

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Oddělení půdy a lesnictví

Central Institute for Supervising
and Testing in Agriculture
ISO 9001 certified



**Analýza a vyhodnocení účinnosti a kvality leteckého
vápnění v Krušných horách
„Vejprty A“
pět let od vápnění**

dle specifikace činností č.j.: MZE-24276/2021-16212, 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

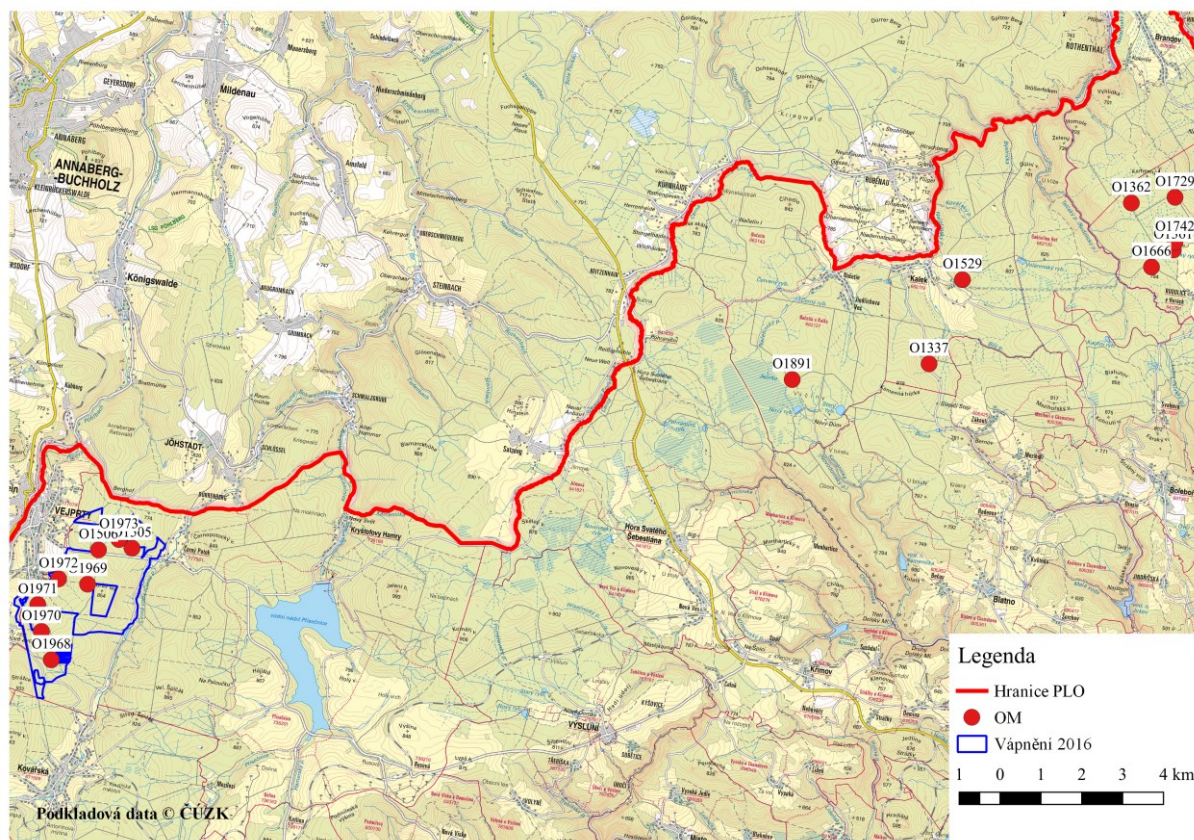
1. Úvod.....	5
2. Metodika.....	6
3. Popis stanovišť	7
4. Výsledky.....	10
4.1. Půdní prostředí	10
4.1.1. Nadložní materiál, uhlík a dusík	10
4.1.2. Půdní chemická reakce.....	10
4.1.3. Fosfor	12
4.1.4 Draslík	12
4.1.5. Vápník	14
4.1.6. Hořčík.....	15
4.1.7. Bór.....	16
4.1.8. Kadmium.....	17
4.1.9. Železo	18
4.1.10. Mangan, olovo a zinek	19
4.1.11. Půdní sorpční komplex.....	19
4.2. Hodnocení obsahu prvků v jehlicích smrku ztepilého	22
4.2.1. Dusík	22
4.2.2. Fosfor	23
4.2.3. Draslík	23
4.2.4. Vápník	24
4.2.5. Hořčík.....	24
4.2.6. Mangan.....	25
4.2.7. Železo	26
4.2.8. Hliník.....	26
4.2.9. Bór.....	26
4.2.10. Kadmium, chróm, měď a nikl	27
4.3. Hodnocení obsahů prvků v listech břízy bělokoré	27
4.3.1. Dusík	27
4.3.2. Fosfor	28
4.3.3. Draslík	28
4.3.4. Vápník	28
4.3.5. Hořčík.....	28
4.3.6. Mangan.....	29
4.3.7. Železo	29
5. Závěr.....	30
6. Literatura	31
7. Přílohy	32

7.1. Popisné statistiky	32
7.1.1. Nadložní organický horizont	32
7.1.2. Horizont organominerální	33
7.1.3. Horizont minerální	35
7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku	37
7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku.....	39
7.1.6. Bříza bělokorá – listy	41
7.2. Kartogramy.....	43
7.2.1. $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	43
7.2.2. Draslík	44
7.2.3. Vápník	48
7.2.4. Hořčík.....	52

1. Úvod

Na území **LS Klášterec** proběhlo v roce 2021 šetření účinnosti vápnění. Ke kontrole účinnosti vápnění po pěti letech od aplikace byly použity výsledky z osmi porostů povápněných v roce 2016 a z osmi porostů kontrolních (nevápněných). Vzorky z vápněných porostů byly odebrány v letech 2018 a 2021, vzorky z kontrolních porostů pak v letech 2019 a 2021. Vápnění v této lokalitě proběhlo opakovaně. Z dostupných databází vyplývá, že porosty na OM 01505, 01506 a 01973 byly povápněny v roce 2000 a porosty na OM 01968, 01969, 01970, 01971 a 01972 byly povápněny v roce 2001. V minulosti vápnění proběhlo i v „kontrolních“ porostech a to v roce 2000 na OM 01337 a v roce 2006 na OM 01362, 01666 a 01729.

Toto šetření bylo vykonáno na základě specifikace činností č.j. MZE-24276/2021-16212, kterou pověřuje ÚKZÚZ MZe ČR.



Obr. 1: Umístění odběrných míst (OM)

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, software StatSoft, Inc. (2013), STATISTICA (data analysis software system), version 12 a software Surfer, <http://www.goldensoftware.com/>.
- Pro hodnocení statisticky významných rozdílů mezi vápněnými a kontrolními porosty bylo použito schéma uvedené v tabulce 1.

Tab.1: Hodnocení statisticky významných rozdílů v datech

			Porost			
			Vápněný		Kontrolní	
			2018	2021	2019	2021
Porost	Vápněný	2018		Ano	Ano	
		2021	Ano			Ano
	Kontrolní	2019	Ano			Ano
		2021		Ano	Ano	

3. Popis stanovišť

Pro účel vyhodnocení účinnosti vápnění po pěti letech byly provedeny odběry vzorků půdy a asimilačních orgánů na vápněných a kontrolních místech (Obr. 1). Odběrná místa jsou topograficky stabilizována a výsledky chemických analýz jsou archivovány.

Tab. 2: Seznam odběrných míst

Kontrolní	Vlastník	Zastoupení dřevin	Lesní typ	Hornina
01337	LS Klášterec	BR 95, BO 5, BK +	7K3	Kamenitý sediment
01361	LS Klášterec	SM 90, BR 10, JV +	7K5	ortorula
01362	LS Klášterec	MD 35, SMP 35, SM 15, BR 8, BK 7	7K5	bazalt
01529	LS Klášterec	BR 100	7K5	ortorula
01666	LS Klášterec	BK 60, SM 20, JR 20	7K5	ortorula
01729	LS Klášterec	BR 100, BK +, SM +	7K5	pararula
01742	LS Klášterec	BR 76, SMP 24	7K5	pararula
01891	Arcibiskupství pražské	BR 90, SM 10	7K5	pararula
Vápněná	Vlastník	Zastoupení dřevin	Lesní typ	Hornina
01505	LS Klášterec	BR 95, OL 5	6S2	svor, pararula
01506	LS Klášterec	BR 90, OS 10	6S2	svor, pararula
01968	LS Klášterec	SMP 60, BR 40	6S2	pararula
01969	LS Klášterec	BR 100	6K1	svor, pararula
01970	LS Klášterec	BR 100	6K1	svor, pararula
01971	LS Klášterec	BR 100	6K1	pararula
01972	LS Klášterec	BR 100	6K1	svor, pararula
01973	LS Klášterec	BR 100	6S2	svor, pararula

Tab. 3: Popis půdního prostředí šetřených stanovišť

Kontrolní	nadložní horizont	organominerální horizont	minerální horizont
01337	souvislý drn, převládá H	tmavě šedá až černá 10YR5/2, J, soudržná	hnědá 7.5YR5/8, místy vybělená, J, soudržná.
01361	prokořeněný drn, převládá H	7.5YR4/1 tmavě hnědá, shora mírně humózní, prokořeněná, drobivá, sypká, hP, mírně vlhká	rezivá 7.5YR5/6, drobtovitá, drobivá, pH, mírně vlhká, soudržná
01362	souvislý drn, převládá H	tmavě hnědá až černá, silně prokořeněná, H, hrudkovitá, drobivá	hnědá, H, hrudkovitá, drobivá, kyprá, mírně vlhká
01529	filcovitý, prokořeněný, místy nevyvinut, místy dominuje H	kávově hnědá 7.5YR2.5/2, středně humózní, R, krupnatá, drobtovitá, drobivá	7.5YR4/6 převládá šedý redukční horizont, místy rezivá, písčitá, jH, soudržná až vazká
01666	surový humus, převládá H, přechod ostrý	humózní, kávově hnědá 7.5YR3/4, H, místy redukční horizont, krupnatá až drobtovitá, drobivá	rezivá 7.5YR5/6, jH, příměs písku, hranolovitá, soudržná
01729	souvislý drn, převládá H	tmavě hnědá 7.5YR3/2, shora silně humózní, pH, drobivá	hnědá 10YR5/6, místy až rezivá, pH, drobivá, sypká.
01742	souvislý drn, převládá H	tmavě hnědá místy vysvětlená 10YR4/3 a 10YR5/2, mírně vlhká, drobtovitá, drobivá, pH	rezivá 7.5YR6/8, mírně vlhká, drobtovitá, drobivá, pH
01891	slabý, prokořeněný, přechod ostrý	málo vyvinutá, hnědá 7.5YR5/4, H, drobtovitá, drobivá	skořicově hnědá 7.5YR7/8. hranolovitá, soudržná, jH
Vápněná	nadložní horizont	organominerální horizont	minerální horizont
01505	nevyvinutý, prokořeněný, mělký drn	7.5YR3/3, kávově hnědá, humózní, skvrny 0, rH, krupnatá-drobtovitá	7.5YR6/6, rezivá, skvrny málo, jH, hrudkovitá-hranolovitá, kyprá, soudržná, vazká
01506	moder, přechod hladký, silně prokořeněný	7.5YR3/2, tmavohnědá, humózní, krupnatá-hrudkovitá, rH, kyprá	7.5YR4/6, rezivá, jH, hrudkovitá-hranolovitá, soudržná, vespod vazká
01968	místy nevyvinutý, místy mocný travnatý drn smíšený s minerální půdou, silně prorostlý, přechod hladký	7.5YR3/3, 2.5YR5/2, kávově hnědá, humózní až silně humózní, místy vyvinut E, skvrny 0, rH, drobtovitá, hrudkovitá, kyprá	10YR4/6, rezivě hnědá, jH, skvrny početné, hrudkovitá, soudržná
01969	převládá mělký hustě prokořeněný drn, volně přechází do minerální půdy, převážně málo vyvinutý	7.5YR3/4, hnědá, shora mírně humózní, jH, krupnatá až hrudkovitá, kyprá, přechod ostrý, četné kořínky	10YR4/6 žlutavě hnědá až narezivělá, jH, středně hranolovitá, soudržná až vazká.
01970	moder, ostrý přechod, silně prokořeněný	7.5YR3/3, tmavě hnědá, středně humózní, rH, krupnatá, drobtovitá, sypká, kyprá	7.5YR4/6, rezivá, skvrny četné, jH, příměs písku (slída), hrudkovitá, soudržná, vespod vazká
01971	travnatý drn, silně prokořeněný, místy vyvinut moder, přechod hladký	7.5YR3/4 místy 7.5YR5/4, kávově hnědá, humózní, rH, krupnatá, hrudkovitá, kyprá, skvrny 0, přechod ostrý	7.5YR6/8, rezivá, hJ, skvrny početné, drobtovitá-drobivá, soudržná-vazká, jemně a hrubě hranolovitá
01972	moder, místy nevyvinutý (valy), filcovitý, přechod hladký nejasný; místy silně travnatý drn	7.5YR3/2, kávově hnědá, humózní až silně humózní, místy šedý R horizont, skvrny málo, přechod ostrý, rH s pískem, drobtovitá-hrudkovitá, kyprá	10YR4/6, rezivá, jH, drobtovitá až hrubě hranolovitá, soudržná, vazká
01973	shora silně travnatý drn, přechází do H, sypká s možným obsahem minerálu, moder, přechod hladký	7.5YR2.5/2, silně prokořeněná, kávově hnědá, vespod vysvětlená, silně humózní, rH, drobtovitá, hrudkovitá, kyprá	10YR4/6, 7.5YR4/6, světle hnědá až rezivá, jH, hrudkovitá až hranolovitá, soudržná až vazká

Pro zrnitost použity půdoznalecké zkratky

Tab. 4: Hodnocení shody mocností (cm) vzorkovaných horizontů (2021)

OM	Kontrolní stanoviště			OM	Vápněná stanoviště		
	(F+ H)	A _h	(A + B)		(F+ H)	A _h	(A + B)
01337	6	10	17	01505	7	8	13
01361	4	10	11	01506	7	5	13
01362	10	12	14	01968	7	11	12
01529	7	9	15	01969	3	11	10
01666	10	21	10	01970	7	9	15
01729	8	8	12	01971	6	5	15
01742	5	14	6	01972	7	8	11
01891	4	4	15	01973	9	10	14
průměr	6,8	11,0	12,5	průměr	6,6	8,4	12,9

Horizont (F + H) – nadložní organický na vápněných a kontrolních plochách se shoduje v mocnosti (Tab. 4). Nepředpokládáme úbytek organického materiálu způsobený prostorovou variabilitou mocností odebíraného horizontu, případně odchylkami v odběru vzorků.

Tab. 5: Početnost kořenů na odběrných stanovištích (2021)

Kontrolní stanoviště			Vápněná stanoviště		
Odběrné místo	hrubé	jemné	Odběrné místo	hrubé	jemné
01337	1,8	2,0	01505	0,6	2,3
01361			01506	1,8	1,8
01362	1,1	1,7	01968	0,8	2,8
01529	0,3	2,0	01969	0,2	2,2
01666	1,1	2,4	01970	0,4	2,6
01729	0,2	2,7	01971	0,4	3,3
01742			01972	0,6	2,6
01891	0,6	2,8	01973	0,7	2,4
průměr	0,9	2,3	průměr	0,7	2,5

Množství kořenů v horizontu (F + H) je podobné (Tab. 5) a tedy prostor, připadající na kořeny silnější než 2 mm je rovněž shodný. Případné rozdíly v množství nadložního organického horizontu (F + H) je tedy nutné hledat v kvalitě organického materiálu.

4. Výsledky

4.1. Půdní prostředí

4.1.1. Nadložní materiál, uhlík a dusík

V období mezi druhým a pátým rokem po vápnění je zjištěn nevýznamný nárůst nadložního organického materiálu na vápněných i kontrolních plochách (Tab. 6 a 7). Paralelně s touto změnou se na vápněných i kontrolních plochách nepatrně snižuje množství spalitelného uhlíku, hodnota obsahu celkového dusíku N_{tot} a poměr C/N. Nárůst nadložního organického materiálu spolu s nižší hodnotou spalitelného uhlíku a nižší hodnotou celkového dusíku, znamená vyšší množství resistantního organického materiálu.

Tab. 6: Nadložní materiál, spalitelný uhlík (C_{ox}), celkový dusík (N_{tot}) a poměr C/N (průměr, plochy vápněné)

Horizont	nadložní materiál (t/ha)		C_{ox} (%)		N_{tot} (%)		C/N	
	2018	2021	2018	2021	2018	2021	2018	2021
(F + H)	124	155	18,0	16,0	1,02	0,94	17,8	16,9
A_h			5,22	4,91	0,31	0,27	17,0	18,1
(A + B)			2,74	2,79	0,19	0,19	14,9	14,8

(F+H) – nadložní organický horizont

A_h – organominerální horizont

(A+B) – minerální horizont

Tab. 7: Nadložní materiál, spalitelný uhlík (C_{ox}), celkový dusík (N_{tot}) a poměr C/N (průměr, plochy kontrolní)

Horizont	nadložní materiál (t/ha)		C_{ox} (%)		N_{tot} (%)		C/N	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
(F + H)	123	154	20,3	18,0	1,26	1,08	16,0	16,2
A_h			4,64	4,25	0,31	0,26	15,0	16,2
(A + B)			2,98	2,73	0,21	0,18	13,5	14,5

(F+H) – nadložní organický horizont

A_h – organominerální horizont

(A+B) – minerální horizont

Proces hromadění nadložního organického materiálu v tomto případě dáváme do souvislosti se stadiem březových a jehličnatých tyčkovin, které je typické rychlým přírůstkem biomasy a s tím souvisejícím vyšším opadem. Nižší hodnoty spalitelného uhlíku (C_{ox}) informují o sníženém podílu snadněji rozložitelných organických sloučenin, a tedy vyšším podílu resistantních složek v tomto materiálu. Jedná se tedy především o lignin, pryskyřice a vosky z opadu v tyčovinách. Pomalejší rozklad je také výsledkem nepříznivých klimatických podmínek potřebných pro aerobní fázi mineralizace a následné polymerace organických složek.

Obsahy spalitelného uhlíku, celkového dusíku a poměrů C/N v organominerálních (A_h) a minerálních (A + B) horizontech vápněných a kontrolních ploch jsou podobné.

4.1.2. Půdní chemická reakce

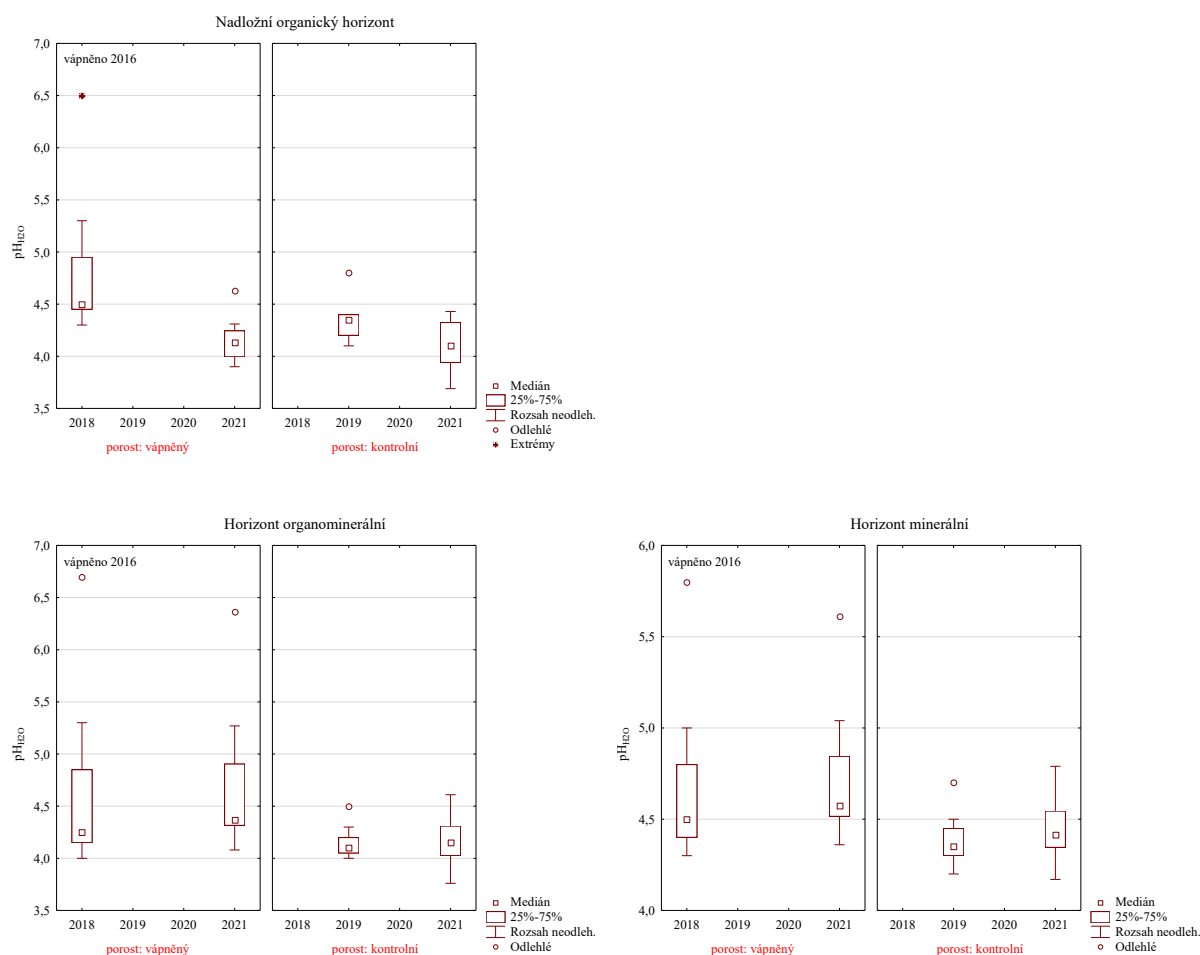
Na vápněných plochách jsou v nadložních horizontech ve druhém a pátém roce po vápnění významně vyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ve srovnání s plochami kontrolními (Tab. 8). Na plochách vápněných byla u chemické reakce aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) v roce 2018 zjištěna významně vyšší hodnota ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,83$) než v roce 2021 ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,16$). Byl zde tedy zaznamenán

statisticky významný pokles pH a hodnota na vápněných plochách se tak přiblížila k hodnotě pH na plochách kontrolních ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,11$). V organominerálních a minerálních horizontech nejsou zjištěny významné rozdíly a změny v hodnotě $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Vliv vápnění, projevující se vyššími hodnotami pH půdního prostředí potřebnými pro bakteriální rozklad, zde může být prozatím potlačen nepřízní klimatu.

Tab. 8: Průměrné hodnoty půdní chemické reakce a výměnné acidity v šetřených horizontech

Horizont	Parametr	Porost			
		vápněný		kontrolní	
		2018	2021	2019	2021
(F + H)	$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	4,26	4,25	3,54	3,41
	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	4,83	4,16	4,35	4,11
organominerální	$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	3,93	3,94	3,40	3,41
	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	4,65	4,70	4,15	4,17
	Vým. acid. [mekv./kg]	245	165	142	139
minerální	$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	3,94	3,99	3,69	3,69
	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	4,69	4,73	4,39	4,45
	Vým. acid. [mekv./kg]	112	113	99,0	95,5



Obr. 2: Půdní reakce aktivní v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Pozitivní důsledek vápnění je zřejmý v nadložních organických horizontech. V horizontech organominerálních a minerálních není zjištěna významná nerovnost, i když poněkud vyšší hodnoty jsou zjištěny na plochách vápněných (Obr. 2).

V příložených kartogramech je zřetelně vidět převaha skupiny “velmi silně kyselá” na kontrolních (nevápněných) stanovištích i to, že se hodnota pH ve vápněných porostech s postupující hloubkou půdy zvyšuje, což může být důsledek přetrvávajícího vlivu přechozího vápnění.

Hodnota výměnné acidity je vyšší na plochách vápněných. Nižší hodnota v organominerálních horizontech v pátém roce po vápnění je důsledkem snížení této kapacity vápněním.

4.1.3. Fosfor

Obsahy extrahovatelného fosforu (P_{dus}) v nadložních horizontech jsou na vápněných plochách poněkud nižší než na plochách kontrolních (Tab. 9). V horizontech organominerálních a minerálních jsou hodnoty obsahu extrahovatelného fosforu srovnatelné.

Tab. 9: Průměrný obsah makroprvků prvků v šetřených horizontech

	Porost			
	vápněný		kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
Nadložní organický horizont				
P_{dus} (mg/kg)	861	856	1082	949
K_{dus} (mg/kg)	1358	1533	1444	1308
Ca_{dus} (mg/kg)	4949	4658	1650	1308
Mg_{dus} (mg/kg)	2523	2606	1049	884
Organominerální horizont				
P_{dus} [mg/kg]	174	183	162	170
K_{dus} [mg/kg]	204	205	156	168
Ca_{dus} [mg/kg]	1762	1346	300	251
Mg_{dus} [mg/kg]	1222	1016	257	303
P_{MIII} [mg/kg]	< 3,5	< 3,5	--	--
K_{MIII} [mg/kg]	76,1	75,8	84,7	77,4
Ca_{MIII} [mg/kg]	883	785 ^D	202	178
Mg_{MIII} [mg/kg]	354	322	59,0	55,3
Minerální horizont				
P_{dus} [mg/kg]	153	165	177	161
K_{dus} [mg/kg]	220	225	164	193
Ca_{dus} [mg/kg]	381	448	202	198
Mg_{dus} [mg/kg]	1020	1143	450	485
P_{MIII} [mg/kg]	< 3,5	< 3,5	--	--
K_{MIII} [mg/kg]	51,1	54,5	52,8	50,3
Ca_{MIII} [mg/kg]	238	272	100	115
Mg_{MIII} [mg/kg]	104	113	34,2	34,6

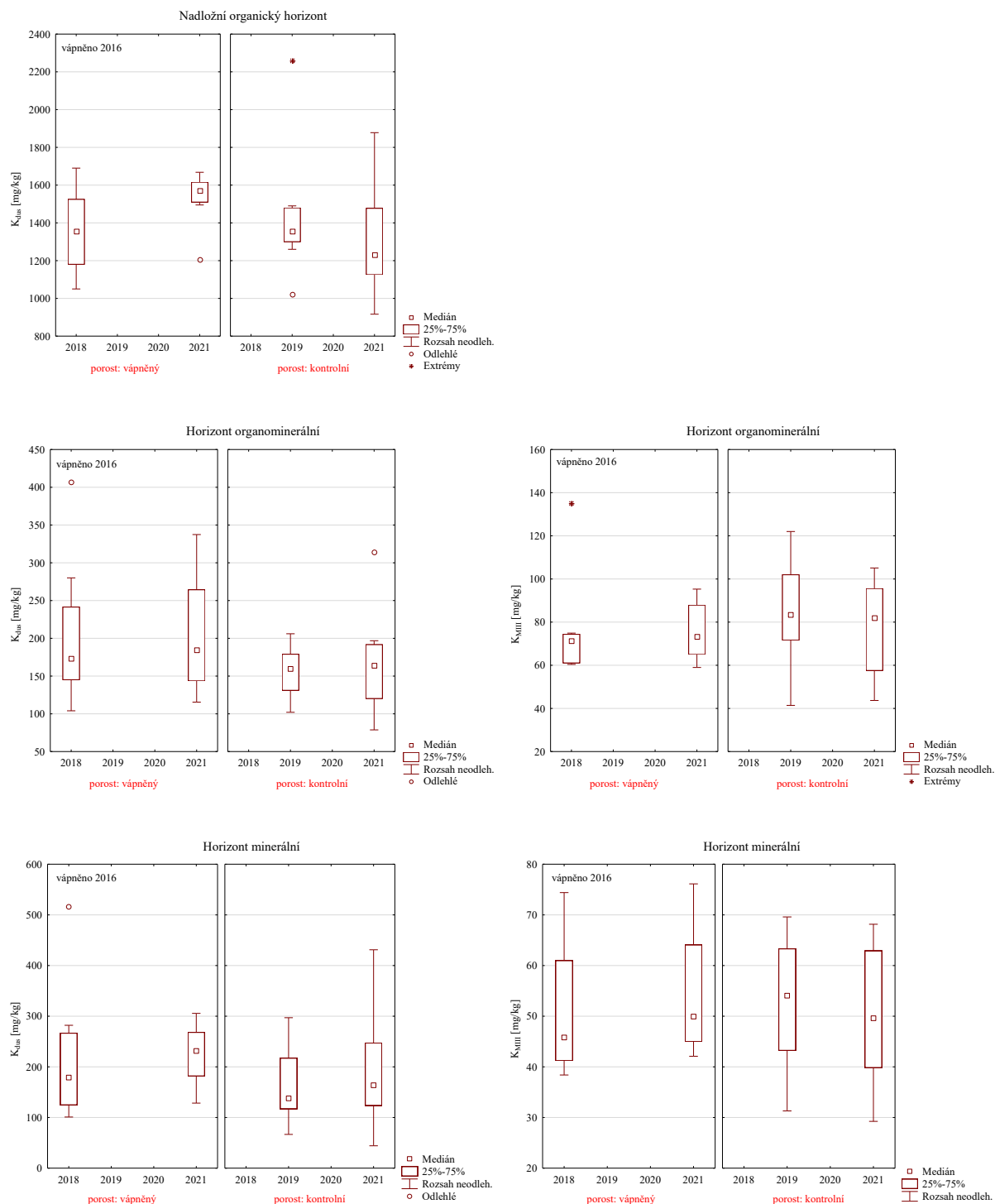
-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

V období dva a pět let po vápnění není zaznamenána významná změna v obsazích extrahovatelného fosforu v půdních horizontech vápněných porostů. Přístupná forma fosforu (P_{MIII}) je v obou horizontech srovnávaných ploch zanedbatelná.

4.1.4 Draslík

Obsahy extrahovatelného draslíku (K_{dus}) se v nadložních organických horizontech vápněných ploch v období mezi druhým a pátým rokem po vápnění významně zvyšují a naopak na plochách kontrolních je zaznamenáno významné snížení (Obr. 3). Na vápněných plochách

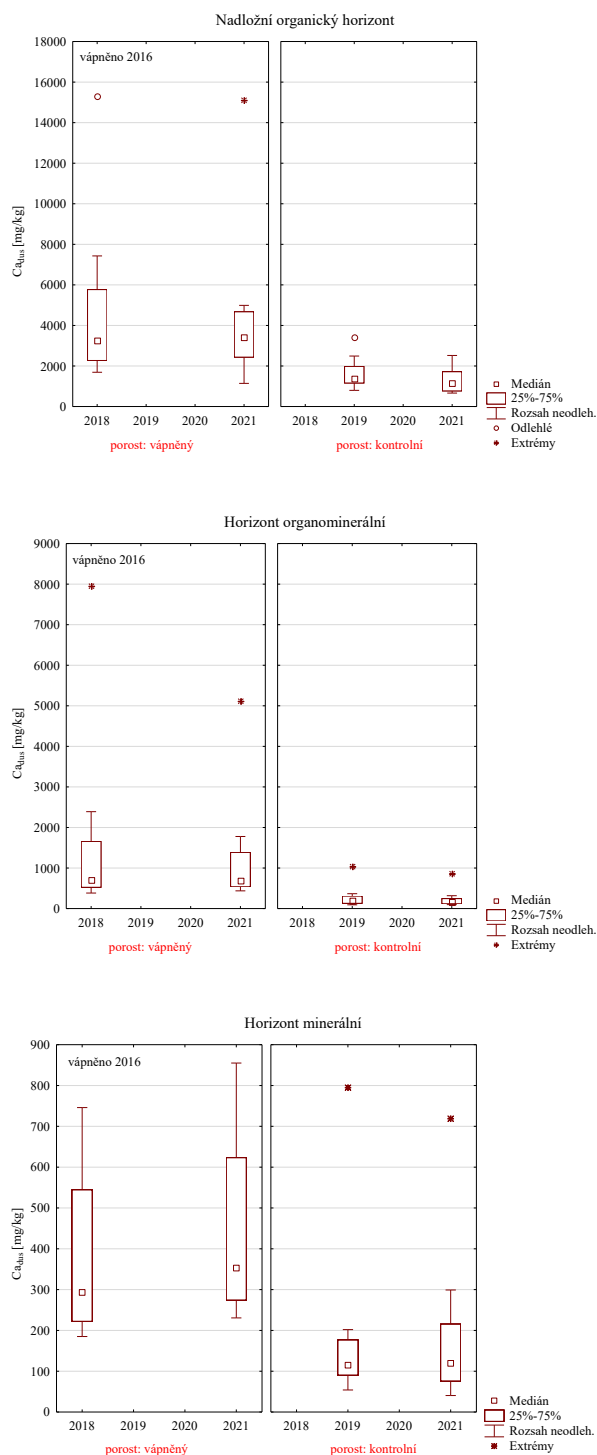
se zřejmě jedná o obnovu obsahů před vápněním. Pravděpodobný účinek antagonismu vůči draslíku po vápnění dozněl a obsahy draslíku, které se zvýšily i v jehlicích běžného roku se po pěti letech formou opadu v nadložních organických horizontech obnovily. V organominerálních i v minerálních horizontech k šetřeném období k výraznějším změnám nedošlo.



Obr. 3: Extrahovatelný (K_{dus}) a přístupný (K_{min}) obsah draslíku v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Obsahy přístupné formy draslíku (K_{MIII}) se v organominerálních a minerálních horizontech během pozorování významně nemění (Obr. 3) a jsou na srovnávaných plochách podobné. Mírné zvyšování na plochách vápněných a mírné snižování na kontrolních je patrné v obou horizontech.

4.1.5. Vápník

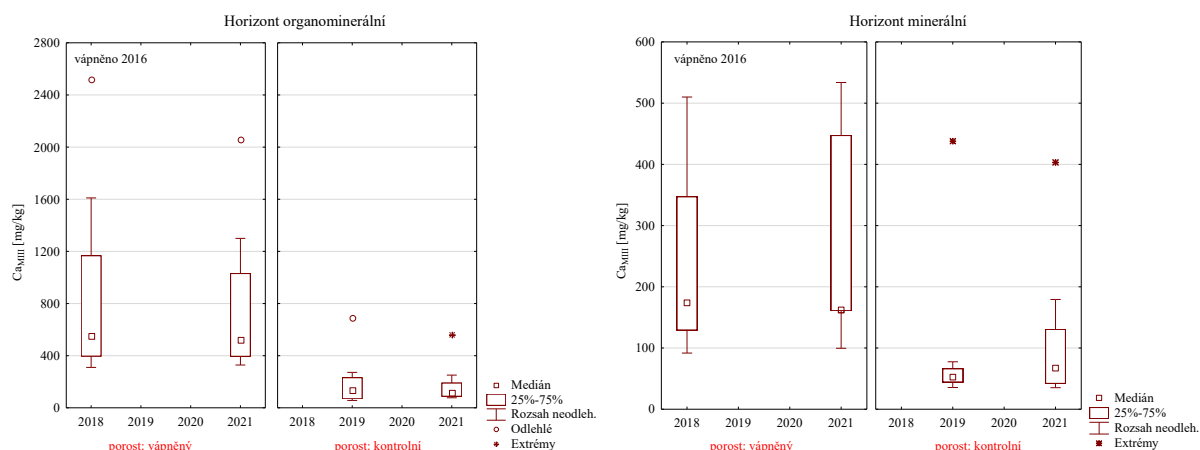


Obr. 4: Extrahovatelný obsah vápníku (C_{dus}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Obsahy extrahovatelného vápníku v nadložních organických horizontech jsou zřetelně, i když statisticky nevýznamně vyšší na plochách vápněných (Obr. 4). Hodnota mediánu ukazuje mírné zvýšení v roce 2021 a mírné snížení na plochách kontrolních.

Průměrné obsahy extrahovatelného vápníku v organominerálních horizontech se snižují (Tab. 9) a napovídají tak o doznívajícím účinku vápnění. Zůstávají však vyšší než obsahy na plochách kontrolních.

V horizontech minerálních (Tab. 9) je zvýšení z hodnoty 381 mg.kg^{-1} na 448 mg.kg^{-1} na plochách vápněných vyhodnoceno jako statisticky významné. Obsahy na plochách kontrolních jsou na nižší úrovni a významně se nemění. Hodnotu 381 mg.kg^{-1} bereme jako konečnou hodnotu dosaženou vápněním v roce 2016. Pozorované zvýšení, i když statisticky významné, bereme jako náhodné doznívání vlivu zbytku dolomitického vápence. Tento závěr je třeba revidovat po deseti letech od vápnění.



Obr. 5: Přístupný obsah vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Obsahy přístupné formy vápníku (Ca_{MIII}) jsou v organominerálních horizontech (Obr. 5) významně vyšší než na plochách kontrolních. Lze pozorovat mírné snižování obsahů mezi dvěma a pěti lety po vápnění. Tento trend považujeme za rychlé pomíjení účinku dolomitického vápence v organominerálních horizontech.

Ve spodních minerálních horizontech jsou obsahy na vápněných plochách poněkud vyšší než na plochách kontrolních a není zde zaznamenána významná změna.

4.1.6. Hořčík

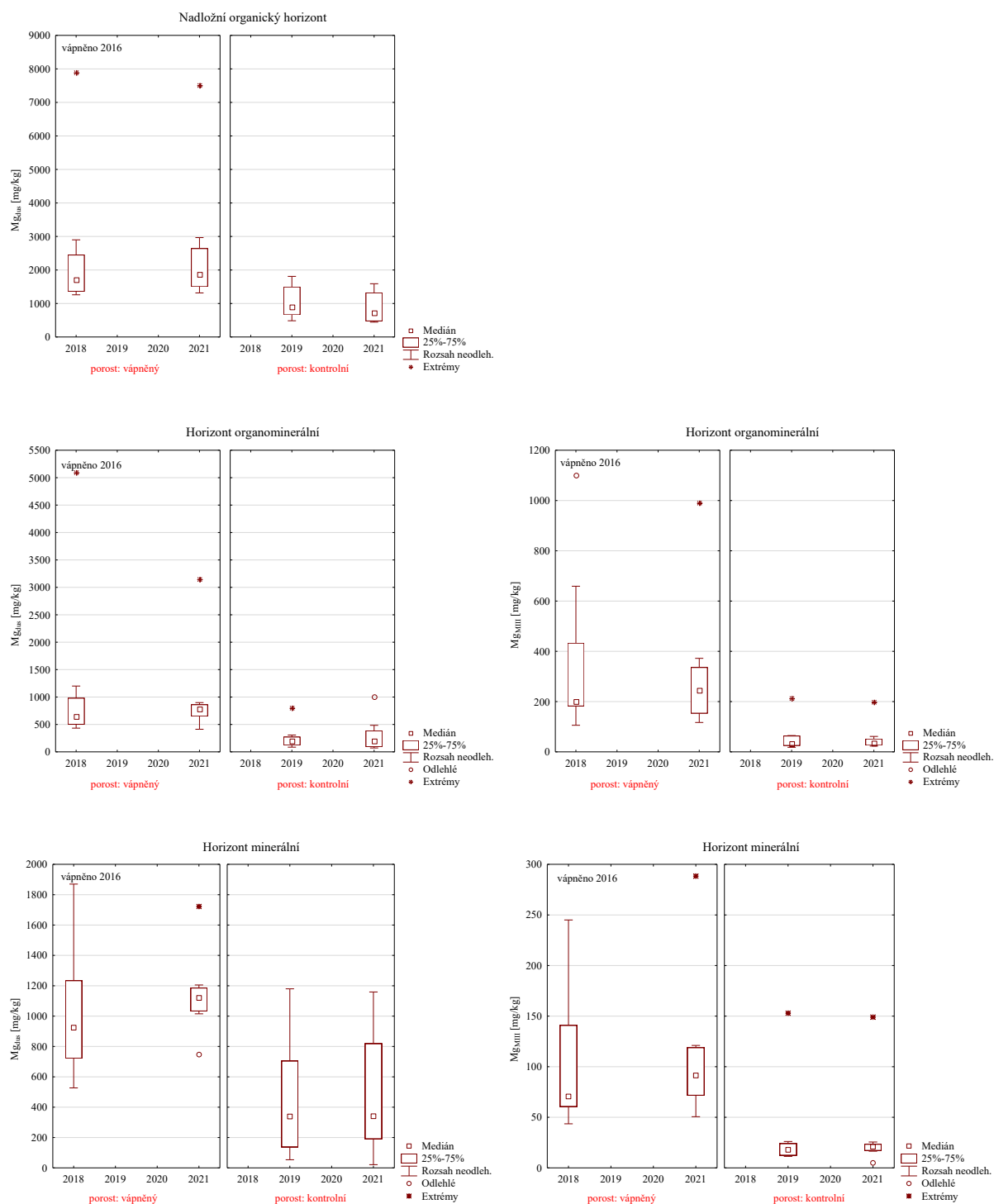
V nadložních organických horizontech vápněných stanovišť jsou zjištěny v obou pozorováních (tedy po dvou i pěti letech od vápnění) vyšší obsahy extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) ve srovnání se stanovišti kontrolními (Obr. 6). I když není tato nerovnost vyhodnocena jako statisticky významná, je nasnadě tvrzení, že se jedná o účinek vápnění. Obsahy zjištěné na vápněných stanovištích odpovídají vysokým obsahům dle klasifikace ÚKZÚZ (Fiala et al., 2013), která vyhodnocuje obsahy získané na území celé republiky.

Obsah extrahovatelného hořčíku je v organominerálních horizontech vápněných porostů hodnocen jako nízký až vyhovující a za sledované období nedošlo k výraznější změně jeho obsahu v tomto horizontu.

V minerálních horizontech dosahuje pět let po vápnění rozdíl statistické významnosti. To znamená, že po pěti letech od vápnění se projevil účinek vápnění v celém šereném půdním profilu.

Obsahy přístupného hořčíku (Mg_{MIII}) jsou významně vyšší na plochách vápněných v období od dvou do pěti let od vápnění.

Významně vyšší jsou obsahy přístupného hořčíku na vápněných plochách i v horizontech minerálních. Tyto významně vyšší obsahy bereme jako kladný účinek vápnění lesních pozemků.



Obr. 6: Extrahovatelný (Mg_{dus}) a přístupný (Mg_{MII}) obsah hořčíku v půdních horizontech vápenných a kontrolních porostů

4.1.7. Bór

Při hodnocení extrahovatelných obsahů dalších prvků na vápenných a kontrolních stanovištích (Tab. 10), stojí za zmínku snižující se obsahy boru v nadložních organických horizontech. Toto snížení je zjištěno na vápenných i kontrolních plochách a proto je nelze jednoznačně přičíst vlivu vápnění.

V organominerálních a minerálních horizontech jsou šetřeny pouze přístupné hodnoty, které jsou velmi nízké a nelze je statisticky porovnávat.

Tab. 10: Průměrný obsah hliníku, bóru, kadmia, chromu, mědi, železa, manganu, olova, síry a zinku v šetřených horizontech

	Porost			
	vápněný		kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
Nadložní organický horizont				
Al _{dus} [mg/kg]	8651	9427	9779	10029
B _{dus} [mg/kg]	2,23	1,51	2,24	1,65
Cd _{dus} [mg/kg]	0,27	0,18	0,31	0,28
Cr _{dus} [mg/kg]	11,0	12,0	11,3	11,6
Cu _{dus} [mg/kg]	10,8	9,66	12,5	9,79
Fe _{dus} [mg/kg]	13363	15151	9445	10225
Mn _{dus} [mg/kg]	285	237	280	195
Pb _{dus} [mg/kg]	114	112	114	124
Zn _{dus} [mg/kg]	50,1	48,7	56,0	48,0
Organominerální horizont				
B _{MIII} [mg/kg]	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	613	591	650	587
S _{MIII} [mg/kg]	20,7	20,6	24,3	22,7
Al _{dus} [mg/kg]	5295	5402	3714	3928
Cd _{dus} [mg/kg]	--	0,36	0,50	--
Cr _{dus} [mg/kg]	7,36	8,04	5,62	5,65
Cu _{dus} [mg/kg]	7,65	7,53	6,31	6,03
Fe _{dus} [mg/kg]	12361	13229	8109	8191
Mn _{dus} [mg/kg]	172	144	180	191
Pb _{dus} [mg/kg]	91,8	91,9	87,3	76,0
Zn _{dus} [mg/kg]	15,7	12,2	12,8	12,2
Minerální horizont				
B _{MIII} [mg/kg]	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	511	483	572	483
S _{MIII} [mg/kg]	31,5	33,4	27,5	26,4
Al _{dus} [mg/kg]	8171	8761	5510	5497
Cd _{dus} [mg/kg]	< 0,2	< 0,2	--	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	9,85	10,6	7,24	6,81
Cu _{dus} [mg/kg]	5,97	7,01	4,82	4,78
Fe _{dus} [mg/kg]	15450	15830	11308	10400
Mn _{dus} [mg/kg]	248	229	294	288
Pb _{dus} [mg/kg]	46,3	47,4	55,0	47,2
Zn _{dus} [mg/kg]	23,1	19,1	15,3	15,0

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

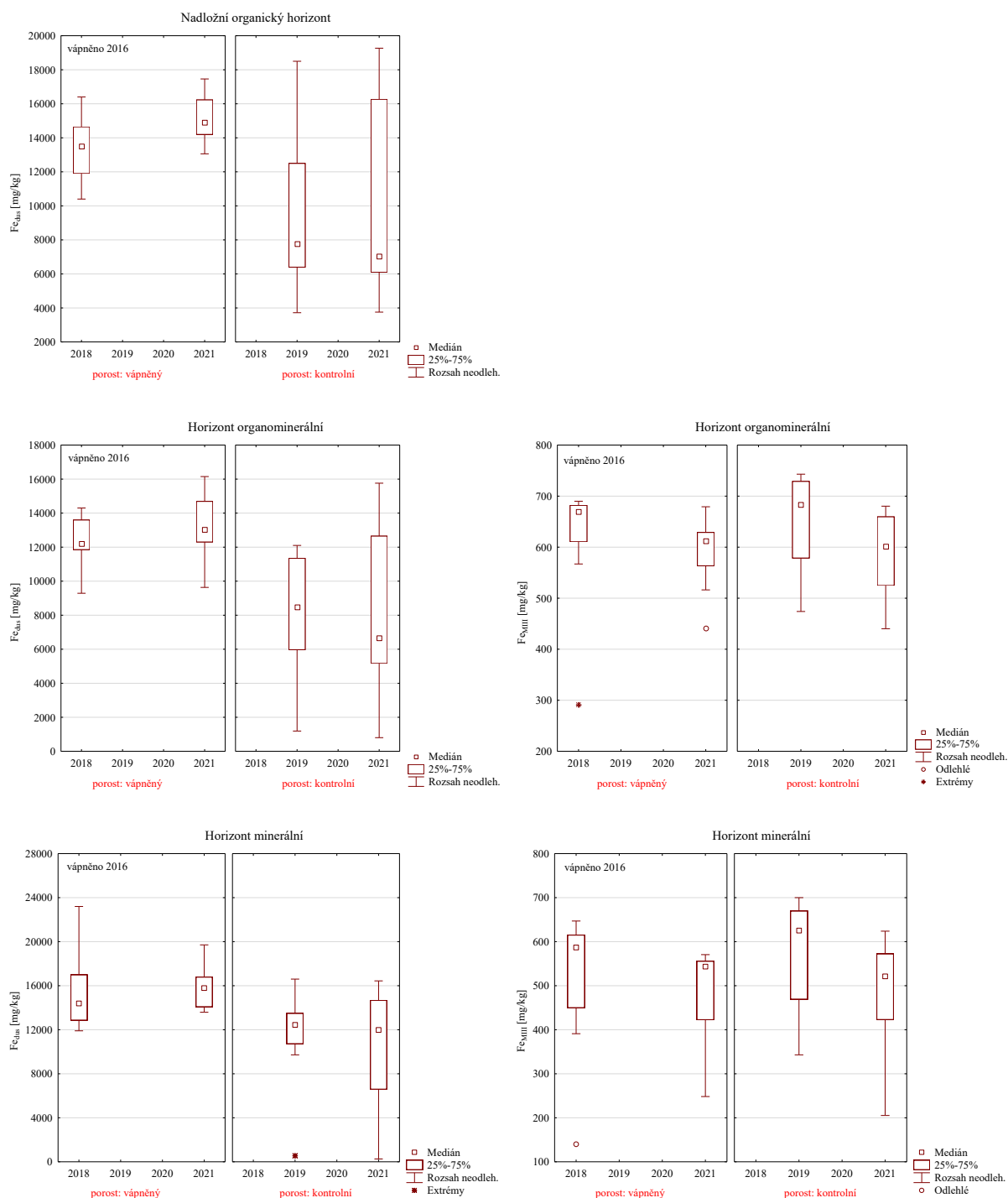
4.1.8. Kadmium

Významně nižší hodnota byla pět roků po vápnění v nadložním organickém horizontu zjištěna u kadmia na vápněných plochách. Na kontrolních plochách byl také zaznamenán pokles obsahu Cd_{dus}, takže vliv vápnění není potvrzen (Tab. 10).

4.1.9. Železo

V nadložních organických horizontech jsou na vápněných plochách po pěti letech od vápnění zjištěny významně vyšší obsahy extrahovatelného železa, než byly v době po dvou letech (Obr. 7). Tyto obsahy jsou také významně vyšší než obsahy železa na kontrolních plochách.

Extrahovatelné obsahy železa (Fe_{dus}) se po dobu šetření nevýznamně zvyšují na vápněných plochách i v horizontech organominerálních a nepatrně i v minerálních horizontech.



Obr. 7: Extrahovatelný (Fe_{dus}) a přístupný (Fe_{MIII}) obsah železa v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Na plochách kontrolních jsou v roce 2021 v minerálních horizontech extrahovatelné obsahy železa významně nižší. Vliv vápnění by v případě železa znamenal jeho stabilizaci vápníkem. Vápnění se tedy podle pětiletého pozorování po vápnění lesa projevuje vázáním železa na vápněných plochách. Tento zdánlivě nežádoucí účinek vápnění nehodnotíme prozatím negativně díky reakci smrku, u něhož je zaznamenáno zvýšení úrovně výživy podle obsahů v jehlicích běžného roku. Výživě dřevin železem na vápněných je třeba věnovat zvláštní zřetel v dalších šetřeních.

4.1.10. Mangan, olovo a zinek

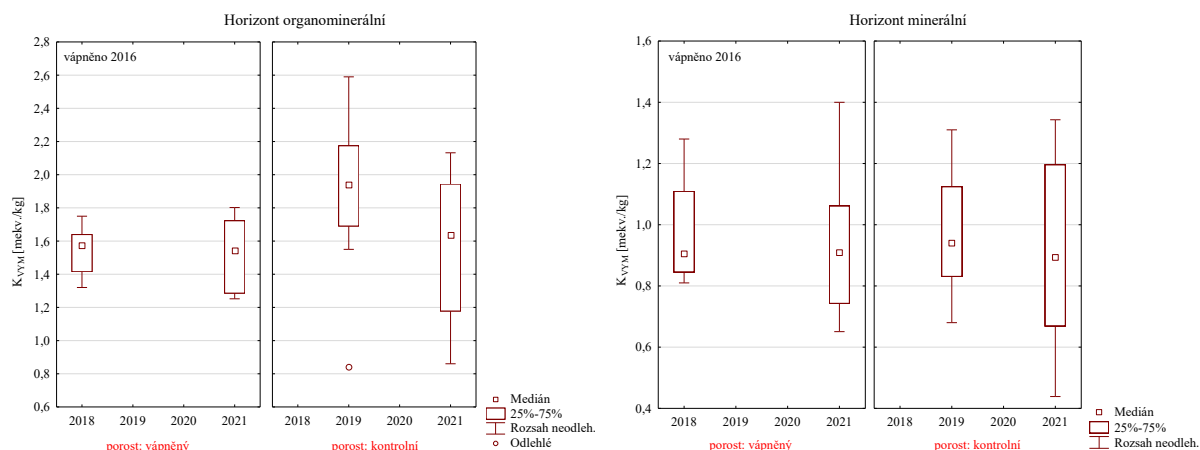
Obsahy manganu se na vápněných i kontrolních stanovištích po dobu pozorování významně nemění a zůstávají na nízké úrovni.

Také v případě olova a zinku nebyl zjištěn vliv vápnění na jejich obsah v půdním prostředí.

4.1.11. Půdní sorpční komplex

Obsazení půdního sorpčního komplexu kationty hliníku a vodíku ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), se v organominerálních horizontech vápněných i kontrolních stanovišť mírně snižuje. Vliv vápnění je zde tedy nepravděpodobný. Ve spodních minerálních horizontech se na vápněných plochách nevýrazně zvyšuje, jako by reagoval na možný acidifikační vliv spojený s uvolněním kyselých kationtů. Popsané změny v sycení sorpčního komplexu kationty ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) jsou nevýznamné.

Obsazení sorpčního komplexu kationtem draslíku K^+ se po dobu pozorování neprojevilo významnými změnami v šetřených půdních horizontech (Obr. 8) na srovnávaných stanovištích.

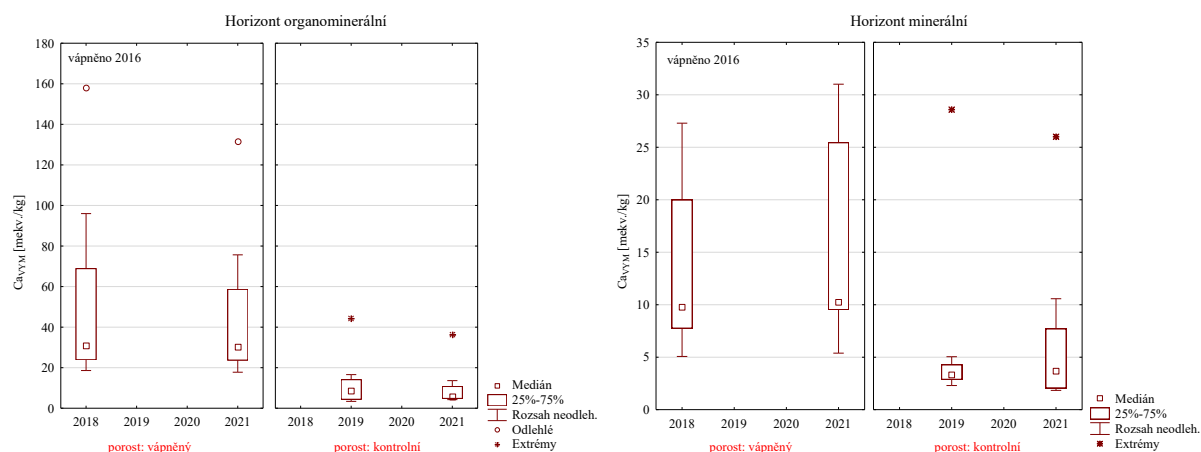


Obr. 8: Obsah výměnných kationtů draslíku (K_{VYM}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Vápnění lesních porostů tedy nevyvolalo negativní účinek na obsazení sorpčního komplexu vápněných ploch draslíkem.

Obsazení sorpčního komplexu kationtem vápníku Ca^{2+} je v organominerálních horizontech vápněných stanovišť významně vyšší (Obr. 9) než na plochách kontrolních. Během pozorování se v období po dvou do pěti let od vápnění na vápněných plochách v organominerálních horizontech obsah výměnných kationtů vápníku nevýznamně snižuje, zato v minerálních horizontech se významně zvýšil z průměrné hodnoty 13,4 na 15,9 mekv.kg⁻¹ (Tab. 11). Tento jev napovídá doznívání účinků vápnění v organominerálních

horizontech a probíhajícímu procesu deacidifikace ve spodních minerálních horizontech vápněných stanovišť. Na plochách kontrolních nejsou zjištěny významné změny.

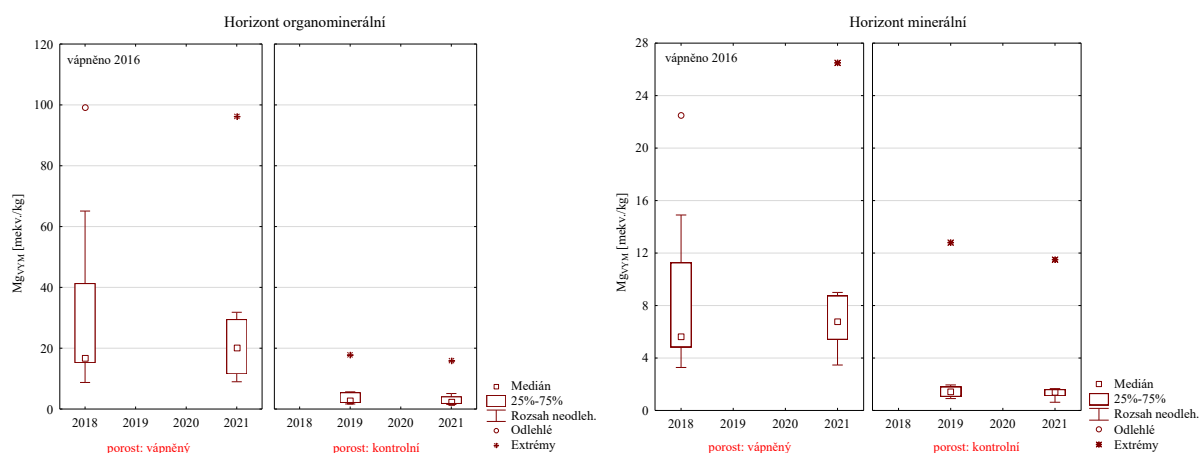


Obr. 9: Obsah výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Tab. 11: Šetření hodnot půdního sorpčního komplexu (průměrné hodnoty)

	Porost			
	vápněný		kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
Horizont organominerální				
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	69,4	62,8	79,4	69,5
K _{VYM} [mekv./kg]	1,54	1,52	1,88	1,56
Ca _{VYM} [mekv./kg]	53,0	46,8	12,7	10,5
Mg _{VYM} [mekv./kg]	31,8	28,4	4,98	4,22
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,30	0,23	0,31	0,25
Mn _{VYM} [mekv./kg]	0,74	0,52	0,72	0,45
Al _{VYM} [mekv./kg]	59,8	53,5	65,4	61,8
Fe _{VYM} [mekv./kg]	4,23	3,20	4,66	3,10
CEC [mekv./kg]	156	140	99,4	86,0
BS [%]	52,0	50,6	18,4	18,3
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	14,5	12,0	0,21	0,19
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	9,10	8,48	0,08	0,08
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	86,3	76,8	19,6	16,2
BS/(Al+H) _{VYM}	2,91	58,7	0,27	0,27
Horizont minerální				
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	50,1	52,4	61,4	53,2
K _{VYM} [mekv./kg]	0,98	0,93	0,97	0,91
Ca _{VYM} [mekv./kg]	13,4	15,9	6,48	6,84
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8,66	8,98	2,78	2,54
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,24	0,20	0,22	0,19
Mn _{VYM} [mekv./kg]	0,43	0,34	0,67	0,45
Al _{VYM} [mekv./kg]	48,9	45,6	55,3	50,1
Fe _{VYM} [mekv./kg]	1,49	1,05	2,24	1,38
CEC [mekv./kg]	73,4	78,4	71,8	63,7
BS [%]	36,2	34,5	13,4	15,2
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	0,92	0,92	0,14	0,15
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	0,71	0,67	0,06	0,06
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	23,1	25,8	10,2	10,3
BS/(Al+H) _{VYM}	13,1	1,42	0,19	0,22

V případě hořčíku, který se pohybuje půdním prostředím rychleji než vápník, je zjištěno v organominerálních horizontech vápněných ploch (Obr. 10) významně vyšší sycení kationtem Mg^{2+} na vápněných plochách a jeho mírné snížení v období dva až pět let po vápnění.



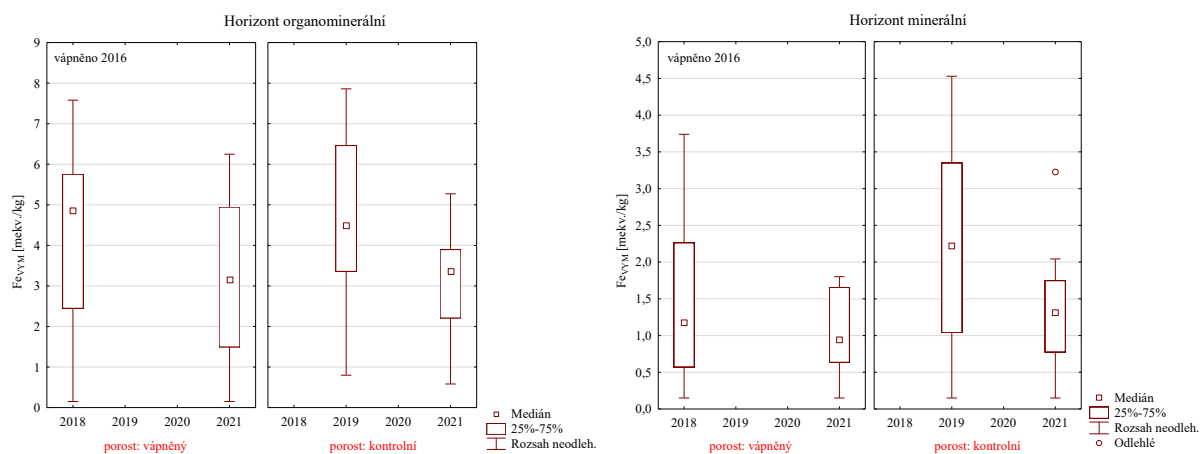
Obr. 10: Obsah výměnných kationtů hořčíku (Mg_{vYM}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

V horizontech minerálních je sycení hořčíkem na plochách vápněných opět významně vyšší než na plochách kontrolních. Významné změny ve sledovaném období nejsou zjištěny. Vyšší sycení hořčíkem na vápněných plochách je samo o sobě kladným důsledkem vápnění.

Obsazení sorpčního komplexu kationtem Mn^{2+} je v organominerálních horizontech vápněných i kontrolních ploch podobné. V horizontech minerálních je na vápněných plochách poněkud nižší a neměnné po dobu pozorování. Nižší sycení manganem má zřejmě souvislost s působením vápníku v těchto horizontech a může být považováno za pozitivní účinek vápnění. Zřejmá je zde i souvislost s nižšími obsahy Mn v jehlicích běžného roku.

Vliv vápnění se projevuje nevýznamně nižším sycením sorpčního komplexu kationtem hliníku Al^{3+} . Mírně se snižující obsazení sorpčního komplexu tímto kationtem v obou šetřených horizontech je zjištěno na vápněných i kontrolních stanovištích.

Sycení sorpčního komplexu kationtem železa se na vápněných plochách i na plochách kontrolních v obou šetřených horizontech snižuje (Obr. 11).



Obr. 11: Obsah výměnných kationtů železa (Fe_{vYM}) v půdních horizontech vápněných a kontrolních porostů

Hodnota kationtové výměnné kapacity (CEC) je v organominerálních horizontech na vápněných plochách významně vyšší než na plochách kontrolních. Částečně je tento rozdíl způsoben poněkud vyššími hodnotami obsahu spalitelného uhlíku (C_{ox}) na vápněných plochách. Spalitelný uhlík, zde představuje organické sloučeniny podílející se na sorpci iontů. Částečně je to způsobeno závislostí sorpční kapacity na hodnotě pH.

Sycení sorpčního komplexu bazickými kationty (BS) (Tab. 11) je v organominerálních horizontech významně vyšší na plochách vápněných a v období po dvou a pěti letech od vápnění je takřka stabilní. V horizontech minerálních je na vápněných plochách hodnota nevýznamně vyšší, ale i zde se dá předpokládat, podobně jako v horizontech organominerálních kladný vliv dolomitického vápence.

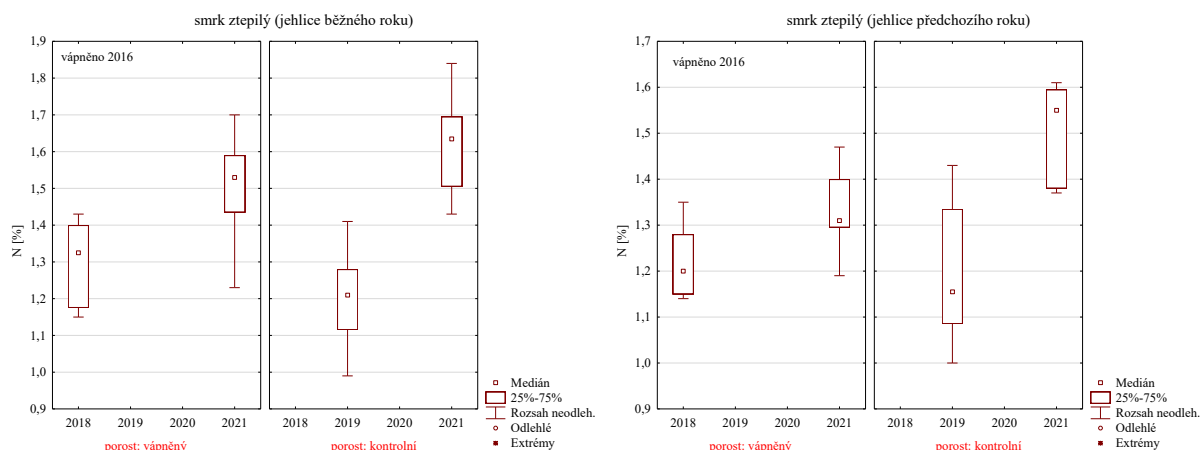
4.2. Hodnocení obsahu prvků v jehlicích smrku ztepilého

4.2.1. Dusík

Obsah dusíku v letorostech smrku ztepilého se mezi druhým a pátým rokem na vápněných i kontrolních plochách významně zvyšuje (Obr. 12). Toto významné zvyšování zjišťujeme i v jehlicích předchozího roku. Předpokládáme tedy zvýšený příjem dusíku za reakci způsobenou vývojovým stadiem šetřených porostů, případně jejich reakcí na prořezávku nebo jiné okolní vlivy. Vliv vápnění zde může být pouze vedlejším činitelem.

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

Prvek	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
N [%]	1,30	1,51	1,20	1,62
P [mg/kg]	1645	1993	1526	1934
K [mg/kg]	6368	7793	6105	6776
Ca [mg/kg]	3323	3153	2321	3537
Mg [mg/kg]	860	939	812	951
S [mg/kg]	886	922	830	1021
B [mg/kg]	10,3	12,2	11,9	16,2
Mn [mg/kg]	198	175	317	456
Fe [mg/kg]	26,3	31,0	29,1	36,3
Al [mg/kg]	34,4	46,8	55,8	68,8
Zn [mg/kg]	33,2	35,4	25,7	31,8



Obr. 12: Obsah dusíku v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.2. Fosfor

Obsahy fosforu se významně zvyšují na vápněných i kontrolních plochách v jehlicích běžného a v případě kontrolních ploch i předchozího roku. Na vápněných plochách jsou obsahy v jehlicích běžného roku na luxusní úrovni, v jehlicích předešlého roku pak na vyhovující. Vliv vápnění na příjem fosforu není zjištěn.

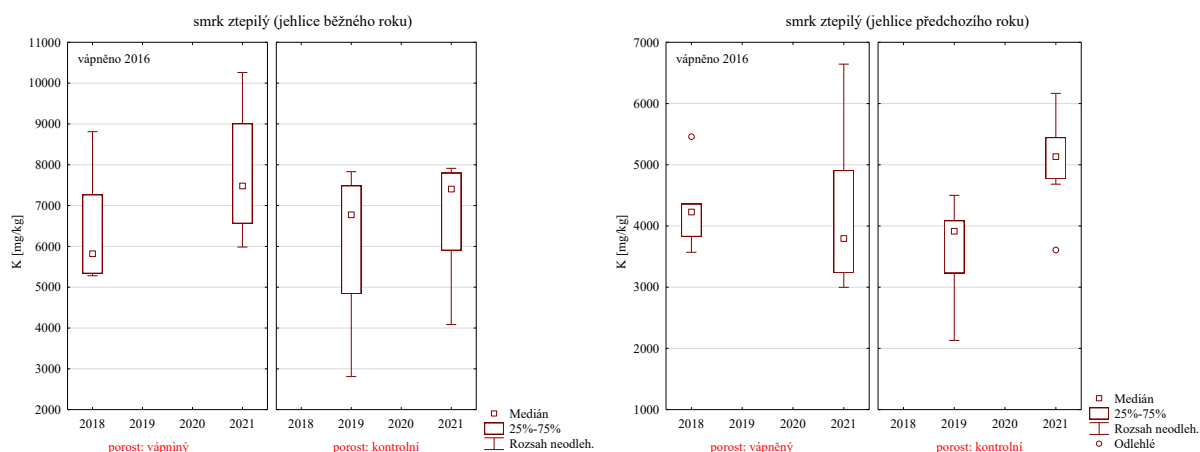
Tab. 13: Průměrný obsah prvků jehlicích předchozího roku

Prvek	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
N [%]	1,22	1,33	1,20	1,50
P [mg/kg]	1059	1185	962	1482
K [mg/kg]	4233	4190	3638	5059
Ca [mg/kg]	6041	6830	3989	6331
Mg [mg/kg]	866	1013	744	873
S [mg/kg]	878	880	841	1009
B [mg/kg]	9,26	11,9	11,9	15,7
Mn [mg/kg]	338	381	529	673
Fe [mg/kg]	44,9	43,0	45,1	50,9
Al [mg/kg]	57,7	72,7	98,2	125
Zn [mg/kg]	26,3	31,7	20,1	31,6

4.2.3. Draslík

Obsahy draslíku se v jehlicích běžného roku mezi druhým a pátým rokem po vápnění na vápněných plochách významně zvyšují (Tab. 12). Na plochách kontrolních jsou stabilní.

V jehlicích předchozího roku jsou obsahy draslíku nižší. Obsah draslíku je na plochách vápněných stabilní (Tab. 13). Na plochách kontrolních je zjištěno významné zvýšení, které je zřejmě výsledkem doplnění obsahů po předchozí relokaci do mladších pletiv. Možný negativní vliv vápnění na úroveň výživy draslíkem je tedy vyloučen. Na konci sledovaného období je úroveň výživy draslíkem na srovnávaných plochách podobná.

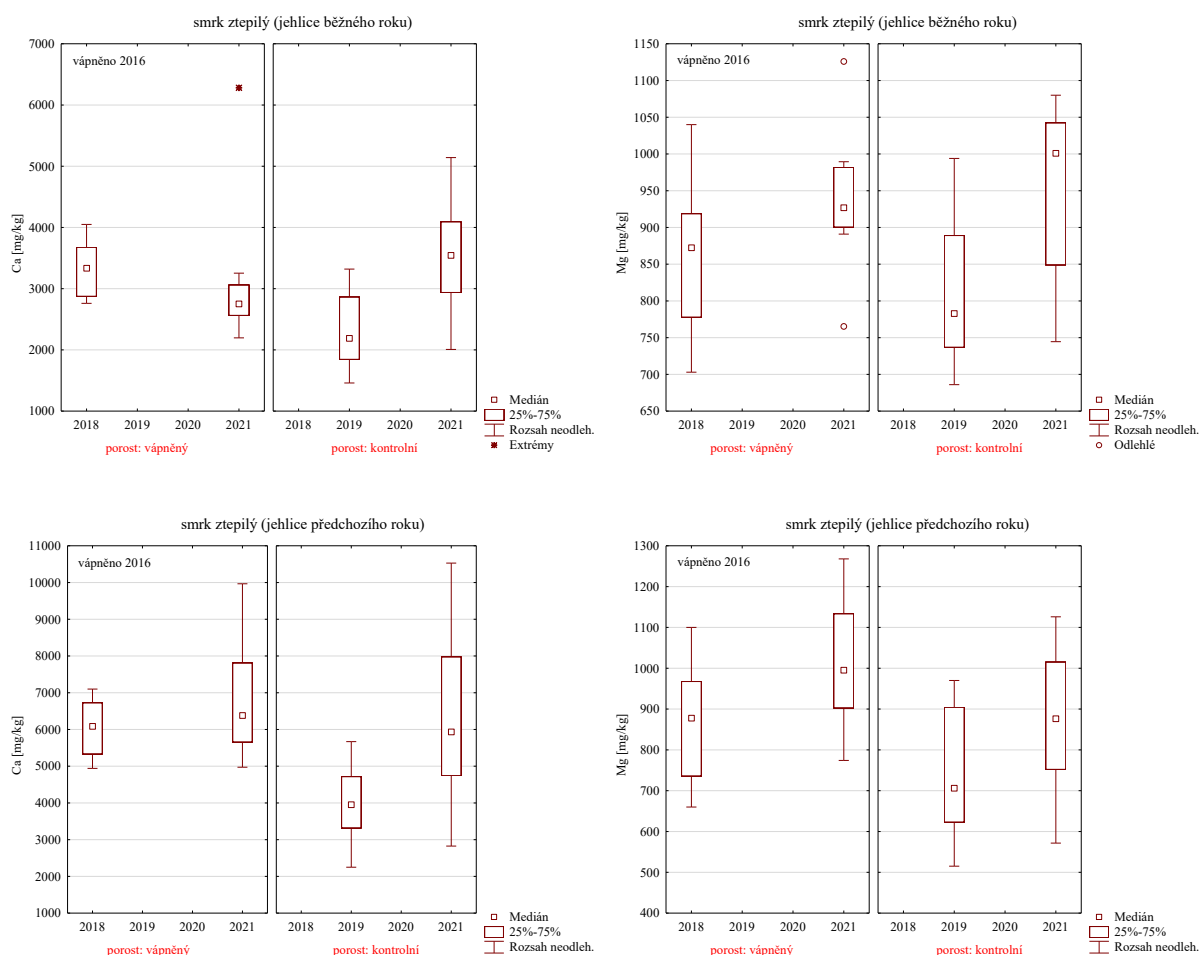


Obr. 13: Obsah draslíku v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.4. Vápník

Obsahy vápníku v jehlicích běžného roku i předchozího roku jsou v období dvou a pěti let od vápnění bez větší změny na vápněných plochách (Tab. 12). Na kontrolních plochách je v jehlicích běžného roku zjištěno významné doplnění velmi nízké zásoby z roku 2019 (Obr. 14).

V jehlicích předchozího roku jsou obsahy na vápněných plochách zřetelně vyšší a na plochách kontrolních je zaznamenán významný příjem podobně jako v případě draslíku.



Obr. 14: Obsah vápníku a hořčíku v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.5. Hořčík

Obsahy hořčíku se po pěti letech od vápnění v jehlicích běžného roku nevýznamně zvyšují na vápněných a významně na kontrolních plochách (Tab. 12).

V jehlicích předchozího roku je zaznamenáno významné zvýšení na vápněných plochách a na plochách kontrolních jsou obsahy stále v oblasti nízké zásoby ($601 - 850 \text{ mg.kg}^{-1}$). Zvyšování na plochách vápněných bereme jako důsledek vápnění. Významné zvýšení na plochách kontrolních považujeme za projev nahodilosti.

Tab. 14: Hodnocení průměrného obsahu prvků v jehlicích běžného roku na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období

	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)
vápněná	1,51	1993	7793	3153	939	31,0	35,4	12,2
hodnocení	4	5	4	2	3	1	3	1
kontrolní	1,62	1934	6776	3537	951	36,3	31,8	16,2
hodnocení	4	5	3	2	3	1	3	2

klasifikace ÚKZÚZ, Fiala et al, (2013). 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – střední, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký

Tab. 15: Hodnocení průměrného obsahu prvků v jehlicích předchozího roku na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období

	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)
vápněná	1,33	1185	4190	6830	1013	43,0	31,7	11,9
hodnocení	2	3	1	4	3	1	3	2
kontrolní	1,50	1482	5059	6331	873	50,9	31,6	15,7
hodnocení	3	4	2	3	3	1	3	3

klasifikace ÚKZÚZ, Fiala et al, (2013). 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – střední, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký

Tab. 16: Modelové a skutečné poměry vybraných prvků v jehlicích běžného roku na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období

Poměr	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg	Ca/Mg
Modelový *	7,1-12,0	1,9-3,6	2-7	8-14	0,8-2,4	2,2-6,4	2,5-5,0
Vápněné	7,6	2,0	5,2	16,1	2,7	8,4	3,3
kontrolní	8,4	2,5	4,9	17,2	2,1	7,3	3,7

*(ŠRÁMEK et al, 2009)

Tab. 17: Modelové a skutečné poměry vybraných prvků v jehlicích předchozího roku na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období

Poměr	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg	Ca/Mg
Modelový *	7,1-12,0	1,9-3,6	2-7	8-14	0,8-2,4	2,2-6,4	2,5-5,0
vápněné	11,3	3,4	2,0	13,5	0,6	4,3	7,0
kontrolní	10,2	3,0	2,7	17,9	0,9	6,2	7,2

*(ŠRÁMEK et al, 2009)

Z hodnocení poměrů prvků v pletivech jehlic, které bereme jako ukazatele vyrovnané nebo nevyrovnané výživy vyplývá nízká úroveň výživy dusíkem v jednoletých jehlicích na vápněných plochách, a to vzhledem k fosforu i draslíku. Dále nízká úroveň výživy hořčíkem, který je nedostatečný vůči nízkým obsahům dusíku ale i vůči draslíku. Na kontrolních plochách je situace podobná. Poměr živin v asimilačních pletivech tedy můžeme považovat za nevyrovnaný.

4.2.6. Mangan

Na plochách vápněných se mezi druhým a pátým rokem po vápnění nevýznamně snižuje obsah manganu v jehlicích běžného roku. Na plochách kontrolních se obsahy významně zvyšují až do hodnoty, která významně převyšuje hodnotu na vápněných plochách v pátém roce po vápnění.

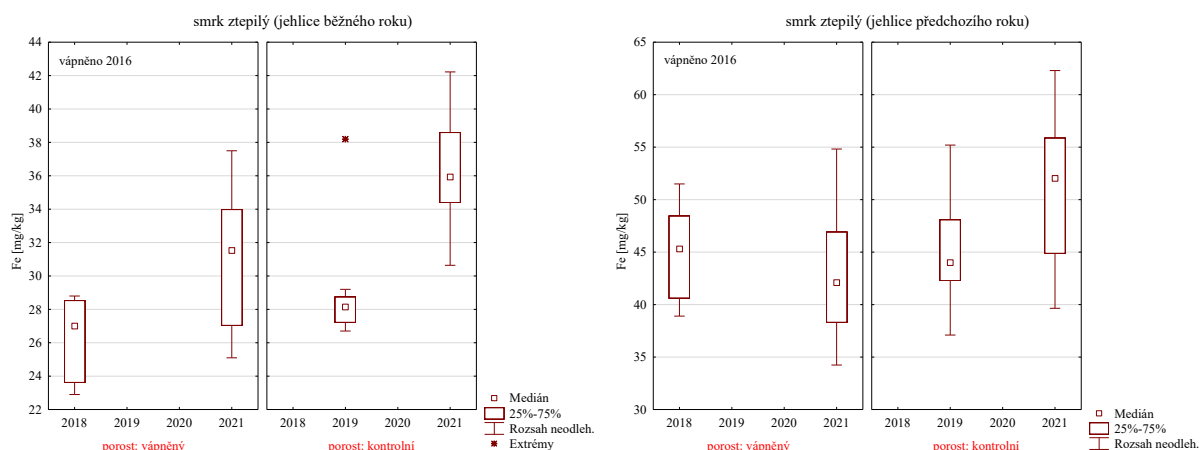
V jehlicích předchozího roku je v jehlicích ustálený nízký obsah manganu, ale na plochách kontrolních významně narůstá. Nízké hodnoty na vápněných plochách nepovažujeme z fyziologického hlediska za nedostatečné, a naopak vysoké hodnoty

na plochách kontrolních nedosahují hranice možné Mn-toxicity. Souvislost nižších obsahů s vápněním je zřejmá.

4.2.7. Železo

Na plochách vápněných i kontrolních se mezi druhým a pátým rokem po vápnění nevýznamně a na plochách kontrolních významně zvyšují obsahy železa v letorostech. Na obou srovnávaných plochách je tedy znatelná tendence příjmu železa. Na plochách vápněných je ovšem tento příjem tlumen zřejmě sníženou dostupností v důsledku vápnění.

V jehlicích předešlého roku jsou obsahy železa vyšší (Obr. 15). Souvislost s vápněním zde zjištěna není.



Obr. 15: Obsah železa v jehlicích smrku ztepilého vápněných a kontrolních porostů

4.2.8. Hliník

Na vápněných plochách jsou v letorostech i v jehlicích předešlého roku po dvou a pěti letech po vápnění zjištěny významně nižší obsahy hliníku vzhledem k jeho obsahu na kontrolních plochách. Na všech šetřených místech se v obou věkových třídách zvyšují mezi druhým a pátým rokem po vápnění obsahy hliníku a na kontrolních plochách je toto zvýšení významné. Zajímavá negativní souvislost je zjištěna v organominerálních i minerálních horizontech, kde se na vápněných i kontrolních plochách významně snižují obsahy přístupného hliníku. Obsahy extrahovatelného hliníku se přitom v horizontech organominerálních zvyšují na obou srovnávaných plochách a v minerálních horizontech se nevýznamně zvyšují pouze na plochách vápněných. U výměnných forem hliníku (Al^{3+}) nebyly zjištěny významné rozdíly nebo změny.

Opětovné okyselování půdního prostředí, při němž by se uvolňoval volný hliník do půdního roztoku zjištěno nebylo. Zvýšené hodnoty Al v asimilačních pletivech mohou tedy souviset s odčerpáním jeho výměnné formy z půdního prostředí a snížením jeho přístupnosti. Obsahy hliníku v jehlicích smrku nedosahují vysoké úrovně.

4.2.9. Bór

Na vápněných i kontrolních plochách se po dobu sledování zvyšují v jehlicích běžného i předešlého roku obsahy bóru. Na kontrolních plochách je toto zvýšení významné. Na šetřené lokalitě „Vejprty“ se neprojevil negativní vliv vápnění na příjem boru smrkem.

4.2.10. Kadmium, chróm, měď a nikl

Obsahy kadmia zůstávají po dobu pozorování beze změny. Obsahy chrómu se významně zvyšují v letorostech vápněných ploch, ale pohybují se v nízkých hodnotách obsahů. Obsahy mědi se významně zvyšují v letorostech vápněných ploch, ale podobně jako chróm jsou v nízké úrovni výživy. Podobné zvýšení je zaznamenáno i na kontrolních plochách jehlic předchozího roku.

Obsahy niklu jsou v letorostech beze změn na vápněných i kontrolních plochách a v jehlicích předchozího roku jsou významně nižší na vápněných plochách. Souvislost s vápněním v případě niklu nevyklučujeme, ale významný dopad na stav porostů nepředpokládáme.

4.3. Hodnocení obsahů prvků v listech břízy bělokoré

4.3.1. Dusík

Úroveň výživy dusíkem je v pátém roce po vápnění na vápněných i kontrolních plochách na vyhovující úrovni. V období mezi druhým a pátým rokem se na vápněných plochách významně zvyšuje z nízké úrovně (2,37 %) na úroveň vyhovující (2,55 %) a podobně na plochách kontrolních z nízké úrovně (2,39 %) na vyhovující (2,64 %) (Tab. 18). Vzhledem ke shodné změně na srovnávaných plochách nedáváme toto zvýšení do souvislosti s vápněním. Důvodem je zřejmě zvýšení příjmu dusíku po uvolnění břízy silnou probírkou.

Tab. 18: Průměrný obsah prvků v listech břízy

Prvek	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	2018	2021	2019	2021
N [%]	2,37	2,55	2,39	2,64
P [mg/kg]	1781	1956	1731	2410
K [mg/kg]	6756	7525	8983	9095
Ca [mg/kg]	7241	7032	5916	6989
Mg [mg/kg]	2874	2915	2089	2070
S [mg/kg]	1570	1670	1733	1753
B [mg/kg]	25,1	22,5	29,6	23,3
Mn [mg/kg]	477	412	791	989
Fe [mg/kg]	52,5	95,5	74,6	106
Al [mg/kg]	27,0	56,7	55,8	79,9
Zn [mg/kg]	144	173	164	205

Tab.19: Hodnocení průměrného obsahu prvků v listech břízy na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období

	N (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)
vápněná	2,55	1956	7525	7032	2915	95,5	173	22,5
hodnocení	3	3	2	3	4	4	3	2
kontrolní	2,64	2410	9095	6989	2070	106	205	23,3
hodnocení	3	5	3	3	2	4	4	2

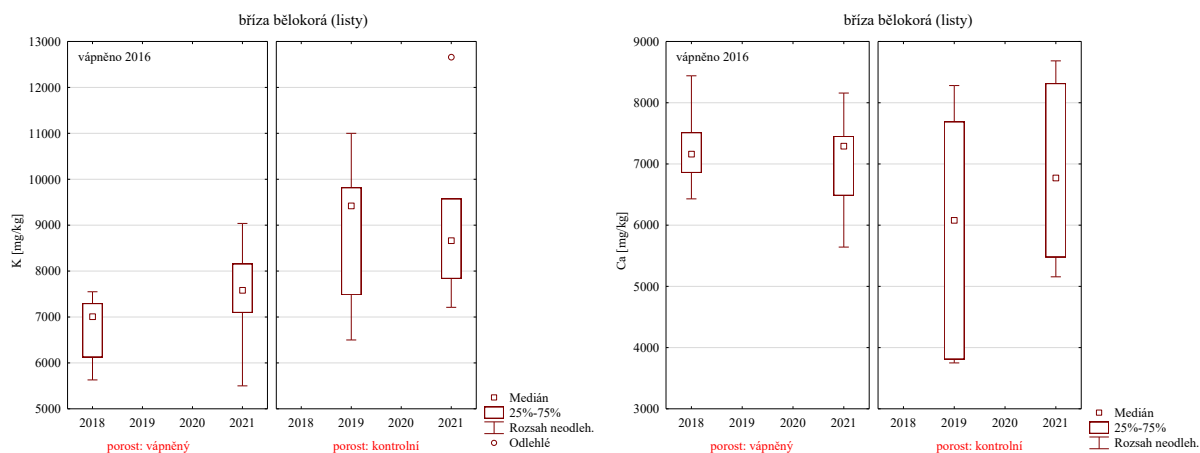
klasifikace ÚKZÚZ, Fiala et al, (2013). 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – střední, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký

4.3.2. Fosfor

Výživa fosforem se na vápněných plochách poněkud a na plochách kontrolních výrazně zvyšuje. Tento poznatek pravděpodobně nesouvisí s vápněním, ale vylučuje možnost nežádoucí blokace fosforu vápníkem.

4.3.3. Draslík

Podobně jako u fosforu je tomu v případě draslíku, kdy se na vápněných i kontrolních plochách výživa draslíkem zvyšuje (Obr. 16). Na přiložených kartogramech je vidět více lokalit s úrovní vyhovující a jednu s úrovní luxusní na kontrolních plochách. Naopak na lokalitách vápněných je zaznamenána hodnota nedostatečné úrovně obsahu draslíku.



Obr. 16: Obsah draslíku a vápníku v listech břízy bělokora vápněných a kontrolních porostů

4.3.4. Vápník

Předpoklad zvýšení úrovně výživy vápníkem se nenaplnil. Na lokalitách vápněných zůstávají obsahy vápníku na podobné úrovni a na plochách kontrolních se poněkud zvyšují (Obr. 16).

Tab. 20: Modelové a skutečné poměry vybraných prvků v listech břízy na vápněných a kontrolních plochách na konci pětiletého období.

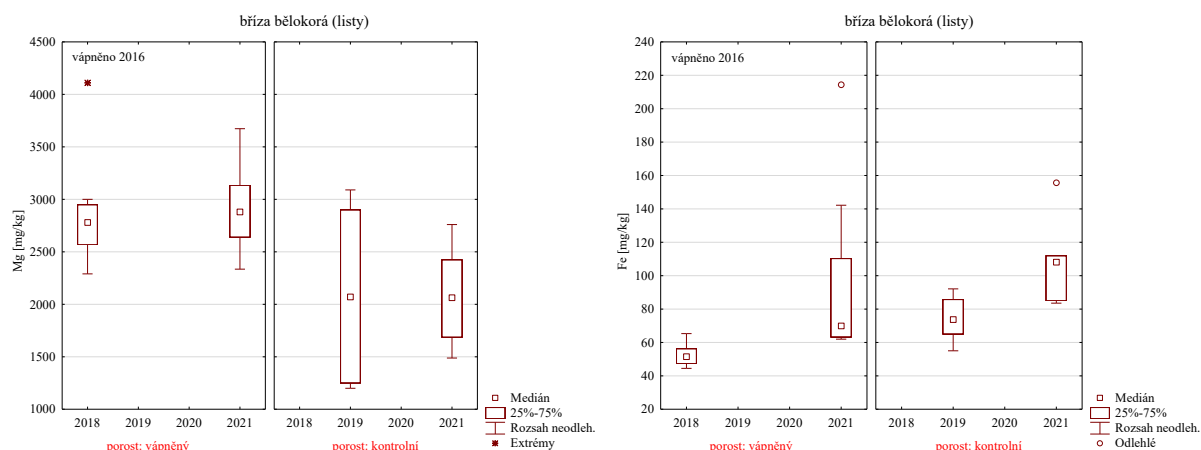
Poměr	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg	Ca/Mg
Modelový *	8,3-26,7	1,7-4,0	1,7-13,3	8,3-26,7	0,7-5,0	3,3-10,0	3,3-10,0
Vápněné	13,1	3,44	3,68	8,92	1,09	2,63	2,45
kontrolní	11,4	2,99	3,93	13,3	1,35	4,69	3,51

*(ŠRÁMEK et al, 2009)

4.3.5. Hořčík

Úroveň výživy hořčíkem je v pátém roce po vápnění na vápněných plochách na vyhovující až vysoké úrovni. Obsahy se po dobu pozorování na plochách vápněných poněkud zvyšují (Obr. 17).

Na plochách kontrolních jsou výrazně nižší a po dobu šetření se výrazně nemění. Na vápněných plochách doznívá vliv dolomitického vápence. Vyšší obsahy hořčíku na těchto plochách jsou kladným důsledkem vápnění.



Obr. 17: Obsah hořčíku a železa v listech břízy bělokoré vápněných a kontrolních porostů

4.3.6. Mangan

Obsahy manganu se během sledovaného období významně nezměnily. Na plochách vápněných je v pátém roce po vápnění zjištěn významně nižší obsah manganu než na plochách kontrolních. I v tomto případě se pravděpodobně projevuje vliv vápnění. V praxi je třeba kontrolovat příznaky Mn-toxicity projevující se na starších listech chlorotickými skvrnami, které se postupně zvětšují a mění zabarvení na červenavé, hnědé až černé. Může dojít až k odumření listů.

4.3.7. Železo

Obsahy železa se mezi druhým a pátým rokem po vápnění na vápněných plochách významně zvyšují (Tab. 18). Na plochách kontrolních nedosahuje zvýšení statistické významnosti. Úroveň výživy železem je podle hodnocení ÚKZÚZ na vápněných i na kontrolních plochách na vysoké úrovni (Tab. 19).

5. Závěr

Pro vyhodnocení účinnosti vápnění na lesní stanoviště po pěti letech od vápnění byly využity porosty na vápněných i kontrolních lokalitách. Hodnocení a porovnání chemických vlastností půdy a asimilačních orgánů se týká stavu na konci sledované periody a vývoje v období po dvou a pěti letech od vápnění.

Ze sledování množství nadložního organického materiálu a obsahu spalitelného uhlíku C_{ox} vyplývá, že během pozorování nedošlo k nežádoucímu úbytku organického materiálu v důsledku možné zvýšené mikrobiální činnosti po vápnění. Vápnění přispělo ke zvýšení hodnoty pH, která se i po pěti letech od vápnění udržuje na vyšší úrovni, než je tomu na stanovištích kontrolních. V nadložních organických horizontech je toto zvýšení významné a prokázané. V minerálních částech půdních profilů tedy v horizontech organominerálních a minerálních je zvýšení hodnoty pH v důsledku vápnění patrné, ale statisticky nevýznamné. Vápněním nebyly negativně ovlivněny obsahy fosforu a draslíku v půdách. V nadložních organických horizontech byly dokonce zjištěny vyšší obsahy draslíku na vápněných stanovištích po pěti letech od vápnění. Obsahy vápníku a hořčíku jsou vyšší na vápněných plochách ve srovnání s kontrolními. Přístupnost hořčíku rostlinám se ve spodních minerálních horizontech v období mezi dvěma a pěti lety po vápnění významně zvyšuje. Sycení vápníkem a hořčíkem je významně vyšší na vápněných stanovištích. Podle významně vyššího sycení kationtem vápníku ve spodních částech půdních profilů (minerálních horizontech) a podle stabilního sycení kationtem hořčíku v organominerálních a minerálních horizontech usuzujeme na doznívání vlivu dolomitického vápence po pěti letech od vápnění. Kladný účinek vápnění se projevuje rovněž významně vyšším obsazením sorpčního komplexu bazickými kationty na vápněných stanovištích a nižším podílem toxickým kationtem hliníku.

Změny v chemizmu půdního prostředí se projeví také ve výživě dřevin, a to především ve vyšších obsazích vápníku a hořčíku v jehlicích předchozího roku. V jehlicích běžného roku nejsou zjištěny významné rozdíly na vápněných i kontrolních plochách. Stav výživy rovněž napovídá doznívání vlivu dolomitického vápence v tomto období.

Šetření obsahu prvků v listech břízy ukázalo naopak zvyšující se příjem hořčíku na konci sledovaného období a mírný pokles vápníku. V případě břízy se může jednat o rychlejší reakci na uvolnění při současných přeměnách druhové skladby náhradních porostů.

Souvislost vápnění s obsahy rizikových prvků nebyla během šetření zjištěna s výjimkou nižšího příjmu manganu smrkem a břízou na vápněných stanovištích. Vápněním nebyl negativně ovlivněn příjem boru těmito dřevinami.

Dosavadní šetření popsalo polovinu předpokládaného období studia vlivu vápnění lesních pozemků dolomitickým vápencem. V dalším šetření, které připadá na desátý rok po vápnění, je třeba se soustředit na stav chemické půdní reakce a obsahy hořčíku v půdním prostředí. Tyto chemické vlastnosti už zřejmě nebudou ovlivněny dosavadním vápněním a ustálí se na své přirozené úrovni, podobně jako volné formy hliníku a obsazení sorpčního půdního komplexu bazickými kationty. Doznívání vlivu vápence předpokládáme v obsazích vápníku ve všech jeho šetřených formách i ve výživě dřevin. Pozornost je také třeba soustředit vedle základních biogenních prvků včetně železa, také na bór i potenciálně škodlivý mangan.

6. Literatura

FIALA P., REININGER D., SAMEK T., NĚMEC P., SUŠIL A. 2013: Průzkum výživy lesa v České republice 1996 – 2011. Brno, ÚKZÚZ: 148 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 (2021)

	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	8	154	166	96,8	193	121	185
pH _{CaCl2}	8	3,41	3,36	3,13	3,81	3,24	3,56
pH _{H2O}	8	4,11	4,10	3,69	4,43	3,94	4,33
N [%]	8	1,08	1,08	0,66	1,49	0,99	1,18
C _{OX} [%]	8	18,0	18,8	4,45	25,4	15,2	23,0
C/N	8	16,2	15,6	6,77	22,2	14,3	20,4
Al _{dus} [mg/kg]	8	10029	7615	6129	18770	7197	12855
B _{dus} [mg/kg]	8	1,65	1,61	1,27	2,18	1,40	1,86
Ca _{dus} [mg/kg]	8	1308	1154	664	2520	766	1722
Cd _{dus} [mg/kg]	8	0,28	0,26	0,18	0,41	0,22	0,35
Cr _{dus} [mg/kg]	8	11,6	7,15	5,54	30,0	6,01	15,4
Cu _{dus} [mg/kg]	8	9,79	9,78	7,26	12,1	8,80	10,9
Fe _{dus} [mg/kg]	8	10225	7027	3756	19270	6091	16270
K _{dus} [mg/kg]	8	1308	1231	916	1878	1126	1478
Mg _{dus} [mg/kg]	8	884	725	443	1589	475	1321
Mn _{dus} [mg/kg]	8	195	142	37,4	493	120	253
P _{dus} [mg/kg]	8	949	860	733	1660	827	913
Pb _{dus} [mg/kg]	8	124	123	76,7	193	105	134
Zn _{dus} [mg/kg]	8	48,0	43,0	28,4	91,5	34,6	54,4

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	8	155	157	70,9	204	135	192
pH _{CaCl2}	8	4,25	4,07	3,45	5,96	3,76	4,47
pH _{H2O}	8	4,16	4,13	3,90	4,63	4,00	4,25
N [%]	8	0,94	0,93	0,90	1,03	0,91	0,97
C _{OX} [%]	8	16,0	17,2	7,28	22,1	13,4	18,9
C/N	8	16,9	18,0	8,13	21,4	14,4	20,4
Al _{dus} [mg/kg]	8	9427	9815	6590	11870	8355	10307
B _{dus} [mg/kg]	8	1,51	1,51	1,04	2,03	1,08	1,91
Ca _{dus} [mg/kg]	8	4658	3407	1144	15090	2429	4679
Cd _{dus} [mg/kg]	8	0,18	0,17	0,11	0,32	0,13	0,22
Cr _{dus} [mg/kg]	8	12,0	11,9	9,14	15,4	10,2	13,5
Cu _{dus} [mg/kg]	8	9,66	10,1	5,83	12,6	8,04	11,3
Fe _{dus} [mg/kg]	8	15151	14915	13060	17460	14195	16235
K _{dus} [mg/kg]	8	1533	1571	1206	1668	1510	1616
Mg _{dus} [mg/kg]	8	2606	1870	1315	7509	1502	2642
Mn _{dus} [mg/kg]	8	237	229	137	355	156	318
P _{dus} [mg/kg]	8	856	833	706	1013	776	957
Pb _{dus} [mg/kg]	8	112	109	54,5	170	95,7	130
Zn _{dus} [mg/kg]	8	48,7	47,7	34,4	62,7	43,4	55,2

7.1.2. Horizont organominerální

Popisné statistiky – horizont organominerální – kontrolní porosty (2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,41	3,35	3,12	3,92	3,31	3,49
pH _{H2O}	8	4,17	4,15	3,76	4,61	4,03	4,31
Vým. acid. [mekv./kg]	8	139	129	106	205	114	156
C _{OX} [%]	8	4,25	4,40	2,81	5,09	3,85	4,82
N [%]	8	0,26	0,26	0,21	0,32	0,24	0,29
C/N	8	16,2	16,8	11,9	18,0	15,5	17,5
Al _{MIII} [mg/kg]	8	1465	1447	1151	1776	1284	1667
P _{MIII} [mg/kg]	8	--	6,44	< 3,5	43,1	< 3,5	11,5
K _{MIII} [mg/kg]	8	77,4	82,0	43,7	105,1	57,5	95,6
Ca _{MIII} [mg/kg]	8	178	114	77,3	558	88,0	191
Mg _{MIII} [mg/kg]	8	55,3	33,3	23,0	197	26,1	51,7
B _{MIII} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	8	587	602	440	680	525	660
S _{MIII} [mg/kg]	8	22,7	20,5	16,1	38,2	17,9	25,2
P _{dus} [mg/kg]	8	170	127	76,1	411	116	194
K _{dus} [mg/kg]	8	168	164	78,7	314	120	192
Mg _{dus} [mg/kg]	8	303	198	71,3	1003	93,0	385
Ca _{dus} [mg/kg]	8	251	155	97,3	867	118	250
Al _{dus} [mg/kg]	8	3928	3239	1748	9269	2398	4567
Cd _{dus} [mg/kg]	8	--	0,29	< 0,2	0,54	< 0,2	0,37
Cr _{dus} [mg/kg]	8	5,65	3,14	1,18	17,9	1,85	8,06
Cu _{dus} [mg/kg]	8	6,03	4,93	1,86	13,5	3,46	8,03
Fe _{dus} [mg/kg]	8	8191	6668	801	15760	5162	12652
Mn _{dus} [mg/kg]	8	191	48,8	3,74	992	40,0	179
Pb _{dus} [mg/kg]	8	76,0	69,1	37,9	119	56,8	99,6
Zn _{dus} [mg/kg]	8	12,2	10,6	5,75	24,0	6,23	17,2
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	69,5	63,8	50,6	92,0	58,9	84,1
K _{VYM} [mekv./kg]	8	1,56	1,64	0,86	2,13	1,18	1,94
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	10,5	5,88	4,27	36,3	4,81	10,8
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	4,22	2,36	1,51	15,86	1,79	4,04
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,25	0,20	0,12	0,61	0,15	0,26
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,45	0,19	< 0,1	1,49	0,12	0,73
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	61,8	57,5	48,0	83,2	50,5	73,7
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	3,10	3,36	0,58	5,27	2,21	3,90
CEC [mekv./kg]	8	86,0	85,8	67,5	106	70,7	101
BS [%]	8	18,3	11,9	9,21	52,0	10,7	19,9
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,19	0,09	0,06	0,75	0,07	0,20
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,08	0,04	0,02	0,33	0,03	0,07
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	8	16,2	10,0	7,11	54,3	8,99	15,3
BS/(Al+H) _{VYM}	8	0,27	0,13	0,10	1,07	0,12	0,24

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont organominerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,94	3,61	3,36	5,65	3,55	4,10
pH _{H2O}	8	4,70	4,37	4,08	6,36	4,32	4,91
Vým. acid. [mekv./kg]	8	165	187	83,2	223	121	200
Cox [%]	8	4,91	4,87	4,09	6,14	4,44	5,22
N [%]	8	0,27	0,27	0,23	0,35	0,24	0,29
C/N	8	18,1	17,7	16,5	21,2	17,1	18,8
Al _{III} [mg/kg]	8	1599	1552	1389	1863	1455	1763
P _{III} [mg/kg]	8	< 3,5	< 3,5	< 3,5	12,09	< 3,5	< 3,5
K _{III} [mg/kg]	8	75,8	73,3	59,0	95,3	65,0	87,9
Ca _{III} [mg/kg]	8	785	521	329	2056	394	1031
Mg _{III} [mg/kg]	8	322	243	117	990	154	336
B _{III} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{III} [mg/kg]	8	591	612	441	679	563	629
S _{III} [mg/kg]	8	20,6	20,5	17,9	22,9	19,2	22,1
P _{dus} [mg/kg]	8	183	154	115	395	129	193
K _{dus} [mg/kg]	8	205	185	116	337	144	264
Mg _{dus} [mg/kg]	8	1016	779	412	3141	649	861
Ca _{dus} [mg/kg]	8	1346	682	437	5119	536	1387
Al _{dus} [mg/kg]	8	5402	5208	3947	7251	4880	5923
Cd _{dus} [mg/kg]	8	0,36	0,29	< 0,2	0,80	0,22	0,49
Cr _{dus} [mg/kg]	8	8,04	8,47	4,38	9,73	7,18	9,43
Cu _{dus} [mg/kg]	8	7,53	7,45	4,82	9,97	6,52	8,75
Fe _{dus} [mg/kg]	8	13229	13030	9635	16150	12300	14695
Mn _{dus} [mg/kg]	8	144	135	52,4	263	85,8	196
Pb _{dus} [mg/kg]	8	91,9	100	58,2	119	70,2	109
Zn _{dus} [mg/kg]	8	12,2	11,6	9,2	17,4	10,1	13,8
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	62,8	71,5	< 1,0	103	40,5	87,5
K _{VYM} [mekv./kg]	8	1,52	1,54	1,25	1,80	1,29	1,72
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	46,8	30,2	17,8	132	23,7	58,7
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	28,4	20,2	8,97	96,2	11,6	29,5
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,23	0,24	0,16	0,31	0,18	0,27
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,52	0,56	0,18	1,03	0,20	0,70
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	53,5	59,4	< 3,0	90,7	32,3	76,1
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	3,20	3,16	< 0,3	6,25	1,49	4,94
CEC [mekv./kg]	8	140	132	97,4	231	124	139
BS [%]	8	50,6	40,3	23,4	99,6	30,2	70,4
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	8	12,0	0,45	0,23	87,8	0,33	3,31
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	8	8,48	0,30	0,10	64,13	0,17	1,35
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	8	76,8	51,8	28,8	230	36,4	89,7
BS/(Al+H) _{VYM}	8	58,7	0,67	0,30	459	0,43	4,03

7.1.3. Horizont minerální

Popisné statistiky – horizont minerální – kontrolní porosty (2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,69	3,64	3,51	3,98	3,60	3,79
pH _{H2O}	8	4,45	4,42	4,17	4,79	4,35	4,55
Vým. acid. [mekv./kg]	8	95,5	100	51,2	110	96,8	105
C _{OX} [%]	8	2,73	2,97	< 0,35	3,84	2,57	3,37
N [%]	8	0,18	0,18	0,13	0,27	0,17	0,19
C/N	8	14,5	15,8	1,40	18,5	14,1	18,0
Al _{MIII} [mg/kg]	8	1646	1759	625	2073	1615	1861
P _{MIII} [mg/kg]	8	--	4,11	< 3,5	48,4	< 3,5	5,42
K _{MIII} [mg/kg]	8	50,3	49,6	29,2	68,2	39,8	62,9
Ca _{MIII} [mg/kg]	8	115	67,2	35,2	403	41,7	131
Mg _{MIII} [mg/kg]	8	34,6	21,0	< 10	149	17,0	23,6
B _{MIII} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	8	483	521	205	624	423	573
SMIII [mg/kg]	8	26,4	28,2	9,69	34,8	23,3	31,8
P _{du} [mg/kg]	8	161	155	38,3	276	73,0	258
K _{du} [mg/kg]	8	193	164	44,2	431	124	248
Mg _{du} [mg/kg]	8	485	340	21,2	1159	191	819
Ca _{du} [mg/kg]	8	198	119	40,5	719	75,5	216
Al _{du} [mg/kg]	8	5497	4993	811	8557	4231	8079
Cd _{du} [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,50	< 0,2	0,23
Cr _{du} [mg/kg]	8	6,81	4,96	0,50	19,3	2,63	9,79
Cu _{du} [mg/kg]	8	4,78	3,94	1,19	10,7	2,08	7,13
Fe _{du} [mg/kg]	8	10400	11985	259	16440	6574	14690
Mn _{du} [mg/kg]	8	288	118	1,56	1381	86,9	256
Pb _{du} [mg/kg]	8	47,2	49,5	12,0	74,3	40,3	55,7
Zn _{du} [mg/kg]	8	15,0	13,0	4,33	30,4	8,16	21,7
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	53,2	56,6	30,5	63,5	47,3	62,0
K _{VYM} [mekv./kg]	8	0,91	0,89	0,44	1,34	0,67	1,20
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	6,84	3,67	1,84	26,0	2,05	7,72
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	2,54	1,39	0,63	11,5	1,11	1,61
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,19	0,16	0,07	0,52	0,12	0,19
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,45	0,29	< 0,1	1,53	0,15	0,59
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	50,1	53,7	24,7	61,7	45,0	58,5
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	1,38	1,31	< 0,3	3,23	0,77	1,75
CEC [mekv./kg]	8	63,7	66,5	34,4	80,8	61,7	69,0
BS [%]	8	15,2	10,8	5,76	48,6	7,30	15,4
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,15	0,08	0,04	0,65	0,05	0,15
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,06	0,02	0,01	0,29	0,02	0,04
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	8	10,3	6,00	3,16	38,8	4,05	10,18
BS/(Al+H) _{VYM}	8	0,22	0,12	0,06	0,93	0,08	0,18

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont minerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,99	3,87	3,67	4,79	3,81	4,07
pH _{H2O}	8	4,73	4,58	4,36	5,61	4,52	4,85
Vým. acid. [mekv./kg]	8	113	117	73,6	147	94,4	129
Cox [%]	8	2,79	2,43	1,92	3,71	2,28	3,64
N [%]	8	0,19	0,18	0,14	0,24	0,18	0,21
C/N	8	14,8	14,9	10,6	18,5	12,9	16,9
Al _{III} [mg/kg]	8	1983	2024	1640	2288	1863	2082
P _{III} [mg/kg]	8	< 3,5	< 3,5	< 3,5	6,29	< 3,5	< 3,5
K _{III} [mg/kg]	8	54,5	49,9	42,1	76,1	45,0	64,1
Ca _{III} [mg/kg]	8	272	162	100	534	161	448
Mg _{III} [mg/kg]	8	113	91,4	50,6	288	71,5	119
B _{III} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{III} [mg/kg]	8	483	544	248	571	422	556
S _{III} [mg/kg]	8	33,4	32,6	27,3	43,0	27,8	37,9
P _{dus} [mg/kg]	8	165	168	111	233	114	206
K _{dus} [mg/kg]	8	225	232	128	306	182	269
Mg _{dus} [mg/kg]	8	1143	1120	747	1722	1032	1187
Ca _{dus} [mg/kg]	8	448	353	231	855	274	624
Al _{dus} [mg/kg]	8	8761	8332	6644	11380	7506	10193
Cd _{dus} [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,26	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	8	10,6	10,8	6,39	13,2	9,52	12,3
Cu _{dus} [mg/kg]	8	7,01	7,18	4,68	8,21	6,65	7,75
Fe _{dus} [mg/kg]	8	15830	15795	13590	19710	14070	16805
Mn _{dus} [mg/kg]	8	229	208	91,9	367	116	365
Pb _{dus} [mg/kg]	8	47,4	47,2	27,4	61,3	40,8	57,3
Zn _{dus} [mg/kg]	8	19,1	18,5	15,0	25,6	16,5	21,1
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	52,4	58,3	6,93	78,4	42,1	66,5
K _{VYM} [mekv./kg]	8	0,93	0,91	0,65	1,40	0,74	1,06
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	15,9	10,2	5,39	31,0	9,51	25,5
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	8,98	6,77	3,47	26,5	5,40	8,75
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,20	0,18	0,10	0,33	0,17	0,22
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,34	0,33	0,11	0,56	0,16	0,55
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	45,6	51,1	6,12	74,3	34,3	56,8
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	1,05	0,94	< 0,3	1,80	0,63	1,66
CEC [mekv./kg]	8	78,4	80,9	60,5	94,5	69,6	85,5
BS [%]	8	34,5	21,9	16,5	89,5	18,2	45,0
Ca _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,92	0,18	0,13	5,07	0,15	0,76
Mg _{VYM} /Al _{VYM}	8	0,67	0,12	0,06	4,33	0,10	0,25
(K _{VYM} +Ca _{VYM} +Mg _{VYM}) [mekv./kg]	8	25,8	17,7	9,82	58,7	15,8	35,2
BS/(Al+H) _{VYM}	8	1,42	0,28	0,19	8,47	0,22	0,86

7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - kontrolní porosty (2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	68,8	67,7	57,4	79,2	64,7	74,5
B [mg/kg]	8	16,2	16,9	9,31	19,7	15,0	18,4
Ca [mg/kg]	8	3537	3544	2008	5141	2932	4096
Cd [mg/kg]	8	0,06	0,04	0,02	0,16	0,03	0,07
Cr [mg/kg]	8	0,13	0,13	0,10	0,15	0,11	0,13
Cu [mg/kg]	8	3,16	3,24	2,85	3,46	2,91	3,32
Fe [mg/kg]	8	36,3	35,9	30,6	42,2	34,4	38,6
K [mg/kg]	8	6776	7406	4085	7912	5900	7799
Mg [mg/kg]	8	951	1001	745	1080	849	1043
Mn [mg/kg]	8	456	410	245	726	305	624
N [%]	8	1,62	1,64	1,43	1,84	1,51	1,70
Ni [mg/kg]	8	1,35	1,20	0,92	2,55	0,99	1,47
P [mg/kg]	8	1934	1930	1629	2118	1865	2067
Pb [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S [mg/kg]	8	1021	1039	888	1073	1006	1061
Zn [mg/kg]	8	31,8	33,0	19,1	40,1	29,1	35,5
N/P	8	8,41	8,70	7,06	9,46	7,60	9,07
N/K	8	2,48	2,30	1,89	3,50	2,09	2,84
N/Ca	8	4,88	4,62	3,31	7,27	3,83	5,77
N/Mg	8	17,2	17,6	14,2	20,4	15,1	18,9
K/Ca	8	2,12	2,06	1,08	3,84	1,26	2,69
K/Mg	8	7,28	7,48	4,06	10,4	5,99	8,43
Ca/Mg	8	3,73	3,54	2,68	4,93	2,83	4,74

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	46,8	45,5	29,3	69,4	38,4	54,0
B [mg/kg]	8	12,2	11,9	9,01	17,9	10,1	13,3
Ca [mg/kg]	8	3153	2754	2197	6281	2558	3062
Cd [mg/kg]	8	0,06	0,03	< 0,02	0,20	0,02	0,07
Cr [mg/kg]	8	0,15	0,14	0,11	0,20	0,12	0,17
Cu [mg/kg]	8	3,59	3,59	2,87	4,32	3,28	3,88
Fe [mg/kg]	8	31,0	31,5	25,1	37,5	27,0	34,0
K [mg/kg]	8	7793	7482	5984	10260	6560	9010
Mg [mg/kg]	8	939	927	765	1126	900	982
Mn [mg/kg]	8	175	152	56,1	364	81,8	258
N [%]	8	1,51	1,53	1,23	1,70	1,44	1,59
Ni [mg/kg]	8	1,20	1,17	0,31	1,88	0,99	1,54
P [mg/kg]	8	1993	1960	1809	2202	1882	2124
Pb [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S [mg/kg]	8	922	942	802	1058	848	967
Zn [mg/kg]	8	35,4	35,3	26,0	45,8	30,6	39,6
N/P	8	7,55	7,62	6,80	8,31	7,28	7,75
N/K	8	1,97	2,03	1,65	2,41	1,73	2,10
N/Ca	8	5,16	5,50	2,53	6,04	5,23	5,62
N/Mg	8	16,1	16,1	13,2	18,9	14,9	17,5
K/Ca	8	2,66	2,71	1,23	3,42	2,56	3,03
K/Mg	8	8,37	8,18	6,44	10,8	6,73	9,93
Ca/Mg	8	3,31	3,14	2,36	5,58	2,72	3,40

7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – kontrolní porosty (2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	125	118	95,3	182	106	138
B [mg/kg]	8	15,7	15,9	7,80	21,9	13,5	18,4
Ca [mg/kg]	8	6331	5933	2825	10530	4736	7980
Cd [mg/kg]	8	0,06	0,04	0,02	0,19	0,03	0,07
Cr [mg/kg]	8	0,16	0,16	0,12	0,19	0,15	0,18
Cu [mg/kg]	8	2,37	2,36	1,84	2,95	2,06	2,68
Fe [mg/kg]	8	50,9	52,0	39,7	62,3	44,9	55,9
K [mg/kg]	8	5059	5134	3609	6166	4768	5449
Mg [mg/kg]	8	873	876	572	1126	751	1015
Mn [mg/kg]	8	673	560	420	1063	448	941
N [%]	8	1,50	1,55	1,37	1,61	1,38	1,60
Ni [mg/kg]	8	0,90	0,76	0,51	2,10	0,70	0,85
P [mg/kg]	8	1482	1463	1350	1635	1413	1559
Pb [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,25	< 0,2	0,21
S [mg/kg]	8	1009	1034	853	1080	972	1063
Zn [mg/kg]	8	31,6	31,5	14,1	45,3	25,6	39,4
N/P	8	10,2	10,3	8,46	11,4	9,47	11,1
N/K	8	3,03	3,07	2,48	3,85	2,61	3,26
N/Ca	8	2,71	2,53	1,51	4,85	1,94	3,21
N/Mg	8	17,9	17,9	13,2	24,0	14,1	21,2
K/Ca	8	0,94	0,90	0,46	1,96	0,55	1,12
K/Mg	8	6,16	5,78	3,43	9,67	4,79	7,53
Ca/Mg	8	7,20	6,43	4,72	10,8	5,28	9,34

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	72,7	66,8	40,7	122	53,5	89,2
B [mg/kg]	8	11,9	12,6	7,77	17,5	8,87	13,4
Ca [mg/kg]	8	6830	6384	4973	9967	5653	7812
Cd [mg/kg]	8	0,06	0,03	< 0,02	0,23	0,02	0,06
Cr [mg/kg]	8	0,16	0,16	0,14	0,22	0,15	0,17
Cu [mg/kg]	8	2,39	2,39	2,05	2,70	2,21	2,60
Fe [mg/kg]	8	43,0	42,1	34,2	54,8	38,3	46,9
K [mg/kg]	8	4190	3795	2998	6644	3233	4912
Mg [mg/kg]	8	1013	995	774	1268	902	1134
Mn [mg/kg]	8	381	326	72,5	743	146	643
N [%]	8	1,33	1,31	1,19	1,47	1,30	1,40
Ni [mg/kg]	8	0,48	0,47	0,28	0,74	0,31	0,63
P [mg/kg]	8	1185	1130	1026	1439	1113	1264
Pb [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
S [mg/kg]	8	880	831	799	1091	816	927
Zn [mg/kg]	8	31,7	27,7	19,7	50,3	24,3	39,7
N/P	8	11,3	11,5	9,93	12,9	10,3	12,3
N/K	8	3,37	3,46	2,21	4,14	2,80	4,03
N/Ca	8	2,03	2,05	1,47	2,47	1,75	2,33
N/Mg	8	13,5	14,1	9,4	16,9	11,4	15,4
K/Ca	8	0,62	0,59	0,51	0,89	0,54	0,63
K/Mg	8	4,29	3,99	2,36	7,05	3,09	5,38
Ca/Mg	8	6,95	6,53	3,92	10,57	5,45	8,58

7.1.6. Bříza bělokorá – listy

Popisné statistiky – bříza bělokorá (listy) – kontrolní porosty (2021)

Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	7	79,9	75,2	58,6	114,6	63,0	87,7
B [mg/kg]	7	23,3	21,9	20,3	29,4	21,4	25,5
Ca [mg/kg]	7	6989	6771	5156	8684	5480	8317
Cd [mg/kg]	7	0,26	0,20	0,12	0,51	0,14	0,45
Cr [mg/kg]	7	0,29	0,26	0,21	0,39	0,24	0,35
Cu [mg/kg]	7	6,00	6,22	5,47	6,43	5,48	6,38
Fe [mg/kg]	7	106	108	83,5	156	84,9	112
K [mg/kg]	7	9095	8665	7211	12660	7835	9576
Mg [mg/kg]	7	2070	2064	1488	2760	1685	2425
Mn [mg/kg]	7	989	1020	450	1594	558	1381
N [%]	7	2,64	2,59	2,51	2,82	2,58	2,81
Ni [mg/kg]	7	3,65	3,24	2,47	5,49	2,88	4,18
P [mg/kg]	7	2410	2172	1910	3473	1963	2838
Pb [mg/kg]	7	0,73	0,68	0,51	1,09	0,51	0,86
S [mg/kg]	7	1753	1786	1605	1862	1663	1835
Zn [mg/kg]	7	205	198	141	260	172	240
N/P	7	11,4	11,6	8,09	14,8	9,16	13,2
N/K	7	2,99	3,03	2,05	3,60	2,70	3,59
N/Ca	7	3,93	3,84	2,98	5,15	3,12	5,00
N/Mg	7	13,3	13,7	9,38	17,4	11,3	15,4
K/Ca	7	1,35	1,43	0,83	1,87	1,04	1,65
K/Mg	7	4,69	3,80	2,61	7,51	3,57	6,44
Ca/Mg	7	3,51	3,43	2,25	5,58	2,66	4,02

Popisné statistiky – bříza bělokorá (listy) – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2021)

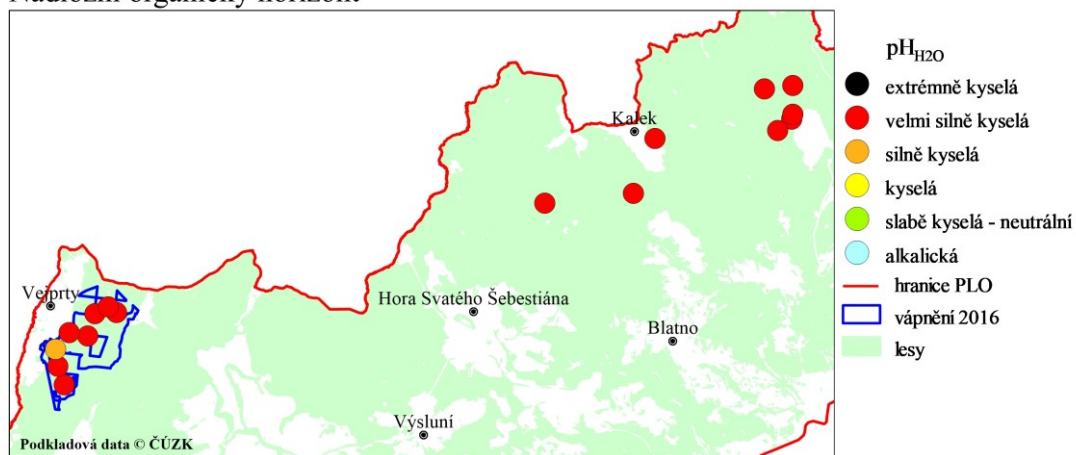
Proměnná	N	Průměr	Medián	Minimální	Maximál.	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	56,7	41,8	33,8	114,0	35,0	76,3
B [mg/kg]	8	22,5	21,8	19,7	27,5	20,7	23,8
Ca [mg/kg]	8	7032	7291	5642	8158	6484	7455
Cd [mg/kg]	8	0,16	0,17	0,07	0,26	0,11	0,18
Cr [mg/kg]	8	0,34	0,22	0,17	1,00	0,19	0,39
Cu [mg/kg]	8	6,02	6,07	4,99	6,48	5,93	6,36
Fe [mg/kg]	8	95,5	70,0	62,0	214	63,2	110
K [mg/kg]	8	7525	7581	5500	9038	7093	8159
Mg [mg/kg]	8	2915	2881	2335	3673	2639	3136
Mn [mg/kg]	8	412	403	176	753	251	529
N [%]	8	2,55	2,60	2,33	2,67	2,47	2,64
Ni [mg/kg]	8	1,67	1,50	0,86	2,75	1,29	2,09
P [mg/kg]	8	1956	2022	1661	2119	1852	2061
Pb [mg/kg]	8	0,81	0,64	0,31	1,60	0,49	1,18
S [mg/kg]	8	1670	1704	1466	1824	1584	1748
Zn [mg/kg]	8	173	176	135	221	149	189
N/P	8	13,1	12,9	11,5	14,9	12,2	14,2
N/K	8	3,44	3,37	2,73	4,24	3,19	3,73
N/Ca	8	3,68	3,56	2,86	4,70	3,34	4,04
N/Mg	8	8,92	8,62	6,70	11,35	8,20	9,85
K/Ca	8	1,09	1,06	0,67	1,40	0,98	1,27
K/Mg	8	2,63	2,60	1,91	3,38	2,14	3,15
Ca/Mg	8	2,45	2,38	1,98	3,07	2,16	2,72

7.2. Kartogramy

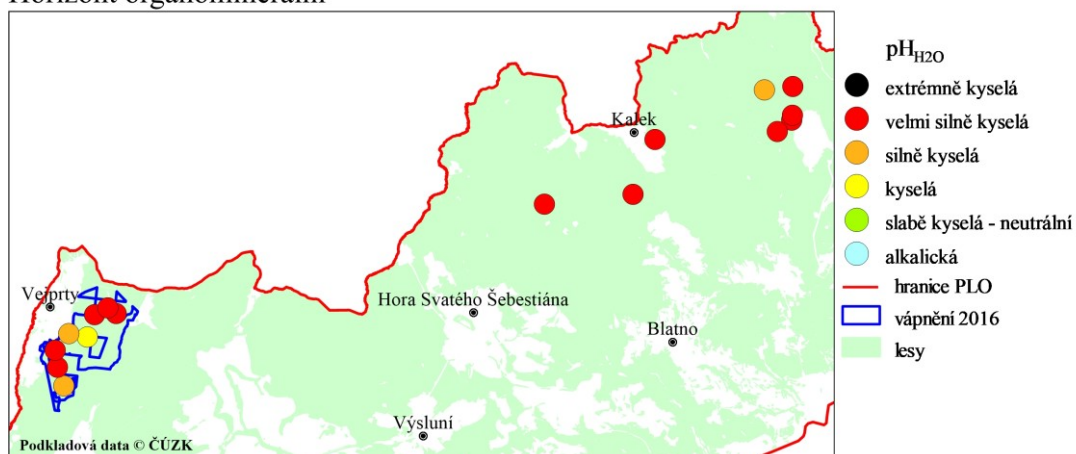
7.2.1. $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

Kartogramy hodnocení půdní reakce podle $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

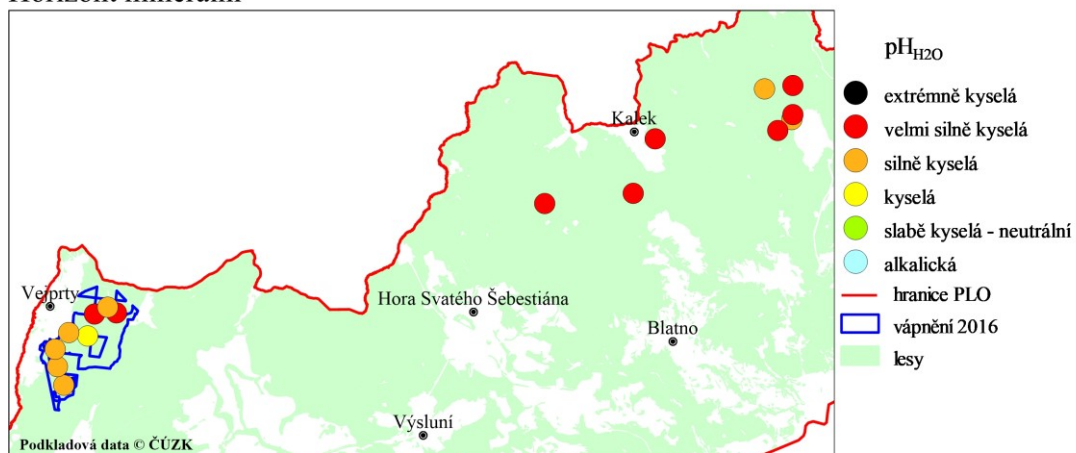
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální



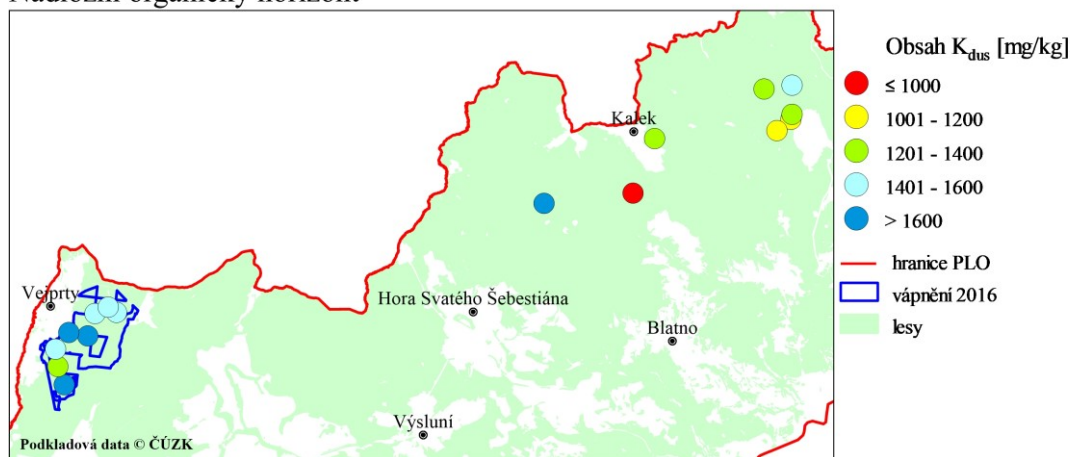
Horizont minerální



7.2.2. Draslík

Kartogramy obsahu extrahovatelného draslíku (K_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

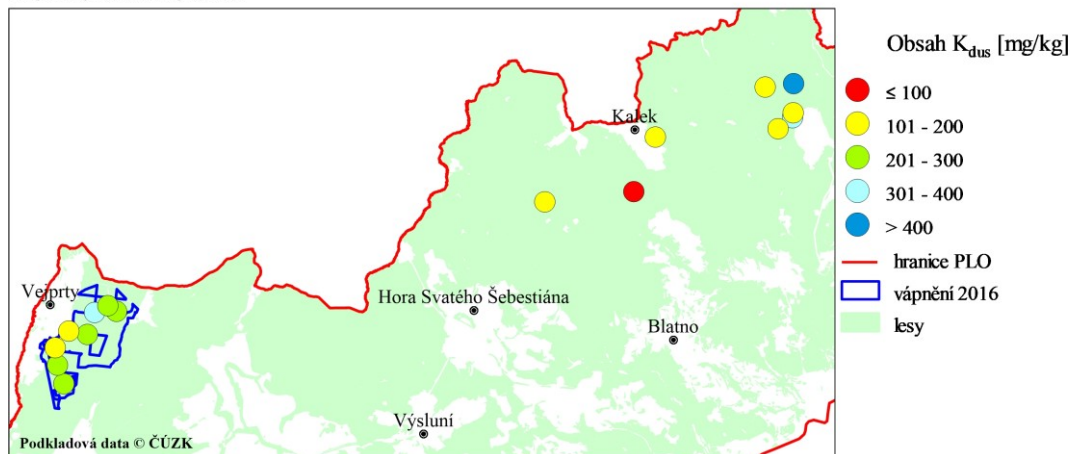
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

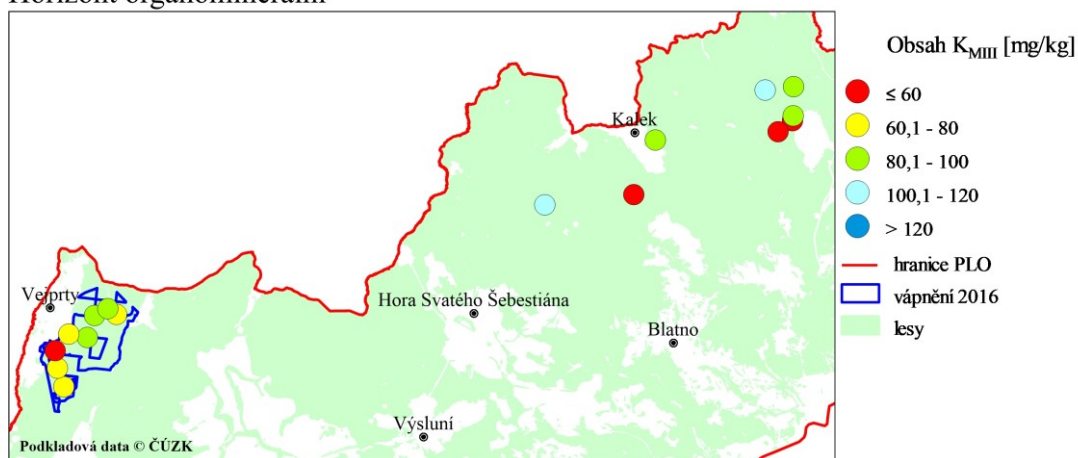


Horizont minerální

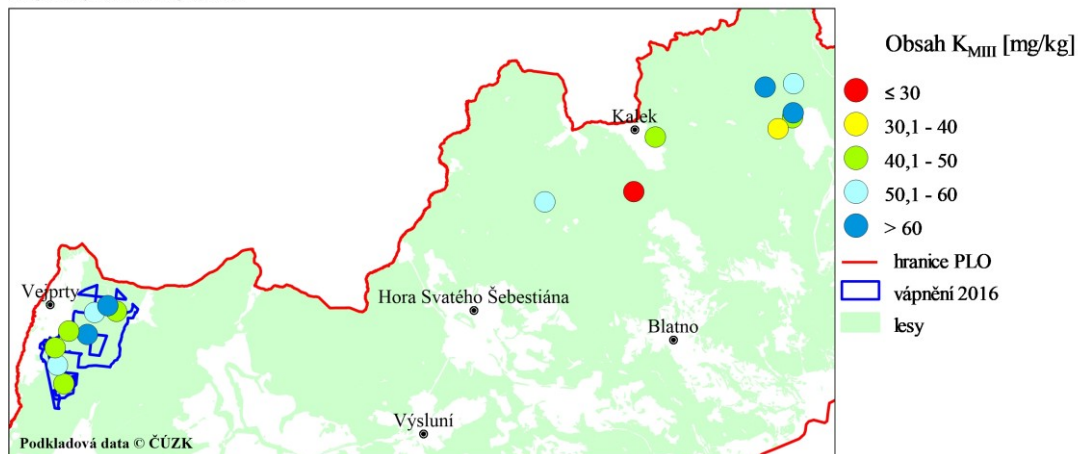


Kartogramy obsahu přístupného draslíku (K_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

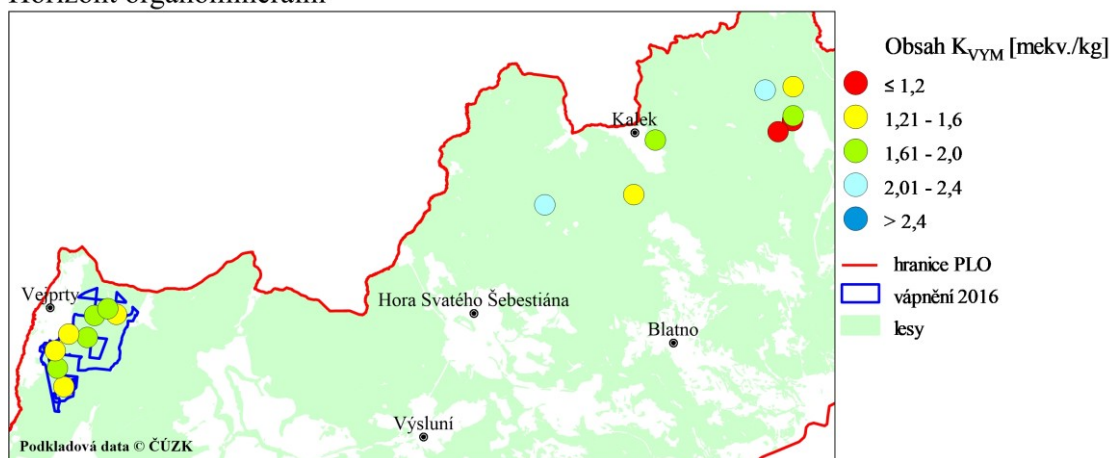


Horizont minerální

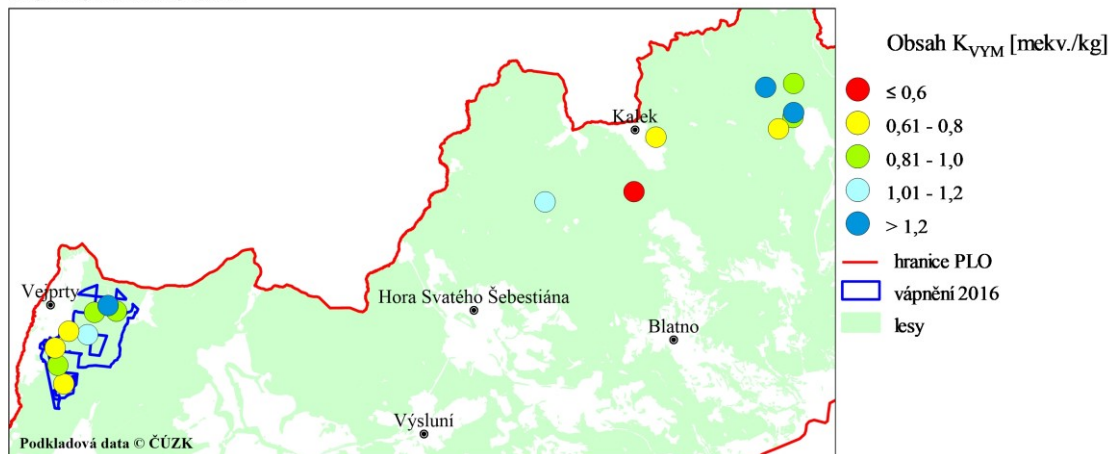


Kartogramy obsahu výměnných kationtů draslíku (K_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

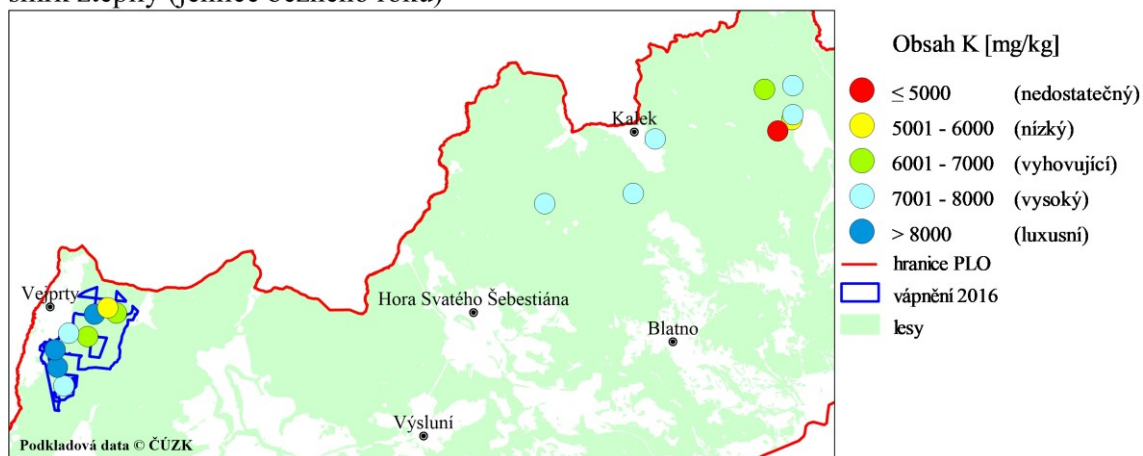


Horizont minerální

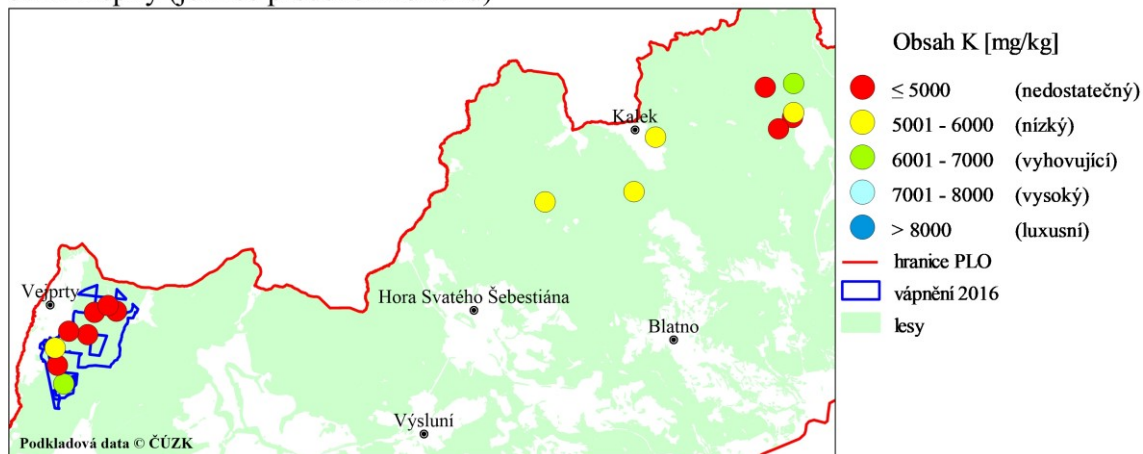


Kartogramy obsahu draslíku (K) v jehlicích smrku ztepilého a listech břízy bělokoré pět let po vápnění (2021)

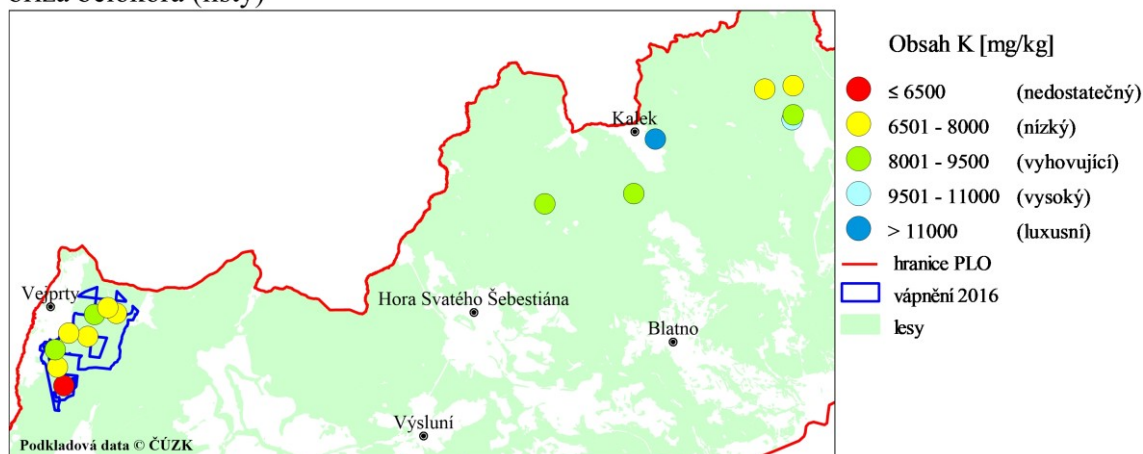
smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)



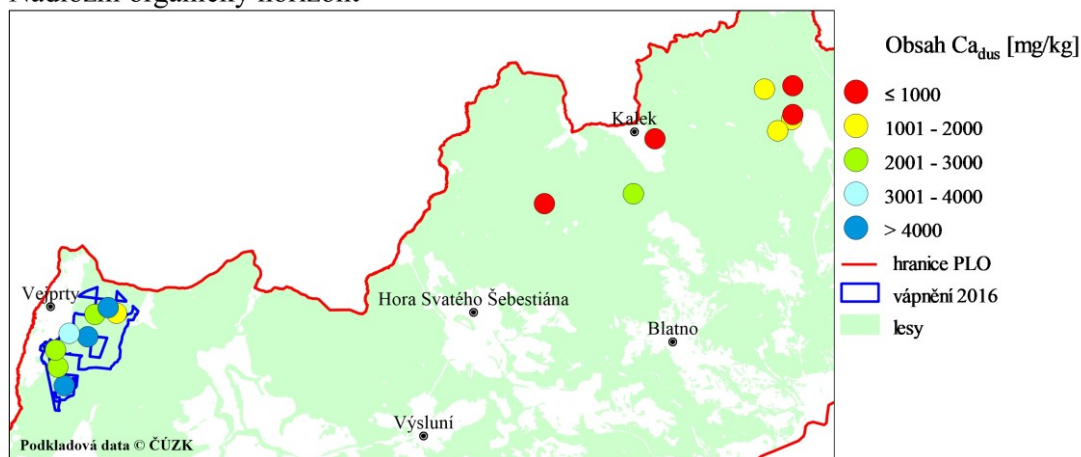
bříza bělokorá (listy)



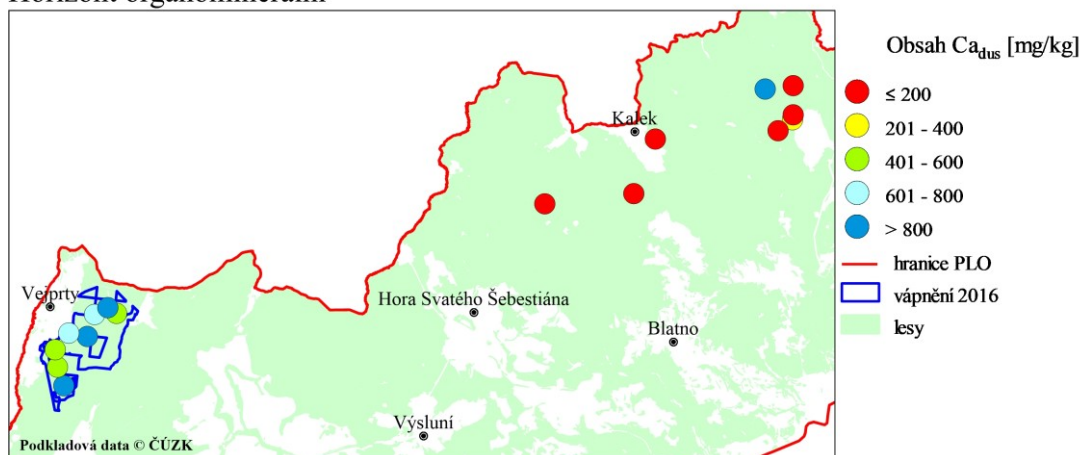
7.2.3. Vápník

Kartogramy obsahu extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

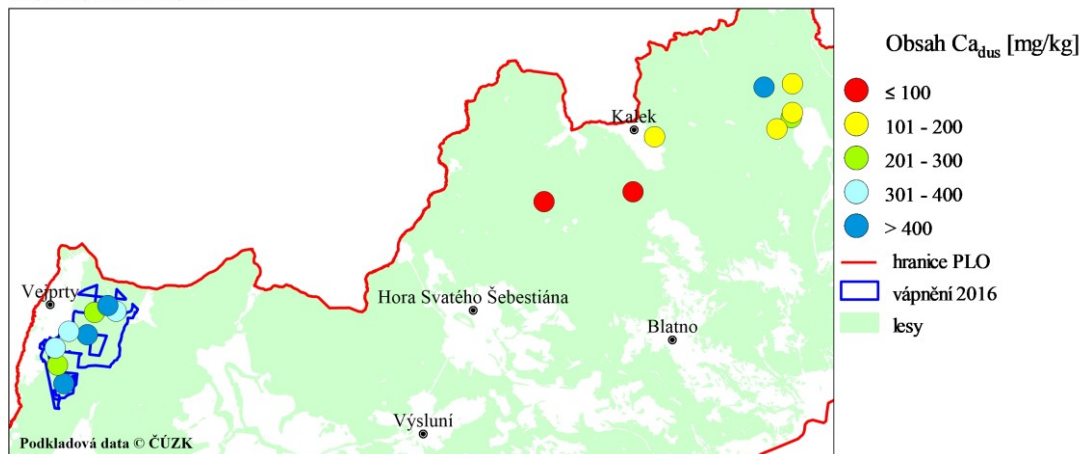
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

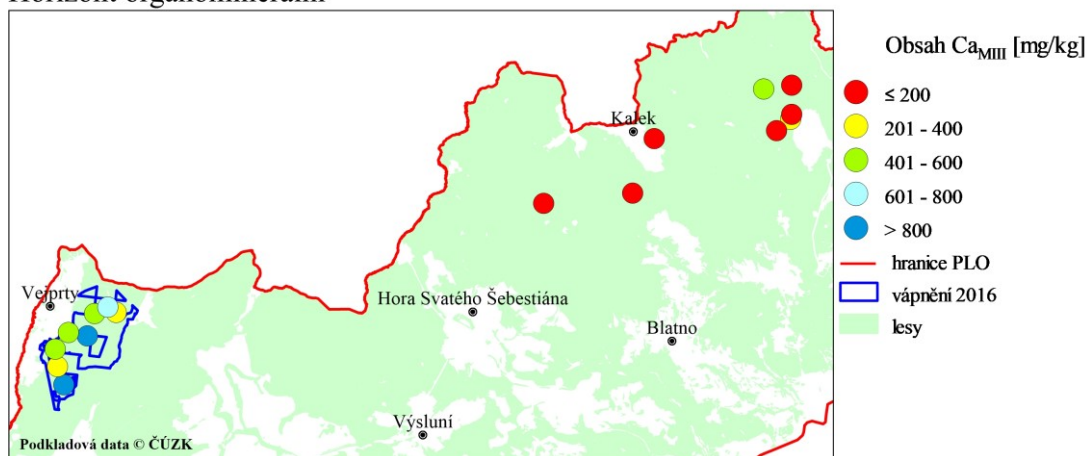


Horizont minerální

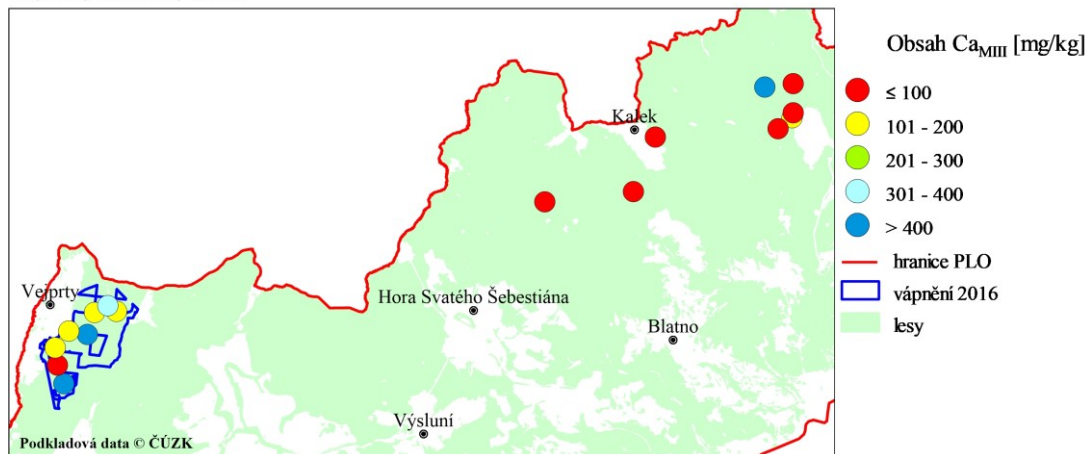


Kartogramy obsahu přístupného vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

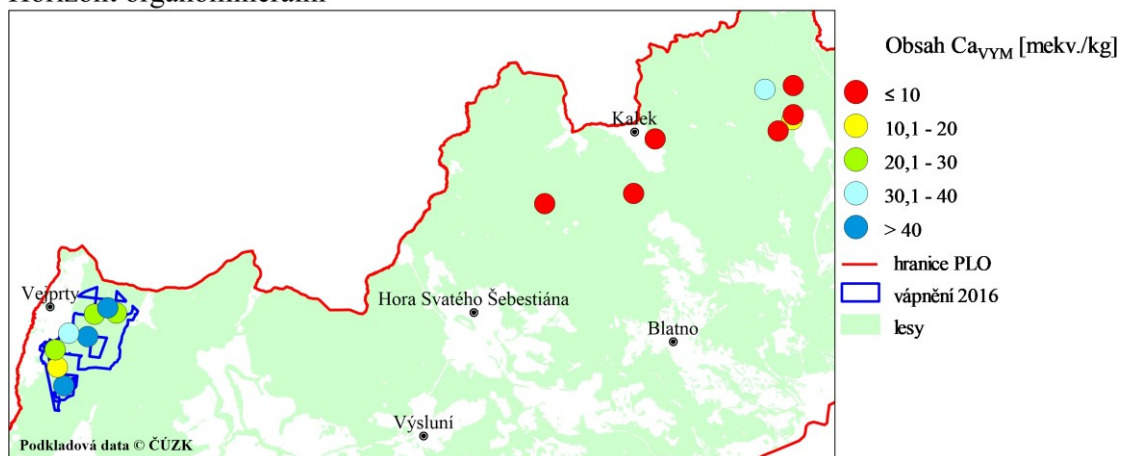


Horizont minerální

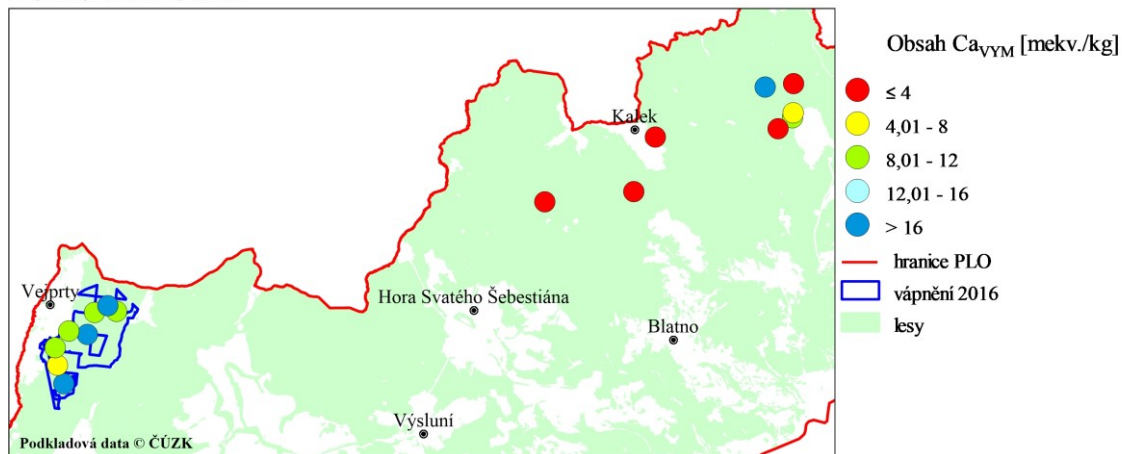


Kartogramy obsahu výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

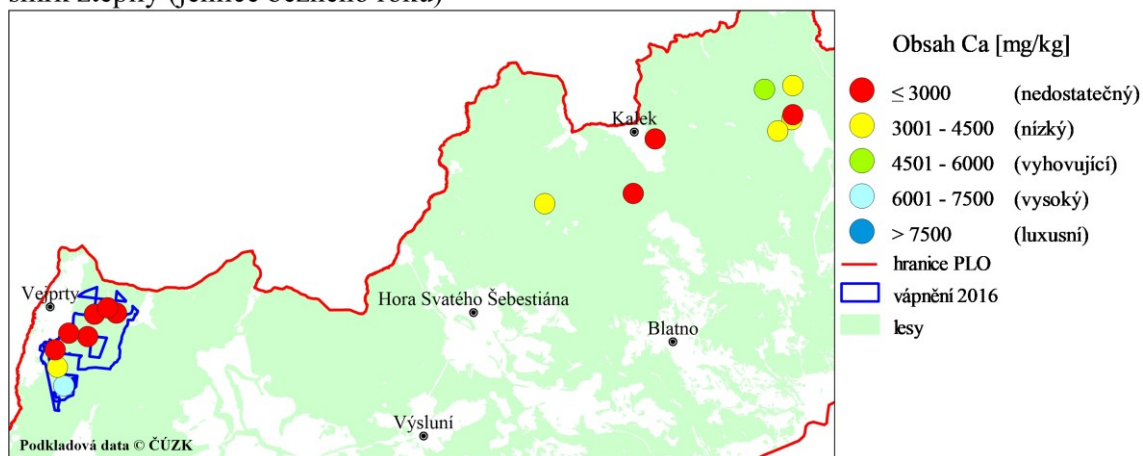


Horizont minerální

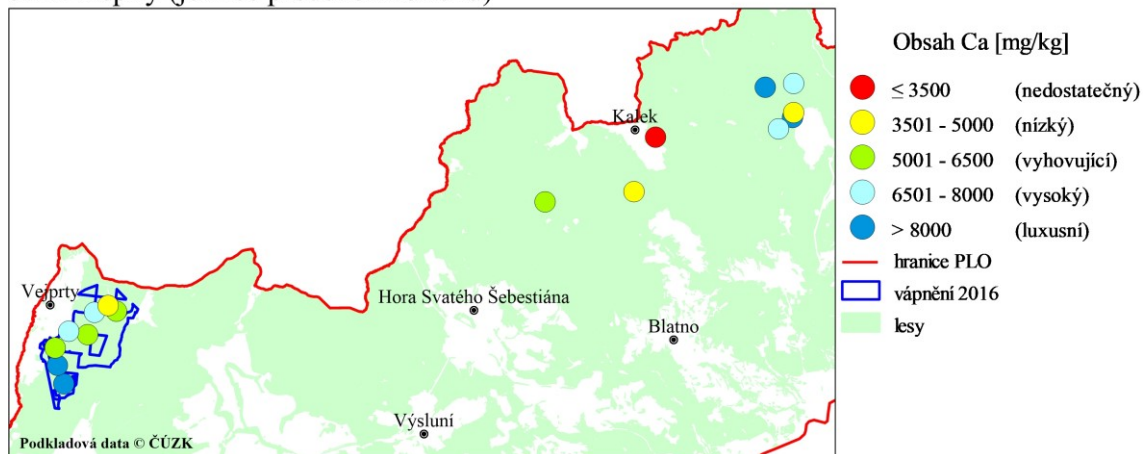


Kartogramy obsahu vápníku (Ca) v jehlicích smrku ztepilého a listech břízy bělokoré pět let po vápnění (2021)

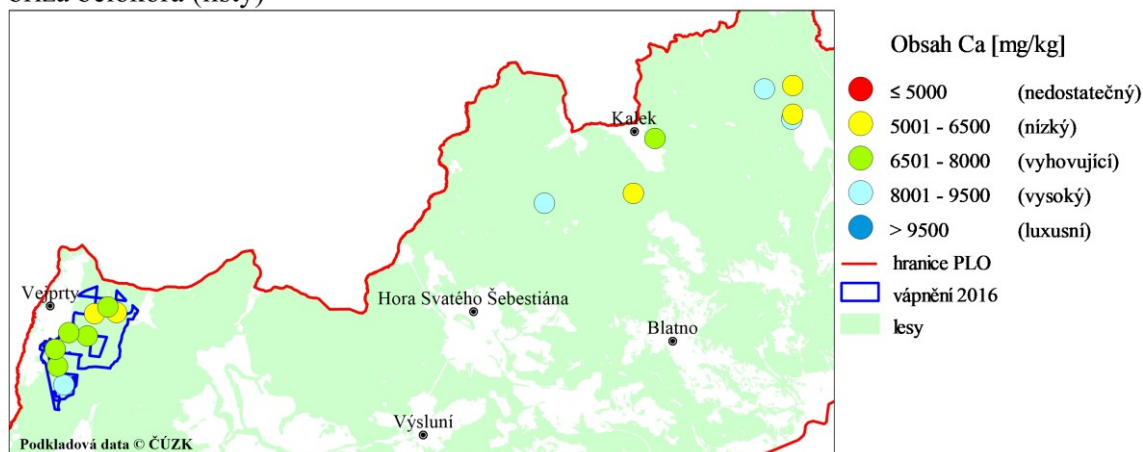
smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)



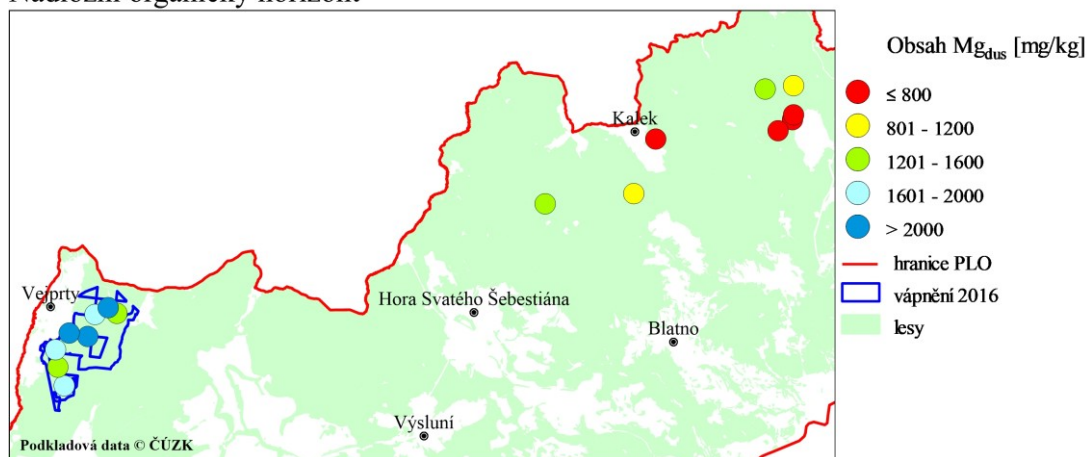
bříza bělokorá (listy)



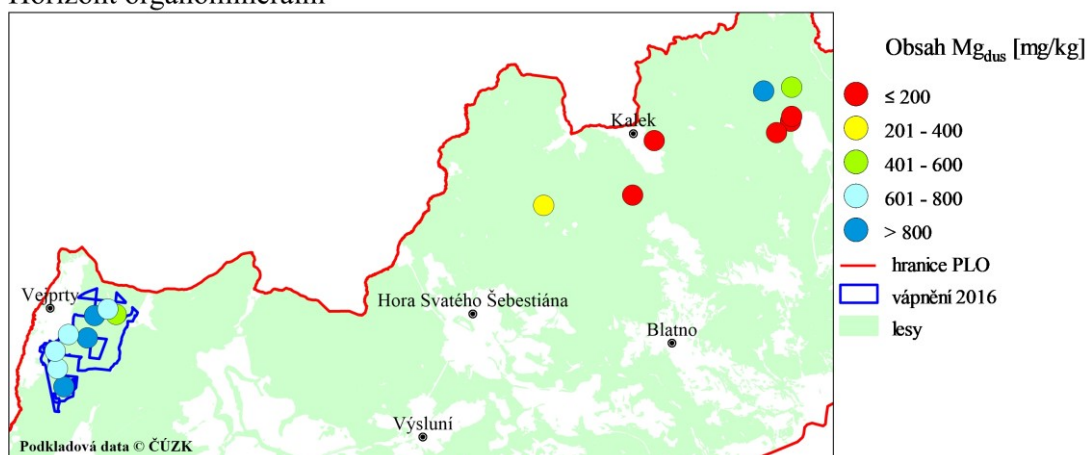
7.2.4. Hořčík

Kartogramy obsahu extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

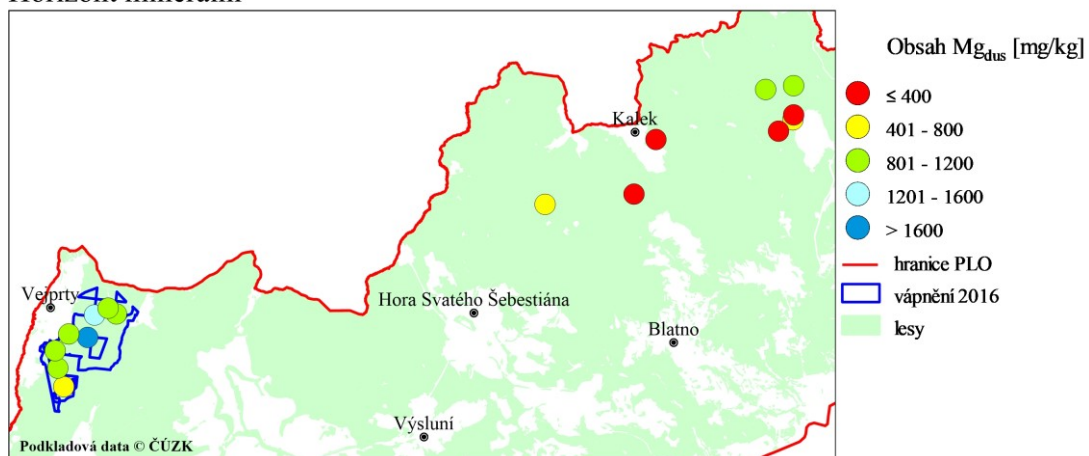
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

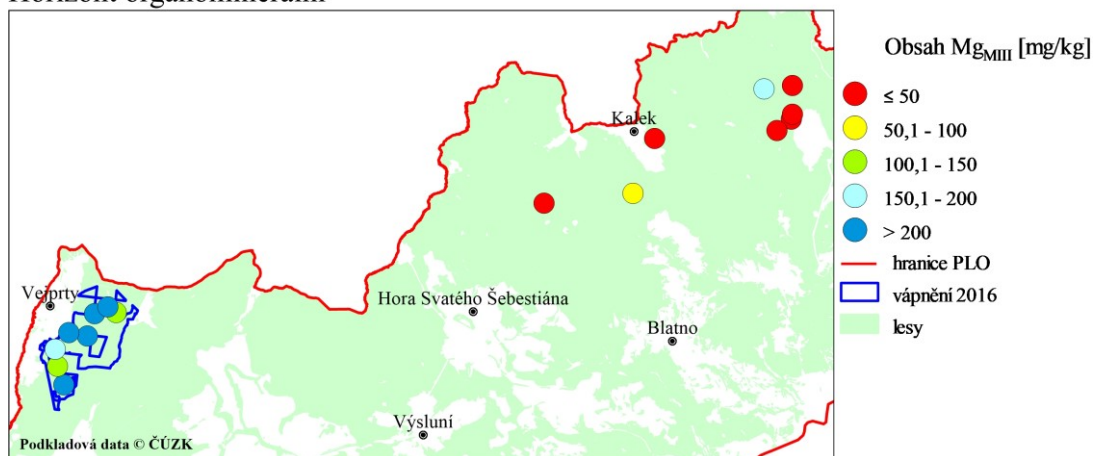


Horizont minerální

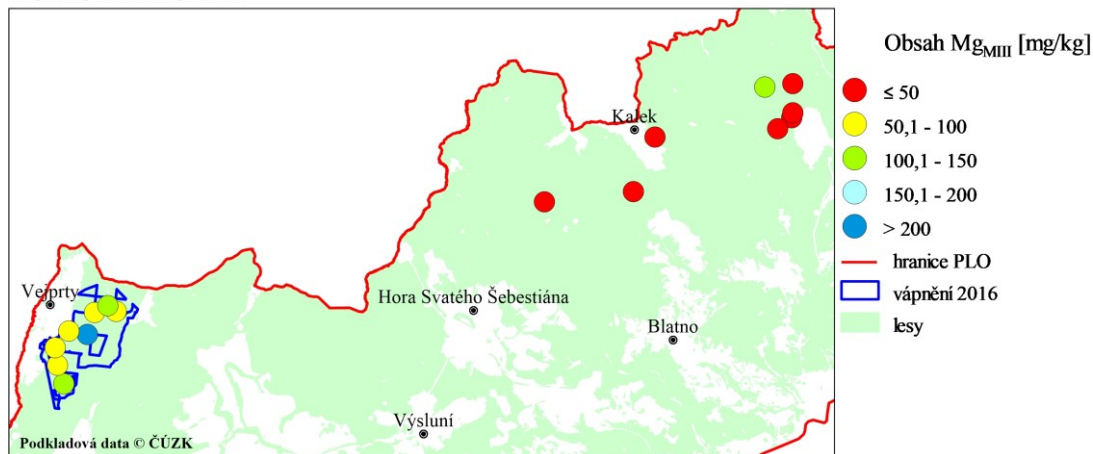


Kartogramy obsahu přístupného hořčíku (Mg_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

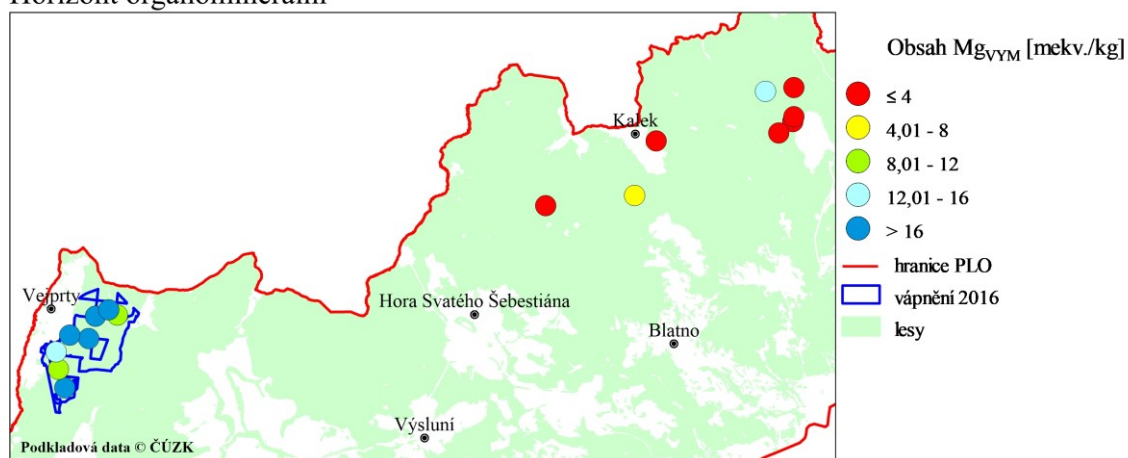


Horizont minerální

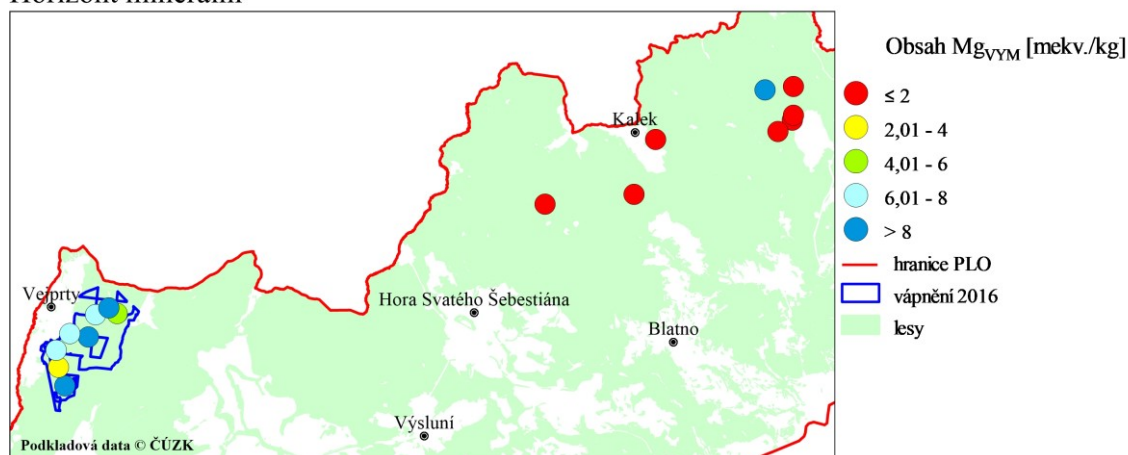


Kartogramy obsahu výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2021)

Horizont organominerální

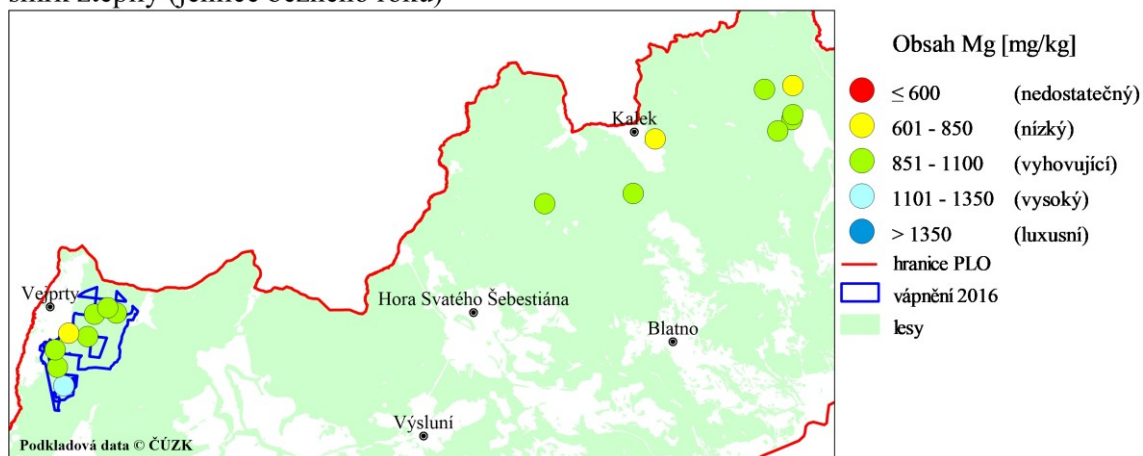


Horizont minerální

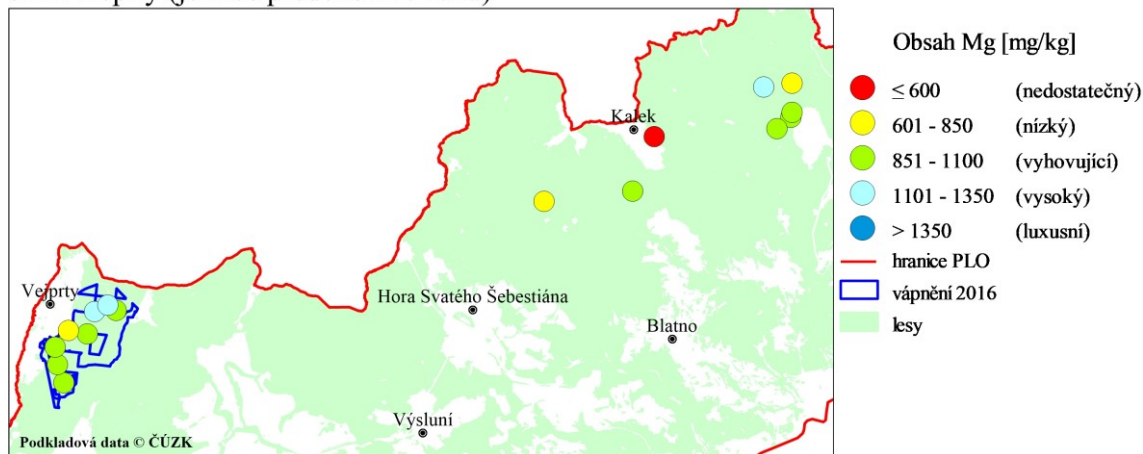


Kartogramy obsahu hořčíku (Mg) v jehlicích smrku ztepilého a listech břízy bělokoré pět let po vápnění (2021)

smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)



bříza bělokorá (listy)

