

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Oddělení půdy a lesnictví



**Analýza a vyhodnocení účinnosti a kvality leteckého
vápnění v Krušných horách v lokalitách
„Kryštofovy Hamry A, Vejprty B a Kovářská A“
pět let po vápnění**

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.
Bc. Petra Morávková
Ing. Tomáš Svoboda

Brno

květen 2023

Obsah

1. ÚVOD	5
2. METODIKA	6
3. POPIS ODBĚRNÝCH MÍST	7
4. VÝSLEDKY	10
4.1. Půda.....	10
4.1.1. Nadložní organický materiál	10
4.1.2. Půdní chemická reakce.....	10
4.1.3. Celkový dusík.....	11
4.1.4. Spalitelný uhlík (C_{ox})	12
4.1.5. Poměr C/N	12
4.1.6. Fosfor	12
4.1.7. Draslík.....	14
4.1.8. Vápník.....	14
4.1.9. Hořčík	15
4.1.10. Síra	17
4.1.11. Hliník	17
4.1.12. Železo	18
4.1.13. Zinek	20
4.1.14. Kadmium	20
4.1.15. Chrom, měď a olovo	21
4.1.16. Půdní sorpční komplex.....	21
4.2. Hodnocení obsahu prvků v jehlicích smrku ztepilého	24
4.2.1. Dusík	25
4.2.2. Fosfor	25
4.2.3. Draslík.....	26
4.2.4. Vápník.....	27
4.2.5. Hořčík	27
4.2.6. Síra	28
4.2.7. Hliník	28
4.2.8. Železo	28
4.2.9. Zinek	29
4.2.10. Kadmium, chrom, měď, nikl a olovo	29
4.2.11. Bor	29
4.3. Hodnocení obsahu prvků v listech břízy bělokoré	30
5. ZÁVĚR	32
6. LITERATURA	33
7. PŘÍLOHY	34

7.1. Popisné statistiky	34
7.1.1. Nadložní organický horizont	34
7.1.2. Horizont organominerální	35
7.1.3. Horizont minerální	37
7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku	39
7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku	41
7.1.6. Bříza bělokorá - listy	43
7.2. Kartogramy	44
7.2.1. pH _{H2O}	44
7.2.2. Vápník.....	45
7.2.3. Hořčík	49

2. METODIKA

- Odběr půdních vzorků a vzorků asimilačních orgánů, skladování a předávání vzorků bylo provedeno podle zásad zakotvených v příslušném metodickém pokynu, který je součástí řízené dokumentace ÚKZÚZ
- Vzorky byly analyzovány v laboratořích NRL ÚKZÚZ
- Ke statistickému zpracování byl použit software Microsoft Excel a software StatSoft, Inc. (2013), STATISTICA (data analysis software system), version 12
- Mapové podklady byly vypracovány v programu QGIS 3.28.5.
- Pro hodnocení statisticky významného rozdílu mezi vápněnými a kontrolními porosty bylo použito schéma uvedené v tabulce 1.
- Pro slovní hodnocení obsahu prvků v půdě a v asimilačních orgánech smrku ztepilého a břízy bělokoré byla u kartogramů použita klasifikace ÚKZÚZ (Fiala a kol., 2013)

Tab. 1: Hodnocení statisticky významných rozdílů v datech

			Porost					
			Vápněný			Kontrolní		
			2017	2019	2022	2018	2020	2022
Porost	Vápněný	2017		Ano	Ano	Ano		
		2019	Ano		Ano		Ano	
		2022	Ano	Ano				Ano
	Kontrolní	2018	Ano				Ano	Ano
		2020		Ano		Ano		Ano
		2022			Ano	Ano	Ano	

3. POPIS ODBĚRNÝCH MÍST

Vápněná stanoviště jsou ve většině případů charakterizována jako náhradní porosty s břízou, nebo modřínem a smrkem v různém stadiu výchovy, případně přeměny na cílovou dřevinnou skladbu (Tab. 2). Lesním typem jsou převážně horská kyselá stanoviště 6. a 7. lesního vegetačního stupně. Geologickým podkladem jsou horniny přeměněné.

Kontrolní stanoviště odpovídají svým charakterem stanovištím vápněným. Lesní typy na odběrných místech 01291 (8G1) a 01976 (7R4) odpovídají ve skutečnosti sušším kyselým sousedním stanovištím. Tomu odpovídá i popis půdních profilů (Tab. 3).

Tab. 2: Seznam odběrných míst

Vápněná	Vlastník	Porost	Věk	Lesní typ	Hosp. soubor	Zastoupení dřevin	Geologické podloží
01910	LS Klášterec	107E _{3b/2}	31	6S2	7541	BR 30, BK 20, KL 40, OS 5, JR 5, SM +	pararula
01911	LS Klášterec	121C _{4b/3b/1b}	36	6K1	7541	BR 100	ortorula
01912	obec Kryštofovy Hamry	179F _{3b/1a}	24	6K1	7521	SM 100	pararula svorového vzhledu
01913	obec Kryštofovy Hamry	181D _{3b}	24	6K1	7521	SM 100	pararula
01914	LS Klášterec	162A _{3a/2a}	32	6K5	7524	BR 80, SM 20	pararula svorového vzhledu
01915	LS Klášterec	175B _{4/2a/1}	34	7O1	7527	OL 72, MD 23, BR 5	pararula svorového vzhledu
01916	LS Klášterec	230A _{4/2/1}	34	6K1	7524	BR 67, SM 20, MD 13	pararula svorového vzhledu
01917	LS Klášterec	314B _{3a}	27	7K9	7724	SM 70, SMP 30, MD +	kvarcitický svor s přechody do kvarcitu
01923	LS Klášterec	314B _{1c}	27	7K1	7721	MD 98, SM 1, JR 1	svor a pararula svorového vzhledu
01924	LS Klášterec	228B _{3b/1u}	26	7K1	7724	MD 100/SM 100	ortorula
Kontrolní	Vlastník	Porost	Věk	Lesní typ	Hosp. soubor	Zastoupení dřevin	Geologické podloží
01291	LS Klášterec	217C _{2a}	12	8G1	781	SM 100	smíšený sediment
01642	LS Klášterec	316C _{3b}	27	7K5	721	SM 100	svor a pararula svorového vzhledu
01974	LS Horní Blatná	412B _{3a}	37	6K5		SM 100	svor a pararula svorového vzhledu
01975	LS Horní Blatná	407B _{4b}	37	6K1		SM 90, BR 10	svor
01976	LS Klášterec	275B ₆	55	7R4	781	SM 100	ortorula
01977	LS Klášterec	328C ₆	62	6K1	7722	SM 100	bezolivinické foidity nerozlišené

Tab. 3: Popis půdního prostředí šetřených stanovišť

Vápněná	Nadložní organický horizont	Organominerální horizont	Minerální horizont
01910	místy mocný subhorizont H, sypký	7.5YR2.5/2, tmavě hnědá až černá, silně humózní, hrudkovitá, sypká, hP	7.5YR4/3, světle hnědá, vespod žlutavá, hrudkovitá, středně hranolovitá, sypká-vazká, hP
01911	dominuje H, černý, drobný, přechod ostrý	7.5YR2.5/3, tmavě hnědá až černá, silně humózní, krupnatá až hrudkovitá, drobná, hP	7.5YR4/4, hnědá, vespod vysvětlená, hrudkovitá, drobná až soudržná, hR
01912	hustý drn, dominuje H, přechod ostrý	7.5YR2.5/3, horní část silně prokořeněná, tmavě hnědá, narezavělá, vazká, drobtovitá, soudržná, pH	7.5YR4/4, rezivá, jH, hrubě hranolovitá, soudržná až vazká, přechod ostrý, rezivá horská půda
01913	dominuje F, přechod ostrý	7.5YR4/2, hnědá, rH, krupnatá, sypká	7.5YR4/6, rezivá, pH, hrubě hranolovitá, soudržná
01914	dominuje F, filcovitý, přechod ostrý	5YR2.5/1, tmavě hnědá, humózní, rH, hrudkovitá, sypká	5YR4/4, rezavá až žlutavá, pH, hrudkovitá, soudržná až vazká
01915	prokořeněný drn, dominuje H, filcovitý, přechod hladký	7.5YR2.5/2, tmavě hnědá, silně humózní, rH, krupnatá, drobtovitá, sypká,	7.5YR4/4, hnědá, vespod vybělená, výrazné oglejení, hP, drobná, sypká
01916	F filcovitý, H drobný, přechod hladký	7.5YR3/3, shora silně humózní, přechod hladký, hnědá, hrudkovitá, sypká, pH	7.5YR4/6, rH, rezivá, hrubě hranolovitá, sypká
01917	H, F hustě prokořeněný, přechod ostrý	7.5YR2.5/1, hnědá, místy rezivá, rH, hrubě hranolovitá, soudržná až vazká,	7.5YR4/6, rezivá, pH, hrubě hranolovitá, vazká
01923	dominuje H, sypká, přechod ostrý	7.5YR3/3, sypká, hnědá, vespod narezlá, rH, hrudkovitá	7.5YR4/4, rezivá, pH, hrubě hranolovitá, vazká
01924	vyvinuta pouze mulová forma, místy horizont zcela chybí, souvislý, převrácené horizonty, dominuje F, filcovitý, přechod ostrý	7.5YR2.5/1, hnědá, pH, hrudkovitá, shora kyprá, vespod vazká, místy šedá	7.5YR3/3, hnědá, vespod rezivá, místy šedá (oglejení), jH, hrubě hranolovitá, vespod vazká
Kontrolní	Nadložní organický horizont	Organominerální horizont	Minerální horizont
01291	filcovitý, silně prorostlý, F+H, přechod ostrý	7.5YR2.5/2, 7.5YR5/2, silně humózní, šedá, vybělená, hP, drobtovitá, drobná	7.5YR3/4, rezivá, místy vybělené skvrny, P, drobná
01642	surový humus, převládá H, filcovitý, přechod ostrý	7.5YR2.5/2, tmavě hnědá s hladkým přechodem do šedé, středně humózní, místy vybělená, pH, drobtovitá-hrudkovitá, drobná	7.5YR3/4, rezivá, hJ, hrudkovitá-hranolovitá, soudržná-vazká
01974	převládá H, filcovitý, přechod hladký	7.5YR4/4, horizont málo vyvinutý, světle hnědá přechází do skořicové, R, krupnatá, sypká	7.5YR4/6, skořicová, světlejší, krupnatá-hrudkovitá, sypká, R
01975	převládá F, filcovitý, přechod hladký, silné prokořenění	7.5YR2.5/3, hnědá, shora mírně humózní, R, krupnatá-drobtovitá, sypká	7.5YR4/4, hnědá, rH, drobtovitá, sypká-soudržná, vespod stmelená
01976	převládá H, filcovitý, stmelené, přechod ostrý	10YR2/1, šedá, výskyt skvrn, shora místy humózní, jH, hrudkovitá-hranolovitá, soudržná	10YR3/2, šedá, místy vysvětlená, skvrny, jH, hranolovitá, soudržná-vazká
01977	mull, přechod hladký	7.5YR5/2, hnědá, humózní, rH, krupnatá-drobtovitá, drobná	7.5YR3/2, vespod světlejší, slabě humózní, drobtovitá, drobná, rH

Tab. 4: Hodnocení shody mocnosti jednotlivých vzorkovaných půdních horizontů (cm)

Odběrné místo	Nadložní organický horizont			Organominerální horizont			Minerální horizont		
Vápněné									
	2017	2019	2022	2017	2019	2022	2017	2019	2022
01910	6	3	2	11	9	9	24	11	10
01911	7	6	11	7	7	13	28	12	10
01912	8	5	2	8	13	5	27	12	14
01913	7	3	1	8	12	8	27	14	15
01914	7	5	5	10	8	7	25	9	13
01915	8	9	5	11	9	12	24	10	6
01916	11	6	4	13	15	8	22	14	8
01917	8	8	7	12	10	10	23	12	10
01923	9	2	6	7	18	5	28	15	15
01924	7	3	10	13	15	25	22	7	13
Průměr	7,8	5,0	5,3	10,0	11,6	10,2	25,0	11,6	11,4
Kontrolní									
	2018	2020	2022	2018	2020	2022	2018	2020	2022
01291	6	7	5	17	16	13	6	12	10
01642	10	12	6	12	16	13	10	16	10
01974	9	4	5	14	3	7	14	31	13
01975	4	6	6	6	10	10	20	15	15
01976	17	16	14	12	31	15	15	5	10
01977	4	4	3	13	14	10	12	8	10
Průměr	8,3	8,2	6,5	12,3	15,0	11,3	12,8	14,5	11,3

Na vápněných stanovištích jsou v roce 2019 vzorkovány nadložní organické horizonty v poněkud menší mocnosti než na stanovištích kontrolních. Nižší mocnost v roce 2019 se na vápněných stanovištích projevila výrazně nižším množstvím nadložního organického materiálu (Tab. 5) ve srovnání s rokem 2017. V tomto roce je také v menší mocnosti vzorkován minerální horizont na vápněných stanovištích. Tento rozdíl se v chemických vlastnostech výrazně neprojevil. Popsané půdní prostředí na srovnávaných stanovištích je vhodné k vzájemnému porovnání ve smyslu posouzení účinnosti vápnění.

4. VÝSLEDKY

4.1. Půda

4.1.1. Nadložní organický materiál

Úbytek množství nadložního organického materiálu zjištěný v roce 2019 (po dvou letech od vápnění) na vápněných stanovištích lze chápat jako kombinaci podmínek vyvolaných změnou chemismu nadložního organického horizontu po vápnění a vlivu klimatických podmínek na rozklad organické hmoty. Svůj podíl mohly také mít doba a způsob odběru vzorků. Průměrná mocnost vzorkovaného nadložního horizontu klesla z 7,8 cm (2017) na 5,0 cm (2022). V roce 2022 (pět let po vápnění) je zjištěno množství poněkud vyšší než v roce 2019 a nepatrně vyšší mocnost tohoto horizontu. Toto množství ($100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pak přibližně odpovídá hodnotě na kontrolních stanovištích.

Tab. 5: Nadložní humus, pH, spalitelný uhlík (C_{ox}), celkový dusík, poměr C/N a výměnná acidita v šetřených horizontech (průměrné hodnoty)

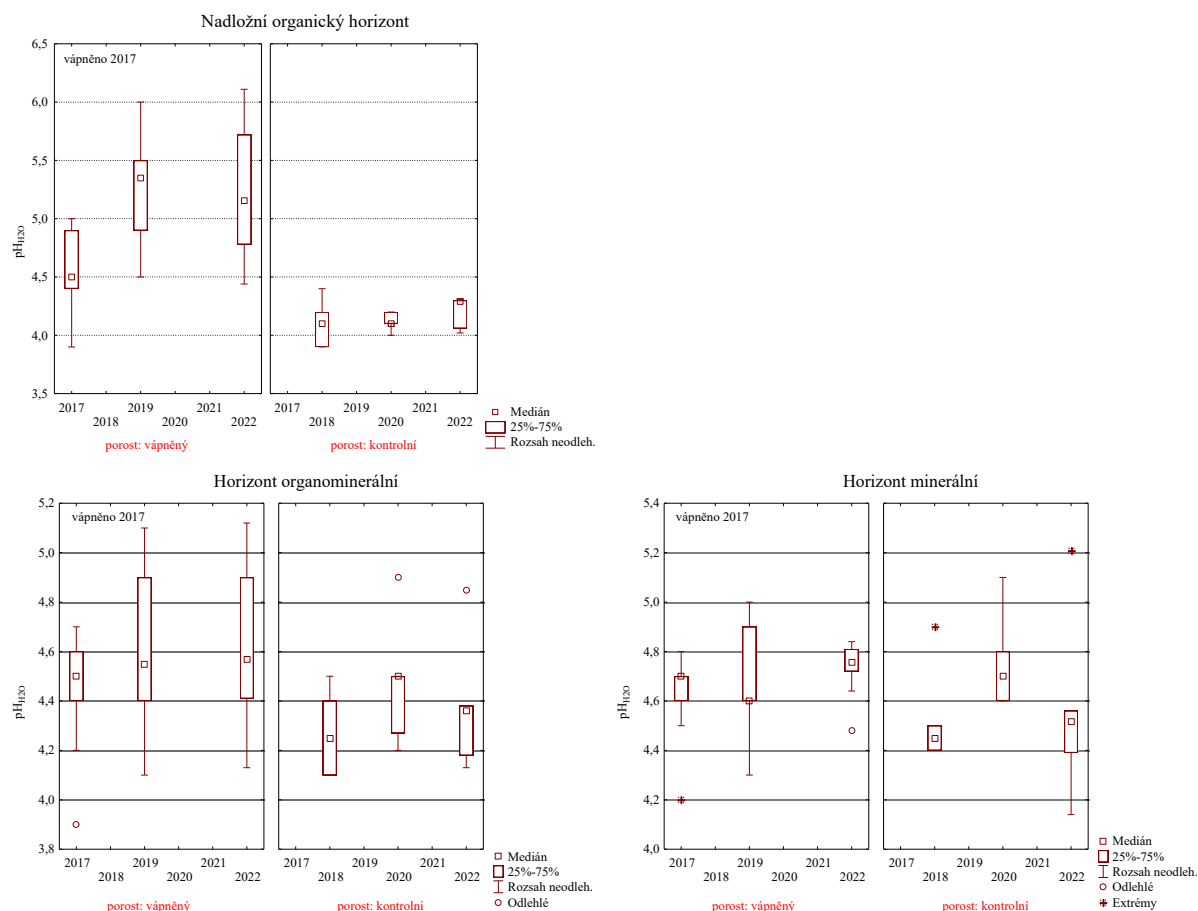
	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
Nadložní organický horizont						
Nad. humus (t/ha)	187	89,4	100	134	136	113
pH_{CaCl_2}	3,86	4,70	4,67	3,37	3,28	3,41
pH_{H_2O}	4,58	5,28	5,25	4,10	4,12	4,21
N (%)	0,96	1,19	1,05	1,33	1,23	1,20
C_{ox} (%)	15,3	19,6	19,3	20,8	20,8	21,9
C/N	15,4	16,4	18,5	15,7	17,0	18,3
Organominerální horizont						
pH_{CaCl_2}	3,66	3,76	3,87	3,53	3,52	3,57
pH_{H_2O}	4,44	4,60	4,63	4,27	4,48	4,36
Vým. acidita (mekv./kg)	150	155	146	155	146	139
C_{ox} (%)	4,53	4,59	5,24	5,39	4,51	5,05
N (%)	0,29	0,28	0,31	0,33	0,30	0,32
C/N	15,3	16,4	16,7	16,1	15,5	16,2
Minerální horizont						
pH_{CaCl_2}	3,88	3,88	3,88	3,77	3,80	3,74
pH_{H_2O}	4,64	4,68	4,74	4,52	4,75	4,56
Vým. acidita (mekv./kg)	117	105	98,6	123	115	112
C_{ox} (%)	2,78	3,40	3,06	3,68	3,21	3,56
N (%)	0,20	0,22	0,18	0,24	0,23	0,22
C/N	12,9	15,5	16,4	15,2	13,7	16,0

4.1.2. Půdní chemická reakce

Půdní chemická reakce aktivní se významně zvyšuje v nadložních organických horizontech vápněných stanovišť po dvou letech od vápnění a zůstává na přibližně stejné úrovni i po pěti letech od aplikace (Obr. 2).

Podobný průběh změn je zaznamenán i v horizontech organominerálních vápněných stanovišť. Ve spodních minerálních horizontech nejsou významné změny na srovnávaných stanovištích zjištěny. Ve vápněných porostech je ovšem zaznamenáno mírné zvýšení hodnoty

aktivního pH, což by mohlo být projevem pozvolného pronikání bazických prvků půdním profilem.



Obr. 2: Půdní reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

V nadložních organických horizontech se významně zvyšuje i půdní chemická reakce výměnná, jako odpověď na vápnění lesa (Tab. 5), zatímco na kontrolních stanovištích se tato hodnota půdní reakce výměnné nemění a po dobu sledování je stále hodnocena jako velmi silně kyselá.

V organominerálních a minerálních horizontech srovnávaných stanovišť nejsou zaznamenány významné změny v hodnotě $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$.

4.1.3. Celkový dusík

Obsah dusíku v nadložních organických horizontech vápněných porostů je na srovnatelné úrovni s hodnotou zjištěnou před vápněním a hodnotíme ho jako vyhovující (Fiala a kol., 2013).

Obsahy dusíku v organominerálních a minerálních horizontech srovnávaných stanovišť jsou po celou dobu sledování bez větších změn.

4.1.4. Spalitelný uhlík (C_{ox})

Obsah spalitelného uhlíku je půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů na srovnatelné úrovni a během sledovaného období se zejména v minerální části půdního profilu výrazněji nemění.

4.1.5. Poměr C/N

V nadložních organických horizontech vápněných i kontrolních porostů dochází k postupnému zvyšování poměru C/N. Tento proces má velmi podobný průběh na obou typech stanovišť a není proto spojován s aplikací vápence.

V minerální části profilu také nejsou zjištěny rozdíly v poměru C/N mezi vápněnými a kontrolními porosty.

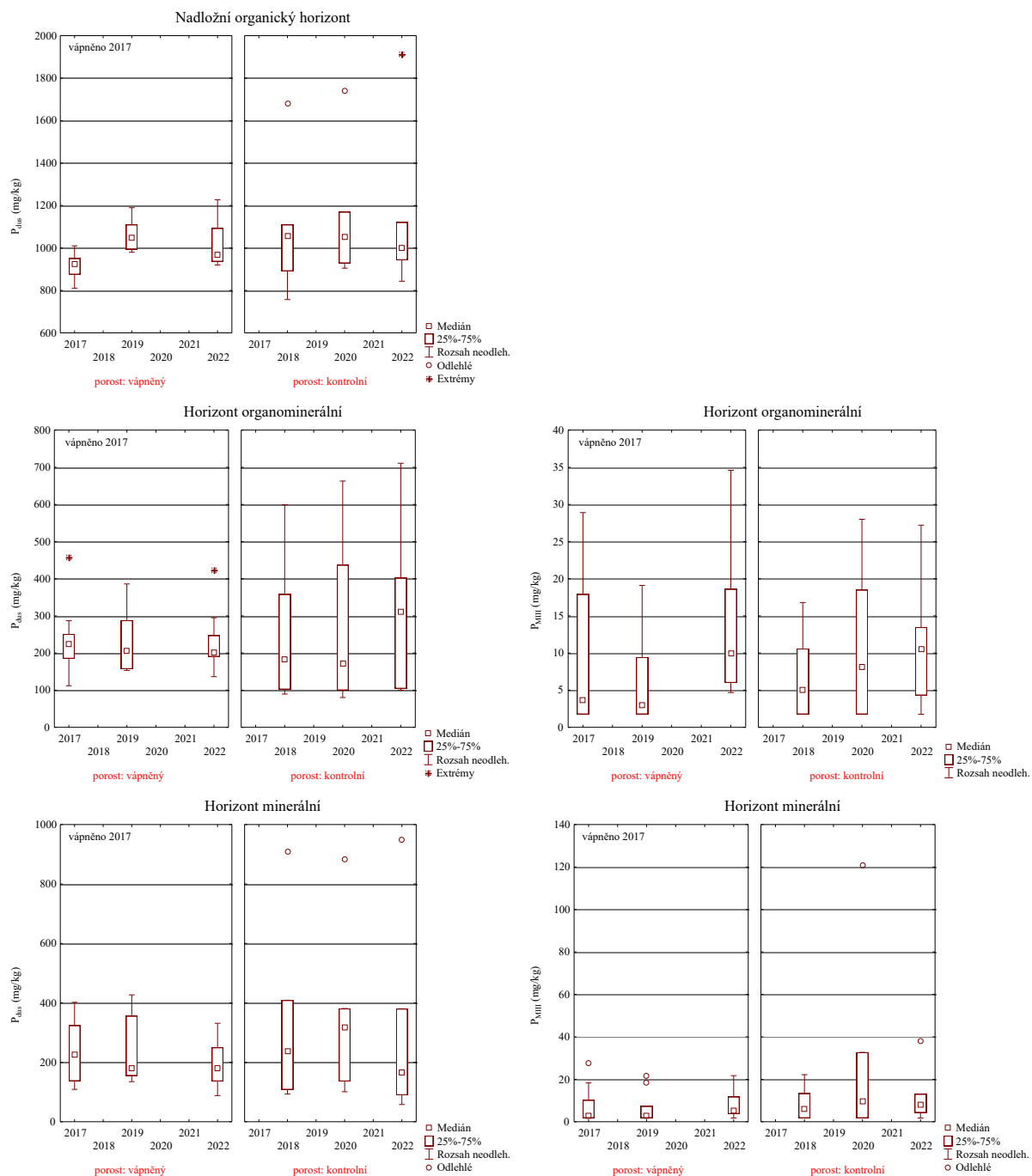
4.1.6. Fosfor

Zvýšení obsahů extrahovatelného fosforu (P_{dus}) na vápněných stanovištích v druhém roce po vápnění není reakcí na vápnění, ale vyjadřuje spíše změnu kvality vzorkovaného organického materiálu (Obr. 3). Na kontrolních stanovištích jsou v nadložních horizontech obsahy extrahovatelného fosforu stabilní a odpovídají přirozenému chemismu těchto stanovišť.

Tab. 6: Průměrný obsah makroprvků v šetřených horizontech

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
Nadložní organický horizont						
P_{dus} (mg/kg)	916	1065	1008	1091	1141	1137
K_{dus} (mg/kg)	1585	1653	1519	1361	1525	1347
Ca_{dus} (mg/kg)	2590	8608	5811	1487	1465	1602
Mg_{dus} (mg/kg)	1627	4428	2749	1173	1414	1115
Organominerální horizont						
P_{MIII} (mg/kg)	--	--	13,3	--	--	10,9
K_{MIII} (mg/kg)	75,7	80,6	93,6	68,6	78,3	73,4
Ca_{MIII} (mg/kg)	386	607	741	437	392	422
Mg_{MIII} (mg/kg)	154	265	385	115	102	115
P_{dus} (mg/kg)	239	229	231	252	296	300
K_{dus} (mg/kg)	147	162	162	184	178	176
Ca_{dus} (mg/kg)	572	931	982	664	650	620
Mg_{dus} (mg/kg)	490	652	664	1074	954	1033
Minerální horizont						
P_{MIII} (mg/kg)	--	--	8,31	--	--	12,1
K_{MIII} (mg/kg)	54,4	53,5	55,4	46,6	48,5	49,5
Ca_{MIII} (mg/kg)	193	273	215	461	322	456
Mg_{MIII} (mg/kg)	80,5	131	119	111	76,6	122
P_{dus} (mg/kg)	236	231	193	333	356	301
K_{dus} (mg/kg)	153	148	142	176	155	150
Ca_{dus} (mg/kg)	357	488	296	827	665	734
Mg_{dus} (mg/kg)	557	687	586	1291	1076	1099

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce



Obr. 3: Obsah extrahovatelného (P_{dus}) a přístupného (P_{MIII}) fosforu v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

V organominerálních horizontech vápněných stanovišť jsou extrahovatelné obsahy (P_{dus}) stabilní a na kontrolních stanovištích se během sledování mírně zvyšují.

V minerálních horizontech vápněných i kontrolních porostů je naopak zjištěn pokles obsahů extrahovatelného fosforu (P_{dus} , Obr. 3). Tyto změny tedy nedáváme do souvislosti s vápněním.

Souvislost s vápněním by se spíše mohla projevit u obsahů přístupné formy fosforu (P_{MIII}), ale vzhledem k tomu, že se obsah přístupného fosforu zejména v organominerálních

horizontech i u vápněných porostů zvyšuje, můžeme negativní vliv vápnění v tomto případě vyloučit.

4.1.7. Draslík

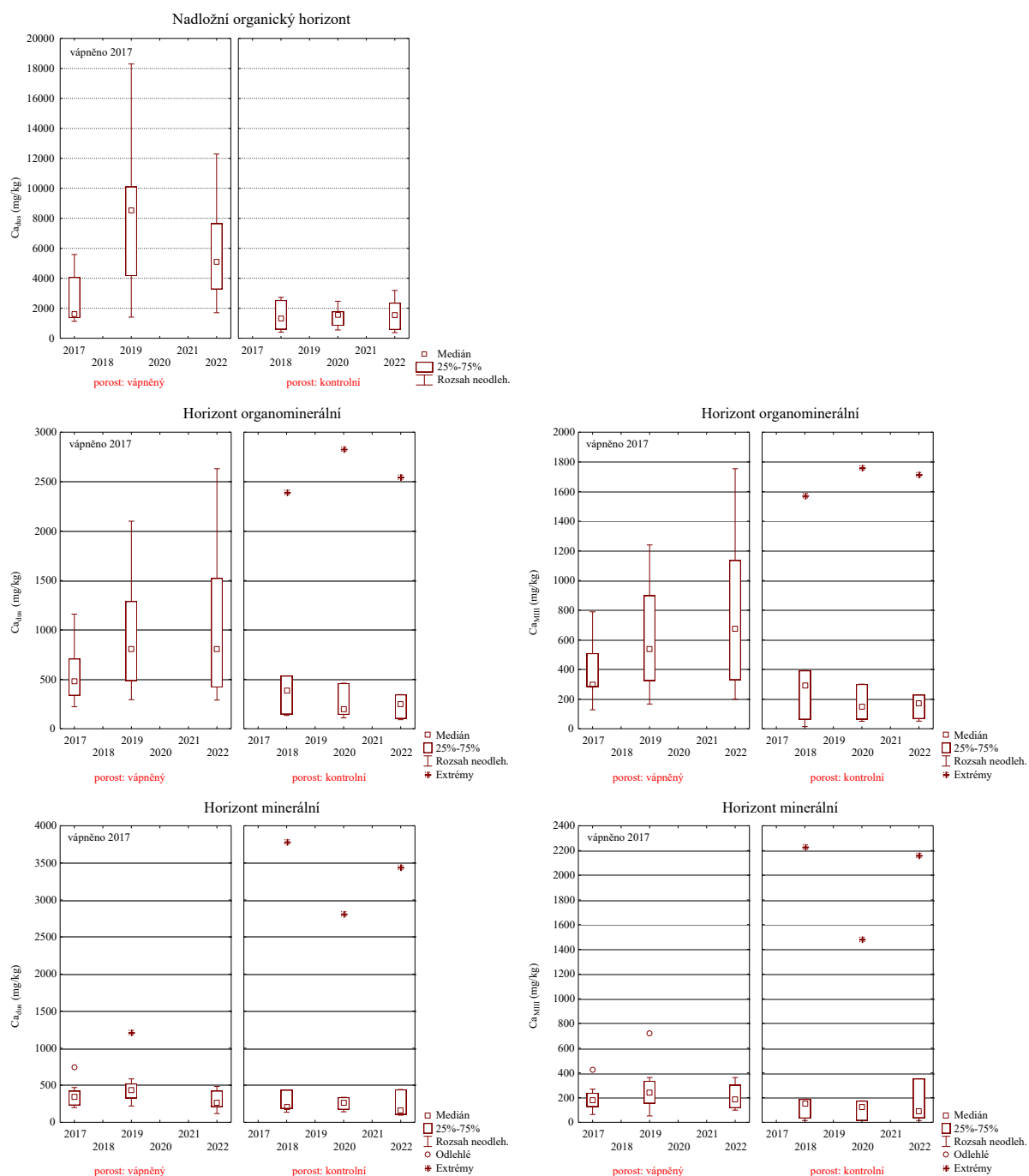
Obsahy extrahovatelného (K_{dus}) i přístupného (K_{MIII}) draslíku zůstávají po dobu sledování ve všech šetřených horizontech srovnávaných stanovišť bez větších změn (Tab. 6).

4.1.8. Vápník

V nadložních organických horizontech vápněných stanovišť byly po dvou letech od vápnění zjištěny významně vyšší obsahy extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}), jako přímý důsledek vápnění. Po pěti letech od vápnění se tyto obsahy poněkud snížily, ale jsou stále více než dvojnásobné vzhledem k hodnotám zjištěným před vápněním. Na stanovištích kontrolních nedošlo za sledované období k významnější změně.

V organominerálních horizontech na vápněných stanovištích se obsahy Ca_{dus} nevýznamně zvyšují po dobu šetření a na stanovištích kontrolních zůstávají přibližně na stejné úrovni. V minerálních horizontech ani na vápněných ani na kontrolních stanovištích nedošlo k výraznějším změnám v obsahu extrahovatelného vápníku. Popsaný vývoj v nadložních a organominerálních horizontech je zřetelným důkazem očekávaného účinku vápnění a vypovídá o pomalém pronikání vápníku půdním profilem.

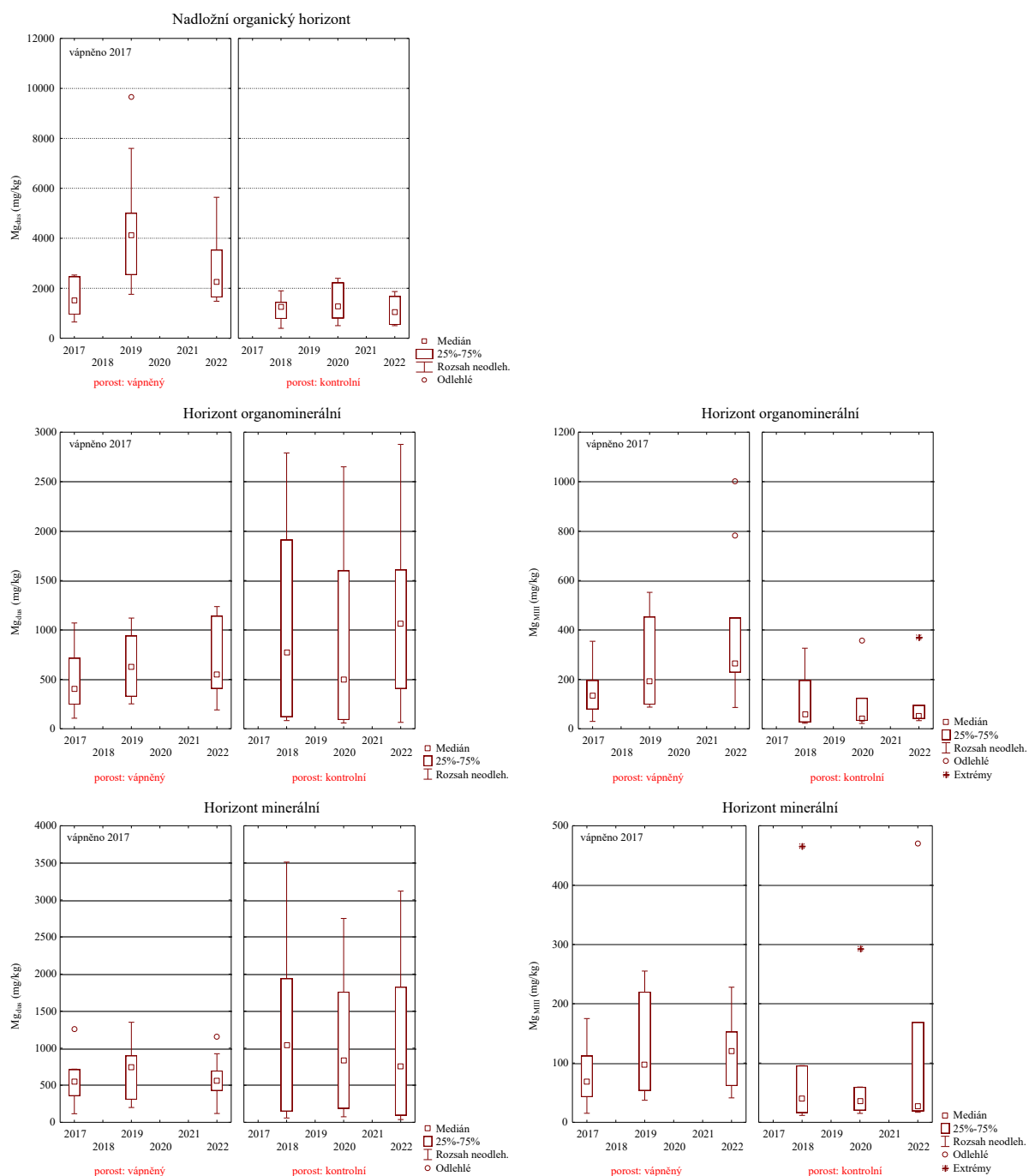
Účinnost vápnění dokazují i postupně se zvyšující obsahy přístupného vápníku (Ca_{MIII}) v organominerálních horizontech na vápněných stanovištích (Obr. 4), které po pěti letech od vápnění můžeme hodnotit jako vyhovující až vysoké (Kartogramy 7.2.2.). V horizontech minerálních prozatím k podobnému nárůstu nedošlo a hodnoty přístupného vápníku zůstávají na přibližně stejné úrovni jako před vápněním.



Obr. 4: Obsah extrahovatelného (Ca_{dus}) a přístupného (Ca_{mIII}) vápníku v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

4.1.9. Hořčík

Obsahy extrahovatelné formy hořčíku (Mg_{dus}) se podobně jako v případě vápníku významně zvýšily v nadložních organických horizontech v důsledku vápnění (Obr. 5). Po pěti letech se obsahy poněkud snižují, což napovídá o postupu hořčíku do hlubších vrstev půdního profilu.



Obr. 5: Obsah extrahovatelného (Mg_{dus}) a přístupného (Mg_{mIII}) hořčíku v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

V organominerálních horizontech vápněných stanovišť jsou obsahy po vápnění významně vyšší než před vápněním (Tab. 6). V horizontech minerálních jsou na vápněných stanovištích obsahy stabilní bez známek vlivu dolomitického vápence. Na stanovištích kontrolních, která jsou na hořčík bohatší, je zaznamenán mírný pokles Mg_{dus} . Popsaný vývoj obsahů v nadložních a organominerálních horizontech je s přihlédnutím k vývoji na stanovištích kontrolních přímým důkazem žádoucího vlivu vápnění v šetřené lokalitě.

Přístupné obsahy hořčíku (Mg_{mIII}) se během pěti let na vápněných stanovištích postupně zvyšují až na luxusní úroveň (Kartogramy 7.2.3.). Významné zvýšení obsahu přístupného

hořčíku je na těchto stanovištích zaznamenáno i v horizontech minerálních, zatímco na kontrolních stanovištích k takto výrazným změnám nedošlo. Vývoj hodnot obsahů přístupného hořčíku rovněž potvrzuje kladný vliv vápnění na půdní vlastnosti sledovaných porostů.

4.1.10. Síra

Obsahy přístupné síry (S_{MIII}) jsou v organominerálních horizontech velmi nízké. V horizontech minerálních se významně snižují po dobu sledování na obou srovnávaných stanovištích. Souvislost s vápněním lesa tedy není zřejmá.

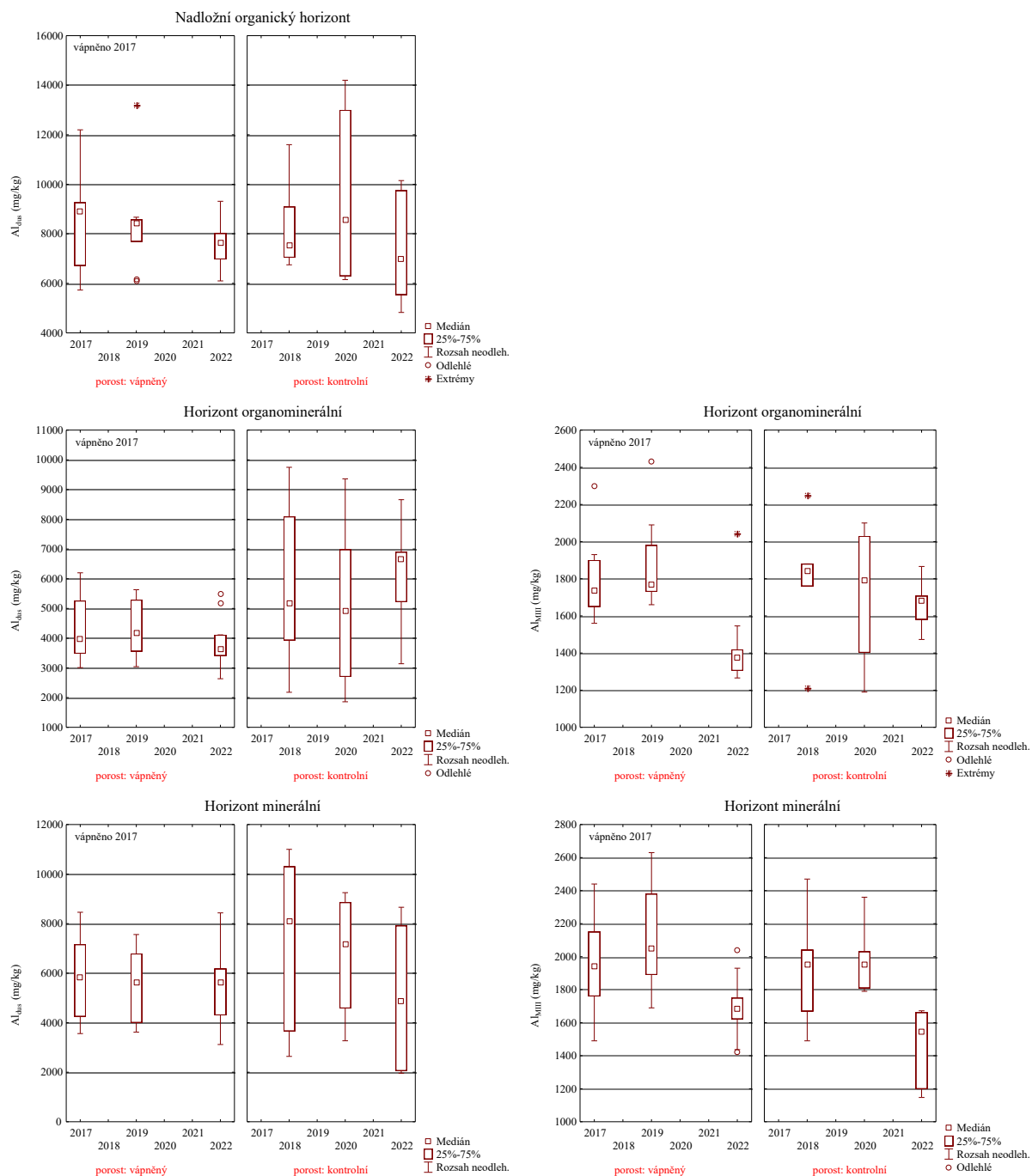
4.1.11. Hliník

Hodnoty extrahovatelných obsahů hliníku (Al_{dus}) se v nadložních organických horizontech vápněných stanovišť během pozorování významně nemění (Obr. 6). Rovněž v horizontech organominerálních a minerálních nejsou zjištěny významné změny.

Tab. 7: Průměrný obsah manganu, železa, hliníku, boru a zinku v šetřených horizontech

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
Nadložní organický horizont						
Mn_{dus} (mg/kg)	279	475	296	216	250	203
Fe_{dus} (mg/kg)	11804	11151	10501	11958	13100	10607
Al_{dus} (mg/kg)	8506	8360	7627	8257	9467	7371
B_{dus} (mg/kg)	2,18	2,46	1,73	1,67	1,70	1,28
Zn_{dus} (mg/kg)	44,9	58,6	48,6	58,5	63,4	58,6
Organominerální horizont						
Mn_{dus} (mg/kg)	221	194	151	298	293	338
Fe_{dus} (mg/kg)	9870	10363	10262	10533	11266	12019
Al_{dus} (mg/kg)	4338	4392	3850	5715	5440	5548
Zn_{dus} (mg/kg)	17,5	13,0	12,4	26,8	25,2	27,4
Al_{MIII} (mg/kg)	1794	1871	1435	1797	1748	1619
Fe_{MIII} (mg/kg)	678	654	601	622	621	532
B_{MIII} (mg/kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Minerální horizont						
Mn_{dus} (mg/kg)	330	282	276	394	330	317
Fe_{dus} (mg/kg)	11172	11313	12572	14250	12370	10141
Al_{dus} (mg/kg)	5752	5589	5454	7297	6717	5054
Zn_{dus} (mg/kg)	23,3	14,6	15,4	27,5	26,1	26,4
Al_{MIII} (mg/kg)	1966	2108	1697	1928	1982	1462
Fe_{MIII} (mg/kg)	577	591	517	505	510	461
B_{MIII} (mg/kg)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Na vápněných i kontrolních stanovištích je v organominerálních i v minerálních horizontech zaznamenán pokles obsahu přístupného hliníku (Al_{MIII}). Vzhledem k podobnému průběhu a k statisticky nevýznamným rozdílům mezi vápněnými a kontrolními porosty nedáváme tento pokles do souvislosti s provedeným vápněním.

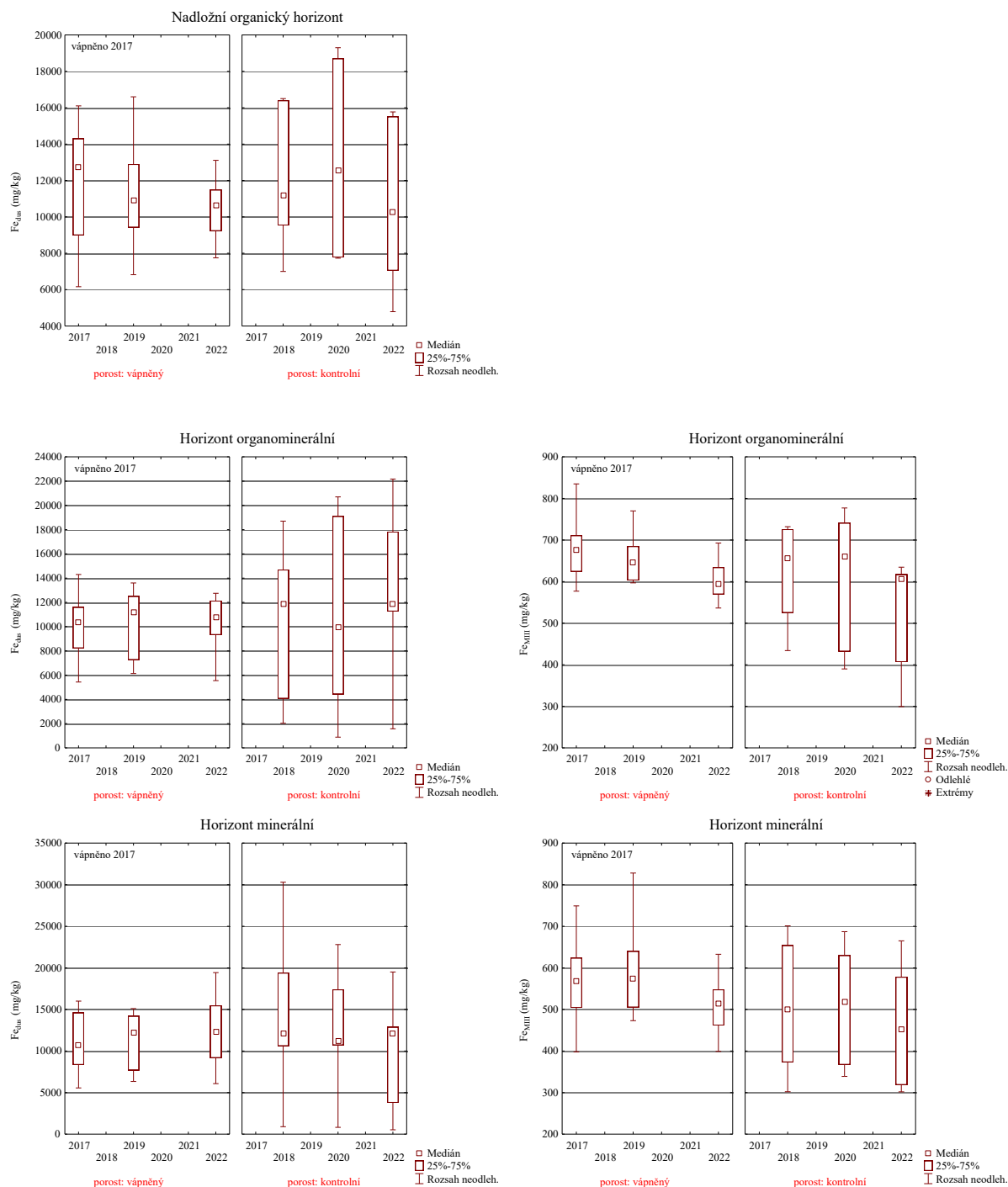


Obr. 6: Obsah extrahovatelného (Al_{dus}) a přístupného (Al_{MIII}) hliníku v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

4.1.12. Železo

V obsazích extrahovatelného železa (Fe_{dus}) je zjištěno v nadložních organických horizontech významné snížení na vápněných plochách (Obr. 7) ve srovnání se situací před vápněním.

V organominerálních horizontech nejsou zjištěny významné změny v obsazích této formy železa a v horizontech minerálních je zaznamenáno významné snížení na stanovištích kontrolních.



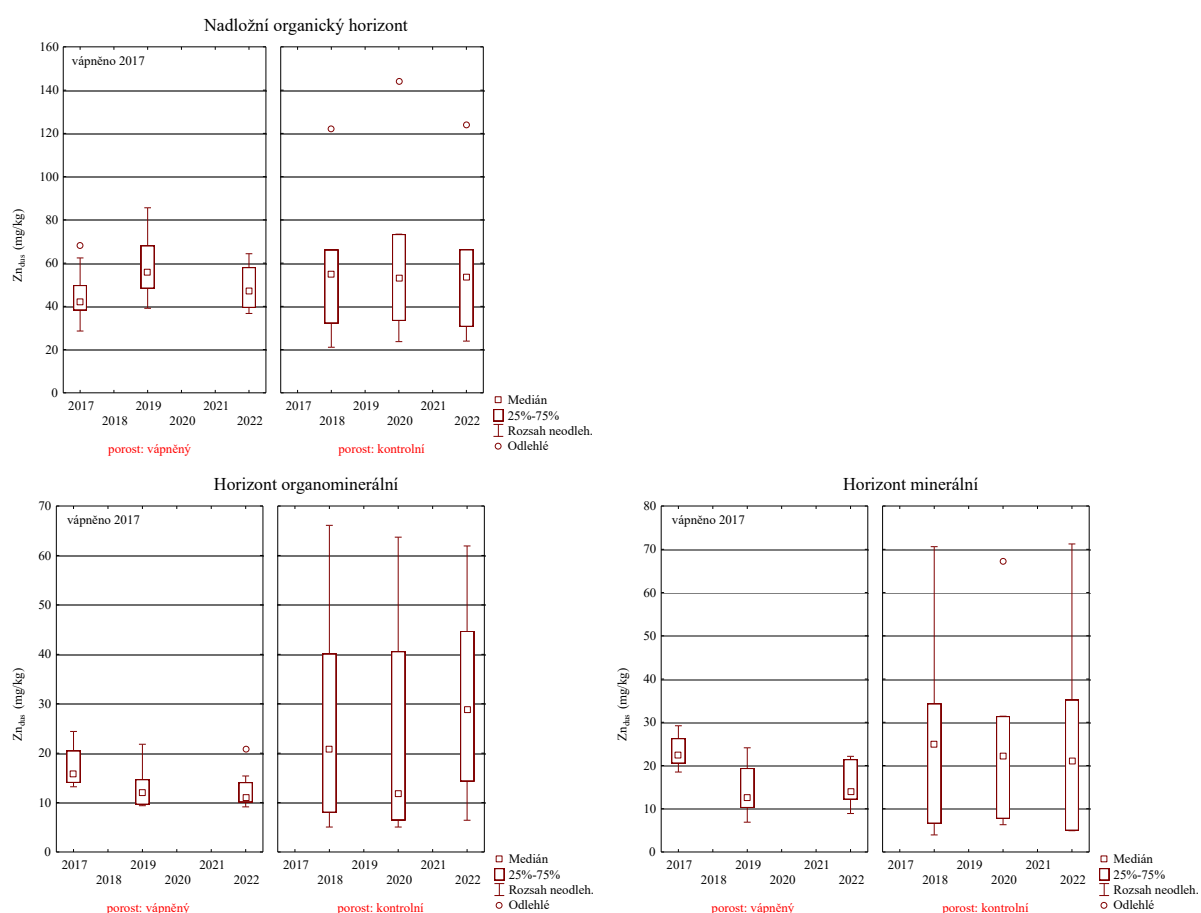
Obr. 7: Obsah extrahovatelného (Fe_{dus}) a přístupného (Fe_{MIII}) železa v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Obsahy přístupné formy železa (Fe_{MIII}) se snižují během šetření v organominerálních i v minerálních horizontech obou srovnávaných stanovišť. I když je snížení v minerálních horizontech kontrolních stanovišť statisticky nevýznamné, nespojujeme pokles na vápněných stanovištích s účinkem vápnění.

4.1.13. Zinek

V nadložních organických horizontech vápněných stanovišť jsou obsahy extrahovatelného zinku (Zn_{dus}) srovnatelné s hodnotou zjištěnou před vápněním (Obr. 8).

V horizontech organominerálních a minerálních byl na vápněných plochách zaznamenán statisticky významný pokles obsahu zinku už po dvou letech od vápnění. Tento vývoj zřejmě souvisí s imobilizací zinku v přítomnosti vápničku, případně fosforu (Čurlík, 2011). Mezi vápněnými a kontrolními porosty ovšem nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly, což vliv vápnění nepotvrzuje. Podobné výsledky, jako v tomto případě, byly zjištěny i u vápnění provedeného v lokalitách „Litvínov A, Jirkov A a Hora Sváté Kateřiny A“ (Reininger a kol., 2023), což by naopak vliv vápnění podpořilo, proto bude vhodné vliv vápnění na obsah zinku v půdě i nadále sledovat a hodnotit na konci desetiletého šetření.



Obr. 8: Obsah extrahovatelného (Zn_{dus}) zinku v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

4.1.14. Kadmium

V nadložních organických a v organominerálních horizontech na vápněných stanovištích je zjištěno významné kolísání hodnot obsahů extrahovatelné formy kadmia (Cd_{dus}) (Tab. 8). Tyto obsahy se významně zvyšují po dvou letech od vápnění a následně významně snižují směrem k původním hodnotám před vápněním. Na kontrolních stanovištích jsou obsahy

kadmia stabilní. Mobilita kadmia se může zvýšit jen ve velmi kyselém prostředí při nízkých obsazích humusu (v našem šetření – hodnoty C_{ox}) a při výrazné vlhkosti (Čurlík, 2011). Jelikož jsme změny v těchto faktorech nezjistili, nebo je nepředpokládáme, považujeme zvýšení obsahu Cd_{dus} po dvou letech od vápnění za náhodný jev.

V horizontech minerálních nejsou zjištěny na srovnávaných stanovištích významné změny.

Tab. 8: Průměrné obsahy rizikových prvků v šetřených horizontech

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
Nadložní organický horizont						
Cd_{dus} (mg/kg)	0,27	0,38	0,29	0,32	0,33	0,30
Cr_{dus} (mg/kg)	11,0	11,4	9,84	9,79	11,0	9,15
Cu_{dus} (mg/kg)	9,65	10,2	7,10	11,1	12,2	9,12
Pb_{dus} (mg/kg)	102	84,1	90,2	153	139	148
Organominerální horizont						
Cd_{dus} (mg/kg)	--	0,42	< 0,2	--	< 0,2	< 0,2
Cr_{dus} (mg/kg)	5,83	6,47	5,20	5,87	6,22	6,32
Cu_{dus} (mg/kg)	5,65	7,15	6,26	7,75	7,21	7,74
Pb_{dus} (mg/kg)	68,6	78,5	78,0	65,3	56,5	66,7
Minerální horizont						
Cd_{dus} (mg/kg)	< 0,2	--	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr_{dus} (mg/kg)	6,85	7,33	7,01	6,81	7,03	5,03
Cu_{dus} (mg/kg)	5,39	6,13	5,01	6,79	7,20	5,89
Pb_{dus} (mg/kg)	42,5	48,5	42,9	46,5	39,6	47,2

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

4.1.15. Chrom, měď a olovo

Podobně jako u kadmia pozorujeme kolísání v nadložních organických horizontech vápněných porostů i u **chromu** (Cr_{dus}) a **mědi** (Cu_{dus}), toto kolísání ale pozorujeme i na kontrolních stanovištích. Kvůli této podobnosti nespojujeme tyto změny výhradně s účinky vápnění.

V organominerálních a minerálních horizontech vápněných i kontrolních porostů nedošlo u těchto prvků k výraznějším změnám a jejich obsah je tudíž za sledované období poměrně stabilní.

Obsah **olova** (Pb_{dus}) je v půdním profilu stabilní bez výrazných změn.

4.1.16. Půdní sorpční komplex

Účinnost vápnění je znatelná na některých vlastnostech půdního sorpčního komplexu. V případě **vápníku** (Ca_{vym}) se sycení jeho kationtem v organominerálních horizontech vápněných stanovišť postupně zvyšuje. Toto zvyšování ukazuje postupující vliv dolomitického vápence a vzhledem k stabilním hodnotám na stanovištích kontrolních je důkazem očekávaného a kladného vlivu dodaného vápence (Obr. 9). V horizontech minerálních jsou hodnoty sycení neměnné a vliv vápnění se prozatím neprojevuje (Tab. 9).

Kationt **hořčíku** postupuje půdním profilem rychleji než kationt vápníku. V organominerálních horizontech se, podobně jako u vápníku, sycení sorpčního komplexu

hořčíkem na vápněných stanovištích zvyšuje (Obr. 9). V horizontech minerálních je tento proces pomalejší, nicméně i zde pozorujeme pozvolný nárůst obsahu výměnných kationtů hořčíku.

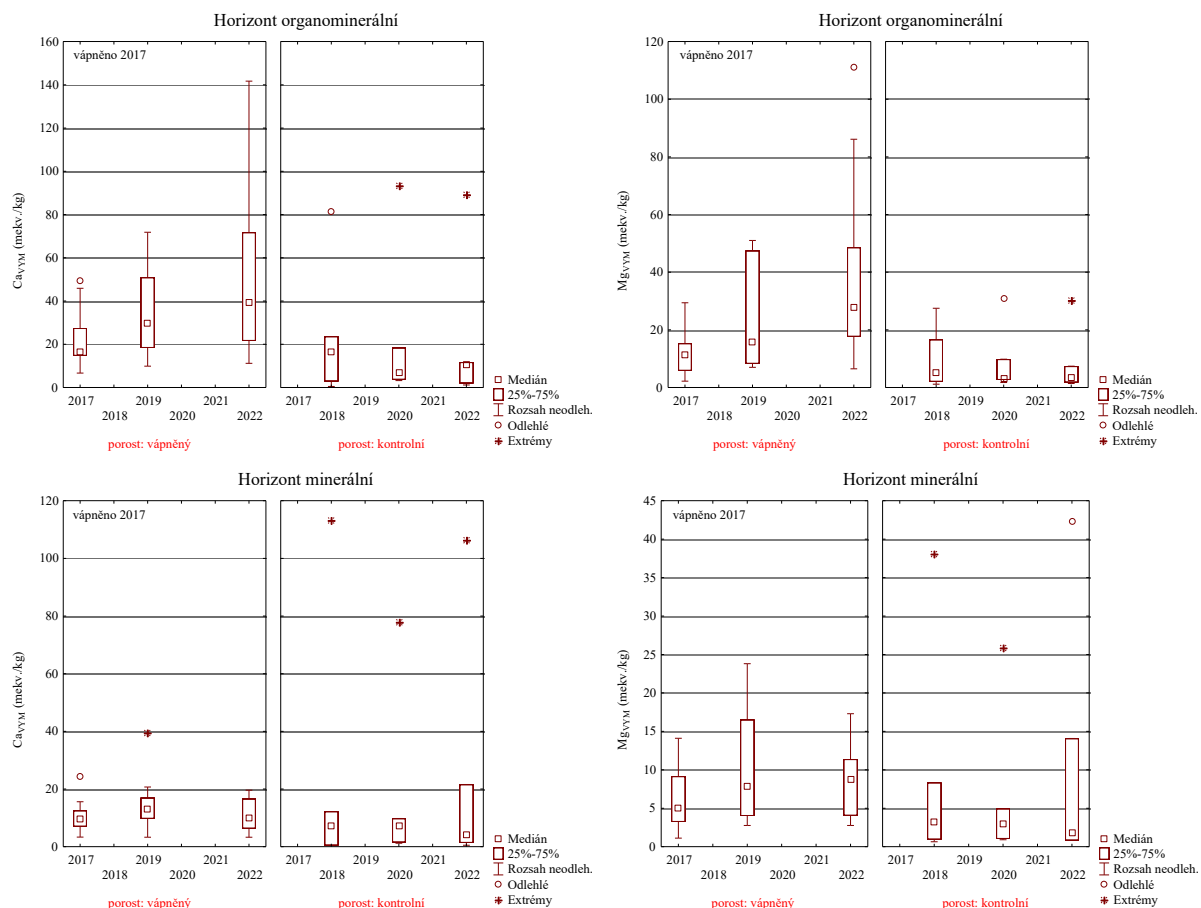
Tab. 9: Průměrné hodnoty půdního sorpčního komplexu v šetřených horizontech

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
Organominerální horizont						
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	67,1	59,8	49,5	76,8	74,3	75,5
K _{VYM} (mekv./kg)	1,65	1,74	2,07	1,46	1,72	1,38
Ca _{VYM} (mekv./kg)	22,1	33,9	48,6	23,5	21,0	22,1
Mg _{VYM} (mekv./kg)	12,5	24,6	39,9	9,56	8,48	8,60
Na _{VYM} (mekv./kg)	0,26	0,32	0,29	0,30	0,29	0,33
Mn _{VYM} (mekv./kg)	1,03	0,84	0,88	0,95	1,01	0,84
Al _{VYM} (mekv./kg)	57,4	54,2	42,7	69,3	70,6	67,5
Fe _{VYM} (mekv./kg)	3,72	2,58	2,36	3,56	3,62	2,95
CEC (mekv./kg)	104	120	140	112	106	108
BS (%)	33,7	47,2	57,2	24,3	22,2	22,9
Bc _{VYM} /Al _{VYM}	0,71	1,70	5,06	0,43	0,44	0,47
Minerální horizont						
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	52,2	53,2	53,3	58,0	58,7	56,0
K _{VYM} (mekv./kg)	1,11	1,06	1,01	0,90	0,92	0,87
Ca _{VYM} (mekv./kg)	10,8	14,9	11,3	23,5	17,5	22,9
Mg _{VYM} (mekv./kg)	6,29	10,4	8,75	9,08	6,43	10,3
Na _{VYM} (mekv./kg)	0,20	0,28	0,16	0,28	0,25	0,27
Mn _{VYM} (mekv./kg)	0,89	0,51	0,47	0,72	0,61	--
Al _{VYM} (mekv./kg)	48,4	49,6	49,7	55,2	57,2	49,9
Fe _{VYM} (mekv./kg)	1,67	1,38	0,89	1,71	1,47	1,99
CEC (mekv./kg)	70,5	79,8	74,6	91,9	83,9	90,2
BS (%)	25,7	32,5	27,7	22,7	20,6	23,2
Bc _{VYM} /Al _{VYM}	0,41	0,64	0,45	0,57	0,38	0,75

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

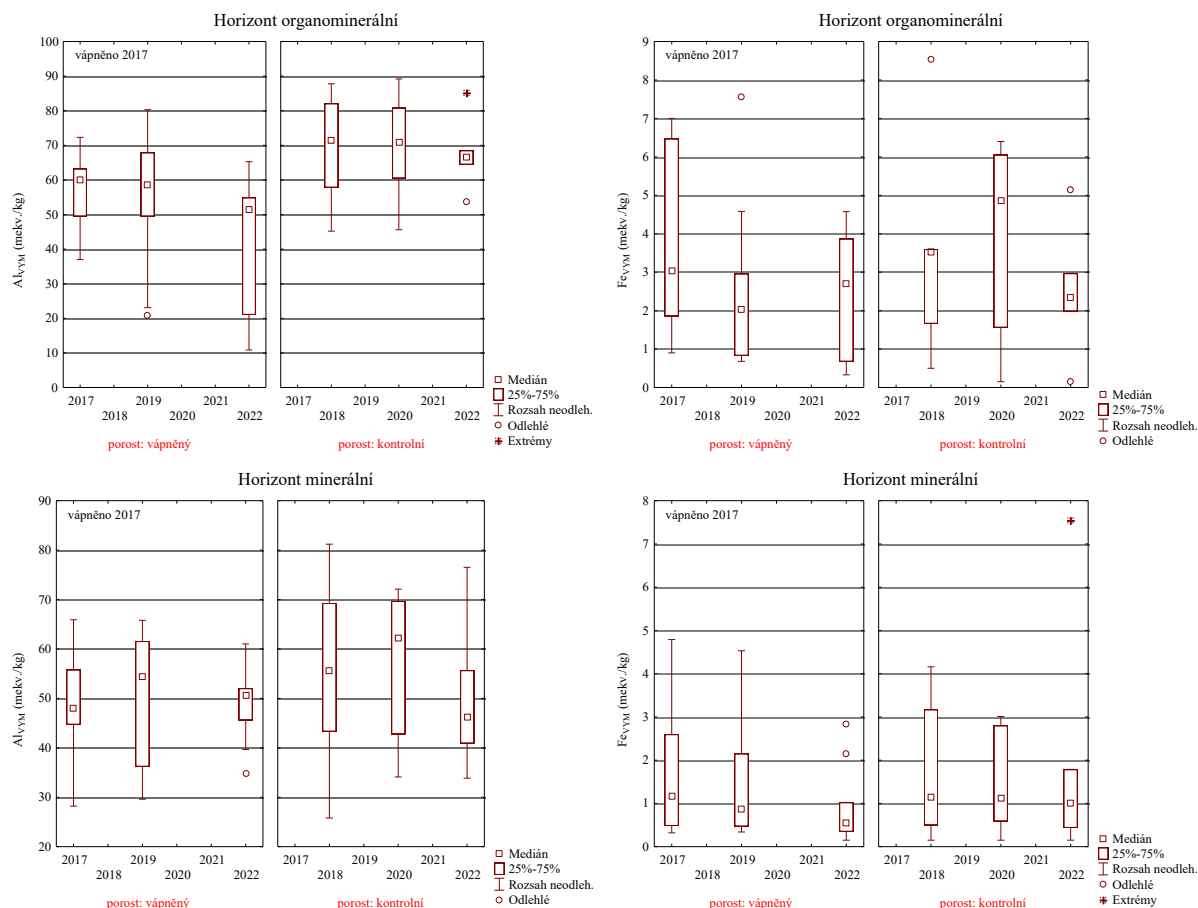
Sycení sorpčního komplexu kationtem **hliníku** (Al_{VYM}) se postupně snižuje v organominerálních horizontech na vápněných stanovištích (Obr. 10). Vzhledem ke stálosti hodnot sycení na stanovištích kontrolních považujeme tento vývoj za náhradu kationtu hliníku Al³⁺ kationtem vápníku Ca²⁺, případně hořčíku Mg²⁺ a tedy za vliv vápnění. V horizontech minerálních za sledované období k výraznějším změnám nedošlo.

Výše popsany vývoj lze pozorovat také u **titrační acidity** (Al+H)_{VYM}, kde rovněž dochází k jejímu postupnému snižování v organominerálních horizontech vápněných stanovišť (Tab. 9). Tento pokles rovněž lze považovat za důsledek vápnění. S náhradou kyselých kationtů (Al+H)_{VYM} a samozřejmě se sycením kationty vápníku a hořčíku souvisí také významné zvyšování celkového **sycení půdního sorpčního komplexu** kationty (BS), které se významně zvyšuje v organominerálních horizontech vápněných stanovišť (Tab. 9).



Obr. 9: Obsah výměnných kationtů vápníku (Ca_{vym}) a hořčíku (Mg_{vym}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Vedle výše popsaného snížení sycení půdního sorpčního komplexu hliníkem je zjištěno podobné, statisticky nevýznamné snižování obsahu **výměnných kationtů železa** (Fe_{vym}) v organominerálních (Tab. 9) i v minerálních horizontech vápněných stanovišť. Vzhledem k relativní stálosti sycení železem na kontrolních plochách lze i v tomto případě uvažovat o projevu účinnosti vápnění.



Obr. 10: Obsah výměnných kationtů hliníku (Al_{VYM}) a železa (Fe_{VYM}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

4.2. Hodnocení obsahu prvků v jehlicích smrku ztepilého

Podle použitých klasifikací vymezujících oblast optimální výživy je v jehlicích smrku vápněných porostů zjištěna nedostatečná úroveň výživy sírou a borem (Tab. 10). Obsahy ostatních prvků včetně vápněním ohroženého fosforu a draslíku nejsou v oblasti nedostatku.

Tab. 10: Posouzení průměrného obsahu prvků v jehlicích běžného roku smrku ztepilého pět let po vápnění

	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
Nedostatek	1,20	1000	3500	1500	600	1100	20	20	20	15
Nadbytek	1,70	2000	9000	6000	1500	1800	2000	200	60	30
Vápněné (2022)	1,33	1524	5619	4877	1148	916	269	45,3	37,1	13,9
Kontrolní (2022)	1,26	1545	5094	4213	1125	920	625	42,8	34,4	15,5

Z hodnocení podle klasifikace ÚKZÚZ vyplývá, že na vápněných stanovištích je lepší úroveň výživy vápníkem, kde je hodnocena jako vyhovující (střední), zatímco na kontrolních stanovištích je hodnocena jako nízká. V případě boru je na vápněných stanovištích jeho obsah v jehlicích hodnocen jako nízký. U ostatních prvků je zjištěna podobná úroveň výživy dřevin na vápněných i kontrolních stanovištích (Tab. 11).

Tab. 11: Hodnocení průměrného obsahu prvků v jehlicích běžného smrku ztepilého pět let po vápnění

	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
Vápněné (2022)	1,33	1524	5619	4877	1148	45,3	37,1	13,9
hodnocení	2	4	2	3	4	1	3	1
Kontrolní (2022)	1,26	1545	5094	4213	1125	42,8	34,4	15,5
hodnocení	2	4	2	2	4	1	3	2

Hodnocení podle klasifikace ÚKZÚZ, Fiala a kol., (2013). 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – střední, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký

4.2.1. Dusík

Obsahy dusíku v letorostech (Tab. 12) i v jehlicích předchozího roku smrku ztepilého (Tab. 13) se během pětiletého šetření významně nemění.

4.2.2. Fosfor

Úroveň výživy fosforem se podle obsahů v letorostech významně snižuje na vápněných stanovištích (Obr. 11). Tomuto vývoji odpovídá významné snižování obsahu extrahovatelného fosforu (P_{dus}) v minerálních horizontech vápněných stanovišť. V období 2020 až 2022 je v jehlicích kontrolních porostů zaznamenán pokles na hodnotu 1545 mg.kg^{-1} , která přibližně odpovídá hodnotě 1524 mg.kg^{-1} zjištěné na plochách vápněných. Z tohoto pohledu se může jednat o plošné snižování úrovně výživy fosforem. Nicméně negativní vliv vápnění na příjem fosforu nelze zcela vyloučit a fosfor se pak může stát limitujícím prvkem ve výživě smrku a otázce fosforu je tudíž třeba věnovat zvláštní zřetel. V jehlicích předchozího roku je zaznamenán po dvou letech od vápnění významný pokles, který může souviset s relokací fosforu do mladších pletiv.

Tab. 12: Průměrný obsah prvků v jehlicích běžného roku (letorostů)

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
N (%)	1,31	1,23	1,33	1,19	1,23	1,26
P (mg/kg)	1841	1760	1524	1540	1848	1545
K (mg/kg)	6450	6319	5619	5588	6185	5094
Ca (mg/kg)	3197	2937	4877	3143	2943	4213
Mg (mg/kg)	842	869	1148	883	924	1125
Al (mg/kg)	44,0	45,0	67,8	48,2	59,1	97,4
B (mg/kg)	11,6	11,2	13,9	11,3	12,0	15,5
Cd (mg/kg)	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	--
Cr (mg/kg)	--	0,13	0,16	0,11	< 0,1	0,18
Cu (mg/kg)	3,07	2,88	2,38	2,58	3,15	2,43
Fe (mg/kg)	26,1	34,7	45,3	24,1	24,0	42,8
Mn (mg/kg)	358	223	269	515	415	625
Ni (mg/kg)	0,97	0,84	0,53	1,28	1,61	1,41
Pb (mg/kg)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S (mg/kg)	897	842	916	838	814	920
Zn (mg/kg)	29,7	29,0	37,1	27,5	33,2	34,4

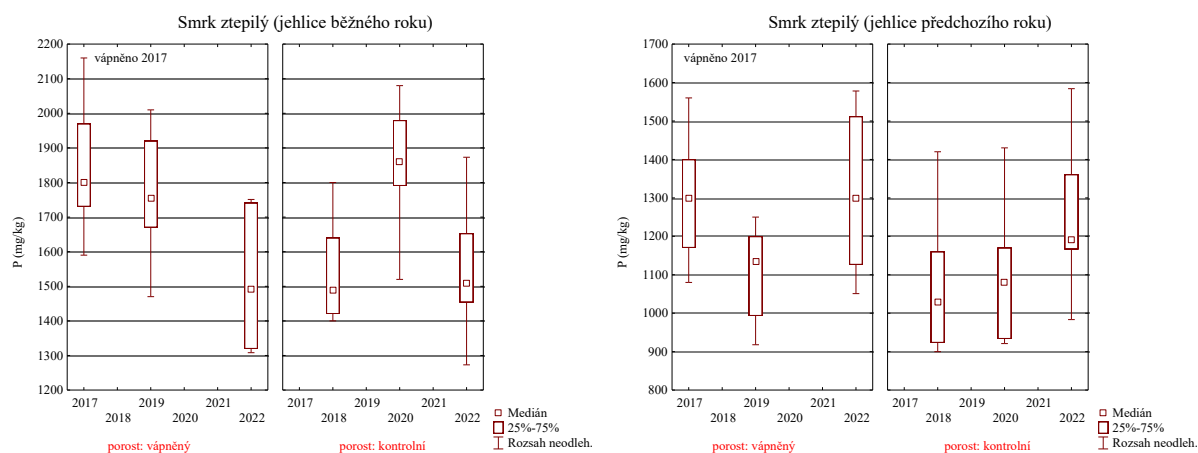
-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Tab. 13: Průměrný obsah prvků v jehlicích předchozího roku

	Vápněné porosty			Kontrolní porosty		
	2017	2019	2022	2018	2020	2022
N (%)	1,25	1,22	1,19	1,17	1,15	1,13
P (mg/kg)	1299	1102	1301	1077	1102	1246
K (mg/kg)	4857	3816	4692	3742	3497	4248
Ca (mg/kg)	5721	5803	6739	4940	4638	6465
Mg (mg/kg)	841	861	1085	818	831	1052
Al (mg/kg)	63,5	64,4	76,0	92,8	128	121
B (mg/kg)	11,2	10,9	11,7	11,6	11,2	13,8
Cd (mg/kg)	0,07	0,05	0,05	0,05	--	--
Cr (mg/kg)	0,15	0,17	0,17	0,16	0,13	0,19
Cu (mg/kg)	2,47	2,11	2,00	1,98	1,96	1,97
Fe (mg/kg)	36,3	49,3	48,5	42,2	38,9	47,2
Mn (mg/kg)	611	480	334	760	556	835
Ni (mg/kg)	0,43	0,40	0,40	0,66	0,62	0,87
Pb (mg/kg)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,25
S (mg/kg)	936	857	870	865	798	852
Zn (mg/kg)	26,7	29,1	34,0	21,4	21,4	33,4

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

V případě výživy fosforem je nutné brát v úvahu vlivy okolí, především vliv pěstebních zásahů a s nimi související hustotu a zápoj lesních porostů i rozvoj přízemní vegetace. Při sníženém opadu listů a jehlicí a následném rozvoji přízemní vegetace může nastat snížení nabídky fosforu v půdním prostředí odběrem kořeny a v následném období jeho nižší úrovní ve výživě dřevin.



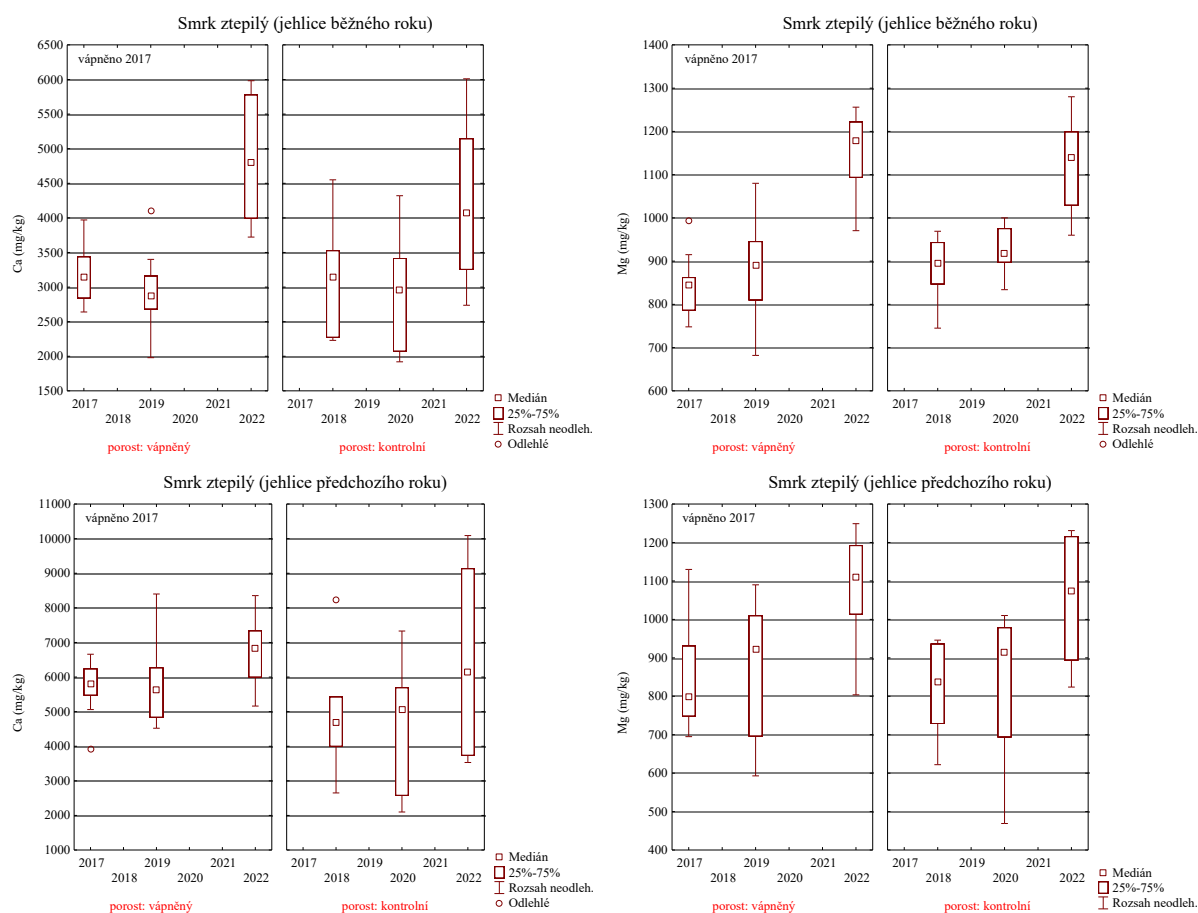
Obr. 11: Obsah fosforu (P) v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.3. Draslík

Podobný vývoj jako u fosforu je zjištěn i v případě draslíku, kde se jeho obsahy v jehlicích letorostů na vápněných stanovištích významně snižují (Tab 12). Snížené hodnoty na stanovištích vápněných ovšem převyšují hodnoty na stanovištích kontrolních zjištěné v roce 2022. Významné kolísání obsahů draslíku v jehlicích předchozího roku na stanovištích vápněných napovídá o intenzivní relokaci draslíku během pětiletého pozorování.

4.2.4. Vápník

Úroveň výživy vápníkem se podle obsahů vápníku v jehlicích letorostů významně zvyšuje. Jedinečnost vlivu dodaného dolomitického vápence je však narušena podobným průběhem na kontrolních stanovištích (Obr. 12). Důkazem kladného vlivu vápnění jsou významně se zvyšující obsahy vápníku ve starších jehlicích na vápněných stanovištích. Nicméně na stanovištích kontrolních, kde je zaznamenáno významné kolísání hodnot, je na konci šetření zjištěna hodnota podobná jako na stanovištích vápněných. Tato skutečnost jedinečnost vlivu vápnění poněkud snižuje.



Obr. 12: Obsah vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.5. Hořčík

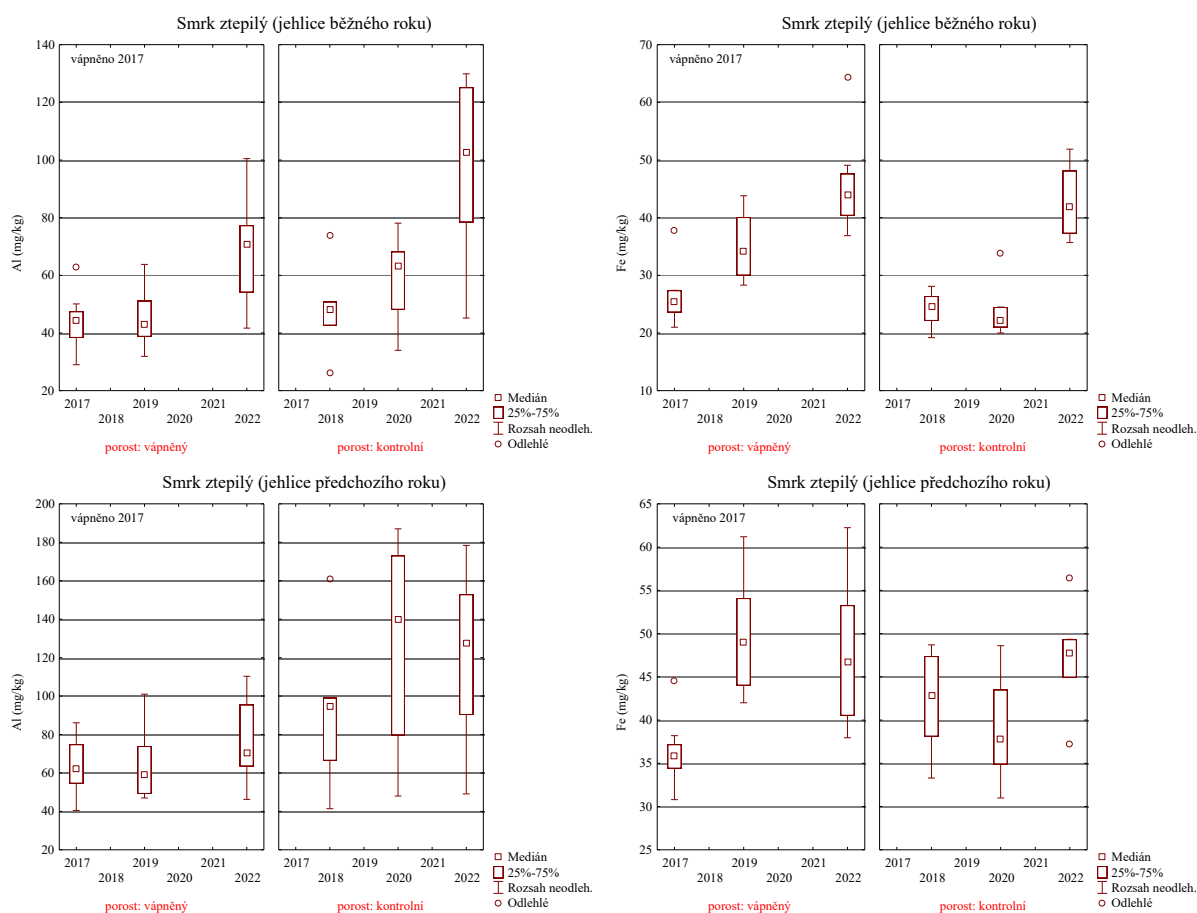
Jasnou účinnost vlivu vápnění nelze dokladovat ani na příkladu úrovně výživy hořčíkem, kde se obsahy významně zvyšují v jehlicích letorostů na obou srovnávaných stanovištích (Obr. 12). V jehlicích o rok starších se podobně zvyšují obsahy hořčíku na stanovištích vápněných. Na stanovištích kontrolních je toto zvyšování vyhodnoceno jako statisticky nevýznamné, ovšem trend zvyšování je zde zřetelný.

4.2.6. Síra

Obsahy síry významně kolísají v jehlicích letorostů na srovnávaných stanovištích a v jehlicích starších jsou stabilní.

4.2.7. Hliník

V jehlicích letorostů smrku se na vápněných i kontrolních stanovištích významně zvyšují obsahy hliníku (Obr. 13). V jehlicích předchozího roku je významné zvyšování zjištěno pouze na kontrolních stanovištích. Po vápnění může dojít k uvolnění hliníku z pevných vazeb a ke zvýšení jeho přístupnosti. V našem šetření se ale trvalé zvýšení přístupnosti neprojevalo a změny pozorované na obou srovnávaných stanovištích nemají pravděpodobně spojitost s vápněním lesa.



Obr. 13: Obsah hliníku (Al) a železa (Fe) v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

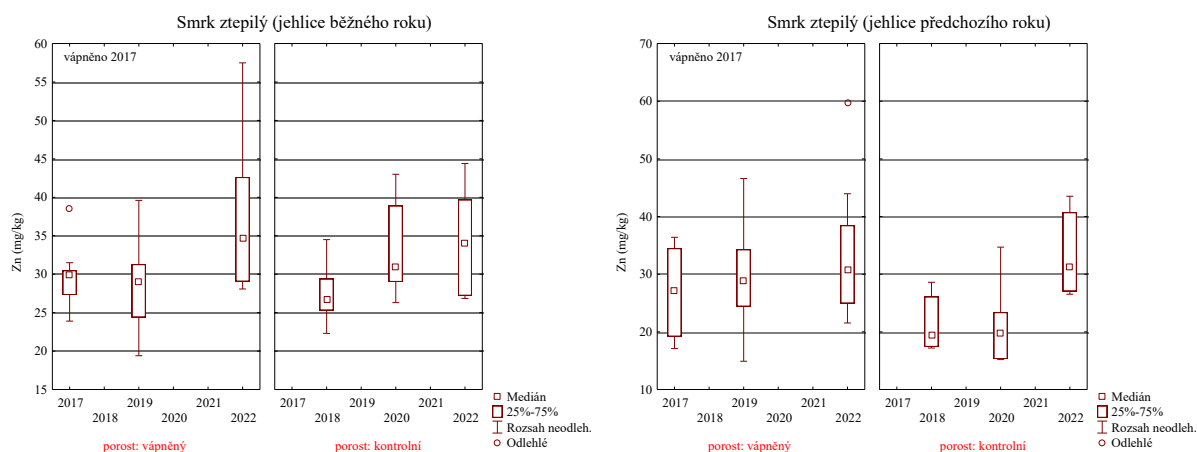
4.2.8. Železo

Obsahy železa se významně zvyšují v jehlicích letorostů na vápněných i kontrolních stanovištích (Obr. 13). Významné zvyšování je zjištěno i ve starších jehlicích, ovšem pouze

na vápněných stanovištích. Přístupné obsahy železa se přitom v minerálních horizontech vápněných stanovišť snižují. Vliv vápnění na úroveň výživy nepředpokládáme.

4.2.9. Zinek

V jehlicích letorostů je významné zvyšování obsahů zjištěno na vápněných i kontrolních stanovištích (Obr. 14). Podobný vývoj je zjištěn i v chemismu starších jehlic. Vliv vápnění na obsah zinku v jehlicích tedy vylučujeme.



Obr. 14: Obsah zinku (Zn) v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.10. Kadmium, chróm, měď, nikl a olovo

V případě **kadmia** nebyly zjištěny změny související s vápněním. Obsah kadmia v jehlicích letorostů se významně nemění a v jehlicích předchozího roku mírně klesá jak ve vápněných, tak i v kontrolních porostech.

Vývoj obsahu **chrómu** v jehlicích opět nevykazuje souvislost s vápněním. V jehlicích letorostů bylo zaznamenáno jeho zvýšení, zatímco v jehlicích předchozího roku se jeho obsah významně nezměnil jak v kontrolních, tak i ve vápněných porostech.

Obsah **mědi** v jehlicích vápněných porostů mírně klesl, ale obsah tohoto prvku se mezi vápněnými a kontrolními porosty významně neliší.

Obsah **niklu** je v jehlicích smrku po celou dobu sledování stabilní a mezi vápněnými a kontrolními porosty nejsou zjištěny významné rozdíly.

Obsah **olova** v jehlicích je velmi nízký a ve většině případů se pohybuje pod stanoveným limitem detekce.

4.2.11. Bor

Obsahy boru se v letorostech smrku nevýznamně zvyšují na vápněných i na kontrolních stanovištích (Tab. 12). V jehlicích předchozího roku je zjištěno nevýznamné kolísání obsahů na obou typech stanovišť. Možný negativní vliv vápnění na příjem boru z půdního prostředí není pravděpodobný.

4.3. Hodnocení obsahu prvků v listech břízy bělokoré

Toto hodnocení je provedeno pouze u břízy na vápněných stanovištích, protože vzorky z kontrolních porostů se u této dřeviny neodebírají.

Tab. 14: Průměrný obsah prvků v listech břízy

	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
Nedostatek	0,73	1500*	8000*	3000*	1500*	1000*	600	45	105	-
Nadbytek	2,10	3000	15000	15000	5000	2000	3000	300	170	38
Vápněné (2022)	1,86	1881	5076	8572	3475	1303	628	74,2	156	17,2

Fürst (2009) a *Šrámek a kol. (2009)

Z uvedených údajů (Tab. 14) vyplývá nedostatečná výživa březových porostů draslíkem a manganem. Relativně vysoké obsahy vápníku a hořčíku mohou být důsledkem vápnění lesa. Nedostatečný obsah draslíku by pak mohl být potom brán jako negativní projev provedeného vápnění.

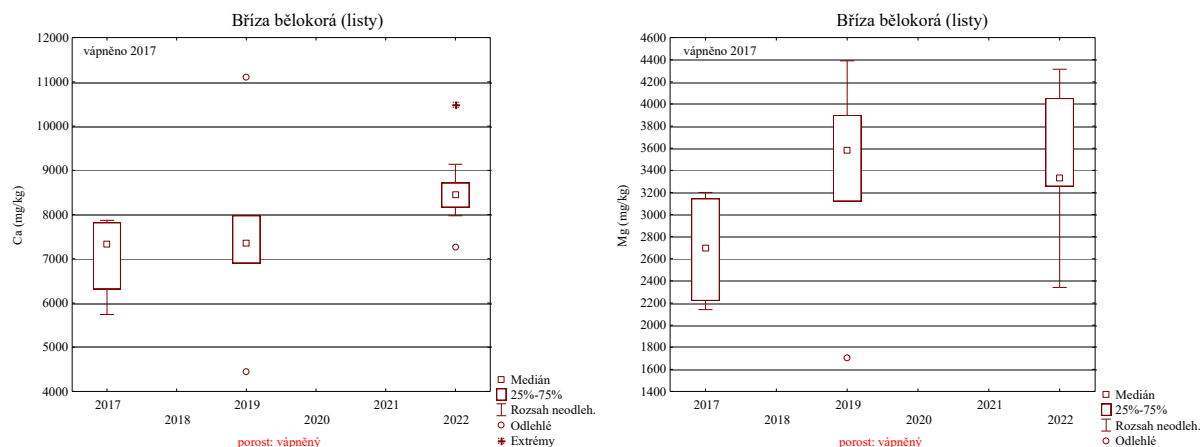
Z porovnání obsahů na vápněných stanovištích po dvou a pěti letech od vápnění vyplývá významné snížení úrovně výživy dusíkem v posledních třech letech (Tab. 15). Toto snížení může být projevem zředovacího efektu při zvýšeném přírůstku. Úroveň výživy fosforem se v posledních třech letech nemění a zůstává na vyhovující úrovni. U výše uvedeného draslíku nastalo významné snížení v úrovni výživy, které může souviset s jeho vytěsněním hořčíkem a vápníkem a snížení dostupnosti fosforu spojené s tvorbou nerozpustných Ca fosfátů, nebo odběrem rostlinami (Pabian a kol., 2012).

Tab. 15: Průměrný obsah prvků v listech břízy bělokoré vápněných porostů*

	Vápněné porosty	
	dva roky po vápnění 2019	pět let po vápnění 2022
Al (mg/kg)	60,8	56,8
B (mg/kg)	26,8	15,9
Ca (mg/kg)	7556	8861
Cd (mg/kg)	0,20	0,18
Cr (mg/kg)	0,23	0,25
Cu (mg/kg)	5,00	4,56
Fe (mg/kg)	83,9	78,4
K (mg/kg)	9134	5128
Mg (mg/kg)	3338	3472
Mn (mg/kg)	745	501
N (%)	2,39	1,85
Ni (mg/kg)	1,80	1,44
P (mg/kg)	2018	1943
Pb (mg/kg)	0,61	0,76
S (mg/kg)	1702	1303
Zn (mg/kg)	170	145

* srovnání bylo provedeno ve vzorcích z pěti porostů

Obsahy vápníku se v listových pletivech břízy postupně zvyšují po dobu pozorování. Podobné zvyšování je zaznamenáno i u hořčíku (Obr. 15). Tyto změny v úrovni výživy břízy považujeme za kladný vliv dodaného dolomitického vápence.



Obr. 15: Obsah vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) v listech břízy bělokora vápněných porostů

Negativním vlivem vápnění může být významné snížení obsahů síry v listech břízy (Tab. 15). Snížená hodnota z roku 2022 převyšuje předpokládaný nedostatek v úrovni výživy břízy sírou (1000 mg.kg^{-1} , Tab. 14). Potřeba síry pro výživu by tedy neměla být narušena.

Obsahy hliníku kolísají v průběhu pozorování a obsahy zinku se nevýznamně snižují v tomto období.

Významné změny nejsou zjištěny v obsazích železa a rizikových prvků (kadmia, chromu, mědi, niklu a olova).

Negativním vlivem vápnění na výživu břízy je pravděpodobně významné snížení obsahů boru v listech břízy (Tab. 15). To je v rozporu s vývojem u smrku, kde se obsah boru zvyšuje (Tab. 12). V dalším šetření je třeba otázce boru u obou dřevin věnovat zvláštní pozornost.

5. ZÁVĚR

Posouzení vlivu vápnění na lokalitě „Kryštofovy Hamry A, Vejprty B a Kovářská A“ bylo v první etapě šetření poznamenáno nižší mocností nadložního organického horizontu spjaté s významným úbytkem nadložního organického materiálu. K hodnocení chemických vlastností v nadložních organických horizontech tedy přistupujeme s ohledem na tento vývoj. Po pěti letech od vápnění není zjištěn významný úbytek nadložního organického materiálu ani spalitelného uhlíku v šetřených půdních horizontech.

Jasným důkazem účinku dolomitického vápence na dané lokalitě jsou vyšší hodnoty chemické půdní reakce aktivní i výměnné v nadložních organických horizontech a u reakce aktivní i v horizontech organominerálních.

Postupující vliv vápnění v půdních profilech se projevuje i ve vyšších hodnotách obsahů celkových i přístupných forem vápníku a hořčíku. V sycení půdního sorpčního komplexu kationty těchto prvků se tento vliv projevuje vyššími hodnotami především v organominerálních a v případě rychleji postupujícího hořčíku i v minerálních horizontech půdních profilů. Postup bazických kationtů se projevuje i významným zvýšením celkové nasycenosti půdního sorpčního komplexu prozatím jen v organominerálních horizontech. Možné negativní dopady vápnění na obsahy makroživin v půdním prostředí nejsou zjištěny. Kladný vliv vápnění se v organominerálních horizontech projevuje i vytěsňováním kationtu hliníku ze sorpčního komplexu.

V oblasti úrovně výživy dřevin se významně zvyšuje úroveň výživy vápníkem a hořčíkem. Účinnost vápnění zde ovšem není zcela průkazná, protože podobná zvýšení jsou zjištěna i na stanovištích kontrolních.

Možným negativním projevem vápnění je snižování úrovně výživy smrku fosforem a draslíkem. Snižování úrovně výživy draslíkem je zaznamenáno také u břízy, kde se navíc projevuje úbytek boru.

Nižší úroveň výživy u fosforu, draslíku, případně boru bývá průvodním negativním projevem vápnění lesa, ale má pravděpodobně dočasné trvání. Výslednou podobu vlivu vápnění na chemismus půdního prostředí a úroveň výživy dřevin přinese následující konečné šetření po deseti letech od vápnění.

V budoucím šetření je třeba sledovat možné negativní dopady vápnění na půdu jako je např. snížení obsahu draslíku a fosforu. Při odběru vzorků je nutné hodnotit vliv případných péstebních zásahů na stav lesních porostů, zakmenění, zápoj korun a popis přízemní vegetace.

Podle uvedeného dosavadního hodnocení lze považovat vápnění na lokalitě „Kryštofovy Hamry A, Vejprty B a Kovářská A“ jako úspěšné.

6. LITERATURA

ČURLÍK J., 2011. Potenciálne toxické stopové prvky a ich distribúcia v pôdach Slovenska. Prírodovedecká fakulta University Komenského v Bratislave. 462s.

FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A., 2013: Průzkum výživy lesa v České republice 1996 – 2011. Brno, ÚKZÚZ: 148 s.

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

PABIAN S.E., RUMMEL S.M., SHARPR W.E AND BRITTINGHAM M.C., 2012: Terrestrial Liming As a Restoration Technique for Acidified Forest Ecosystems, International Journal of Forestry Research, Vol, 2012, 10 p.

REININGER D., FIALA P., MORÁVKOVÁ P., SVOBODA T., 2023: Analýza a vyhodnocení účinnosti a kvality leteckého vápnění v Krušných horách „Litvínov A, Jirkov A, Hora Sv. Kateřiny A“ pět let po vápnění. ÚKZÚZ, 54 s.

ŠRÁMEK V., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R., 2009: Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – Literární přehled. Zprávy lesnického výzkumu, 54 str. 307 - 315.

7. PŘÍLOHY

7.1. Popisné statistiky

7.1.1. Nadložní organický horizont

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – kontrolní porosty (2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus (t/ha)	6	113	110	83,2	153	98,2	125
pH _{CaCl2}	6	3,41	3,38	3,21	3,68	3,32	3,49
pH _{H2O}	6	4,21	4,29	4,02	4,31	4,06	4,30
N (%)	6	1,20	1,26	0,93	1,36	1,06	1,32
C _{OX} (%)	6	21,9	22,1	15,6	32,2	16,9	22,7
C/N	6	18,3	16,8	13,7	25,0	16,7	21,0
Al _{dus} (mg/kg)	6	7371	6982	4827	10150	5543	9744
B _{dus} (mg/kg)	6	1,28	1,26	0,97	1,73	1,06	1,41
Ca _{dus} (mg/kg)	6	1602	1554	376	3194	575	2359
Cd _{dus} (mg/kg)	6	0,30	0,28	0,16	0,49	0,18	0,41
Cr _{dus} (mg/kg)	6	9,15	9,13	5,57	12,4	6,76	11,9
Cu _{dus} (mg/kg)	6	9,12	9,21	5,62	12,9	7,44	10,3
Fe _{dus} (mg/kg)	6	10607	10263	4789	15770	7047	15510
K _{dus} (mg/kg)	6	1347	1428	651	1798	1044	1733
Mg _{dus} (mg/kg)	6	1115	1048	505	1870	540	1679
Mn _{dus} (mg/kg)	6	203	107	32,3	745	77,9	152
P _{dus} (mg/kg)	6	1137	1002	843	1911	943	1121
Pb _{dus} (mg/kg)	6	148	127	64,9	284	114	171
Zn _{dus} (mg/kg)	6	58,6	53,6	23,9	124	30,6	66,3

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus (t/ha)	10	100	96,5	51,2	155	72,5	132
pH _{CaCl2}	10	4,67	4,52	3,66	5,62	4,30	5,16
pH _{H2O}	10	5,25	5,16	4,44	6,11	4,78	5,72
N (%)	10	1,05	1,04	0,88	1,25	0,94	1,12
C _{OX} (%)	10	19,3	19,3	15,4	23,2	16,8	21,6
C/N	10	18,5	18,8	15,8	22,0	16,4	20,1
Al _{dus} (mg/kg)	10	7627	7624	6099	9313	6971	8018
B _{dus} (mg/kg)	10	1,73	1,72	1,04	2,70	1,59	1,79
Ca _{dus} (mg/kg)	10	5811	5102	1706	12290	3273	7646
Cd _{dus} (mg/kg)	10	0,29	0,31	0,15	0,45	0,19	0,34
Cr _{dus} (mg/kg)	10	9,84	10,0	6,84	13,5	8,48	10,5
Cu _{dus} (mg/kg)	10	7,10	7,29	4,09	8,88	6,66	7,72
Fe _{dus} (mg/kg)	10	10501	10635	7747	13110	9224	11490
K _{dus} (mg/kg)	10	1519	1495	1239	1826	1356	1670
Mg _{dus} (mg/kg)	10	2749	2258	1483	5641	1642	3537
Mn _{dus} (mg/kg)	10	296	319	109	386	253	371
P _{dus} (mg/kg)	10	1008	968	920	1227	936	1093
Pb _{dus} (mg/kg)	10	90,2	91,1	33,4	141	72,2	104
Zn _{dus} (mg/kg)	10	48,6	47,1	36,7	64,3	39,4	58,1

7.1.2. Horizont organominerální

Popisné statistiky – horizont organominerální – kontrolní porosty (2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	6	3,57	3,51	3,31	3,96	3,45	3,69
pH _{H2O}	6	4,36	4,32	4,13	4,85	4,18	4,38
Vým. Acidita (mekv./kg)	6	139	141	114	154	134	150
Cox (%)	6	5,05	4,93	3,56	6,68	3,82	6,39
N (%)	6	0,32	0,33	0,23	0,41	0,25	0,36
C/N	6	16,2	15,3	11,2	21,8	14,5	18,8
Al _{MIII} (mg/kg)	6	1619	1632	1402	1866	1473	1707
P _{MIII} (mg/kg)	6	10,9	9,33	< 3,5	27,2	4,30	13,5
K _{MIII} (mg/kg)	6	73,4	66,6	46,1	106	60,4	95,0
Ca _{MIII} (mg/kg)	6	422	201	51,3	1712	67,3	301
Mg _{MIII} (mg/kg)	6	115	73,6	32,8	372	40,9	95,0
B _{MIII} (mg/kg)	6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} (mg/kg)	6	532	611	299	635	407	631
S _{MIII} (mg/kg)	6	22,8	21,3	12,6	31,6	19,2	31,1
P _{dus} (mg/kg)	6	300	240	100	711	104	402
K _{dus} (mg/kg)	6	176	167	70,2	310	87,3	254
Mg _{dus} (mg/kg)	6	1033	736	64,9	2877	178	1608
Ca _{dus} (mg/kg)	6	620	296	91,5	2549	103	382
Al _{dus} (mg/kg)	6	5548	5945	2700	8661	3140	6899
Cd _{dus} (mg/kg)	6	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} (mg/kg)	6	6,32	6,21	2,77	9,68	3,44	9,59
Cu _{dus} (mg/kg)	6	7,74	6,85	5,30	12,6	6,81	8,04
Fe _{dus} (mg/kg)	6	12019	11545	1576	22170	7448	17830
Mn _{dus} (mg/kg)	6	338	103	8,26	1572	38,4	203
Pb _{dus} (mg/kg)	6	66,7	64,0	38,7	106	48,0	79,9
Zn _{dus} (mg/kg)	6	27,4	21,6	6,43	61,9	8,35	44,7
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	6	75,5	75,9	58,1	92,6	72,4	77,9
K _{VYM} (mekv./kg)	6	1,38	1,15	0,94	2,07	1,02	1,98
Ca _{VYM} (mekv./kg)	6	22,1	11,1	1,18	89,0	2,07	18,3
Mg _{VYM} (mekv./kg)	6	8,60	5,31	1,40	30,3	1,86	7,40
Na _{VYM} (mekv./kg)	6	0,33	0,31	0,21	0,52	0,23	0,39
Mn _{VYM} (mekv./kg)	6	0,84	0,29	< 0,1	3,69	0,19	0,53
Al _{VYM} (mekv./kg)	6	67,5	66,6	53,8	85,2	64,5	68,5
Fe _{VYM} (mekv./kg)	6	2,95	2,65	< 0,3	5,15	1,99	5,11
CEC (mekv./kg)	6	108	98,1	62,0	194	83,4	112
BS (%)	6	22,9	17,5	6,16	62,7	6,55	26,8
B _{VYM} /Al _{VYM}	6	0,47	0,24	0,07	1,82	0,08	0,41

Popisné statistiky – horizont organominerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	10	3,87	3,76	3,38	4,44	3,58	4,20
pH _{H2O}	10	4,63	4,57	4,13	5,12	4,41	4,90
Vým. Acidita (mekv./kg)	10	146	146	127	179	130	149
CO _x (%)	10	5,24	5,14	4,35	6,22	4,79	6,00
N (%)	10	0,31	0,30	0,28	0,38	0,29	0,36
C/N	10	16,7	16,7	15,5	17,8	16,2	17,1
Al _{III} (mg/kg)	10	1435	1377	1266	2043	1305	1419
P _{III} (mg/kg)	10	13,3	10,0	4,68	34,6	6,00	18,6
K _{III} (mg/kg)	10	93,6	96,1	67,4	122	71,9	113
Ca _{III} (mg/kg)	10	741	673	199	1754	330	1136
Mg _{III} (mg/kg)	10	385	265	86,3	1002	228	449
B _{III} (mg/kg)	10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,52	< 0,5	< 0,5
Fe _{III} (mg/kg)	10	601	595	536	693	569	634
S _{III} (mg/kg)	10	20,2	19,7	11,0	29,9	15,7	24,0
P _{dus} (mg/kg)	10	231	201	136	422	190	247
K _{dus} (mg/kg)	10	162	152	108	244	124	201
Mg _{dus} (mg/kg)	10	664	549	191	1236	407	1141
Ca _{dus} (mg/kg)	10	982	803	291	2631	419	1523
Al _{dus} (mg/kg)	10	3850	3643	2636	5487	3411	4111
Cd _{dus} (mg/kg)	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,42	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} (mg/kg)	10	5,20	5,29	3,25	7,70	3,81	6,32
Cu _{dus} (mg/kg)	10	6,26	5,96	3,54	10,9	5,40	6,74
Fe _{dus} (mg/kg)	10	10262	10740	5549	12750	9318	12140
Mn _{dus} (mg/kg)	10	151	157	44,5	230	131	191
Pb _{dus} (mg/kg)	10	78,0	76,0	37,1	105	70,8	93,7
Zn _{dus} (mg/kg)	10	12,4	11,1	9,13	20,7	10,1	14,1
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	10	49,5	57,8	15,3	75,3	26,4	63,3
K _{VYM} (mekv./kg)	10	2,07	2,26	1,44	2,65	1,48	2,53
Ca _{VYM} (mekv./kg)	10	48,6	39,4	11,2	142	21,6	71,7
Mg _{VYM} (mekv./kg)	10	39,9	27,7	6,50	111	17,7	48,6
Na _{VYM} (mekv./kg)	10	0,29	0,28	0,13	0,48	0,23	0,31
Mn _{VYM} (mekv./kg)	10	0,88	0,82	< 0,1	1,53	0,74	1,34
Al _{VYM} (mekv./kg)	10	42,7	51,6	10,9	65,3	21,0	54,9
Fe _{VYM} (mekv./kg)	10	2,36	2,71	0,33	4,58	0,68	3,87
CEC (mekv./kg)	10	140	128	81,4	271	105	155
BS (%)	10	57,2	54,9	20,4	94,1	40,6	82,3
Bc _{VYM} /Al _{VYM}	10	5,06	1,39	0,29	22,7	0,79	5,84

7.1.3. Horizont minerální

Popisné statistiky – horizont minerální – kontrolní porosty (2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	6	3,74	3,71	3,33	4,19	3,56	3,95
pH _{H2O}	6	4,56	4,52	4,14	5,21	4,39	4,56
Vým. Acidita (mekv./kg)	6	112	94,8	73,6	200	84,0	124
Cox (%)	6	3,56	3,16	2,37	6,67	2,50	3,51
N (%)	6	0,22	0,20	0,17	0,34	0,18	0,27
C/N	6	16,0	16,9	8,94	20,6	12,5	19,9
Al _{MIII} (mg/kg)	6	1462	1545	1147	1672	1199	1662
P _{MIII} (mg/kg)	6	12,1	7,86	< 3,5	37,9	4,25	13,1
K _{MIII} (mg/kg)	6	49,5	41,1	21,4	86,0	34,8	72,5
Ca _{MIII} (mg/kg)	6	456	86,8	< 30	2159	35,5	353
Mg _{MIII} (mg/kg)	6	122	27,6	16,9	470	19,2	169
B _{MIII} (mg/kg)	6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} (mg/kg)	6	461	451	302	665	319	578
S _{MIII} (mg/kg)	6	24,2	16,7	10,7	49,9	12,8	38,7
P _{dus} (mg/kg)	6	301	166	58,0	947	89,5	380
K _{dus} (mg/kg)	6	150	146	35,8	284	59,8	230
Mg _{dus} (mg/kg)	6	1099	757	38,0	3119	95,6	1826
Ca _{dus} (mg/kg)	6	734	156	96,8	3443	107	443
Al _{dus} (mg/kg)	6	5054	4865	1960	8660	2056	7920
Cd _{dus} (mg/kg)	6	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} (mg/kg)	6	5,03	4,22	1,40	10,0	2,47	7,84
Cu _{dus} (mg/kg)	6	5,89	5,63	1,87	12,7	2,62	6,85
Fe _{dus} (mg/kg)	6	10141	12085	526	19500	3771	12880
Mn _{dus} (mg/kg)	6	317	84,5	2,87	1399	37,2	297
Pb _{dus} (mg/kg)	6	47,2	37,8	10,6	95,2	23,4	78,5
Zn _{dus} (mg/kg)	6	26,4	21,0	4,92	71,2	4,96	35,2
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	6	56,0	51,9	37,3	89,1	43,7	61,9
K _{VYM} (mekv./kg)	6	0,87	0,60	0,27	1,60	0,53	1,59
Ca _{VYM} (mekv./kg)	6	22,9	3,99	< 1,0	106	1,33	21,6
Mg _{VYM} (mekv./kg)	6	10,3	1,79	0,82	42,3	0,84	14,1
Na _{VYM} (mekv./kg)	6	0,27	0,19	0,14	0,63	0,17	0,33
Mn _{VYM} (mekv./kg)	6	--	0,19	< 0,1	1,75	< 0,1	0,54
Al _{VYM} (mekv./kg)	6	49,9	46,2	33,9	76,5	40,9	55,7
Fe _{VYM} (mekv./kg)	6	1,99	1,01	< 0,3	7,55	0,44	1,79
CEC (mekv./kg)	6	90,2	65,5	38,8	194	50,5	127
BS (%)	6	23,2	9,79	5,73	77,5	6,55	29,7
B _{VYM} /Al _{VYM}	6	0,75	0,12	0,06	3,67	0,06	0,49

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont minerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	10	3,88	3,90	3,73	4,01	3,78	3,97
pH _{H2O}	10	4,74	4,76	4,48	4,84	4,72	4,81
Vým. Acidita (mekv./kg)	10	98,6	103	85,6	114	88,8	105
CO _x (%)	10	3,06	2,96	1,46	4,73	2,42	3,82
N (%)	10	0,18	0,19	0,12	0,26	0,16	0,22
C/N	10	16,4	17,0	12,2	19,2	15,3	17,9
Al _{III} (mg/kg)	10	1697	1686	1421	2041	1622	1750
P _{III} (mg/kg)	10	8,31	5,14	< 3,5	21,7	3,71	11,8
K _{III} (mg/kg)	10	55,4	53,3	39,1	77,0	46,6	64,4
Ca _{III} (mg/kg)	10	215	186	98,6	362	116	301
Mg _{III} (mg/kg)	10	119	120	41,2	228	61,6	153
B _{III} (mg/kg)	10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{III} (mg/kg)	10	517	514	399	633	462	548
S _{III} (mg/kg)	10	23,8	22,4	12,2	42,6	20,4	26,0
P _{dus} (mg/kg)	10	193	181	88,0	331	136	250
K _{dus} (mg/kg)	10	142	139	71,1	224	92,8	190
Mg _{dus} (mg/kg)	10	586	557	119	1156	427	697
Ca _{dus} (mg/kg)	10	296	259	118	484	209	425
Al _{dus} (mg/kg)	10	5454	5618	3119	8434	4300	6173
Cd _{dus} (mg/kg)	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} (mg/kg)	10	7,01	7,07	3,18	10,5	6,17	8,57
Cu _{dus} (mg/kg)	10	5,01	5,03	2,69	7,24	4,69	5,66
Fe _{dus} (mg/kg)	10	12572	12350	6076	19430	9168	15470
Mn _{dus} (mg/kg)	10	276	260	68,1	491	167	356
Pb _{dus} (mg/kg)	10	42,9	40,5	31,7	77,0	32,0	45,3
Zn _{dus} (mg/kg)	10	15,4	13,9	8,90	22,1	12,2	21,4
(Al+H) _{VYM} (mekv./kg)	10	53,3	53,3	38,0	66,7	48,1	57,9
K _{VYM} (mekv./kg)	10	1,01	0,97	0,64	1,59	0,70	1,24
Ca _{VYM} (mekv./kg)	10	11,3	9,85	3,29	19,6	6,33	16,6
Mg _{VYM} (mekv./kg)	10	8,75	8,78	2,76	17,3	4,04	11,4
Na _{VYM} (mekv./kg)	10	0,16	0,15	0,09	0,25	0,12	0,17
Mn _{VYM} (mekv./kg)	10	0,47	0,49	0,10	0,82	0,21	0,64
Al _{VYM} (mekv./kg)	10	49,7	50,6	34,8	61,0	45,6	52,0
Fe _{VYM} (mekv./kg)	10	0,89	0,56	< 0,3	2,84	0,35	1,02
CEC (mekv./kg)	10	74,6	75,1	50,4	89,6	70,1	79,9
BS (%)	10	27,7	26,6	13,9	45,8	16,2	39,9
Bc _{VYM} /Al _{VYM}	10	0,45	0,39	0,18	0,92	0,20	0,69

7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - kontrolní porosty (2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al (mg/kg)	6	97,4	103	45,2	130	78,5	125
B (mg/kg)	6	15,5	16,4	10,6	18,8	13,3	17,5
Ca (mg/kg)	6	4213	4068	2737	6010	3250	5146
Cd (mg/kg)	6	--	0,05	< 0,02	0,15	< 0,02	0,10
Cr (mg/kg)	6	0,18	0,18	0,15	0,21	0,16	0,20
Cu (mg/kg)	6	2,43	2,40	2,18	2,69	2,32	2,58
Fe (mg/kg)	6	42,8	41,9	35,7	51,9	37,3	48,1
K (mg/kg)	6	5094	5001	4404	6077	4480	5602
Mg (mg/kg)	6	1125	1141	960	1280	1029	1199
Mn (mg/kg)	6	625	700	100	1167	274	809
N (%)	6	1,26	1,26	1,15	1,38	1,21	1,30
Ni (mg/kg)	6	1,41	1,23	0,30	2,70	0,63	2,40
P (mg/kg)	6	1545	1509	1273	1873	1454	1653
Pb (mg/kg)	6	< 0,2	0,21	< 0,2	0,30	< 0,2	0,25
S (mg/kg)	6	920	930	852	1003	853	952
Zn (mg/kg)	6	34,4	34,0	26,9	44,4	27,2	39,7
N/Ca	6	3,21	3,22	2,30	4,20	2,35	3,97
N/Mg	6	11,3	11,0	9,59	14,4	10,2	11,9
P/Zn	6	45,7	45,9	37,2	54,2	43,6	47,2
K/Ca	6	1,30	1,18	0,91	1,80	0,98	1,72
K/Mg	6	4,60	4,30	3,50	6,33	4,12	5,06
S/Ca	6	0,23	0,23	0,17	0,31	0,18	0,29
S/Mg	6	0,83	0,78	0,71	1,04	0,74	0,91
S/N	6	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
N/P	6	8,22	7,96	7,37	9,58	7,53	8,94
N/K	6	2,49	2,36	2,27	2,90	2,30	2,77
Ca/Mg	6	3,86	3,66	2,28	6,26	2,59	4,68

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al (mg/kg)	10	67,8	70,9	41,7	101	54,1	77,3
B (mg/kg)	10	13,9	14,2	8,75	17,9	12,4	16,6
Ca (mg/kg)	10	4877	4801	3723	5982	3993	5779
Cd (mg/kg)	10	0,05	0,03	< 0,02	0,15	0,02	0,07
Cr (mg/kg)	10	0,16	0,17	0,11	0,18	0,15	0,18
Cu (mg/kg)	10	2,38	2,35	2,27	2,69	2,29	2,39
Fe (mg/kg)	10	45,3	44,0	36,9	64,3	40,4	47,6
K (mg/kg)	10	5619	5373	4959	7520	5135	5793
Mg (mg/kg)	10	1148	1178	970	1256	1093	1222
Mn (mg/kg)	10	269	265	73,2	493	162	388
N (%)	10	1,33	1,32	1,24	1,44	1,28	1,35
Ni (mg/kg)	10	0,53	0,36	0,19	1,11	0,32	0,70
P (mg/kg)	10	1524	1491	1308	1751	1319	1741
Pb (mg/kg)	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,24	< 0,2	0,22
S (mg/kg)	10	916	922	860	954	888	945
Zn (mg/kg)	10	37,1	34,7	28,1	57,5	29,1	42,6
N/Ca	10	2,81	2,80	2,07	3,61	2,27	3,43
N/Mg	10	11,6	11,7	10,4	13,4	10,6	12,4
P/Zn	10	43,2	45,8	29,7	60,2	30,8	52,3
K/Ca	10	1,20	1,10	0,83	2,02	1,03	1,35
K/Mg	10	4,97	4,79	3,95	7,75	4,24	5,26
S/Ca	10	0,19	0,19	0,15	0,25	0,16	0,23
S/Mg	10	0,80	0,80	0,68	0,94	0,76	0,81
S/N	10	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07
N/P	10	8,81	8,96	7,31	10,3	7,75	9,54
N/K	10	2,39	2,48	1,70	2,66	2,21	2,61
Ca/Mg	10	4,24	4,19	3,27	5,12	3,83	4,60

7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – kontrolní porosty (2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al (mg/kg)	6	121	128	49,1	178	90,2	153
B (mg/kg)	6	13,8	14,6	9,15	16,6	11,2	16,5
Ca (mg/kg)	6	6465	6150	3531	10090	3729	9140
Cd (mg/kg)	6	--	0,05	< 0,02	0,12	< 0,02	0,09
Cr (mg/kg)	6	0,19	0,18	0,14	0,24	0,15	0,23
Cu (mg/kg)	6	1,97	2,00	1,63	2,32	1,69	2,15
Fe (mg/kg)	6	47,2	47,8	37,2	56,4	44,9	49,3
K (mg/kg)	6	4248	3877	3662	5444	3719	4906
Mg (mg/kg)	6	1052	1074	824	1231	894	1216
Mn (mg/kg)	6	835	868	152	1820	323	980
N (%)	6	1,13	1,15	0,98	1,21	1,10	1,19
Ni (mg/kg)	6	0,87	0,73	0,20	1,70	0,36	1,51
P (mg/kg)	6	1246	1192	983	1584	1167	1361
Pb (mg/kg)	6	0,25	0,26	< 0,2	0,30	0,25	0,30
S (mg/kg)	6	852	873	721	920	806	920
Zn (mg/kg)	6	33,4	31,2	26,5	43,5	27,1	40,7
N/Ca	6	2,02	1,95	1,17	2,98	1,30	2,78
N/Mg	6	26,3	12,8	6,48	78,2	10,0	37,5
P/Zn	6	37,8	36,7	33,4	44,3	36,1	39,5
K/Ca	6	0,77	0,66	0,41	1,32	0,51	1,08
K/Mg	6	4,23	3,54	3,02	6,61	3,19	5,49
S/Ca	6	0,15	0,15	0,09	0,22	0,10	0,20
S/Mg	6	0,83	0,81	0,60	1,12	0,75	0,90
S/N	6	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08
N/P	6	9,22	9,22	7,45	11,2	8,16	10,1
N/K	6	2,71	2,79	2,17	3,20	2,26	3,07
Ca/Mg	6	6,42	5,81	2,96	12,2	4,17	7,54

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al (mg/kg)	10	76,0	70,5	46,2	110	63,5	95,5
B (mg/kg)	10	11,7	11,0	7,49	15,9	9,18	14,8
Ca (mg/kg)	10	6739	6835	5161	8354	5992	7340
Cd (mg/kg)	10	0,05	0,03	< 0,02	0,17	0,02	0,06
Cr (mg/kg)	10	0,17	0,16	0,13	0,27	0,14	0,18
Cu (mg/kg)	10	2,00	1,97	1,76	2,48	1,86	2,12
Fe (mg/kg)	10	48,5	46,7	38,0	62,3	40,5	53,3
K (mg/kg)	10	4692	4586	3970	6072	4168	4792
Mg (mg/kg)	10	1085	1111	804	1249	1013	1193
Mn (mg/kg)	10	334	324	77,5	602	198	518
N (%)	10	1,19	1,19	1,10	1,27	1,14	1,26
Ni (mg/kg)	10	0,40	0,30	0,18	0,88	0,27	0,47
P (mg/kg)	10	1301	1299	1051	1578	1126	1512
Pb (mg/kg)	10	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,25	< 0,2	0,23
S (mg/kg)	10	870	873	822	913	840	902
Zn (mg/kg)	10	34,0	30,8	21,5	59,8	25,0	38,5
N/Ca	10	1,81	1,79	1,46	2,29	1,53	2,10
N/Mg	10	53,2	38,8	19,9	147	24,3	63,5
P/Zn	10	41,6	40,7	25,1	60,8	30,9	55,1
K/Ca	10	0,72	0,68	0,52	1,15	0,62	0,73
K/Mg	10	4,42	4,01	3,24	6,40	3,78	4,96
S/Ca	10	0,13	0,13	0,11	0,17	0,11	0,14
S/Mg	10	0,82	0,79	0,66	1,09	0,73	0,83
S/N	10	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
N/P	10	9,33	9,53	7,48	12,0	8,20	9,77
N/K	10	2,59	2,51	1,88	3,17	2,48	2,81
Ca/Mg	10	6,23	6,33	5,02	7,46	5,56	6,66

7.1.6. Bříza bělokorá - listy

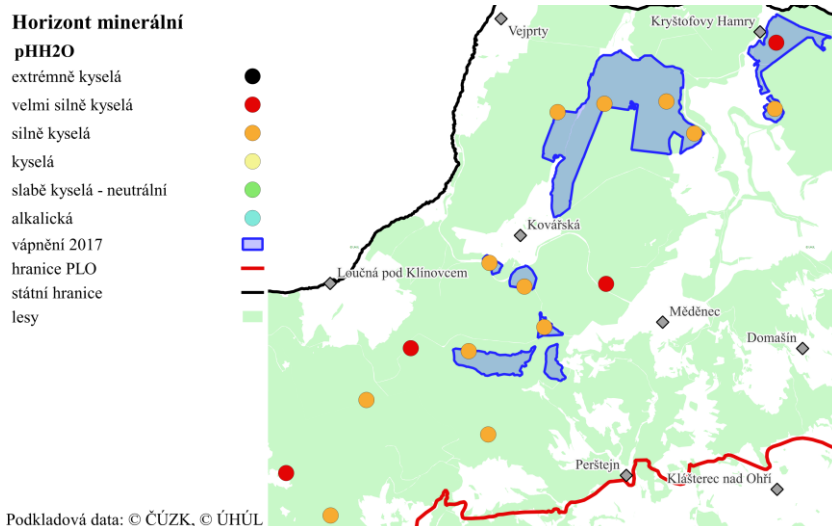
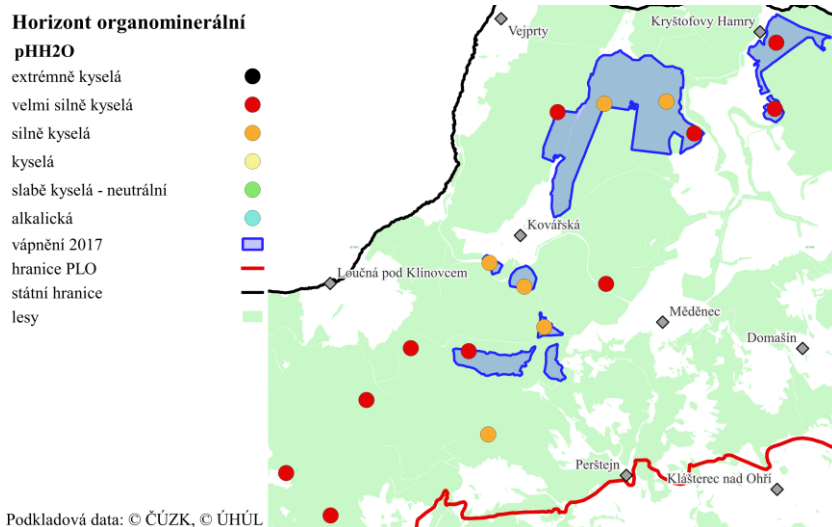
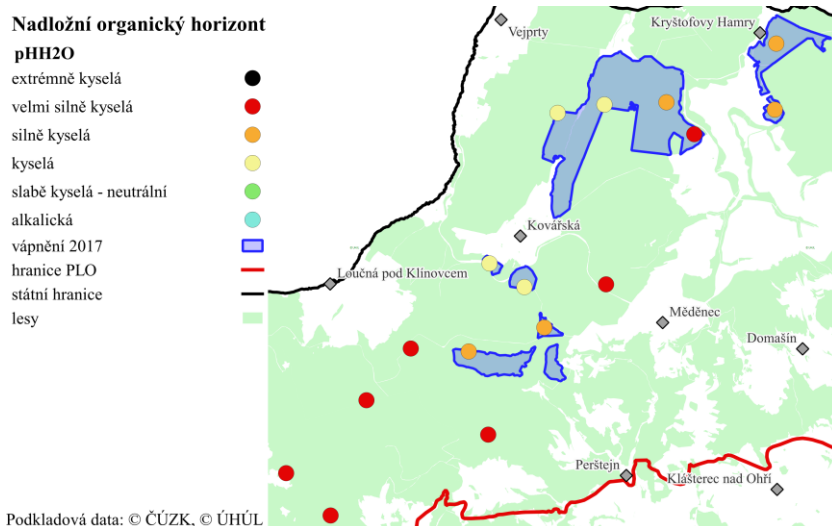
Popisné statistiky – bříza bělokorá (listy) – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2022)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al (mg/kg)	9	52,7	54,1	27,8	75,7	39,5	63,1
B (mg/kg)	9	17,2	18,0	13,8	20,0	15,7	19,0
Ca (mg/kg)	9	8572	8457	7274	10480	8162	8718
Cd (mg/kg)	9	0,19	0,20	0,08	0,38	0,08	0,27
Cr (mg/kg)	9	0,24	0,23	0,16	0,33	0,22	0,26
Cu (mg/kg)	9	4,31	4,34	3,63	4,94	4,03	4,48
Fe (mg/kg)	9	74,2	73,1	58,9	91,0	64,3	84,2
K (mg/kg)	9	5076	4954	4408	6548	4639	5298
Mg (mg/kg)	9	3475	3333	2341	4314	3254	4053
Mn (mg/kg)	9	628	795	191	1074	291	902
N (%)	9	1,86	1,85	1,76	2,01	1,77	1,89
Ni (mg/kg)	9	1,30	1,07	0,70	2,32	0,87	1,50
P (mg/kg)	9	1881	2088	981	2258	1613	2208
Pb (mg/kg)	9	0,72	0,70	0,30	1,01	0,62	0,88
S (mg/kg)	9	1303	1287	1185	1424	1253	1371
Zn (mg/kg)	9	156	154	104	220	132	170
N/Ca	9	2,18	2,18	1,92	2,54	2,17	2,19
N/Mg	9	5,52	5,31	4,20	8,07	4,93	5,59
P/Zn	9	12,7	13,6	4,46	16,9	11,8	14,8
K/Ca	9	0,60	0,60	0,42	0,75	0,55	0,65
K/Mg	9	1,54	1,35	1,08	2,80	1,24	1,63
S/Ca	9	0,15	0,16	0,13	0,16	0,15	0,16
S/Mg	9	0,39	0,36	0,28	0,60	0,35	0,39
S/N	9	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
N/P	9	10,5	8,86	8,02	17,9	8,37	11,5
N/K	9	3,71	3,66	2,89	4,53	3,58	3,99
Ca/Mg	9	2,54	2,51	1,92	3,72	2,25	2,60

7.2. Kartogramy

7.2.1. pH_{H2O}

Kartogramy hodnocení půdní reakce podle pH_{H2O} v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)



7.2.2. Vápník

Kartogramy obsahu extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Nadložní organický horizont

Ca_{dus} (mg/kg)

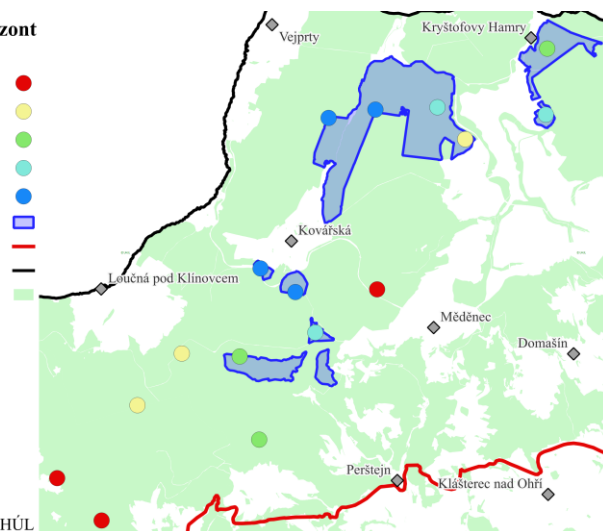
- ≤ 1450 (nedostatečný)
- 1451 - 2670 (nízký)
- 2671 - 4270 (vyhovující)
- 4271 - 6570 (vysoký)
- > 6570 (luxusní)

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont organominerální

Ca_{dus} (mg/kg)

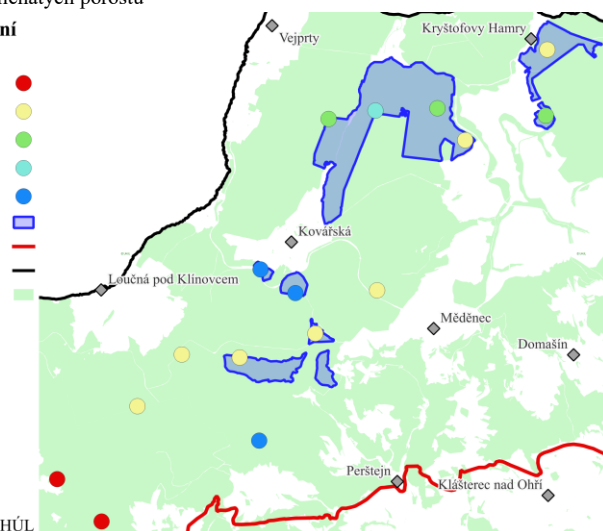
- ≤ 200 (nedostatečný)
- 201 - 650 (nízký)
- 651 - 1100 (vyhovující)
- 1101 - 1550 (vysoký)
- > 1550 (luxusní)

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont minerální

Ca_{dus} (mg/kg)

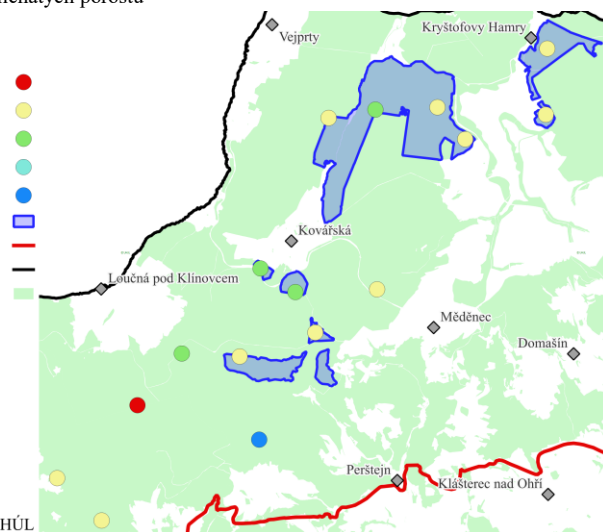
- ≤ 100 (nedostatečný)
- 101 - 350 (nízký)
- 351 - 600 (vyhovující)
- 601 - 850 (vysoký)
- > 850 (luxusní)

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

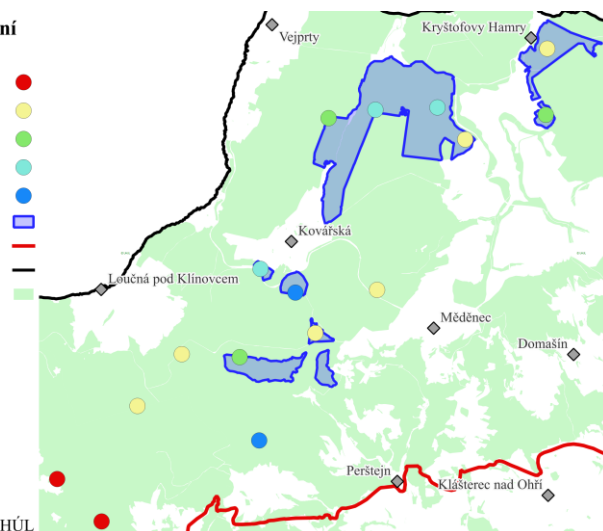
Kartogramy obsahu přístupného vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Horizont organominerální

Ca_{MIII} (mg/kg)

- ≤ 150 (nedostatečný)
- 151 - 350 (nízký)
- 351 - 680 (vyhovující)
- 681 - 1270 (vysoký)
- > 1270 (luxusní)

vápnění 2017
hranice PLO
státní hranice
lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

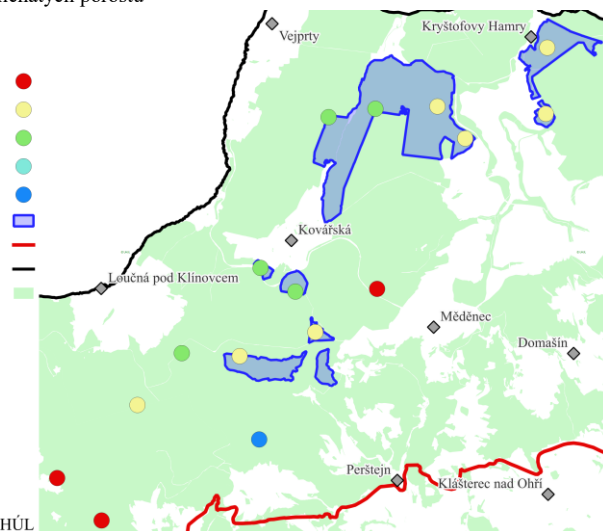
Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont minerální

Ca_{MIII} (mg/kg)

- ≤ 90 (nedostatečný)
- 91 - 250 (nízký)
- 251 - 560 (vyhovující)
- 561 - 1120 (vysoký)
- > 1120 (luxusní)

vápnění 2017
hranice PLO
státní hranice
lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Kartogramy obsahu výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Horizont organominerální

Ca_{VYM} (mekv/kg)

≤ 20

20,1 - 40

40,1 - 60

60,1 - 80

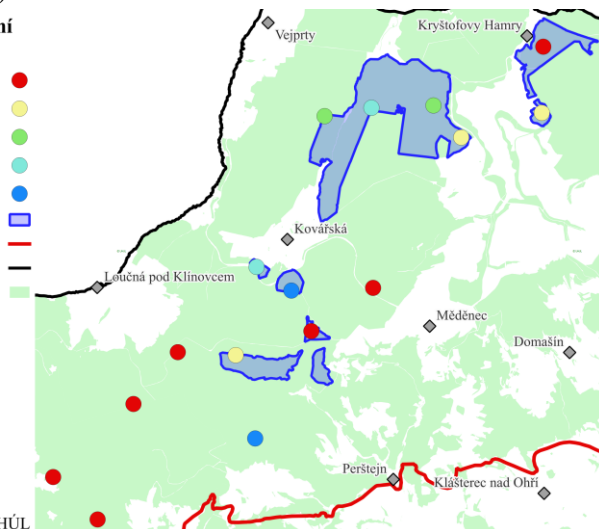
> 80

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Horizont minerální

Ca_{VYM} (mekv/kg)

≤ 5

5,1 - 10

10,1 - 15

15,1 - 20

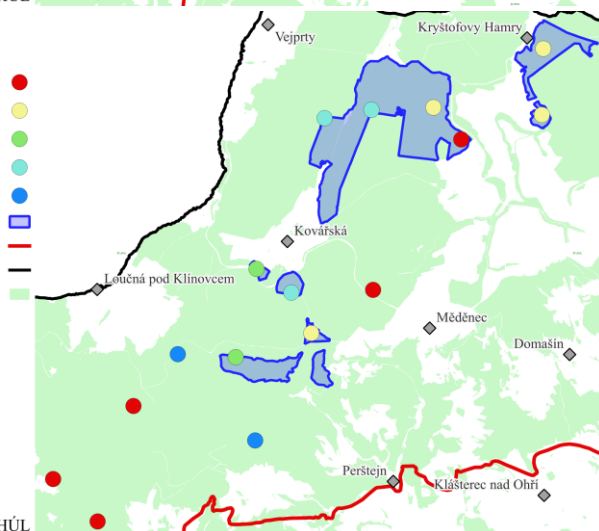
> 20

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy

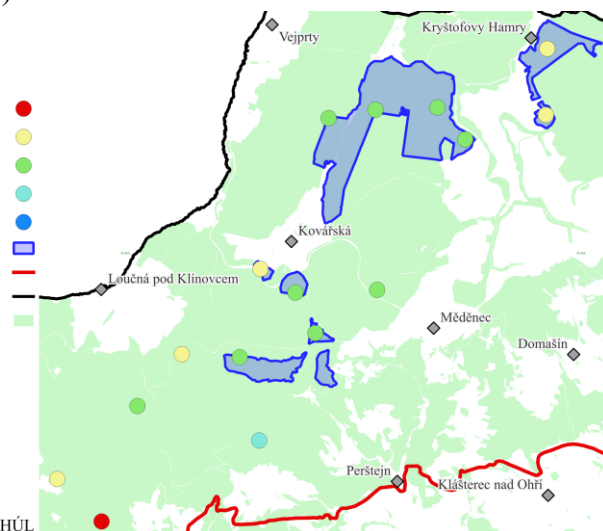


Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Kartogramy obsahu vápníku (Ca) v jehlicích smrku ztepilého a v listech břízy bělokoré pět let po vápnění (2022)

Smrk ztepilý (jehlice běžného roku)

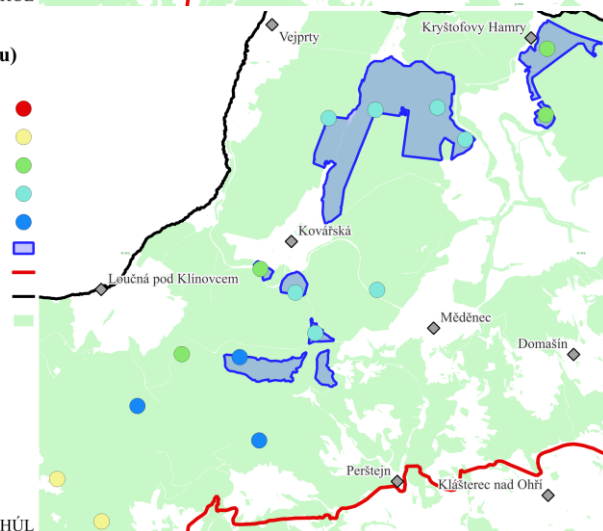
Ca (mg/kg)
 ≤ 3000 (nedostatečný) ●
 3001 - 4500 (nízký) ●
 4501 - 6000 (vyhovující) ●
 6001 - 7500 (vysoký) ●
 > 7500 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)

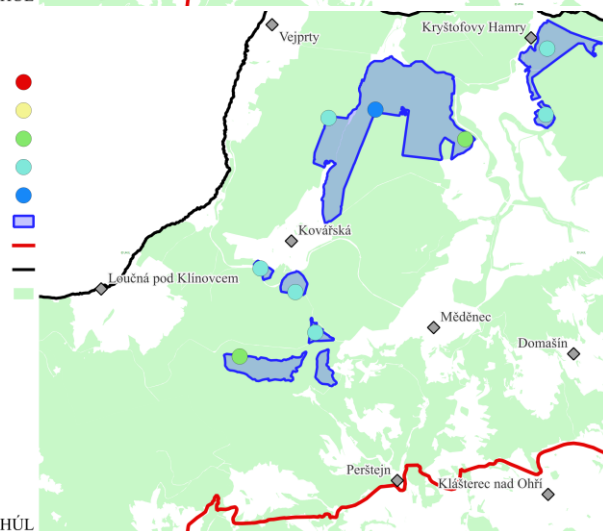
Ca (mg/kg)
 ≤ 3500 (nedostatečný) ●
 3501 - 5000 (nízký) ●
 5001 - 6500 (vyhovující) ●
 6501 - 8000 (vysoký) ●
 > 8000 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Bříza bělokorá (listy)

Ca (mg/kg)
 ≤ 5000 (nedostatečný) ●
 5001 - 6500 (nízký) ●
 6501 - 8000 (vyhovující) ●
 8001 - 9500 (vysoký) ●
 > 9500 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

7.2.3. Hořčík

Kartogramy obsahu extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Nadložní organický horizont

Mg_{dus} (mg/kg)

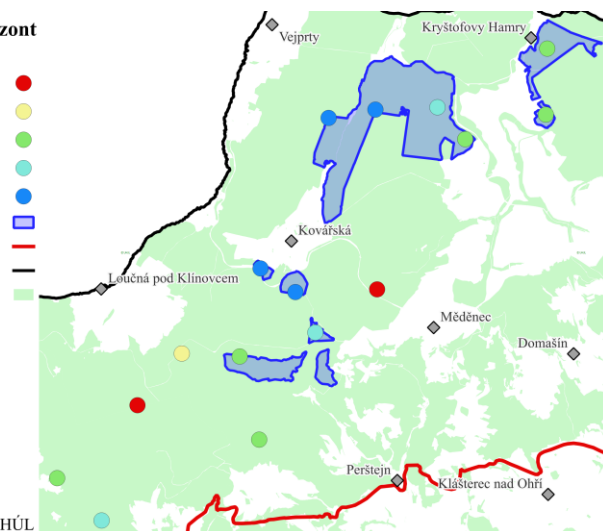
- ≤ 600 (nedostatečný) ●
- 601 - 1100 (nízký) ●
- 1101 - 1770 (vyhovující) ●
- 1771 - 2670 (vysoký) ●
- > 2670 (luxusní) ●

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont organominerální

Mg_{dus} (mg/kg)

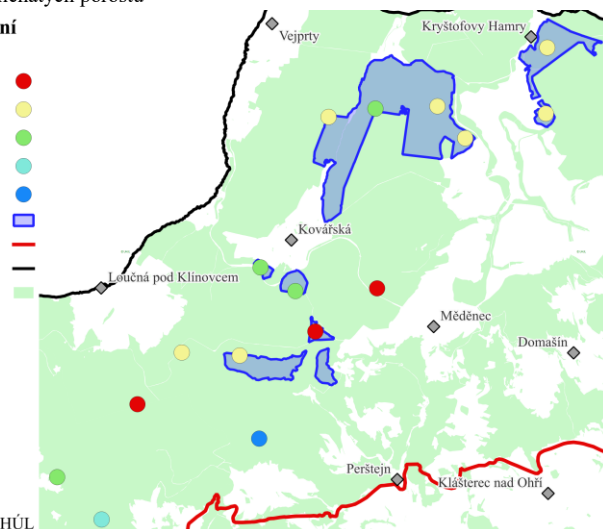
- ≤ 280 (nedostatečný) ●
- 281 - 810 (nízký) ●
- 811 - 1340 (vyhovující) ●
- 1341 - 1870 (vysoký) ●
- > 1870 (luxusní) ●

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont minerální

Mg_{dus} (mg/kg)

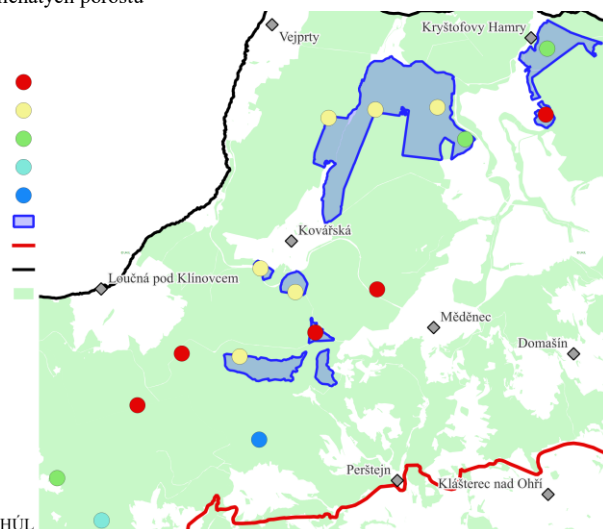
- ≤ 300 (nedostatečný) ●
- 301 - 840 (nízký) ●
- 841 - 1380 (vyhovující) ●
- 1381 - 1920 (vysoký) ●
- > 1920 (luxusní) ●

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

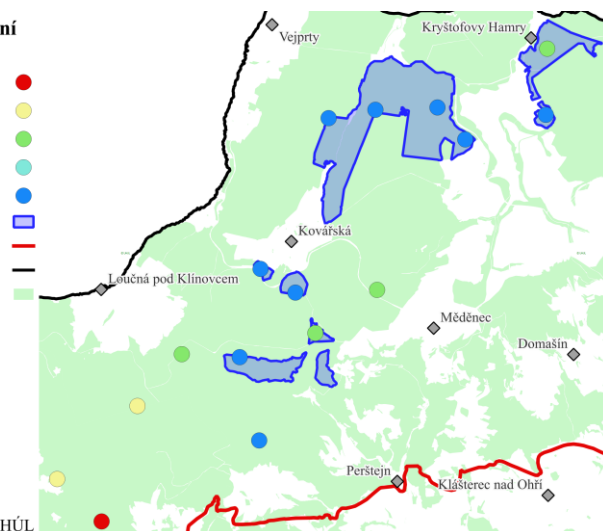
Kartogramy obsahu přístupného hořčíku (Mg_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Horizont organominerální

Mg_{MIII} (mg/kg)

- ≤ 35 (nedostatečný) ●
- 36 - 65 (nízký) ●
- 66 - 120 (vyhovující) ●
- 121 - 220 (vysoký) ●
- > 220 (luxusní) ●

vápnění 2017
hranice PLO
státní hranice
lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

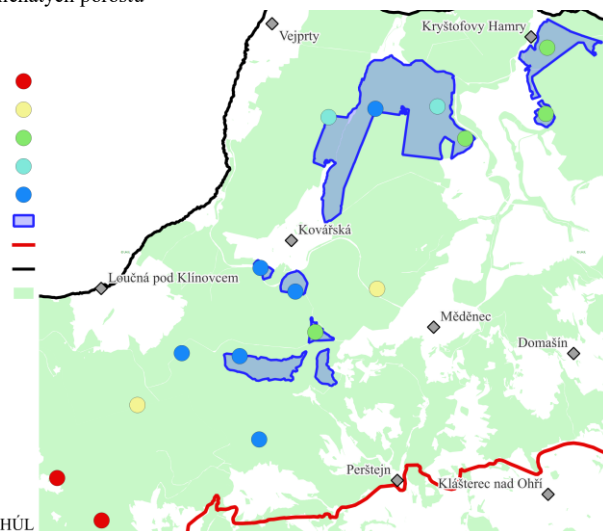
Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Horizont minerální

Mg_{MIII} (mg/kg)

- ≤ 20 (nedostatečný) ●
- 20,1 - 40 (nízký) ●
- 40,1 - 80 (vyhovující) ●
- 80,1 - 140 (vysoký) ●
- > 140 (luxusní) ●

vápnění 2017
hranice PLO
státní hranice
lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Klasifikace podle půd jehličnatých porostů

Kartogramy obsahu výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2022)

Horizont organominerální

Mg_{VYM} (mekv./kg)

≤ 5

5,1 - 10

10,1 - 20

20,1 - 40

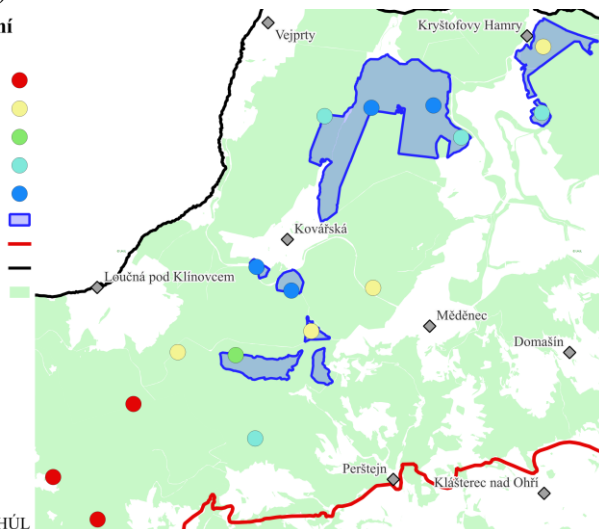
> 40

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Horizont minerální

Mg_{VYM} (mekv./kg)

≤ 4

4,01 - 8

8,01 - 12

12,01 - 16

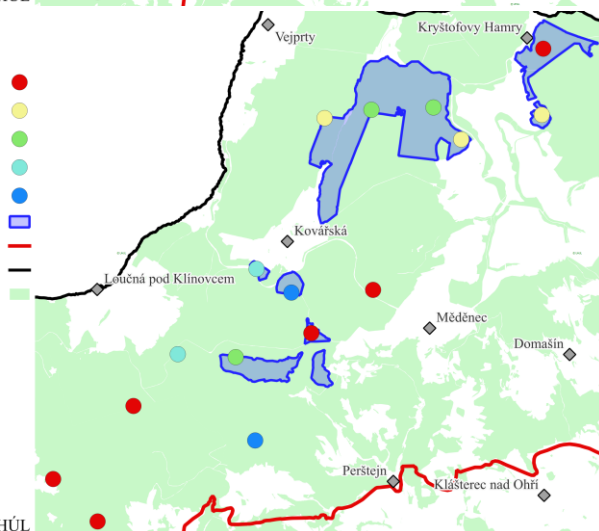
> 16

vápnění 2017

hranice PLO

státní hranice

lesy

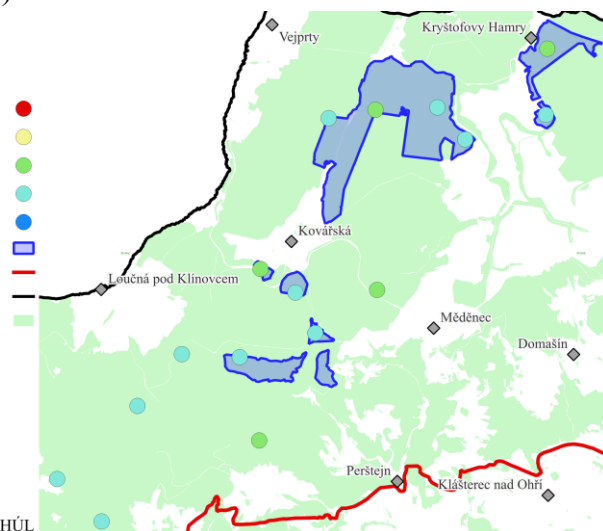


Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Kartogramy obsahu hořčíku (Mg) v jehlicích smrku ztepilého a v listech břízy bělokoré pět let po vápnění (2022)

Smrk ztepilý (jehlice běžného roku)

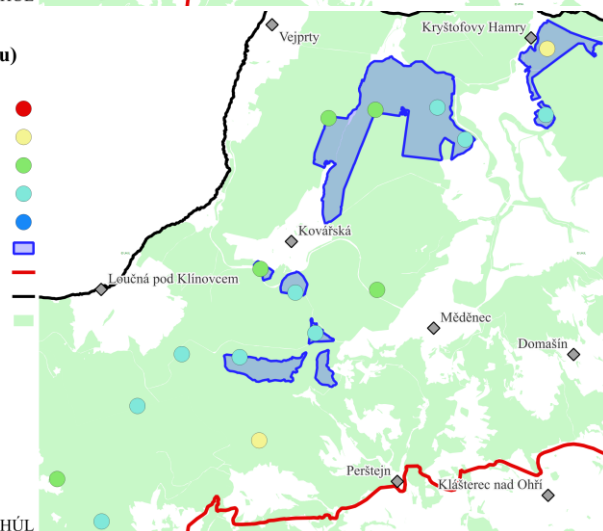
Mg (mg/kg)
 ≤ 600 (nedostatečný) ●
 601 - 850 (nízký) ●
 851 - 1100 (vyhovující) ●
 1101 - 1350 (vysoký) ●
 > 1350 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)

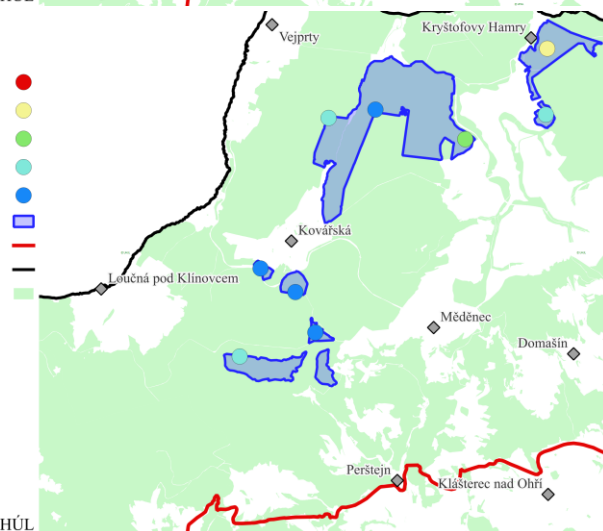
Mg (mg/kg)
 ≤ 600 (nedostatečný) ●
 601 - 850 (nízký) ●
 851 - 1100 (vyhovující) ●
 1101 - 1350 (vysoký) ●
 > 1350 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL

Bříza bělokorá (listy)

Mg (mg/kg)
 ≤ 1900 (nedostatečný) ●
 1901 - 2400 (nízký) ●
 2401 - 2900 (vyhovující) ●
 2901 - 3400 (vysoký) ●
 > 3400 (luxusní) ●
 vápnění 2017
 hranice PLO
 státní hranice
 lesy



Podkladová data: © ČÚZK, © ÚHÚL