3. Měď

Měď je v půdě přítomna v sirnicích, síranech a uhličitanech. Je pohyblivá v kyselém prostředí a rostlinou přijímána jako Cu^{2+} a Cu-chelát. Účastní se základního metabolismu (fotosyntéza, oxidáza) a metabolismu dusíku. Hromadí se ve dřevě. Nedostatek se projevuje zasycháním vrcholů, zkroucenými listy a chlorotickými skvrnami na padlých listech (LARCHER, 1988).

Do prostředí se dostává zvětráváním hornin a průmyslovými emisemi (elektrotechnický průmysl, barviva, sklářský průmysl) a ze spalovacích procesů. Vysoké obsahy byly zjištěny v mechových bioindikátorech rovněž v Jizerských horách (UHLÍŘOVÁ ET HEJDOVÁ, 1999). Měď je málo pohyblivá v půdě a je silně vázaná na dusík a proteiny. Při nedostatečné redistribuci ze starších pletiv a kořenů se její nedostatek projevuje chlorózou a vrcholkovou nekrózou v nových listech (KABATA – PENDIAS, 2011). Procesu redistribuce napovídají i naše výsledky s hodnotami mediánů vyššími v jehlicích běžného roku v porovnání s jehlicemi staršími ($3,54 \text{ mg.kg}^{-1} > 2,30 \text{ mg.kg}^{-1}$).



Obr. 41: Obsah extrahovatelné mědi v nadložním organickém horizontu

Tab. 23: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů mědi v šetřených horizontech

Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	Nadložní organický	Organominerální	Minerální
>15 mg.kg ⁻¹	>5 mg.kg ⁻¹	>5 mg.kg ⁻¹	>7 mg.kg ⁻¹	>5 mg.kg ⁻¹	>4 mg.kg ⁻¹
21028	21074	21080	21053	21076	21076
21030	21080	21088	21054	21195	21195
21052	21085	21135	21056	21526	
21062	21088	21191	21076	21527	
21088	21179	21213	21102		
21092	21191	21218	21195		
21135	21197		21526		
21194	21213		21530		
	21214				
	21218				
	21219				

Na odběrném místě 21088 jsou zjištěny extrémně vysoké obsahy mědi ve všech sledovaných horizontech: nadložním organickém horizontu ($27,22 \text{ mg.kg}^{-1}$), organominerálním horizontu ($25,33 \text{ mg.kg}^{-1}$), v minerálním horizontu ($42,37 \text{ mg.kg}^{-1}$). Je zde také vysoký obsah mědi v jehlicích běžného roku ($4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) a předchozího roku u smrku ($2,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tab. 24). Na tomto odběrném místě byly zjištěny extrémní obsahy u P, Ca, Mg, Al, Cd, Fe, Mn. Geologickým podkladem jsou zde fylitické břidlice, humózní a kyprá půda ukazuje na bohaté stanoviště odpovídající lesnímu typu 6F1.

V bukových porostech byla celistvost vyšších obsahů v půdních profilech zaznamenána. Tento jev zřejmě souvisí s nižší mírou intercepce a vyšším průsakem do spodin půdních profilů v bukových porostech. Na odběrných místech s vyššími obsahy Cu jsme studovali obsahy ve všech horizontech (Tab. 27).

Tab. 24: Odběrná místa s vyššími hodnotami mědi (mg.kg^{-1})

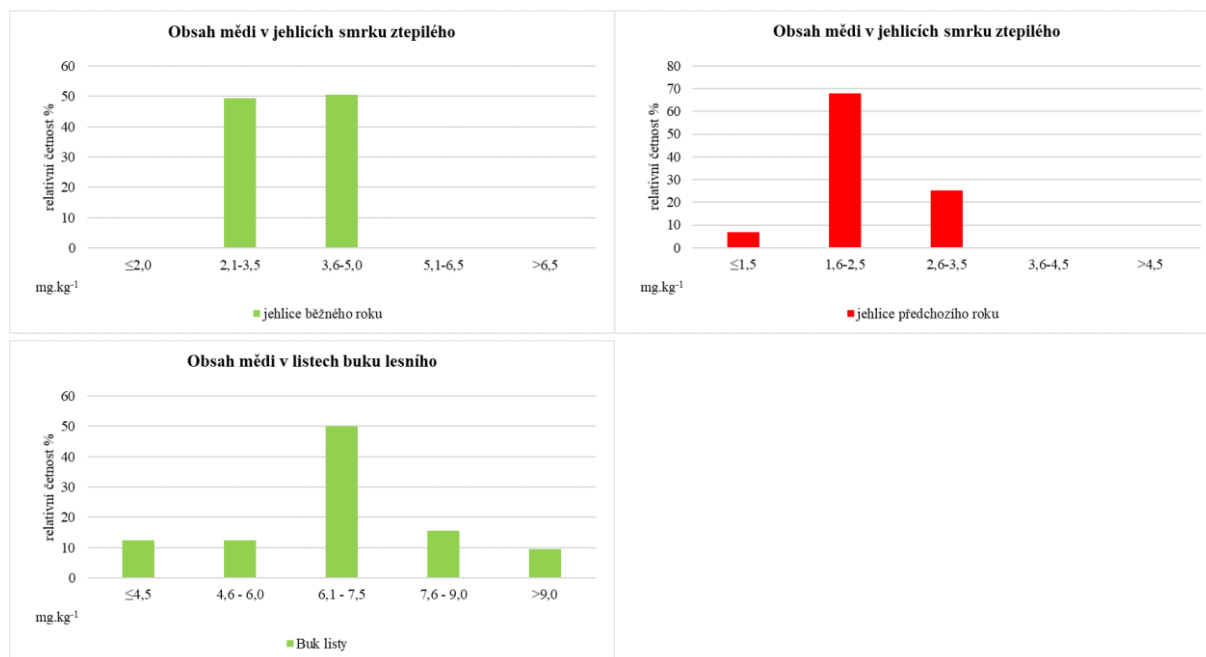
OM	Horizont			smrk (jehlice)		buk listy
	nadložní organický	organominerální	minerální	běžného roku	předchozího roku	
21088	27,2	25,3	42,3	4,4	2,4	
21135	17,2	4,8	5,4	3,3	1,9	
21076	10,9	5,5	4,9	3,7	2,5	7,3
21195	11,9	5,6	4,6			
21526	9,8	5,9	3,2			6,4
21527	6,2	5,0	1,7			8,1
21530	11,8	2,5	1,3			6,1

Vysoký obsah Cu v nadložních organických horizontech souvisí s relativně nízkou pohyblivostí mědi v půdním prostředí. V rostlinných orgánech se pohybuje pomalu díky jeho pevné vazbě na dusík a proteiny. Z tohoto důvodu jsou vysoké obsahy Cu v nadložním organickém materiálu spíše výsledkem atmosférických spadů.

V asimilačních pletivech jsou na uvedených místech zjištěny vyšší obsahy mědi. Vztah mezi půdní zásobou Cu a jejím odběrem dřevinami tedy existuje.

Výše uvedený závěr o antropogenním vnosu mědi do lesních ekosystémů nemusí platit na všech odběrných místech. Výjimkou je zřejmě výše zmíněné odběrné místo 21088 (LS Ještěd).

Pokud budeme studovat změnu obsahů v půdním profilu, všimneme si v některých případech trendu snižujícího se obsahu směrem do hloubky a jeho následné zvýšení. To může znamenat odběr mikroprvku v husté kořenové vrstvě a akumulaci v nadložním organickém horizontu. Toto schéma odpovídá spíše geogennímu původu, podobně jako v případě Zn (TÜRTSCHER ET AL., 2017).



Obr. 42: Obsah mědi v asimilačních orgánech šetřených dřevin

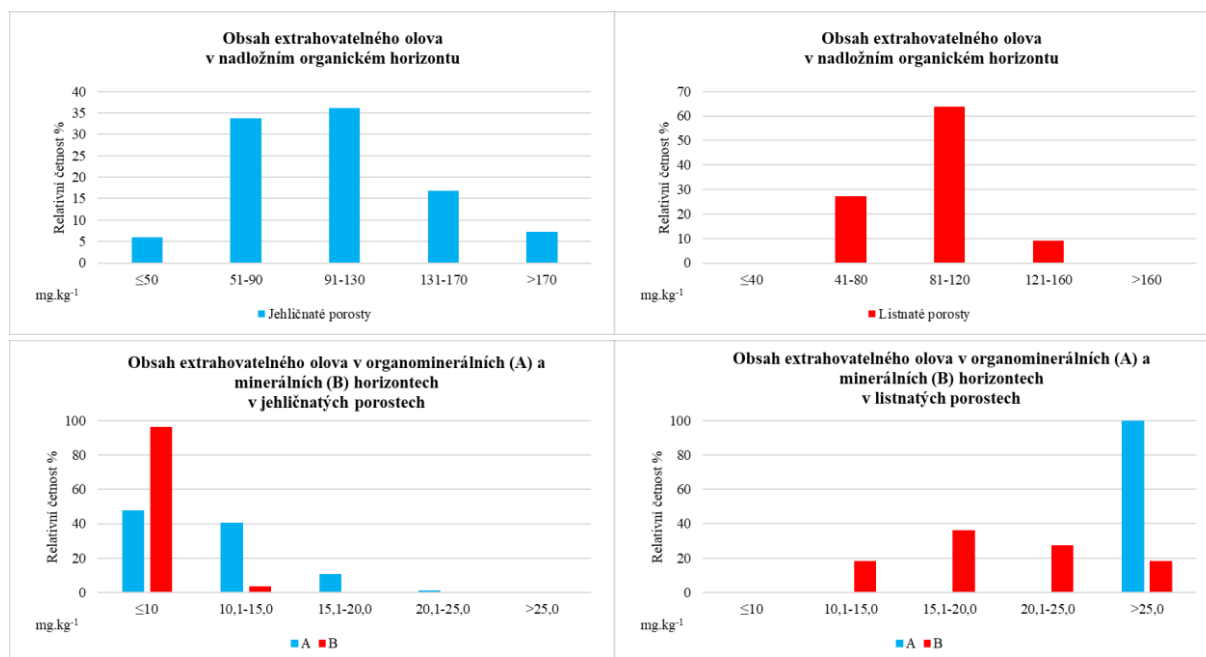
Obsahy Cu ve smrkových jehlicích běžného roku jsou vyšší než v jehlicích předchozího roku, nedochází tak k její akumulaci ve starších jehlicích. Pro měď je uváděná redistribuce

ze starších do mladších pletiv. Cu-deficience, která se projevuje nekrotickými skvrnami na vrcholech listů, nebyla při průzkumu pozorována.

3.17.4. Olovo

Olovo je prvkem přenášeným na velké dálky. Antropogenními zdroji jsou průmyslové emise (výroba autobaterií, aditiv do benzínu, antikorozivních nátěrů, křišťálového skla). Dále je to doprava a skládka (UHLÍŘOVÁ ET HEJDOVÁ, 1999). Olovo je vysoce chalkofilní prvek, primární formou je tedy galenit (PbS). Střední odhadovaný obsah v půdě je 27 mg.kg^{-1} . Olovo je fixováno v jílových minerálech, hydroxidech a půdním organickém materiálu (KABATA – PENDIAS, 2011). Kořeny jsou schopny přijímat velké množství olova v rozpuštěné formě. Vzdušné olovo je přijímáno listovými rostlinami. Toxickým účinkem je narušení základních biologických procesů fotosyntézy, růstu, mitózy apod.

Roční mokrá depozice olova se v letech 2020–2021 pohybovala od 0,6 do $1,0 \text{ mg.m}^{-2}$, srážky s prašným spadem jsou vyšší ($0,5\text{--}2,4 \text{ mg.kg}^{-1}$).



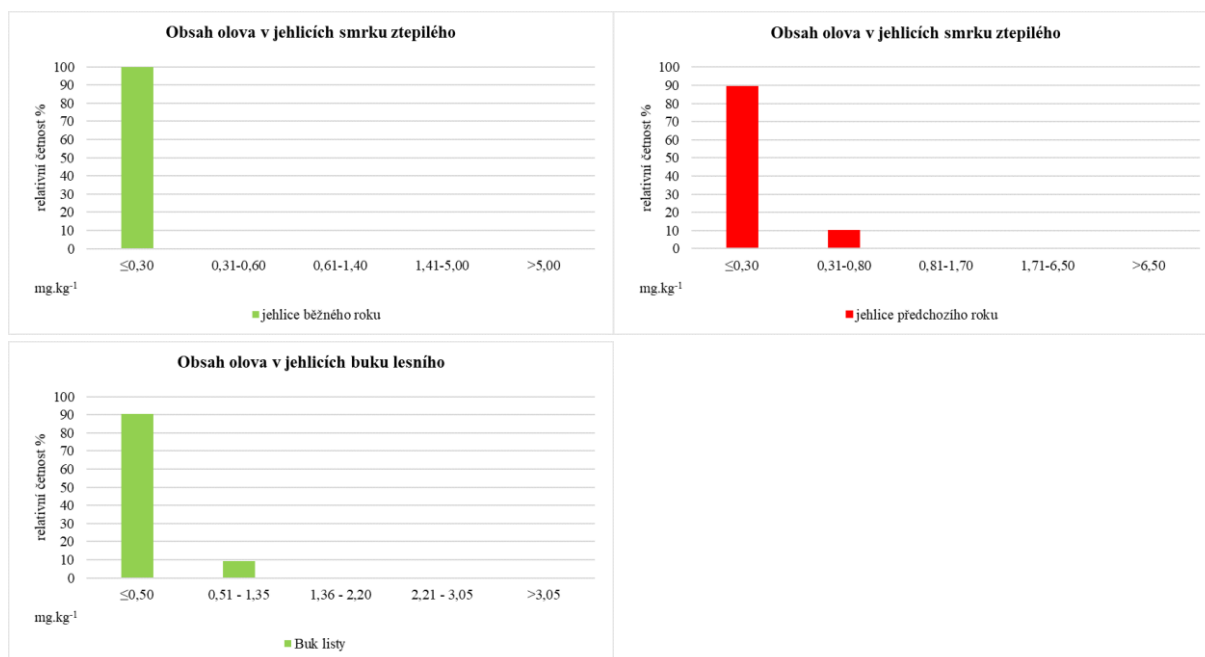
Obr. 43: Obsah extrahovatelného olova v šetřených horizontech

Na odběrném místě 21199 jsou zjištěny vyšší obsahy olova ve všech sledovaných horizontech (Tab. 25): nadložním organickém horizontu ($162,4 \text{ mg.kg}^{-1}$), organominerálním horizontu ($96,6 \text{ mg.kg}^{-1}$), v minerálním horizontu ($55,9 \text{ mg.kg}^{-1}$). V listnatých (BK) porostech na odběrném místě 21516 jsou tyto obsahy $91,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, $66,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $32,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ v nadložních organických, organominerálních a minerálních horizontech.

Obsahy olova klesají směrem do spodin půdních profilů. Klesající trend vertikálním směrem v půdních profilech je typický pro atmosférický vstup Pb do lesních ekosystémů.

Tab. 25: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů Pb v šetřených horizontech

Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	Nadložní organický	Organominerální	Minerální
>150 mg.kg ⁻¹	>90 mg.kg ⁻¹	>40 mg.kg ⁻¹	>90 mg.kg ⁻¹	>60 mg.kg ⁻¹	>20 mg.kg ⁻¹
21004	21014	21012	21053	21076	21056
21006	21036	21062	21056	21102	21102
21025	21070	21074	21102	21515	21516
21031	21074	21083	21515	21516	21526
21045	21080	21088	21516	21530	21527
21062	21085	21152	21530		
21118	21088	21153			
21144	21199	21174			
21152	21217	21199			
21199	21218	21213			
21203		21524			
21204					



Obr. 44: Obsah olova v asimilačních orgánech šetřených dřevin

Obsahy olova v pletivech jehlic běžného roku (medián < 0,20 mg.kg⁻¹) odpovídají velmi nízkému znečištění. V jehlicích předchozího roku jsou obsahy poněkud vyšší. Odpovídají rovněž velmi nízkému znečištění olovem. V listech buku byly zjištěny hodnoty obsahů olova od < 0,2 do 0,67 mg.kg⁻¹.

Obsahy v asimilačních pletivech nabývají velmi nízkých hodnot a nejsou významným zdrojem pro přítomnost olova v opadance. Zjištěné obsahy ve studovaných kompartmentech odpovídají závěrům JAMNICKÉ ET AL., (2013), kteří považují Pb za prvek silně vázaný na půdní prostředí s pouze omezeně vstupující do rostlinných pletiv.

Odlišnost spočívá ve vazbě Pb na kořeny, kde je Pb akumulován společně s Cu a Zn (BRUNNER ET AL., 2008). Jeho nebezpečnost, podobně jako ostatních těžkých kovů a taky hliníku, spočívá v redukci Ca iontů, které mají nižší vazební kapacitu, na buněčných stěnách kořenové epidermis smrku.

V půdním prostředí se vyskytují nejvyšší obsahy olova především ve fermentačních a humifikačních subhorizontech (částech horizontu nadložního organického), což souvisí s jeho tendencí vytvářet komplexy s organickými látkami. V tomto smyslu jsou poněkud nižší obsahy

v organominerálních a nejnižší v minerálních horizontech. Geogenní původ olova, vázaný na rudné žíly, nemusí být ve studované oblasti zcela vyloučen. Nicméně v předkládané práci přičítáme přítomnosti olova v půdě antropogennímu, atmosférickému původu.

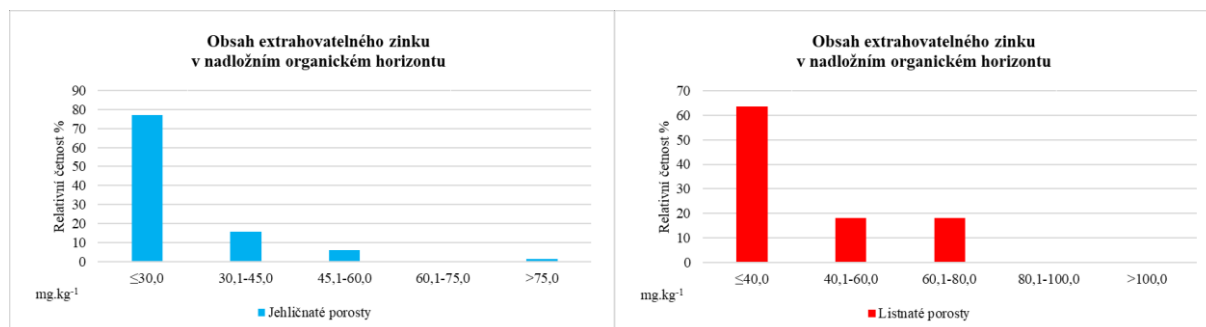
Vysoké obsahy olova pravděpodobně přispívají k omezení mikrobiální aktivity, zvláště v ekosystémech, kde pod vlivem dalších abiotických činitelů probíhá hromadění nadložního organického materiálu.

Škodlivý vliv olova se tedy může projevovat u dřevin přímo - jednak tím, že snižuje kořenový příjem živin. Druhou možností přímého vlivu na redukci mikrobioty a tím zpomalení koloběhu živin.

V porostech s významně vysokým množstvím nadložního organického materiálu navrhuje šetrné zásahy, pokud možno vylučující rychlou mineralizaci tohoto materiálu. V souvislosti s olovem upozorňují SUCHARA ET SUCHAROVÁ (2004) na nebezpečí náhlého uvolnění těžkých kovů pevně vázaných v nadložním organickém materiálu, při lesním požáru, extrémním okyselením srážek, erozí humusové vrstvy po odlesnění nebo degradaci humusu na nízkomolekulární pohyblivější frakce.

3.17.5. Zinek

Zinek je v půdě přítomen ve formě fosforečnanů, uhličitánů, siřičků, oxidů a v křemičitanech. V kyselém prostředí je pohyblivější, jinak je adsorbován. Rostlinou je přijímán jako Zn^{2+} , a Zn-chelát. A podílí se na tvorbě chlorofylů, aktivuje enzymy na základním metabolismu (dehydrogenáza), rozkladu bílkovin a biosyntéze růstových regulátorů (IAA). Hromadí se v kořenech a prýtech a jeho nedostatek se projevuje zakrslým vzrůstem, bíloželým zbarvením starších listů a poruchami plodnosti (LARCHER, 1988).



Obr. 45: Obsah extrahovatelného zinku v nadložních organických horizontech

Šetřením byly zjištěny podobné obsahy Zn v šetřených horizontech jehličnatých a listnatých porostů. Shoda vyšších obsahů s výrazným rozdílem mezi nadložními organickými horizonty a horizonty v minerálních fázích půdních profilů odpovídá původu zinku z atmosférických spadů (Tab. 26). Zn je sice považován za velmi pohyblivý prvek v půdě (KABATA – PENDIAS, 2011), ale vysoká schopnost vazby na organický materiál, případně na fosfor způsobují jeho imobilizaci v nadložních horizontech.

Vezmeme – li v potaz vertikální průběh obsahů v půdních profilech, sledujeme podobný vzorec jako v případě Cu (TÜRTERSCHER ET AL., 2017). Ten odpovídá spíše geogennímu původu Zn (Tab. 27).

Tab. 26: Výpis shodného výskytu zvýšených obsahů zinku v šetřených horizontech

Jehličnaté porosty			Listnaté porosty		
Nadložní organický	Organominerální	Minerální	Nadložní organický	Organominerální	Minerální
>40 mg.kg ⁻¹	>20 mg.kg ⁻¹	>20 mg.kg ⁻¹	>40 mg.kg ⁻¹	>20 mg.kg ⁻¹	>20 mg.kg ⁻¹
21049	21071	21044	21076	21076	21054
21071	21074	21071	21526	21102	21056
21074	21191	21191	21527	21195	21076
21080	21198	21196	21530	21526	21102
21088	21212	21197		21527	21195
21191		21198			21515
21197		21202			21516
21204		21218			
21213					
21218					

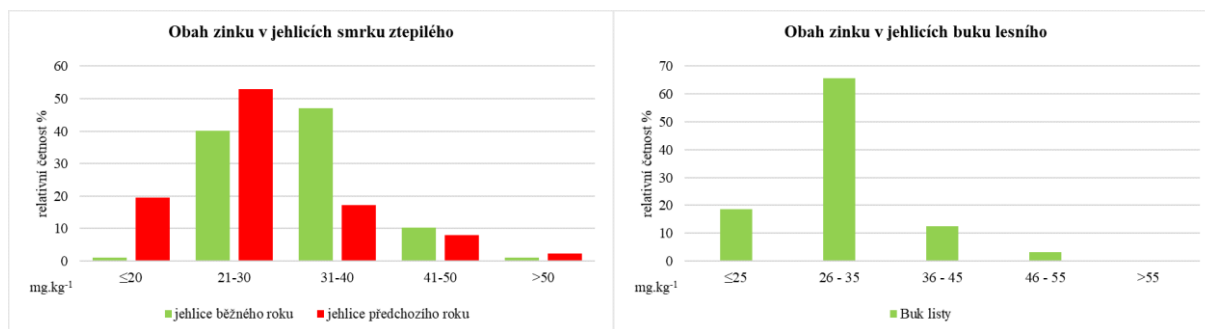
Podle mezinárodního monitoringu (RADEMACHER, 2003) jsou potenciálně škodlivé obsahy v půdě obecně kolem 70–200 mg.Zn.kg⁻¹. V tomto rozpětí jsou průzkumem zjištěny pouze ojediněle.

Tab. 27: Odběrná místa s vyššími hodnotami zinku ve všech horizontech (mg.kg⁻¹)

OM	Horizont			smrk (jehlice)		buk
	nadložní organický	organominerální	minerální	běžného roku	předchozího roku	listy
21071	60,9	21,1	26,9	45,8	39,0	
21074	49,0	20,2	11,4	40,5	37,6	
21191	81,1	45,1	47,6	31,0	24,2	
21197	40,9	17,7	21,3	19,7	10,5	
21218	55,5	17,3	148			
21076	52,3	21,5	22,1			25,8
21526	71,4	35,3	17,3			28,6
21527	61,9	35,8	13,9			29,1

V asimilačních orgánech smrku jsou obsahy Zn adekvátní optimu (FÜRST, 2009). Škodlivé obsahy v rostlinných pletivech jsou podle zprávy z mezinárodního monitoringu (RADEMACHER, 2003) 200–300 mg.kg⁻¹. Linearita mezi vysokými obsahy Zn v půdě a v asimilačních pletivech svědčí o jeho přístupnosti v půdní vodě.

Po dosažení rovnováhy nebo saturace jemných kořenů těžkými kovy – buněčných stěn epidermy – vystupují těžké kovy z těchto stěn a vstupují do lumenu, jak bylo pozorováno u zinku v kortexových buňkách smrku. Studie zabývající se fytostabilizací těžkých kovů ukázaly vazebnou sílu kationtů: Al³⁺ > Cu²⁺ > Pb²⁺ > Cd²⁺ > Zn²⁺ = Ca²⁺, případně Cu²⁺ = Pb²⁺ > Cd²⁺ = Zn²⁺ > Ca²⁺. Z toho plyne poznanek vazební preference Zn před Ca. V případě Zn byla u smrku zjištěna akumulace nejen v epidermálních, ale také v kortikulárních buňkách (BRUNNER ET AL., 2008).



Obr. 46: Obsah zinku v asimilačních orgánech šetřených dřevin

4. VÝVOJ SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ V OBDOBÍ 2006-2021

Pro zhodnocení změny půdních vlastností a výživy lesních dřevin za období 2006 až 2021 byly v roce 2021 odebrány vzorky v 58 jehličnatých porostech a devíti listnatých porostech.

4.1. Jehličnaté porosty

4.1.1. Nadložní organický horizont

Významný rozdíl v kvalitě nadložního organického horizontu (Tab. 28) je zjištěn v množství materiálu, které je přibližně dvojnásobné. Tento rozdíl neodpovídá přirozenému biologickému koloběhu a je výsledkem nestejné techniky vzorkování. S tím souvisí i vyšší hodnota spalitelného uhlíku C_{ox} v roce 2021.

Tab. 28: Průměrné hodnoty zjištěné v nadložních organických horizontech jehličnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	Nad. humus (t/ha)	N _{tot} (%)	C _{ox} (%)	C/N						
2006	3,4	4,3	68,4	1,31	26,3	20,4						
2021	3,3*	4,4	154*	1,36	29,0*	21,5						
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	7178	1693	0,72	9,66	18,8	7499	962	978	93,9	1091	128	32,8
2021	7771	1080*	0,47*	8,15*	10,5*	6993	998	706*	105	1019	113	25,2*

* statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$)

Vedle významného zvýšení množství organického materiálu, je zjištěno nepatrné, ale z hlediska acidifikace významné snížení hodnoty výměnné půdní kyselosti pH_{CaCl2}. Tuto skutečnost bereme jako příznak pokračující acidifikace půdního prostředí. S tou také souvisí nižší extrahovatelné obsahy vápníku a hořčíku. Významně nižší obsahy rizikových prvků přičítáme nižší imisní zátěži lesních ekosystémů v uplynulých letech.

4.1.2. Organominerální horizont

S významně nižší hodnotou spalitelného uhlíku C_{ox} zjištěnou v roce 2021 v organominerálních horizontech (Tab. 29) souvisí i významně nižší hodnoty celkového dusíku N_{tot} v roce 2021. Podle maximální hodnoty C_{ox} (23,7 %) z roku 2006 a meze horního kvartilu u dusíku (0,44 %) v organominerálních horizontech je asi u 25 % vzorků vyšší podíl organického materiálu ve smyslu platného klasifikačního systému (NĚMEČEK ET AL., 2001). Pro úplnost srovnání jsou uvedené hodnoty z průzkumu v roce 2021 následující (maximální C_{ox} = 8,54 % a mez horního kvartilu N_{tot} = 0,29 %).

Vyšší hodnotu pH_{H2O} vysvětlujeme nižší hodnotou celkového dusíku N_{tot} , zejména jeho nitrátové složky. Obsahy přístupné formy bazických prvků K_{M3} , Ca_{M3} a Mg_{M3} jsou v roce 2021 významně nižší, což napovídá spíše pokračující acidifikaci půdy.

Nižší hodnoty obsahů rizikových prvků jsou, podobně jako v nadložních horizontech, zjištěny i v horizontech organominerálních.

Tab. 29: Průměrné hodnoty zjištěné v organominerálních horizontech jehličnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}		pH _{H2O}		N _{tot} (%)	C _{ox} (%)		C/N
2006	3,4		4,0		0,38	8,80		24,3
2021	3,4		4,2*		0,25*	4,72*		18,6*
	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{M3} (mg.kg ⁻¹)	K _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{M3} (mg.kg ⁻¹)
2006	132	297	222	206	10,8	91,7	107	42,9
2021	114	120*	79,7*	283	--*	46,5*	--*	29,1*
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	3584	0,20	2,92	6,70	5310	41,3	84,9	7,29
2021	3757	<0,2*	3,42	3,05*	6864*	96,0	52,6*	6,67

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

4.1.3. Minerální horizont

Poněkud neočekávaně se vyvíjí stav půdního prostředí v horizontech minerálních (Tab. 30), kde jsou v průzkumu 2021 zjištěny vyšší hodnoty chemické půdní reakce výměnné i aktivní. Tento jev pozorovaný v lesních ekosystémech střední Evropy je odrazem významně vyšších hodnot extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}), který se vlivem dlouhodobého okyselování ve větší míře uvolňuje z minerálních zdrojů, především biotitu. Dlouhodobá acidifikace, která je způsobená vysokým odběrem bazických prvků kořeny dřevin, se projevuje také významně vyššími obsahy extrahovatelných forem Al, Fe, Cr a zřejmě i Zn. Nižší zatížení atmosférickými spady rizikových prvků se v těchto horizontech projevuje významně nižší hodnotou obsahu olova.

Tab. 30: Průměrné hodnoty zjištěné v minerálních horizontech jehličnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}		pH _{H2O}		N _{tot} (%)		C _{OX} (%)	C/N
2006	3,6		4,2		0,17		4,51	38,9
2021	3,8*		4,4*		0,19		3,22*	16,2*
	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{M3} (mg.kg ⁻¹)	K _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{M3} (mg.kg ⁻¹)
2006	123	229	119	341	6,35	47,2	50,2	19,2
2021	155	160*	90,5	642*	< 3,5*	31,9*	--	--
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	4338	0,1	4,02	2,55	7849	126	47,1	7,61
2021	6236*	< 0,2	5,21*	3,00	10193*	247	28,7*	10,6*

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

4.1.4. Smrk ztepilý (jehlice)

Vyšší obsahy extrahovatelného hořčíku v minerálních horizontech se projevují relativně stabilní úrovní výživy smrku hořčíkem, fosforem i draslíkem, hodnocené podle obsahů v jehlicích běžného roku (Tab. 31).

Tab. 31: Průměrné hodnoty zjištěné u smrku v pletivech jehlic běžného roku

rok	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)					
2006	1,57	1730	7311	3648	1012					
2021	1,44*	1736	7006	2938*	977					
	Al (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	S (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
2006	145	15,2	<0,1	--	3,84	85,2	1,80	<0,3	1154	34,1
2021	65,8*	14,1*	0,07*	0,16*	3,58*	35,0*	1,91	<0,2*	898*	31,8*

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$)

Nižší hodnoty obsahů dusíku v jehlicích běžného (Tab. 31) i předchozího (Tab. 32) roku, jsou zřejmě odrazem intenzivního metabolismu v posledních letech. Významně nižší úroveň výživy vápníkem v jehlicích běžného roku souvisí s jeho vyčerpáváním z půdního prostředí.

Nižší obsahy síry a zinku v jehlicích souvisí s nižšími atmosférickými obsahy těchto prvků. Podle obsahů v jehlicích obou věkových skupin se neustále snižuje úroveň výživy borem.

Tab. 32: Průměrné hodnoty zjištěné u smrku v pletivech jehlic předchozího roku

rok	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)					
2006	1,43	1260	5403	6008	1030					
2021	1,36*	1136*	4204*	5953	1094					
	Al (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	S (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
2006	226	17,5	< 0,1	--	2,23	116	1,33	< 0,3	1147	29,2
2021	115	15,0*	0,06	0,21*	2,28	57,0	0,96*	< 0,2	899*	25,5*

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$)

4.2. Listnaté porosty

4.2.1. Nadložní organický horizont

Charakteristiky půdních vlastností z opakovaných odběrů z let 2006 a 2021 informují o stabilitě půdního prostředí. Rozdílnost hodnot spalitelného uhlíku a s tím souvisejícího poměru C/N odvozujeme od rozdílného odběru, případně úpravy vzorků nadložního organického horizontu (Tab. 33). Množství nadložního organického materiálu je přibližně stejné (106 a 130 t.ha⁻¹ ve srovnávaných letech). Snížení zátěže rizikovými prvky není tak výrazné, jako v případě jehličnatých porostů a významně se projevuje pouze v případě mědi.

Tab. 33: Průměrné hodnoty zjištěné v nadložních organických horizontech listnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	Nad. humus			N _{tot}	C _{ox}			C/N		
			(t/ha)			(%)	(%)					
2006	3,9	4,7	106			1,17	18,9			18,3		
2021	4,0	4,7	130			1,17	26,9*			23,2*		
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	8930	5438	0,44	9,30	12,0	9720	1084	2720	217	757	86,8	41,1
2021	8526	4307	0,28	8,35	8,03*	9658	1052	2026	252	733	92,1	37,7

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

4.2.2. Organominerální horizont

Stabilita chemizmu půdního prostředí je zjištěna i v horizontech organominerálních (Tab. 34). Z hlediska výživy lesa je významné snížení extrahovatelných obsahů draslíku, které je následně zjištěno i ve spodních minerálních horizontech (Tab. 35).

Tab. 34: Průměrné hodnoty zjištěné v organominerálních horizontech listnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	N _{tot} (%)			C _{ox} (%)		C/N
2006	4,1	4,7	0,25			6,15		25,6
2021	4,1	4,8	0,24			4,59*		18,9*
	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{M3} (mg.kg ⁻¹)	K _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{M3} (mg.kg ⁻¹)
2006	129	342	1578	1683	5,13	65,3	503	176
2021	77,9	145*	4255	2546	< 3,5	57,1	--	175
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	6179	0,23	4,40	3,56	9446	107	69,1	19,6
2021	5644	--	3,37	2,56	8478	240	62,0	17,6

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

4.2.3. Minerální horizont

Nevýznamně vyšší hodnoty chemické půdní reakce výměnné i aktivní ve spodních minerálních horizontech odpovídají všeobecně zjišťovaným jevům. V roce 2021 jsou zjištěny vyšší extrahovatelné obsahy vápníku (Ca_{dus}) a hořčíku (Mg_{dus}). Tyto změny se odrážejí v nižší úrovni výživy vápníkem a zachovanou úrovní výživy hořčíkem. Tento jev je pozorován v lesních ekosystémech evropských lesů a souvisí s vyšším uvolňováním živin v kyselém prostředí a zvýšenou intenzitou jejich příjmu kořeny stromů. V tomto případě se projevuje stálá úroveň polyblivějšího hořčíku v listech buku.

Tab. 35: Průměrné hodnoty zjištěné v minerálních horizontech listnatých porostů

rok	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	N _{tot} (%)			C _{ox} (%)	C/N	
2006	4,5	5,0	0,14			3,22	40,2	
2021	4,6	5,1	0,14			3,07	24,4	
	P _{dus} (mg.kg ⁻¹)	K _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{dus} (mg.kg ⁻¹)	P _{M3} (mg.kg ⁻¹)	K _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Ca _{M3} (mg.kg ⁻¹)	Mg _{M3} (mg.kg ⁻¹)
2006	110	267	3488	2852	7,38	34,6	396	135
2021	104	125*	7336	4171	< 3,5	25,5	--	--
	Al _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cd _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cr _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Cu _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Fe _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Pb _{dus} (mg.kg ⁻¹)	Zn _{dus} (mg.kg ⁻¹)
2006	7997	0,16	4,53	1,41	9263	256	38,2	19,3
2021	12335	< 0,2	4,50	1,37	11041	296	22,4*	20,8

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt výsledků pod limitem detekce

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

4.2.4. Buk lesní (listy)

Podobně jako v půdním prostředí listnatých porostů je i ve výživě buku pozorována určitá stabilita s výjimkou významně nižších obsahů vápníku (Tab. 36). Všeobecným jevem jsou poněkud nižší obsahy boru. Dalším pozorovaným jevem je vyšší úroveň výživy železem, jehož obsahy jsou vyšší i v minerálních horizontech.

Tab. 36: Průměrné hodnoty zjištěné v listech buku

rok	N (%)		P (mg.kg ⁻¹)		K (mg.kg ⁻¹)		Ca (mg.kg ⁻¹)		Mg (mg.kg ⁻¹)	
2006	2,21		1277		8565		8978		1691	
2021	2,38		1296		8839		7123*		1644	
	Al (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	S (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
2006	85,6	37,0	< 0,1	< 0,25	6,64	79,0	1,21	0,54	1615	25,8
2021	68,9*	31,8	0,06	0,23	7,96	91,2*	1,15	0,30	1497	28,1

* statisticky významný rozdíl (p<0,05)

5. ZÁVĚR

Charakteristiky popisující půdní horizonty nejvíce zastoupených lesních stanovišť, které byly předmětem průzkumu, odpovídají chudým horským stanovištím s pokračujícím procesem ochuzování půdního prostředí. Toto ochuzování pramení z pokračující imisní zátěže i odběru živin kořeny stromů. Listnaté porosty, převážně pak buková stanoviště, jsou poněkud bohatší na živiny a je u nich zjištěna mírně nižší kyselost v porovnání se stanovišti jehličnatými – smrkovými porosty.

Obecně lze konstatovat nedostatek extrahovatelných a přístupných forem základních živin v půdním prostředí. Výživa smrkových a bukových porostů je tedy zajišťována biochemickým cyklem – rozkladem opadanky a následně nadložního organického materiálu a atmosférickými spady. Výše zmíněné ochuzování je zachyceno porovnáním hodnot obsahů z let 2006 až 2021, s významným snížením především přístupných forem živin ve smrkových porostech. Významné je zde i zvýšení obsahů hliníku, který může být nebezpečím toxicity v kořenové sféře dřevin.

Detailnějším posouzením výjimečně vysokých obsahů vápníku a hořčíku jsme zjistili doznívající vliv leteckého vápnění na chemizmus půdního prostředí i jejich přirozený původ na bohatším geologickém podloží.

Z hlediska zdravotního stavu dřevin je kladným výsledkem šetření snižující se zátěž půdního prostředí rizikovými prvky, která byla podle šetření na konkrétních místech v případě kadmia, olova, chromu a částečně mědi výsledkem atmosférických spadů. V případě zinku pak je spíše geologického původu.

Príslušné kartogramy dávají informaci o zásobách jednotlivých živin a měly by sloužit jako doplňující informace k vizuálnímu hodnocení výživy lesa podle zbarvení listů a jehlic, případně stupně defoliace.

6. LITERATURA

BARTTLET R. J. 1999. Chromium Cycling in Soil and Water: Links, Gaps, and Methods. *Environmental Health Perspectives*, 92. p. 17 – 24.

BRUNNER I., LUSTER J., GÜNTARD-GOERG M. S., FREY B. 2008. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution* 52. p. 559 – 568.

BERGER T.V. AND BERGER P. 2012. Greater accumulation of litter in spruce (*Picea abies*) compared to beech (*Fagus sylvatica*) stands is not a consequence of the inherent recalcitrance of needles. *Plant and Soil*, 358. p. 349-369.

BERGER T.W., BERGER P., 2014. Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition. *Plant Soil* 377. p. 217 – 234.

BERGER T.W., KÖLLENSPERGER G. & WIMMER R. 2004. Plant-soil feedback in spruce (*Picea abies*) and mixed spruce -beech (*Fagus sylvatica*) stands as indicated by dendrochemistry. *Plant and Soil* 264. p. 69-83.

BERG B., STEFFEN K.Z., MCCLAUGHERTY C. 2007. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. *Biogeochemistry*. 82. p. 29 – 39.

BOUDOT J., BECQUER T., MERLET D., ROUILLER J. 1994. Aluminium toxicity in declining forests: a general overview with a seasonal assessment in a silver fir forest in the Vosges mountains (France). *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, 1994, 51 (1), pp. 27-51. hal.-00882931.

BORŮVKA L., MLADKOVÁ L., DRÁBEK O. 2005. Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry* 99. p. 1796 – 1806.

DELHAIZE E AND RYAN P. R. 1995. Aluminium Toxicity and Tolerance in Plants. *Plant Physiology*, 107. p. 315 – 321.

EIMIL-FRAGA C., FERNEDÉZ-SANJURJO M., RODRÍGUEZ-SOALLERIO R., ÁLWÁREZ-RODRÍGUEZ E. 2016. Aluminium toxicity risk for *Pinus pinaster* in acid soils (Galicia, NW Spain). *Land Degradation & Development*, p. 1 – 6.

FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A. 2013. Survey of Forest Nutrition within the Czech Republic 1996 – 2011, CISTA, Brno, 148 s.

FISCHER D., MUES V., ULRICH E., BECHER G., LORENZ M. 2007. Monitoring of atmospheric deposition in European forests and an overview on its implication on forest condition. *Applied Geochemistry* 22. p. 1129 – 1139.

FÜRST A. 2009: available at. <http://www.ffcc.at/> Forest Foliar Coordinating Centre (FFCC). (20. 10. 2015)

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html

https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/index_CZ.html

ILG K., WELLBROCK N., LUX W. 2009. Phosphorus supply and cycling at long-term forest monitoring sites in Germany. *European Journal of Forest Researches*, 128 p. 483 – 492.

JAMNICKÁ G., VÁLKA J A BUBLINEC E. 2013. Heavy metals accumulation and distribution in forest understory herb species of Carpathian beech ecosystems. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 25 p. 209 – 215.

JOHNSON D.W. 1984. Sulfur cycling in Forest. *Biogeochemistry* Vol.1, No 1., pp. 29-43.

KABATA- PENDIAS A. 2011: Trace elements in soils and plants, CRC Press, London, 409 p.

KAISER K AND GUGGENBERGER G. 2005. Dissolved organic sulphur in soil water under *Pinus sylvestris* L. and *Fagus sylvatica* L. stands in northeastern Bavaria, Germany – variations with seasons and soil depth. *Biogeochemistry*, 72. p. 337 – 364.

KOCHIAN L.V., PENCE N.S., LETHAM D.L.D., PINEROS M.A., MAGALHAES J.V., HOEKENGA O.A., GARVIN D.F. 2002. Mechanisms of metal resistance in plants: aluminium and heavy metals. *Plant and Soil* 247. p. 109 – 119.

KOPÁČEK J., TUREK J., HEJZLAR J., ŠANTRŮČKOVÁ H. 2009. Canopy leaching of nutrients and metals in a mountain spruce forest. *Atmospheric Environment* 43. p. 5443 – 5453.kj

LAMBERS H., RAVEN J.A., SHAVER G.R. and SMITH S.E. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2): 95 – 103.

LANG F., BAUHAUS J., FROSSARD E., GEORGE E., KAISER K., KAUPENJOHANN M., KRÜGER J., MATZNER E., POLLE A., PRIETZEL J., RENNENBERG H., AND WELLBROCK N. 2016. Review article, Phosphorus in forest ecosystems: New insights from an ecosystem nutrition perspective, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179: 129 – 135.

LARCHER W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin, Academia Praha, 368 s.

MILLALEO R., REYEZ-DIAZ M., IVANOV A.G., MORA M.L. AND ALBERDI M. 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms, *Journal of soil science and plant nutrition* (10)4: 470 – 481.

NĚMEČEK A KOL. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, ČZU a VÚMOP Praha. 78 s.

Novotný R., Fadrhonsová V. 2021. Chemismus půd v bukových a smrkových porostech ve dvou přírodních lesních oblastech ČR [Soil chemistry within beech and spruce stands in two natural forest areas of the Czech Republic]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66 (4): 277-291.

RADEMACHER P. 2003. Atmospheric Heavy Metals and Forest Ecosystems, Work Report of the Institut for World Forestry, No. 2003/12, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Institute for World Forestry, Hamburg, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201002-dk040080-3>

- REICHLÉ D.E. 1981. Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge University Press, 341 - 409
- ROTTER P., ŠRÁMEK V., VÁCHA R., BORŮVKA L., FADRHOŇSOVÁ V., SÁŇKA M., DRÁBEK O., VORTELOVÁ L. 2013. Rizikové prvky v lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu, 58: 17 – 27.
- SAARSALMI A., TAMINEN P. 2005. Boron, Phosphorus and Nitrogen Fertilization in Norway Spruce Stands Suffering from Growth Disturbances. *Silva Fennica* 39. pp. 351 – 364.
- SAUR E. 1990. Mise au point bibliographique, au sujet de la nutrition oligo-minéral des plantes supérieures. Carences et toxicités chez les conifères. *Ann Sci For*, 47. p. 367 – 389.
- SLATTERY W.J., CONYERS M.K. AND AITKEN R.L. 1999. Soil Analysis an Interpretation Manual, CSIRO Australia.
- ŠLODIČÁK M. A KOL. 2005. Lesnické hospodaření v Jizerských horách, LČR Hradec Králové, VÚLHM Jiloviště – Strnady. 232 s.
- SUCHARA I, SUCHAROVÁ J. 2004. Rozložení dlouhodobě ukládaných zátěží atmosferické depozice 14 prvků na území ČR určené na základě chemických analýz lesního nadložního humusu. *Ochrana ovzduší* 1. str. 5 – 11.
- ŠPULÁK O., KACÁLEK D. 2017. Vliv buku na vlastnosti nadložního humusu a svrchní půdy smrkového porostu na stanovišti kyselé smrkové bučiny. *ZLV*, 62 p. 253 – 261.
- ŠRÁMEK V. 2005. Metodika výběru ploch pro plošnou chemickou melioraci lesních půd. TEI – bulletin technicko-ekonomických informací, 2005. 8s.
- ŠRÁMEK V., FADRHOŇSOVÁ V., JURKOVSKÁ L. 2014. Ca/Al ratio in Norway spruce fine roots on monitoring plots in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 60, (3). p. 121 – 131.
- TÜRTSCHER S., BERGER P., LINDEBNER L., BERGER T W. 2017. Declining atmospheric deposition of heavy metals over the last three decades is reflected in soil and foliage of 97 beech (*Fagus sylvatica*) stands in the Vienna Woods. *Environmental Pollution*, 230, p. 561 – 573.
- UHLÍŘOVÁ H., HEJDOVÁ J. 1999. Těžké kovy v lesních ekosystémech České republiky, Zprávy lesnického výzkumu, 44, 1 – 10.
- VAJPAYEE P., TRIPATHI R.D., RAI U.N., ALI M.B., SINGH S.N. 2000. Chromium (VI) accumulation reduces chlorophyll biosynthesis, nitrate reductase activity and protein content in *Nymphaea alba* L. *Chemosphere* 41. pp. 1075 – 1082.
- ZHENG J., GUO R., LI D., ZHANG J., HAN S. 2017. Nitrogen addition, drought and mixture effects on litter decomposition and nitrogen immobilization in a temperate forest, *Plant and Soil*, 416, p. 165 – 179.

7. PŘÍLOHY (POPISNÉ STATISTIKY 2021)

7.1. Nadložní organický horizont

Organický horizont – jehličnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		83	3,2	3,2	2,9	4,0	3,0	3,3
pH _{H2O}		83	4,3	4,2	3,7	6,4	4,1	4,4
N	%	83	1,36	1,35	0,91	1,80	1,23	1,47
Cox	%	83	10,2	29,0	19,5	40,9	26,4	32,3
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	964	928	455	1922	745	1121
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	1013	958	529	2117	800	1077
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	1016	700	218	4597	532	1195
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	703	516	182	3347	364	833
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	7611	7442	2935	20820	5821	8813
B _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	1,58	1,55	0,58	3,47	1,27	1,84
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	0,51	0,32	0,06	6,24	0,19	0,62
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	8,16	6,96	2,71	31,43	6,04	8,81
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	10,2	8,89	4,2	27,2	26,4	12,2
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	7424	6654	1887	18940	5529	9366
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	124,9	83,7	21,9	937,5	45,4	141,1
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	108,1	97,4	29,1	332,4	79,2	129,4
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	83	27,4	25,4	13,7	81,1	21,5	29,7
humus	t/ha	83	144,0	130,4	34,6	445,0	101,2	164,8
C/P		83	332	327	126	830	252	390
C/N		83	21,53	21,00	15,57	30,73	19,20	23,02
Ca/(Ca+Al+Fe)		83	0,07	0,05	0,01	0,39	0,03	0,08

Organický horizont – listnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		11	3,9	3,4	3,2	6,5	3,4	3,6
pH _{H2O}		11	4,7	4,3	4,1	7,0	4,3	4,4
N	%	11	1,20	1,15	1,03	1,49	1,11	1,25
Cox	%	11	8,6	26,2	23,1	31,4	24,5	28,4
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	806	789	403	1190	700	949
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	1119	1053	479	1806	926	1198
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	3828	764	158	19080	424	1676
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	1936	964	206	6977	653	1742
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	8649	8446	5277	11070	7959	9883
B _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	2,14	1,49	0,85	5,36	1,13	2,19
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	0,26	0,16	0,07	0,86	0,09	0,23
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	9,75	8,81	5,83	20,61	7,68	10,15
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	8,6	8,66	4,4	11,9	24,5	10,9
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	10077	9384	4745	16380	7460	12895
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	350	153	23	808	72	729
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	90,0	91,6	41,3	149,6	80,3	102,7
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	38,3	35,7	11,9	71,5	26,0	49,1
humus	t/ha	11	125,7	145,6	7,6	184,0	107,1	161,0
C/P		11	368	329	220	682	285	397
C/N		11	22,53	22,23	18,48	27,26	20,58	24,98
Ca/(Ca+Al+Fe)		11	0,11	0,04	0,01	0,49	0,03	0,08

7.2. Organominerální horizont

Organominerální horizont – jehličnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		84	3,4	3,4	2,9	4,1	3,3	3,5
pH _{H2O}		84	4,1	4,1	3,7	4,7	4,0	4,3
vým. acidita	mekv.kg ⁻¹	84	148	142	68	251	111	172
Cox	%	84	4,58	4,60	1,33	8,54	3,92	5,32
N	%	84	0,25	0,25	0,10	0,40	0,22	0,28
C/N		84	18,5	18,9	9,1	23,7	17,6	19,8
Al _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	1646	1664	780	2194	1484	1867
P _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	---	<3,50	<3,50	24,74	<3,50	4,42
K _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	47,3	44,5	<20,0	96,2	37,9	55,1
Ca _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	---	35,4	<30,0	455,1	<30,0	56,2
Mg _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	25,6	17,1	<10,0	114,4	13,3	27,3
Fe _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	567	588	198	788	553	622
S _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	25,6	23,8	9,5	70,7	18,1	29,7
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	135	82	17	2153	58	127
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	127	95	40	787	73	138
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	332	223	19	1910	79	434
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	100	53	14	1594	39	87
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	4095	3755	1188	11580	2783	5040
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	---	<0,20	<0,20	0,83	<0,20	<0,20
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	3,67	2,84	0,38	21,83	1,89	3,88
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	3,42	2,68	0,83	25,33	1,96	3,63
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	7317	6843	355	36120	3838	9977
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	126,3	47,8	3,8	2212,0	20,4	139,4
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	55,1	50,6	12,5	145,4	40,0	69,1
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	8,2	6,57	1,5	45,1	4,0	10,9
Al _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	14290	14390	5535	34770	10475	17368
Ca _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	393	352	79	1850	202	466
Cd _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	0,49	0,40	<0,15	1,46	0,28	0,59
Cr _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	20,1	17,5	6	87,1	13,9	21,1
Cu _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	9,43	6,99	2,07	99,40	4,65	9,70
Fe _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	18863	17760	2162	52080	10643	23873
K _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	1403	1324	620	4318	1091	1614
Mg _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	1874	1523	336	8085	1009	2313
Mn _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	243	151	29	2207	83	312
P _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	401	321	111	2757	259	411
Pb _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	66,2	62,4	16,8	148,2	48,9	83,6
Zn _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	35,1	27,2	5,8	150,2	17,2	39,8

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Organominerální horizont – listnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		11	4,2	3,7	3,5	6,9	3,6	3,8
pH _{H2O}		11	4,9	4,4	4,0	7,5	4,3	4,6
vým. acidita	mekv.kg ⁻¹	11	122	123	66	190	100	147
Cox	%	11	4,60	4,68	3,75	5,46	4,37	4,80
N	%	11	0,25	0,26	0,19	0,30	0,24	0,27
C/N		11	17,4	16,8	16,0	19,8	16,7	18,0
Al _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	1667	1870	841	2110	1444	1971
P _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	---	<3,50	<3,50	4,79	<3,50	<3,50
K _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	60,43	64,78	36,57	73,85	54,63	68,29
Ca _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	---	31,7	<30,0	5317,0	<30,0	71,4
Mg _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	287,6	16,7	<10,0	1714,0	14,7	27,3
Fe _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	481	502	279	580	452	565
S _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	28,6	29,4	16,0	45,8	20,0	35,1
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	104	68	21	261	52	138
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	157	161	64	284	139	178
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	2909	763	61	16120	617	1143
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	5116	79	24	33630	47	211
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	5972	6786	1928	7482	5598	7195
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	---	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	3,89	3,64	1,12	8,90	3,30	4,57
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	3,33	2,51	1,50	5,91	1,88	5,27
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	8776	10910	3181	13550	5369	11605
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	471	111	8	1551	54	847
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	61,2	55,0	43,3	89,1	51,2	69,4
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	19,9	18,7	3,5	35,8	14,7	23,0
Al _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	17284	17510	5389	29850	16525	19470
Ca _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	6507	513	88	41860	417	653
Cd _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	0,55	0,44	0,18	1,39	0,27	0,58
Cr _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	21,3	19,5	9,0	49,9	17,9	22,3
Cu _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	9,65	7,18	4,04	25,52	5,84	11,36
Fe _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	23840	25000	8298	39500	20885	27400
K _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	1482	1673	466	2306	1185	1805
Mg _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	5794	2873	422	25630	2262	4672
Mn _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	548	267	41	1675	173	871
P _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	410	306	135	884	285	513
Pb _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	73,5	66,5	52,3	104,2	62,9	81,6
Zn _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	55,7	44,3	10,6	121,8	42,7	72,1

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

7.3. Minerální horizont

Minerální horizont – jehličnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		84	3,8	3,8	3,8	4,3	3,7	4,0
pH _{H2O}		84	4,5	4,5	3,8	5,0	4,3	4,6
vým. acidita	mekv.kg ⁻¹	84	97	94	45	222	80	107
Cox	%	84	2,83	2,90	<0,30	6,76	1,61	3,91
N	%	84	0,17	0,17	<0,04	0,35	0,11	0,22
C/N		84	15,8	17,1	1,0	35,1	12,4	19,7
Al _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	1913	1863	687	3016	1662	2255
P _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	---	<3,50	<3,50	126,90	<3,50	4,43
K _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	31,2	29,7	<20,0	55,1	24,7	36,9
Ca _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	---	<30,0	<30,0	382,9	<30,0	41,1
Mg _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	14,2	11,4	<10,0	79,6	<10,0	17,7
Fe _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	432,99	473,55	95,54	1152,00	266,63	577,03
S _{M3}	mg.kg ⁻¹	84	46,2	29,7	5,3	341,6	22,7	49,3
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	175	125	13	2775	73	176
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	153	109	39	801	77	192
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	600	489	20	2145	160	953
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	129	64	12	2863	43	120
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	6669	5919	1028	17100	4096	8464
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	---	<0,20	<0,20	0,78	<0,20	<0,20
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	4,88	4,15	0,24	30,01	3,05	5,46
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	2,70	1,80	0,55	42,37	1,23	2,47
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	9913	9731	175	22790	6156	12848
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	253,4	132,5	1,9	3993,0	68,8	284,8
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	26,0	24,6	5,4	73,4	16,8	31,8
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	84	12,5	11,5	1,3	94,9	6,8	15,0
Al _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	19366	19000	3497	32970	14908	23118
Ca _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	518	462	62	3032	282	710
Cd _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	---	0,23	<0,15	2,03	<0,15	0,36
Cr _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	24,5	22,5	6	103,1	18,7	26,2
Cu _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	9,99	6,28	<1,50	166,20	4,86	9,70
Fe _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	25179	24380	1445	60950	18228	31313
K _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	1832	1769	398	3878	1521	2141
Mg _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	2854	2740	174	9173	1724	3778
Mn _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	436	303	35	5509	187	514
P _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	433	376	60	3351	284	463
Pb _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	34,1	33,0	8,8	84,0	24,1	40,3
Zn _{ar}	mg.kg ⁻¹	84	47,8	40,5	5,2	174,3	30,8	51,2

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Minerální horizont – Listnaté porosty

parametr	jednotka	N	ar. průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
pH _{CaCl2}		11	4,8	4,3	4,2	7,1	4,2	4,5
pH _{H2O}		11	5,3	4,7	4,6	8,0	4,6	4,9
vým. acidita	mekv.kg ⁻¹	11	75	73	46	114	64	90
Cox	%	11	2,89	3,22	1,51	3,94	2,18	3,41
N	%	11	0,14	0,14	0,06	0,21	0,11	0,18
C/N		11	20,2	18,1	10,8	32,7	16,2	23,9
Al _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	2071	2384	752	2803	1870	2503
P _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	---	<3,50	<3,50	7,00	<3,50	<3,50
K _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	27,2	25,6	<20,0	45,9	23,0	27,8
Ca _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	---	<30,0	<30,0	4478	<30,0	30
Mg _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	180,2	<10,0	<10,0	1140,0	<10,0	14,1
Fe _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	193	178	102	320	148	231
S _{M3}	mg.kg ⁻¹	11	82,2	68,9	9,9	193,0	48,8	107,2
P _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	132	103	37	386	69	146
K _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	136	130	59	270	111	140
Mg _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	4713	848	169	27760	622	1303
Ca _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	8321	119	26	58150	59	206
Al _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	11154	11660	4083	24550	7278	12930
Cd _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	---	<0,20	<0,20	0,66	<0,20	0,16
Cr _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	4,47	4,44	2,81	7,27	3,20	5,58
Cu _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	2,02	1,35	0,82	4,92	1,06	2,45
Fe _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	10330	9508	4944	16430	7457	13250
Mn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	541,2	234,5	29,0	1649,0	85,2	879,8
Pb _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	21,3	18,6	13,0	37,4	17,0	24,5
Zn _{dus}	mg.kg ⁻¹	11	20,4	20,8	13,6	27,6	18,5	22,4
Al _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	26285	25970	15660	43050	22100	29215
Ca _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	9083	553	233	58880	427	661
Cd _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	---	0,22	<0,15	0,91	<0,15	0,35
Cr _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	24,25	22,84	16,33	45,85	20,36	25,48
Cu _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	8,31	5,43	4,27	27,50	4,98	11,36
Fe _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	29549	29240	20060	39220	25515	34880
K _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	1958	1876	1281	3671	1591	2111
Mg _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	8045	3749	2054	33550	3137	5430
Mn _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	672	421	174	1772	254	899
P _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	415	355	217	682	285	555
Pb _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	29,2	30,6	17,4	44,2	22,4	34,2
Zn _{ar}	mg.kg ⁻¹	11	62,8	57,1	45,8	125,3	52,9	63,4

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

7.4. Asimilační orgány

Asimilační orgány – smrky ztepilý

parametr	jednotka	pletivo	N	ar.průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
N	%	smrk 1.r.	87	1,46	1,42	1,16	1,93	1,34	1,55
		smrk 2.r	87	1,37	1,35	1,13	1,71	1,29	1,44
P	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	1739	1689	1183	2550	1573	1889
		smrk 2.r	87	1142	1086	814	2264	976	1235
K	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	7219	6880	4828	13400	6340	7549
		smrk 2.r	87	4272	4235	2880	7170	3761	4591
Ca	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	2978	2921	1434	4928	2532	3397
		smrk 2.r	87	5942	5883	2169	12220	4751	6825
Mg	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	971	969	638	1405	877	1048
		smrk 2.r	87	1049	1050	435	1872	860	1244
Al	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	67,51	68,00	28,57	110,40	56,71	76,36
		smrk 2.r	87	118,36	117,10	43,59	217,70	92,33	140,25
B	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	15,01	14,78	5,89	29,01	11,87	17,26
		smrk 2.r	87	16,04	15,09	4,80	39,61	12,14	20,74
Cd	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	0,10	0,08	<0,02	0,56	0,05	0,13
		smrk 2.r	87	0,08	0,07	<0,02	0,52	0,04	0,10
Cr	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	0,17	0,15	<0,10	0,68	0,12	0,18
		smrk 2.r	87	0,22	0,21	0,12	0,58	0,17	0,25
Cu	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	3,57	3,54	2,63	4,89	3,24	3,77
		smrk 2.r	87	2,25	2,30	1,23	3,09	2,04	2,50
Fe	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	35,6	32,7	20,7	113,9	27,8	38,6
		smrk 2.r	87	58,2	54,8	36,3	124,6	49,5	61,8
Mn	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	398	277	68	1507	158	508
		smrk 2.r	87	724	470	117	3922	286	889
Ni	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	2,09	1,84	0,43	7,08	1,42	2,42
		smrk 2.r	87	1,03	0,83	0,23	3,91	0,64	1,18
Pb	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	---	<0,20	<0,20	0,30	<0,20	<0,20
		smrk 2.r	87	---	0,20	<0,20	0,65	<0,20	0,24
S	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	908	900	721	1158	838	974
		smrk 2.r	87	902	897	685	1092	848	964
Zn	mg.kg ⁻¹	smrk 1.r.	87	32,26	32,57	19,13	50,17	27,37	35,79
		smrk 2.r	87	26,73	24,27	10,53	59,16	20,95	32,29
N/Ca		smrk 1.r.	88	5,17	4,90	2,98	10,39	4,07	6,06
		smrk 2.r	87	2,51	2,33	1,14	7,01	2,04	2,83
N/Mg		smrk 1.r.	88	15,31	15,11	8,72	24,06	13,50	17,17
		smrk 2.r	87	14,22	13,31	6,30	36,31	10,95	16,75
P/Zn		smrk 1.r.	87	55,46	52,50	35,36	103,55	46,54	60,38
		smrk 2.r	87	46,97	43,96	16,97	145,39	36,79	51,19
K/Ca		smrk 1.r.	88	2,59	2,42	1,29	5,26	1,95	2,98
		smrk 2.r	87	0,78	0,76	0,31	1,90	0,56	0,87
K/Mg		smrk 1.r.	88	7,55	7,14	4,09	14,15	6,49	8,56
		smrk 2.r	87	4,43	4,19	1,74	9,91	3,25	5,11
S/Ca		smrk 1.r.	87	0,32	0,31	0,19	0,61	0,25	0,37
		smrk 2.r	87	0,17	0,15	0,07	0,44	0,13	0,18
S/Mg		smrk 1.r.	87	0,95	0,94	0,57	1,38	0,86	1,05
		smrk 2.r	87	0,93	0,87	0,42	2,17	0,72	1,08
S/N		smrk 1.r.	87	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07
		smrk 2.r	87	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,07

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Asimilační orgány – buk lesní

parametr	jednotka	pletivo	N	ar.průměr	medián	min.	max.	spodní kvartil	horní kvartil
N	%	Buk	32	2,44	2,44	2,10	2,93	2,31	2,52
P	mg.kg ⁻¹	Buk	32	1438	1443	1066	1929	1239	1538
K	mg.kg ⁻¹	Buk	32	7942	7855	4924	11710	6827	8617
Ca	mg.kg ⁻¹	Buk	32	8021	7306	3913	16960	6503	9585
Mg	mg.kg ⁻¹	Buk	32	1668	1581	739	3406	1319	1903
Al	mg.kg ⁻¹	Buk	32	72,1	70,5	37,1	124,8	61,0	76,5
B	mg.kg ⁻¹	Buk	32	31,9	31,7	20,8	46,5	25,9	37,5
Cd	mg.kg ⁻¹	Buk	32	0,12	0,08	0,02	0,83	0,06	0,12
Cr	mg.kg ⁻¹	Buk	32	0,28	0,27	0,15	0,73	0,22	0,31
Cu	mg.kg ⁻¹	Buk	32	6,75	6,67	3,67	10,60	6,05	7,59
Fe	mg.kg ⁻¹	Buk	32	101,5	92,6	60,2	223,2	85,3	113,5
Mn	mg.kg ⁻¹	Buk	32	917	751	123	2732	445	1252
Ni	mg.kg ⁻¹	Buk	32	1,34	1,12	0,50	3,26	0,93	1,46
Pb	mg.kg ⁻¹	Buk	32	0,31	0,30	<0,20	0,67	0,24	0,37
S	mg.kg ⁻¹	Buk	32	1552	1544	1294	1943	1452	1657
Zn	mg.kg ⁻¹	Buk	32	29,2	27,3	20,6	54,8	25,8	32,5
N/Ca		Buk	32	3,38	3,14	1,69	6,70	2,54	3,67
N/Mg		Buk	32	16,1	15,3	7,9	34,0	13,1	17,6
P/Zn		Buk	32	50,9	50,5	22,8	82,8	43,8	56,1
K/Ca		Buk	32	1,13	0,92	0,45	2,72	0,77	1,30
K/Mg		Buk	32	5,39	5,03	1,77	14,39	3,87	6,54
S/Ca		Buk	32	0,22	0,20	0,10	0,44	0,16	0,24
S/Mg		Buk	32	1,03	0,97	0,49	2,14	0,81	1,16
S/N		Buk	32	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07