

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 „Horní Jiřetín“ jedenáct let od vápnění

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

Závěrečná zpráva

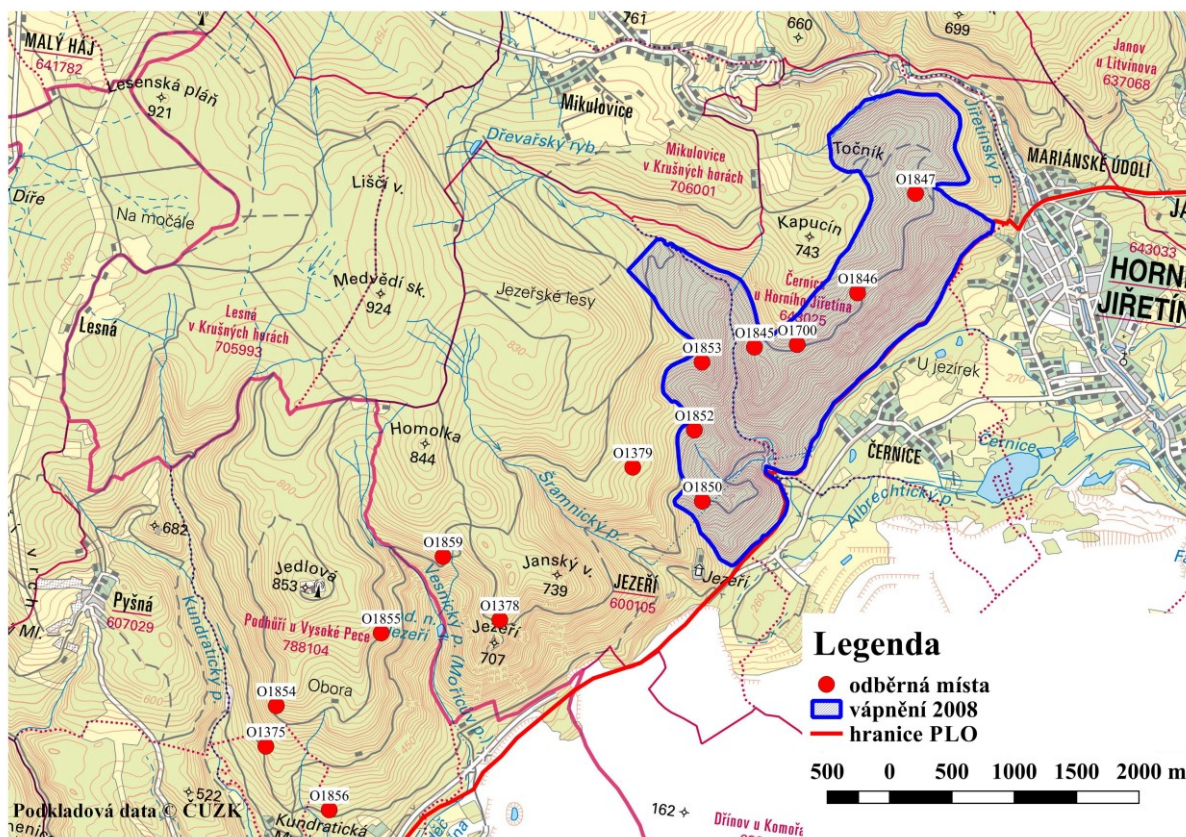
Zpracovali: Dr. Ing. Přemysl Fiala
Ing. Dušan Reininger, Ph.D.
Ing. Tomáš Svoboda

Obsah

1. Úvod	5
2. Metodika	6
3. Údaje o vzorkovaných porostech	7
4. Výsledky	10
4.1. Půda	10
4.2. Výživa buku	15
5. Závěr	21
6. Použitá literatura	22
7. Přílohy	23
7.1. Popisné statistiky a testy	23
7.1.1. Nadložní organický horizont	23
7.1.2. Horizont organominerální	25
7.1.3. Horizont minerální	28
7.1.4. Buk lesní - listy	31
7.2. Grafy	33
7.2.1. Vápník	33
7.2.2. Draslík	37
7.2.3. Hořčík	41
7.3. Kartogramy	45
7.3.1. Vápník	45
7.3.2. Draslík	49
7.3.3. Hořčík	53

1. Úvod

Ke kontrole účinnosti vápnění po jedenácti letech od aplikace byly použity výsledky ze sedmi porostů povápněných v roce 2008 a ze sedmi porostů kontrolních (nevápněných). Vzorky z vápněných i z kontrolních porostů byly odebrány v letech 2013 a 2019.



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 17, <http://www.goldensoftware.com/>.
- Pro hodnocení statisticky významných rozdílů mezi vápněnými a kontrolními porosty bylo použito schéma uvedené v tabulce 1. Pro slovní hodnocení obsahu prvků v půdě a v listech buku byla použita klasifikace ÚKZÚZ pro listnaté porosty ÚKZÚZ (FIALA ET ALL. 2013).

Tab. 1: Schéma hodnocení statisticky významných rozdílů v datech

			Porost			
			Vápněný		Kontrolní	
			2013	2019	2013	2019
Porost	Vápněný	2013		Ano	Ano	
		2019	Ano			Ano
	Kontrolní	2013	Ano			Ano
		2019		Ano	Ano	



3. Údaje o vzorkovaných porostech

Tab. 2: Seznam odběrných míst

Vápněná	Vlastník	Por.sk.	Zastoupení dřevin	Věk porostu	Lesní typ	Hospodářský soubor
01700	Lesy Jezeří k.s.	447D8	BK 100	79	4K3	436
01845	I.H. Farm s.r.o.	422B17/1	BK 100	113	3K9	7406
01846	Lesy Jezeří k.s.	447D13	BK 100	136	4K3	436
01847	Lesy Jezeří k.s.	447B17/1b	BK 100	171	4K3	436
01850	I.H. Farm s.r.o.	443B17	BK90, DB10, KL+	104	3S9/4K9	7406
01852	I.H. Farm s.r.o.	423A12	BK100	127	4F1	7406
01853	I.H. Farm s.r.o.	421D6	BK100	64	4F1	7406
Kontrolní	Vlastník		Zastoupení dřevin	Věk porostu	Lesní typ	Hospodářský soubor
01375	Lesy Jezeří k.s.	433C _{15a}	BK80, DB10, MD10	147	4K3	436
01378	I.H. Farm s.r.o.	425A ₁₂	BK100	117	4K3	7426
01379	I.H. Farm s.r.o.	410C ₁₄	BK100	142	5F1	516
01854	Lesy Jezeří k.s.	434A _{17/3}	BK100	176	4N2	7406
01855	Lesy Jezeří k.s.	435C ₁₂	BK100	125	5N2	7506
01856	I.H. Farm s.r.o.	437A ₁₇	BK95, BO5	173	3K3	436
01859	Lesy Jezeří k.s.	426E ₁₅	BK100	156	5S6	7546

Tab. 3: Mocnosti horizontů vzorkovaných OM v roce 2013 a 2019

Odběrné místo	Nadložní organický horizont		Organominerální horizont		Minerální horizont	
Vápněné	2013	2019	2013	2019	2013	2019
01700	23 - 0	10 - 0	0 - 33	0 - 17	33 - 45	17 - 40
01845	13 - 0	10 - 0	0 - 20	0 - 10	20 - 38	10 - 30
01846	13 - 0	7 - 0	0 - 20	0 - 19	20 - 35	19 - 40
01847	13 - 0	12 - 0	0 - 20	0 - 17	20 - 35	17 - 35
01850	11 - 0	10 - 0	0 - 25	0 - 7	25 - 35	7 - 35
01852	11 - 0	7 - 0	0 - 20	0 - 11	20 - 30	11 - 40
01853	8 - 0	9 - 0	0 - 21	0 - 16	21 - 30	16 - 35
Průměr	13 cm	9 cm	23 cm	14 cm	16 cm	23 cm
Kontrolní	2013	2019	2013	2019	2013	2019
01375	10 - 0	7 - 0	0 - 20	0 - 7	20 - 35	7 - 40
01378	8 - 0	9 - 0	0 - 17	0 - 17	17 - 35	17 - 40
01379	14 - 0	8 - 0	0 - 25	0 - 15	25 - 35	15 - 40
01854	10 - 0	3 - 0	0 - 16	0 - 7	16 - 35	7 - 35
01855	12 - 0	10 - 0	0 - 25	0 - 17	25 - 35	17 - 40
01856	12 - 0	8 - 0	0 - 20	0 - 12	20 - 35	12 - 40
01859	12 - 0	11 - 0	0 - 22	0 - 17	22 - 35	17 - 35
Průměr	11 cm	8 cm	21 cm	13 cm	14 cm	25 cm

Při odběrech vzorků byl v roce 2013 odebrán nadložní organický horizont vápněných ploch o průměrné mocnosti 13 cm a 9 cm v roce 2019. Na kontrolních plochách byla tato mocnost 11 cm (2013) a 8 cm (2019). V roce 2019 byl tedy nadložní organický horizont odebírána v menší mocnosti, než v roce 2013, kdy zřejmě bylo do vzorků zahrnuto větší množství čerstvého částečně rozloženého opadu. Výrazně méně mocné jsou podle odběrů horizonty organominerální, vzorkované v roce 2019 na vápněných i kontrolních místech, a naopak vyšší mocnost mají v tomto roce horizonty minerální na vápněných i kontrolních plochách.

Tab. 4: Popis půdního prostředí šetřených stanovišť

Vápněná	Bylinné patro	Nadložní organický horizont	Organominerální horizont	Minerální horizont
01700	fag. paup., galeopsis	Místy mocný hor. L., převl. H, černý sypký, přechod vlnitý, hladký	Hnědá, narůžovělá, shora černá, hP, hrubě hranol., drobtovitá, šterk	Narůžovělá. hP, drobtovitá, drobivá, drobný šterk.
01845	avfl, luzul, mechy	Převl. H, filc., silně prokořeněný, přechod ostrý	Světle hnědá, shora černá, humózní, rH, drobtovitá, drobivá	Pískově žlutá, hP, drudkovitá, drobivá
01846	urtdio, digit, mycmur, calepig, calvil, agrost	Převl. H, sypký, příměs skeletu, přechod zřetelný	Narůžovělá, shora tmavší, ve spodě hladký přechod do žluté, hP, shora hranolovitá ve spodě drobtovitá, příměs písku	Žlutavá, rH, krupnatá, drobivá až sypká, příměs písku
01847	luzl, calvil, avfl, mechy	Převl. tmavý, filcovitý, silně prokořeněný H, přechod ostrý.	Narůžovělá, shora mírně vysvětlená, hP, hrudkovitá skelet. - převl. hrubý šterk.	Skořicově hnědá, rhP, krupnatá, skelet – převl. hrubý šterk
01850	galeop, impparv, calvil	F-filcovitý, H černý filc., sypká, silně prokořeněná	Shora humózní, vysvětlená, hP, hrubě hranol, soudržná, drobný šterk	Okrově hnědá, světlá, hP, drobtovitá až hranolovitá, slehlá, drobný šterk 95%
01852	calvil, galeopsis, impparv, prenant,	L místy nahromaděný, místy chybí, F+H filcovitý silně prokořeněný, H sypký, přechod hladký	Šedá, místy nazelenalá. pH, hrubě hranolovitá, soudržná	Světle hnědá až skořicovitá, hP, hranolovitá až drobtovitá, soudržná
01853	luzul, prenant, avfl	Převl H sypký, silně prokořeněný, přechod hladký	Hnědá, shora humózní, vespod skořicová, hP, hrubě hranolovitá, drobný šterk	Světle skořicově hnědá, prH, hranolovitá až drobtovitá, soudržná až drobivá
Kontrolní	Bylinné patro	Nadložní organický horizont	Organominerální horizont	Minerální horizont
01375	Avenela, Luzula luz.	Převl. H, filcovitý, přechod ostrý	Světle hnědá až vybělená, hP, hrubě hranolovitá, soudržná, limonitizovaná, shora mírně humózní	Světle hnědá, mírně načervenalá přechází do žluté, hP, drobtovitá, drobivá - soudržná
01378	Cal, vil, digitalis, rubus	Místy silný L, převl. H, černý, drobivý, přechod hladký	Shora silně humózní přechází do světle hnědé, rhP, drobtovitá, drobivá	Světle hnědá, skořicová, hP, drobtovitá, drobivá
01379	Fp. prav. osídlení, cal. vil, prenant.	Převl. F filcovitý, silně prokoř., přechod hladký	Hnědá shora mírně humózní, hladký přechod do světlejší, rH, hranol. - drobt., kyprá, soudržná, drobný šterk	Světle hnědá, skořicová, hP, hrub. hranol., soudržná až kyprá
01854	Cal. ep., luzl., Vm., mechy	F+H, místy záteky, drobivý, prokořeněný, přechod ostrý	Sv. šedá až bílá, hP, drobtovitá až hranolovitá, soudržná (ulehlá)	Rezivá, př. ostrý, rH, krupnatá až drobtovitá, drobivá
01855	skály	Převl H, černý silně prokořeněný, přechod vlnitý	Shora vysvětlená, přechod do světle hnědé, pH, drobtovitá až hranol., soudržná, kyprá	Světle šedá, žlutavá ve spodě narůžovělá, hP, drobtovitá až sypká
01856	Cal. epig, digitalis, galeobdol, rub. c.	F+H tmavě hnědý, filc., silně prokořeněný, přechod ostrý	Světle hnědá, shora mírně humózní, místy tmavší skvrny, pH, hrubě hranolovitý, limonitizovaná, deskovitě ztmelená, soudržná	hP, hrudkovitá až hranolovitá, ulehlá
01859	Cal. vil., mechy, Fp.	Převl. H, sypký, prokořeněný, skelet, přechod hladký	Světle šedá, ve spodě vysvětlená, hP, krupnatá, drobtovitá	Světle hnědá, žlutavá, hP, hrudkovitá, drobivá

Tab. 5: Bylinné a travinné druhy na odběrných místech v letech 2013 a 2019

OM	rok	
vápněné	2013	2019
01700	impparv, urt, prenat	fag. paup., galeopsis
01845	avfl, veron. sl, luzul	avfl, luzul, mechy
01846	calvil, mycmur., filices, rubus, ox	urtdio, digit, mycmur, calepig, calvil, agrost
01847	calvil, hierac., fylces	luzul, calvil, avfl, mechy
01850	prenant, viola, convmaj., digit., hordeu, mycmur	galeop, impparv, calvil
01852	poanem. prenat., rub., mycmur. calvil	calvil, galeopis, impparv. prenat,
01853	luzul, poanem	luzul, prenat, avfl
kontrolní		
01375	calvil, avfl.	avfl, luzul
01378	calvil, digit, rubus	calvil, digit, rubus
01379	calvil, carlepor, juncus, mechy	fag. paup. calvil, prenat
01854	calvil, Vm, luzul, mechy	calepig, luzul, Vm, mechy
01855	calvil	calvil
01856	calvil, imp, rub. mycmur, digit	calepig, digit, galeop, rub.
01859	digit. calvil	calvil, mechy

Druhové složení bylinného patra je podobné ve srovnávaných letech a odpovídá převládajícímu souboru lesních typů kyselých podhorských bučin.

Tab. 6: Teplota vzduchu – ústecký kraj

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Teplota vzduchu (°C)	7,9	9,5	9,5	8,9	8,9	9,7	9,7
Dlouhodobý normál 1961–1990 (°C)	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Odchylka od normálu (°C)	0,2	1,8	1,8	1,2	1,2	2,0	2,0

Tab. 7: Měsíční úhrn srážek v ústeckém kraji

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Úhrn ročních srážek v mm	745	606	591	655	667	438	547
Dlouhodobý normál 1961–1990 (mm)	612	612	612	612	612	612	612
Úhrn srážek v % dlouhodobého normálu	122	99	97	112	109	72	89

Období let 2013–2019 se v ústeckém kraji vyznačuje vyšší teplotou vzduchu v porovnání s dlouhodobým normálem let 1961–1990. Měsíční úhrn srážek v tomto období odpovídá dlouhodobému normálu s výjimkou let 2018 a 2019, kdy jsou srážky nižší.

Geologickým podložím na všech stanovištích je rula, vzniklá přeměnou z hrubozrnného grafitu nebo kyselého magmatitu.

4. Výsledky

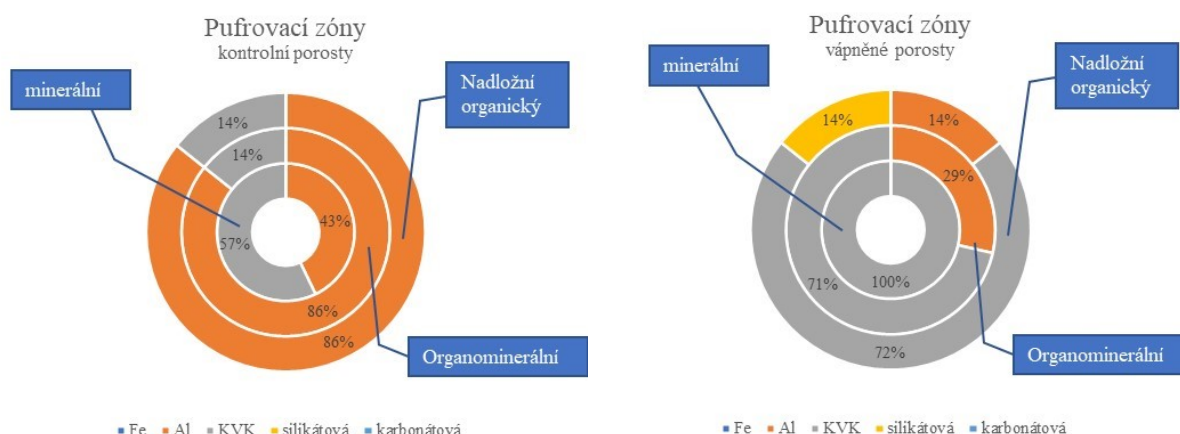
4.1. Půda

Tab. 8: Nadložní organický horizont

	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	5 let po vápnění (2013)	11 let po vápnění (2019)	(2013)	(2019)
Nad. humus [t/ha]	177	125	145	123
pH _{CaCl2}	3,79	3,94	3,47	3,49
pH _{H2O}	4,53	4,60	4,31	4,17
N [%]	1,21	1,23	1,19	1,32
Cox [%]	17,0	22,8	17,7	22,8
C/N	14,7	18,4	15,2	17,4

Množství nadložního organického materiálu odpovídá moderové formě v bukových porostech vyšších poloh. Nevýznamně nižší množství tohoto materiálu 11 let po vápnění může souviset s vyšší biodegradací organického materiálu. Ta je výsledkem intenzivnější činnosti rozkladačů, především bakterií v méně kyselém půdním prostředí. Je rovněž možný nižší vstup organického materiálu opadem z redukovaného edifikátoru společenstva – rostlinného patra. Nezanedbatelnou roli zde může hrát odchylka v odběrech vzorků (Tab. 3). Chemická půdní reakce aktivní i výměnná je po pěti letech vyrovnaná a neměnná. Hodnoty výměnného pH na vápněných stanovištích jsou ale v roce 2019 statisticky významně vyšší. Okyselující vliv buku na půdní prostředí není tak silný, jako je tomu u smrku, a hodnoty pH se drží na stejné úrovni. Podíváme-li se na hodnoty pH podle příslušnosti k pufovacím zónám, jsou patrné zásadní rozdíly odolnosti ekosystémů. (obr. 2). Na stálosti hodnoty pH_{H2O} se podílí pufovací schopnost půdy, daná v případě vápněných stanovišť výměnnými bazickými kationty (pufovací zóny pH 4,2 – 5,0), které reagují s okyselujícími činiteli (H⁺, NO₃⁻).

Obr. 2: Pufovací zóny na kontrolních a vápněných stanovištích



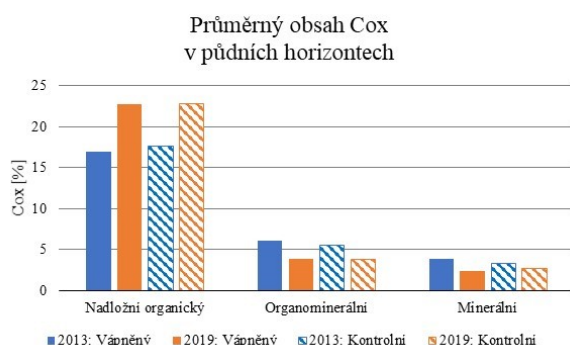
Po jejich spotřebování na neutralizaci kyselých složek nastupuje Al-pufrační systém (pufovací zóny pH 3,0 – 4,2), kde se na tlumení podílí amorfní Al a Fe oxihydroxidy. Tento systém převládá na kontrolních stanovištích. Z hlediska předpovědi dalšího vývoje ekosystémů jsou porosty kontrolních stanovišť vystaveny stresu souvisejícímu s toxickými formami Al v půdním prostředí. To je provázáno

toxickým působením na kořeny, jehož důsledkem je poškození lesních porostů. Dalším neblahým důsledkem acidifikace je uvolnění hliníku z mřížek půdních minerálů a jejich fixace v mezimřížkových prostorech jílových minerálů. Hliník zde blokuje permanentní negativní náboj, snižuje roztažitelnost mřížky a výměnnou kationtovou sorpční kapacitu. Ta se během intervalu sledování pouze nevýznamně snížila na vápněných plochách (příloha 7.1.2. a 7.1.3.) na úroveň hodnot na plochách kontrolních v organominerálních i minerálních horizontech.

Obsah **celkového dusíku** N_{tot} nebyl v letech 2013 až 2019 nijak ovlivněn. Jeho obsahy v nadložních organických horizontech (Tab. 8) napovídají možné blokaci dusíku v tomto materiálu. Obsahy v organominerálních a minerálních horizontech (příloha 7.1.2. a 7.1.3.) ovšem odpovídají dostatečné zásobě ve vztahu k výživě dřevin. Ta je podle obsahů v listech buku na vysoké úrovni (FIALA ET ALL. 2013).

Obsahy spalitelného uhlíku se vyvíjejí podobně na plochách vápněných i kontrolních. Nadložní organický materiál, jehož množství je nižší v roce 2019, obsahuje vyšší podíl spalitelného materiálu. Naopak v organominerálních a minerálních horizontech vápněných i kontrolních stanovišť jsou v roce 2019 zjištěny významně nižší obsahy C_{ox} proti roku 2013.

Obr. 3: Průměrný obsah C_{ox} v půdních horizontech



V nadložních organických horizontech je C_{ox} představován primární půdní organickou hmotou, která je představována rostlinnými zbytky tvořícími subhorizont opadanky a částečně fermentačního subhorizontu. V tomto a pod ním ležícím humusovém subhorizontu se organický materiál nachází v různém stupni rozkladu. Tento organický materiál má určité sorpční schopnosti, ale nemá funkci iontovýměnnou, která je typická pro produkt humifikace - humus. Sorpce rozpuštěného organického uhlíku na povrchy minerálů je ovlivněna půdními vlastnostmi, jako je koncentrace půdního organického uhlíku, přítomnost oxidů a hydroxidů Al a Fe a mineralogie jílových součástí. Adsorpce organického materiálu na oxidy železa a Al hydroxidy se zvyšuje s klesajícím pH. Zvyšující se koncentrace Al a Fe zjištěné v našem šetření ovšem neodpovídají sníženým obsahům C_{ox} v minerálních částech půdních profilů.

Porovnáme-li způsoby vzorkování, došlo v roce 2019 k odlišnosti v mocnosti nadložních a organominerálních horizontů. Vzhledem k menší mocnosti organominerálních horizontů by se měl zvýšit podíl rozpuštěného organického materiálu, který prostupuje do půdního profilu z nadložních organismů. Toto množství charakterizované hodnotou C_{ox} je naopak významně nižší v těchto horizontech na vápněných i kontrolních plochách. Z toho vyvozujeme malý vliv tohoto rozdílu ve vzorkování na chemizmus smíšeného půdního vzorku.

Významné zvýšení obsahu spalitelného uhlíku C_{ox} v nadložních organických horizontech je zřejmě způsobeno narušenou činností mikroorganismů. Ta je doprovázena zvýšením poměru C/N na hodnoty 18,4 a 17,4 na vápněných a kontrolních stanovištích. V nadložních organických horizontech vápněných porostů je toto zvýšení statisticky významné. Díky omezenému vstupu rozpuštěných

organických látek do minerální půdy se poměr C/N v organominerálních a minerálních horizontech významně snižuje.

Tab. 9: Průměrné obsahy přístupné síry (mg.kg^{-1}), spalitelného uhlíku (%) a podíl C/N

Horizont	S _{min}		C _{ox}		C/N	
	2013	2019	2013	2019	2013	2019
Vápněné porosty						
Nadložní organický			17,0	22,8	14,7	18,4
Organominerální	20,7	30,6	6,12	3,90	22,8	17,7
Minerální	20,3	38,0	3,86	2,43	25,4	18,5
Kontrolní porosty						
Nadložní organický			17,7	22,8	15,2	17,4
Organominerální	19,2	30,6	5,33	3,78	26,8	17,5
Minerální	19,6	33,6	3,39	2,67	25,5	17,5

Z hlediska dostatečného zásobování zemědělských půd dusíkem považujeme tento poměr (C/N v oblasti 15–18) za příznivý.

Snižování obsahu C_{ox} je typické pro stárnoucí (retrogresivní) fázi vývoje lesních ekosystémů, kdy nastává snižování produkce dřevní hmoty včetně asimilačních orgánů a jemných kořínků v půdě. Může být také spojeno s těžebním zásahem vedoucím z hlediska koloběhu látek k menší produkci opadanky. V nadložních organických horizontech se ovšem podíl spalitelného uhlíku zvyšuje. Vysvětlením se zdá být zpomalená činnost rozkladačů, doložená vyššími poměry C/N v těchto horizontech a nižší vstup rozpuštěného organického materiálu do organominerálních a následně minerálních horizontů. V těchto horizontech byl spalitelný uhlík spotřebován na současnou úroveň. Možným vysvětlením snižujících se obsahů C_{ox} je vliv okolních podmínek, vlhkosti a teploty půdy v letech 2013–2019. Tyto fyzikální vlastnosti půdy jsou pro činnost rozkladačů i pohyb organického materiálu půdním profilem rozhodující. Ve sledovaném období ovšem nebyly zjištěny natolik významné změny v teplotě vzduchu i ve srážkách, aby mohly ovlivnit v tak krátké době obsahy C_{ox} v půdě.

Vzhledem k podobnosti tohoto vývoje na vápněných i kontrolních stanovištích vylučujeme rozhodující vliv vápnění pro tento vývoj.

Tab. 10: Průměrné obsahy extrahovatelného železa, hliníku a vápníku (mg.kg^{-1}).

Horizont	Fe _{dus}		Al _{dus}		Ca _{dus}	
	2013	2019	2013	2019	2013	2019
Vápněné porosty						
Nadložní organický	7660	9121	8054	8886	2831	3319
Organominerální	5823	7206	4224	5063	260	409
Minerální	6753	8844	5067	6679	247	361
Kontrolní porosty						
Nadložní organický	7000	7856	8007	8291	1280	1538
Organominerální	4929	6639	3596	4434	172	208
Minerální	5699	7944	4506	5843	209	250

Tab. 11: Průměrné obsahy přístupného železa, hliníku a vápníku (mg.kg^{-1}).

Horizont	Fe_{MIII}		Al_{MIII}		Ca_{MIII}	
	2013	2019	2013	2019	2013	2019
Vápněné porosty						
Organominerální	586	609	1721	1964	101	124
Minerální	554	503	1813	2117	61,0	42,6
Kontrolní porosty						
Organominerální	584	652	1567	1843	55,9	50,8
Minerální	553	570	1666	1957	--	--

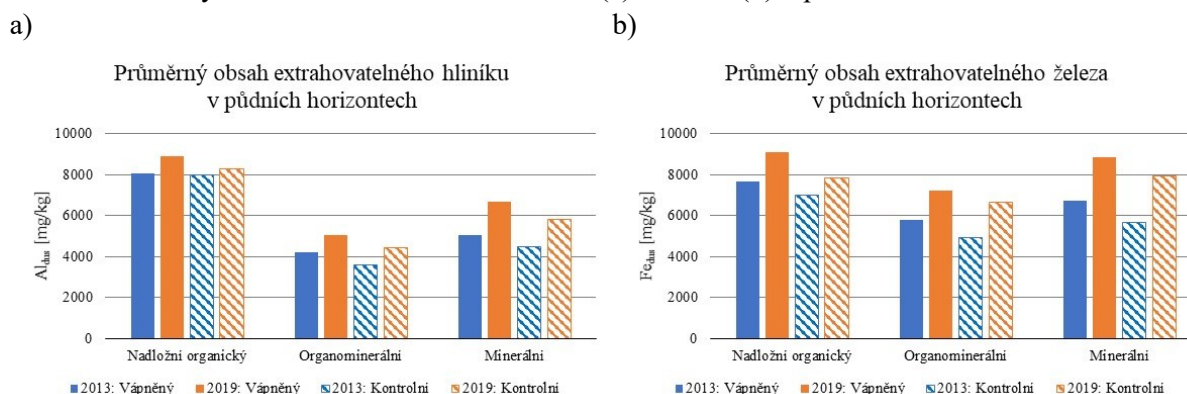
-- Hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Tab. 12: Průměrné obsahy výměnných kationtů železa, hliníku a vápníku (mekv.kg^{-1}).

Horizont	Fe_{VYM}		Al_{VYM}		Ca_{VYM}	
	2013	2019	2013	2019	2013	2019
Vápněné porosty						
Organominerální	--	1,67	74,0	65,9	6,31	6,94
Minerální	--	--	65,8	54,9	3,93	2,53
Kontrolní porosty						
Organominerální	1,34	2,10	66,0	69,7	3,43	3,22
Minerální	--	0,97	57,1	56,1	2,47	2,30

-- Hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Obr. 4: Průměrný obsah extrahovatelného hliníku (a) a železa (b) v půdních horizontech



Ve všech studovaných půdních horizontech vápněných i kontrolních porostů se zvyšují extrahovatelné obsahy Fe a Al. Vzhledem k tomu, že obsahy přístupné (Fe_{MIII}) a výměnné (Fe_{VYM}) formy železa se ve vápněných porostech významně nezvyšují, ukazuje významné zvýšení Fe_{dus} na vyšší množství Fe oxidů (goethit, hematit, ferihydrit) pevněji vázaných na půdních sorpčních místech.

V případě hliníku je zaznamenáno zvyšování obsahů nejen u extrahovatelné (Al_{dus}), ale i rostlinám přístupné formy (Al_{MIII}) v minerálních horizontech šetřených – vápněných i kontrolních ploch. V kontrolních porostech lze toto zvýšení spojit s kompenzací okyselujících činitelů hliníkem v hliníkovém pufrovacím pásmu, ve kterém se tyto porosty nacházejí (Obr. 2). V porostech vápněných, kde převládá pufrovací úloha KVK, toto vysvětlení neplatí.

V horizontech organominerálních a minerálních u vápněných i kontrolních ploch se zřejmě zvyšuje forma Al i Fe tvořící amorfni anorganické komplexy. Zde přichází v úvahu chemická sorpce fosforečnanů s Al a Fe, kdy vznikají velmi málo rozpustné sloučeniny. V našem průzkumu může vznik těchto sloučenin souviset s vyššími hodnotami extrahovatelného Al i Fe v půdním prostředí. Fosfor, jehož obsahy zůstávají nezměněny, je v těchto sloučeninách silně poután a stává se málo dostupným pro rostliny. To je v našem průzkumu potvrzeno významně nižšími hodnotami obsahů P v listech buku

na vápněných i kontrolních plochách v roce 2019. Přístupné formy Al mají vliv i na příjem ostatních živin, což je doloženo jejich nižšími obsahy v listech buku v roce 2019.

K posouzení možné toxicity volných forem hliníku slouží kriteria vycházející z šetření nasycenosti půdního sorpčního komplexu bazickými kationty a kyselý kationtem hliníku Al^{3+} .

Tab. 13: Průměrný obsah výměnných kationtů v organominerálním a v minerálním horizontu v roce 2019

Půdní vlastnost	Horizont			
	organominerální		minerální	
	vápněná	kontrolní	vápněná	kontrolní
Ca^{2+} [mekv./kg]	6,94	3,22	2,53	2,30
Mg^{2+} [mekv./kg]	6,00	1,21	2,44	0,77
K^+ [mekv./kg]	1,41	1,55	0,70	0,92
Al^{3+} [mekv./kg]	65,9	69,7	54,9	56,1
Ca^{2+}/Al^{3+}	0,11 (0,15)	0,046	0,046 (0,05)	0,041
Mg^{2+}/Al^{3+}	0,09 (0,04)	0,017	0,044 (0,01)	0,014

Za minimální podíl Ca^{2+}/Al^{3+} v sorpčním komplexu považuje Bonneau (BONNEAU, 1992) hodnotu 0,15 pro horizonty organominerální a 0,05 pro horizonty minerální a pro Mg^{2+}/Al^{3+} minimální podíl 0,04 pro horizonty A_h a 0,010 pro horizonty (A + B). (Tab. 13).

Podle hodnocení v organominerálních horizontech je pravděpodobnost toxického působení Al na vápněných i kontrolních stanovištích. Na vápněných stanovištích, kde jsou hodnoty poměru Ca^{2+}/Al^{3+} bližší hranici toxicity (0,15), je patrné doznívání účinků vápnění vyčerpáním těchto bazických kationtů. V půdním prostředí porostů kontrolních je přítomnost toxických forem hliníku zřejmá. V minerálních horizontech je stav podobný.

Hodnocení podle poměru Mg^{2+}/Al^{3+} ukazuje poněkud příznivější stav na vápněných plochách, kde je v organominerálních i minerálních horizontech hodnota poměru vyšší než zvolená hranice toxicity a na stanovištích kontrolních je tento poměr v oblasti toxického působení v organominerálních a na hranici této oblasti v minerálních horizontech.

Tab. 14: Hodnocení BS v organominerálním a v minerálním horizontu v roce 2019*

Půdní vlastnost	Horizont			
	organominerální		minerální	
	vápněná	kontrolní	vápněná	kontrolní
BS (K+Mg+Ca) [mekv./kg]	14,35	5,98	5,67	3,99
Al_{VYM}	65,9	69,7	54,9	56,1
BS_{VYM}/Al_{VYM}	0,22	0,09	0,10	0,07
$(Al+H) = Al_t$ [mekv./kg]	75,1	80,0	59,3	62,2
BS/Al_t	0,19	0,07	0,10	0,06

*V tabulce jsou uvedeny dva způsoby výpočtu. Jeden podle a podílu součtu kationtů a Al_{VYM} , druhý podle podílu součtu kationtů a titrační acidity Al_t . Al_t je titrovaný Al v našem případě použijeme $(Al+H)_{VYM}$.

Podobné je hodnocení možné toxicity hliníku kritériem podle COLLIGNON ET ALL, kteří považují poměr $[Al_t/(K+Mg+Ca)] > 0,2$ za ukazatel nízké pravděpodobnosti hliníkové toxicity. V organominerálních horizontech je toto působení nepravděpodobné díky hodnotě poměru 0,22 při použití výměnného Al. V případě výpočtu pomocí Al_t je toxicita hliníku reálná ve všech sledovaných plochách. Hodnoty bližší těmto kritickým hodnotám na vápněných plochách svědčí o doznívání působnosti vápnění a nastávající aktivitě hliníkových iontů.

Extrahovatelná forma vápníku (Ca_{dus}) se významně zvyšuje v organominerálních horizontech, což je zřejmě důsledkem dodatečného rozpouštění dolomitického vápence v nadložních organických

horizontech a jeho prostupu do horizontů organominerálních. V půdních horizontech kontrolních stanovišť je zaznamenáno statisticky nevýznamné zvýšení obsahů Ca_{dus} v nadložních horizontech a statisticky nižší obsahy v porovnání s plochami vápněnými. Rostlinám přístupná forma (Ca_{MIII}) je významně nižší na plochách kontrolních v organominerálních horizontech podobně jako forma výměnná. V minerálních horizontech vápněných stanovišť je zjištěno významné snížení obsahu výměnných kationtů vápníku.

Obsahy extrahovatelného **fosforu** ve všech studovaných horizontech vápněných i kontrolních stanovišť jsou podobné a v době sledování neměnné.

V organominerálních i v minerálních horizontech vápněných stanovišť jsou významně vyšší obsahy přístupného i výměnného **hořčíku**. V organominerálních horizontech se navíc zvyšují obsahy Mg_{dus} a Mg_{MIII} na vápněných plochách, což je zřejmě, podobně jako u vápníku způsobeno dodatečným uvolňováním z dolomitického vápence. Mg_{VYM} se zde zvyšuje pouze nevýznamně.

Obsahy extrahovatelného **draslíku** (K_{dus}) jsou v nadložních organických horizontech vápněných ploch poněkud nižší než na kontrolních a jsou neměnné v letech 2013 a 2019. V organominerálních horizontech jsou extrahovatelné (K_{dus}) a přístupné (K_{MIII}) obsahy na srovnávaných plochách podobné a na vápněných plochách jsou dokonce zjištěny vyšší obsahy než v roce 2013. Sycení sorpčního komplexu kationtem draslíku K^+ je podobné a neměnné. V minerálních horizontech nejsou zjištěny významné rozdíly v obsazích na vápněných a kontrolních stanovištích. Na vápněných stanovištích je zaznamenáno významně nižší sycení na konci sledování v roce 2019 oproti roku 2013.

Na vápněných plochách jsou ve všech šetřených horizontech zjištěny poněkud vyšší obsahy extrahovatelného **manganu** (Mn_{dus}) než na plochách kontrolních a v horizontech organominerálních a minerálních vápněných porostů je zjištěna nižší hodnota sycení sorpčního komplexu manganem než v roce 2013. Vyšší hodnoty obsahu manganu ve vápněných porostech jsou způsobeny především vysokými obsahy na odběrném místě 01850, jejichž důvod není zjištěn. Geologický podklad tohoto stanoviště je tvořen ortorulami, vzniklými z hrubozrnného granitu. Ten je, vedle ortorul, vzniklých z kyselého migmatitu, matečným podkladem většiny šetřených míst.

4.2. Výživa buku

Hodnocení úrovně výživy, bylo provedeno podle obsahů prvků v listech buku. Na vápněných i kontrolních stanovištích jsou zjištěny obsahy **N** odpovídající dobré úrovni. Pokles tohoto obsahu v letech 2013 až 2019 připisujeme snižující se vitalitě ve vývojové etapě stárnoucích porostů.

Úroveň výživy **fosforem** má rovněž klesající tendenci ve sledovaném období a zřejmě souvisí s výživou dusíkem, který je fyziologicky rozhodujícím a limitujícím činitelem. Na vápněných stanovištích jsou obsahy fosforu nevýznamně nižší. To může souviset s vyššími hodnotami přístupného i extrahovatelného **Al**, který vytváří s fosforem rostlinám nepřístupné sloučeniny. Významný pokles úrovně výživy fosforem je ovšem zjištěn i na kontrolních plochách.

Významný pokles hodnoty obsahu **vápníku** v listech buku na srovnávaných stanovištích v roce 2019 zobrazuje vyčerpání půdního prostředí stárnoucích ekosystémů. Na plochách vápněných jsou obsahy poněkud vyšší. To je odrazem vyšších zásob přístupného a extrahovatelného vápníku v půdním prostředí. Podobně je tomu s úrovní výživy **hořčíkem**, který se v listech buku na vápněných stanovištích drží na hodnotě odpovídající luxusní úrovni výživy. Úroveň výživy hořčíkem (**Mg**) se významně nemění v období 2013 až 2019 a na vápněných plochách je významně vyšší.

Obsahy **draslíku** (**K**) se významně snižují na vápněných i kontrolních místech. Významně nižší hodnoty na vápněných místech jsou zřejmě projevem antagonismu draslíku vůči vápníku a mohou být nežádoucím důsledkem vápnění. Povahu tohoto antagonismu přisuzujeme potlačenému fyziologickému příjmu draslíku na vápněných plochách, kde se zvyšuje jeho přístupná zásoba. V době, kdy draslík začne být limitujícím prvkem výživy rostlin, je v půdním prostředí k dispozici. Předpokladu snížené

fyziologické aktivity bukových porostů odpovídají i snižující se obsahy **síry (S)** ve vápněných i kontrolních porostech. V jejich organominerálních i minerálních horizontech významně narůstají její přístupné obsahy.

U fosforu, vápníku a železa (Tab. 15) nejsou přístupné obsahy v letech 2013-2019 významně změněny a úroveň výživy je významně nižší. Výživa může být ovlivněna toxicitou přístupných obsahů hliníku.

Tab. 15: Průměrné obsahy prvků v letech 2013 a 2019 na vápněných plochách (N v % ost. v mg.kg⁻¹).

Vápněné porosty								
Prvek	vzorek	Extrahovatelné		Přístupné		Výměnné		Úroveň výživy
		2013	2019	2013	2019	2013	2019	
N _{tot}	organominerální	0,22	0,22					
	minerální	0,15	0,13					
	listy buku	2,32	2,22					4
Mn	organominerální	658	540			1,64	1,51	
	minerální	704	391			1,41	0,78	
	listy buku	1456	1065					4
Fe	organominerální	5823	7206	586	609	--	1,67	
	minerální	6753	8844	554	503	--	--	
	listy buku	157	120					2
Ca	organominerální	260	409	101	124	6,31	6,94	
	minerální	247	361	61,0	42,6	3,93	2,53	
	listy buku	9980	6931					4
Mg	organominerální	488	732	50,8	77,8	4,53	6,00	
	minerální	501	822	28,3	34,5	2,54	2,44	
	listy buku	2466	2406					5
P	organominerální	385	407	58,2	40,5			
	minerální	513	532	93,6	74,1			
	listy buku	1910	1397					2-3
K	organominerální	179	275	56,6	75,4	1,32	1,41	
	minerální	167	249	42,9	42,0	0,96	0,70	
	listy buku	9391	6244					2
S	organominerální			20,7	30,6			
	minerální			20,3	38,0			
	listy buku	1716	1576					3-4
Al	organominerální	4224	5063	1721	1964	74,0	65,9	
	minerální	5067	6679	1813	2117	65,8	54,9	
	listy buku	158	113					2

-- Hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Úroveň výživy: 1-velmi nízká, 2-nízká, 3-střední, 4-vysoká, 5-velmi vysoká, zeleně jsou vyznačeny významně vyšší a červeně významně nižší obsahy.

Nižší obsahy **manganu** v listech buku na vápněných plochách dáváme do souvislosti s vyššími hodnotami pH na vápněných plochách, kde je omezena jeho rozpustnost v půdě a tím i příjem rostlinami.

Obsahy **železa** jsou v listech buku na vápněných i kontrolních stanovištích na přibližně stejné úrovni. Během sledovaného období se snižují, a to na vápněných plochách významně. I toto snížení podobně jako v případě Mn dáváme do souvislosti s nižší fyziologickou aktivitou starých bukových porostů a tím i nižším příjmem z půdního prostředí, kde se v organominerálních horizontech obsahy přístupného, extrahovatelného i výměnného Fe zvyšují. U extrahovatelné formy je zvýšení zaznamenáno i v minerálních horizontech.

Tab. 16: Celkové hodnocení významných rozdílů a změn podle stavu v roce 2019

Nadložní organický horizont				
		Vliv vápnění	Jiný vliv	Obojí vliv
C _{ox}	zvýšení na váp. i kontr. plochách		pozitivní	
Ca _{dus}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Fe _{dus}	zvýšení na v. pl.		negativní	
Mg _{dus}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Horizont organominerální				
C _{ox}	snížení na v. pl. i k. pl.		negativní	
Al _{MIII}	zvýšení na v. pl. i k. pl.		negativní	
K _{MIII}	zvýšení na v. pl.	pozitivní	pozitivní	
Ca _{MIII}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Mg _{MIII}	vyšší hodnoty na v. pl. + zvýšení na v. pl.	pozitivní		
S _{MIII}	zvýšení na k. pl.		pozitivní	
K _{dus}	zvýšení na v. pl.		pozitivní	
Mg _{dus}	zvýšení na v. pl.	pozitivní		
Ca _{dus}	vyšší hodnoty na v. pl. + zvýšení na v. pl.	pozitivní		
Al _{dus}	zvýšení na v. pl. i k. pl.			negativní
Fe _{dus}	zvýšení na v. pl. i k. pl.			negativní
Ca _{VYM}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Mg _{VYM}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
BS	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Horizont minerální				
C _{ox}	snížení na v. pl.		negativní	
Al _{MIII}	zvýšení na v. pl. i k. pl.		negativní	
Mg _{MIII}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
S _{MIII}	zvýšení na v. pl. i k. pl.		pozitivní	
Al _{dus}	zvýšení na v. pl. i k. pl.		negativní	
Cr _{dus}	zvýšení na k. pl.		negativní	
Cu _{dus}	zvýšení na k. pl. + nižší hodnoty na v. pl.		negativní	
Fe _{dus}	zvýšení na v. pl. i k. pl.		pozitivní	
K _{VYM}	snížení na v. pl.	negativní		
Ca _{VYM}	snížení na v. pl.	negativní		
Mg _{VYM}	vyšší hodnoty na v. pl.	pozitivní		
Obsahy v listech buku				
Al	snížení na v. pl.	pozitivní		
K	Snížení na v. pl. + nižší hodnoty na v. pl.	negativní		
Mg	Vyšší obsahy na v. pl.	pozitivní		
P	Snížení na v. pl. i k. pl.		negativní	

Na vápněných stanovištích byly zjištěny očekávané pozitivní dopady leteckého vápnění na chemismus půdního prostředí. Po 11 letech od vápnění už nejsou patrné významné rozdíly v hodnotách pH půdního prostředí. Doznívají účinky dolomitického vápence na extrahovatelné obsahy vápníku a hořčíku v nadložních organických horizontech, na jejich přístupné a výměnné formy v horizontech organominerálních včetně vyššího sycení sorpčního komplexu bazickými kationty. V případě mobilnějšího hořčíku se vyšší obsahy přístupné a výměnné formy projevují i v horizontech minerálních. Možné negativní působení dolomitického vápence je pozorováno v případech výměnné formy draslíku v minerálních horizontech. Možnost antagonického působení zde ovšem vylučujeme pro jeho nižší obsazení v sorpčním komplexu půdy.

Nežádoucí snížení obsahů spalitelného uhlíku v půdním prostředí, podobně jako vyšší obsahy přístupného hliníku, nedáváme do přímé souvislosti s vápněním, protože jsou zjištěny rovněž na kontrolních plochách.

V úrovni výživy buku jsou zjištěny možné negativní dopady vápnění v podobě snižování obsahů některých živin na vápněných plochách. Z výše uvedených poměrů (Tab. 19) je zřejmé narušení harmonického stavu výživy na vápněných plochách aktivním příjmem hořčíku. Nižší obsahy draslíku a fosforu nedosahují úrovně nedostatku. Snížení obsahů draslíku ve výživě hluboko kořenících buků je v souladu se snížením jeho výměnné formy v minerálních horizontech. Vzhledem k výrazně vyšší nabídce draslíku v jeho extrahovatelné i přístupné formě, a poněkud vyššímu sycení v organominerálních horizontech vápněných ploch v letech 2019 a stabilní přístupné formě v minerálních horizontech nelze ovšem mluvit o nepříznivém dopadu vápnění na půdní prostředí. Jako závažnější se jeví snížení úrovně výživy fosforem. Snížení výživy fosforem bylo zjištěno na vápněných i kontrolních plochách a zřejmě souvisí s jejich blokáci ve sloučeninách se zvyšujícími se obsahy Al a Fe.

Tab. 17: Průměrný obsah prvků v mg.kg⁻¹ (N v %) v listech na vápněných a kontrolních plochách v roce 2019 a jejich hodnocení

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	B	S
vápněná	2,22	1397	6244	6931	2406	1065	120	43,6	1576
hodnocení	4	3	3	2	5	5	2	5	4
kontrolní	2,17	1656	8853	5950	1340	1756	137	53,6	1613
hodnocení	4	4	4	1-2	3	5	2	5	4

Pozn. Jehlice běžného roku jsou odebrány v témže roce, kdy vyrašily, dvouleté jsou o rok starší. Hodnocení podle ÚKZÚZ 1013:

1 – nedostatečný, 2 – nízký, 3 – vyhovující, 4 – vysoký, 5 – luxusní.

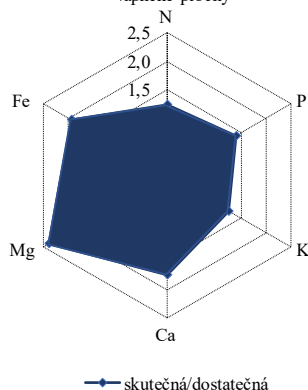
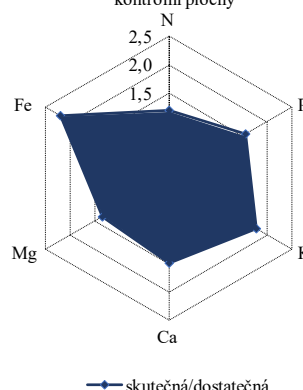
Tab. 18: Poměry mediánů prvků v listech buku a nedostatečných a luxusních hranic výživy podle obsahů v roce 2019.

Prvek	N	P	K	Ca	Mg	S
Hranice nedostatku	1,8	1000	5000	4000	1000	1000
Hranice nadbytku	2,5	1700	10000	8000	1500	2500
Vápněná stanoviště	2,2	1397	6244	6931	2406	1576
Kontrolní stanoviště	2,17	1656	8853	5950	1340	1613

*N, P, K Ca, Mg dle ŠRÁMEK et al, (2009) Fe dle Fürst

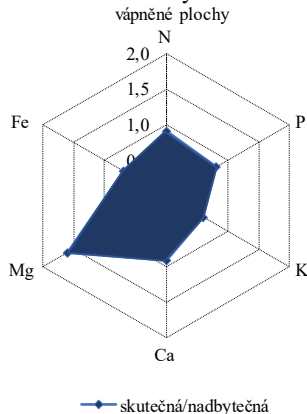
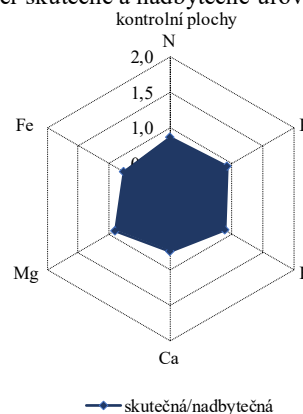
Na vápněných i kontrolních plochách je dostatečná úroveň výživy dusíkem. Obsahy fosforu jsou nižší na vápněných plochách, což odpovídá nižší přístupnosti fosforu (Tab. 17). Za kladný vliv vápnění považujeme vyšší obsahy vápníku a především hořčíku v listech buku na vápněných plochách. Vyšší obsahy manganu jsou zřejmě ovlivněny jeho nižším příjmem a mohou souviset s významně nižším sycením manganem v roce 2019. Úroveň výživy železem je nízká a zdá se neovlivněna vápněním. Obsahy boru a síry jsou na vysoké úrovni na vápněných i kontrolních plochách a zřejmě nesouvisí se změnami vyvolanými vápněním.

Obr. 5: Poměr skutečné a dostatečné úrovně výživy

Poměr skutečné a dostatečné úrovně výživy
vápněné plochy

Poměr skutečné a dostatečné úrovně výživy
kontrolní plochy


Mimo vymezené rozpětí obsahů živin v listech buku se ocitá hořčík, jehož obsahy jsou hodnoceny jako nadlimitní (luxusní). Obsahy ostatních živin na vápněných i kontrolních plochách jsou nad hranicí nedostatku.

Obr. 6: Poměr skutečné a luxusní úrovně výživy

Poměr skutečné a nadbytečné úrovně výživy
vápněné plochy

Poměr skutečné a nadbytečné úrovně výživy
kontrolní plochy


Podle poměru skutečných a luxusních obsahů prvků v listech buku je zjištěna luxusní úroveň výživy hořčíkem na vápněných plochách. Ostatní sledované prvky podle těchto poměrů (skutečná/dostatečná a skutečná/nadbytečná) spadají do oblasti normální úrovně výživy.

Zatížení listových pletiv těžkými kovy (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) je na kontrolních i vápněných plochách podobné a nedosahuje toxické úrovně.

Tab. 19: Modelové a skutečné poměry vybraných prvků v jehlicích běžného roku na šetřených plochách v roce 2019.

Poměr	N/P	N/K	N/Mg
Modelový *	10,6 – 25 ¹⁾	1,8 – 5,0 ¹⁾	12,0 – 25,0 ¹⁾
vápněné	15,74	3,52	9,14
kontrolní	13,10	2,45	16,2

*(ŠRÁMEK et al, 2009); ¹⁾ICP Forest (UNECE 2000)

S vysokými obsahy hořčíku souvisí nízký poměr N/Mg na vápněných plochách, který neodpovídá harmonické úrovni výživy (Tab. 19). Hořčík je na vápněných plochách zřejmě přednostně přijímán a na jeho výživu má rozhodující vliv obsah přijatelného Mg v půdě.



5. Závěr

Na vápněných a kontrolních stanovištích se 11 let po leteckém vápnění neprojevují rozdíly v hodnotách chemické půdní reakce aktivní a výměnné. Rozdíly jsou patrné ve způsobu tlumení okyselujících vlivů (H^+ a NO_3^-) atmosférického, případně fyziologického původu. Na vápněných stanovištích jsou tyto vlivy vyrovnávány bazickými kationty, zatímco na stanovištích kontrolních, kde jsou bazické kationty vyčerpány, přebírá tuto úlohu hliník uvolněný z krystalových mřížek minerálů. Obsahy dusíku jsou na vápněných plochách podobné a vliv vápnění na koloběh dusíku nebyl zjištěn. Významné změny v letech 2013–2019 byly zaznamenány v obsazích spalitelného uhlíku, které se v nadložních minerálních horizontech zvyšují. V minerálních částech půdních profilů, tedy horizontech organominerálních a minerálních, bylo zjištěno jejich snížení. Tento negativní jev byl zaznamenán na vápněných i kontrolních plochách a nelze jej posuzovat jako důsledek vápnění lesa.

Vápnění bukových porostů v roce 2008 se dodnes projevuje vyššími obsahy vápníku a hořčíku v půdním prostředí a dokonce jejich zvyšováním na vápněných plochách. Dolomitický vápenec, spadající do nadložních organických horizontů, je tedy stále aktivní v uvolňování živin do půdního prostředí. Vyšší obsahy těchto živin se projeví i ve vyšší úrovni jejich výživy v asimilačních pletivech buku.

V případě fosforu a draslíku nebyl zjištěn negativní dopad vápnění na jejich přístupné formy v půdě. Nižší úroveň výživy těmito prvky je zřejmě způsobena toxickým působením volných forem hliníku, které se v intervalu opakovaných odběrů zvyšují. Zvyšování obsahů hliníku a s ním související nižší úroveň výživy fosforem a draslíkem je zjištěna na vápněných i kontrolních plochách. Negativní vliv vápnění je tedy nepravděpodobný. Na vápněných plochách jsou příznivější ukazatele označující možnost toxického působení hliníku, zjištěné z poměrů výměnných kationtů. Statistickým hodnocením analytických údajů byly potvrzeny očekávané kladné účinky vápnění na chemismus půdního prostředí a úroveň výživy vápníkem a hořčíkem. Úbytek spalitelného uhlíku v minerální půdě, zvýšení obsahů hliníku a možné toxické působení na výživu buku lesního nelze spojovat s účinkem vápnění, neboť se jedná o trend týkající se vápněných i kontrolních porostů.

Šetřené vápněné i kontrolní porosty buku lesního se nacházejí v mýtném věku s nastávající fází obnovy a snížený příjem některých živin může být důsledkem nižšího příjmu při nižší vitalitě klenbové etáže. Půdní prostředí vápněných porostů vyhovuje svým chemizmem výživě nastávajících náletových a nárostových etází. V kontrolních, nevápněných porostech lze očekávat nezdar při jejich obnově a růstu do stadia zajištěných mlazin. Při doplňování nárostů, případně přímé obnově lesa doporučujeme dodání potřebných živin podle půdních rozborů.

6. Použitá literatura

BONNEAU M., LANDMANN G., ADRIAN M. 1992: La fertilization comme remède au dépérissement des forêts en sol acide: essais dans les Vosges, Revue Forestière Française. XLIV – 3, p. 207 – 223.

COLLIGNON C., BOUDOT J.-P., TURPAULT M.-P. 2012: Time change of aluminium toxicity in the acid bulk soil and rhizosphere in Norway spruce (*Picea abies*) (L.) Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. Plant Soil, 357, p. 259 – 274.

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

HRDLIČKA P., KULA E. 2011: Changes in Element Content of Birch Leaves (*Betula pendula* Roth) in Polluted Air, Polish Journal of Environment Stud. , 20, 3. p. 661 – 670.

KULA E., HRDLIČKA P. (1998): Monitoring živinových a cizorodých prvků v list

<http://portal.chmi.cz/>

7. Přílohy

7.1. Popisné statistiky a testy

7.1.1. Nadložní organický horizont

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – kontrolní porosty (2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	7	123	141	63,8	174	80,5	166
pH _{CaCl2}	7	3,49	3,40	3,30	3,80	3,40	3,60
pH _{H2O}	7	4,17	4,20	4,00	4,50	4,00	4,20
N [%]	7	1,32	1,30	1,13	1,48	1,18	1,47
Cox [%]	7	22,8	23,7	15,9	26,6	21,0	25,4
C/N	7	17,4	16,2	14,1	21,5	14,8	21,2
Al _{dus} [mg/kg]	7	8291	8210	6520	9660	8060	8800
B _{dus} [mg/kg]	7	3,57	3,50	2,90	5,30	2,90	3,60
Ca _{dus} [mg/kg]	7	1538	1390	818	2920	1140	1800
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,31	0,32	0,24	0,38	0,25	0,34
Cr _{dus} [mg/kg]	7	11,9	12,3	9,29	13,5	11,2	12,8
Cu _{dus} [mg/kg]	7	16,4	17,2	9,81	20,7	14,1	19,9
Fe _{dus} [mg/kg]	7	7856	8070	4440	10800	7020	8960
K _{dus} [mg/kg]	7	1419	1330	1160	2130	1230	1470
Mg _{dus} [mg/kg]	7	725	756	416	958	481	938
Mn _{dus} [mg/kg]	7	385	367	139	800	197	448
P _{dus} [mg/kg]	7	1131	1160	1010	1310	1020	1190
Pb _{dus} [mg/kg]	7	81,8	75,2	61,5	112	71,7	91,4
Zn _{dus} [mg/kg]	7	41,2	41,6	31,4	57,0	32,9	44,7

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – vápněné porosty (jedenáct let po vápnění, 2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	7	125	121	76,3	202	104	139
pH _{CaCl2}	7	3,94	4,00	3,30	4,40	3,80	4,10
pH _{H2O}	7	4,60	4,70	3,90	5,10	4,40	4,80
N [%]	7	1,23	1,23	1,04	1,37	1,16	1,35
Cox [%]	7	22,8	23,0	18,0	30,2	18,0	27,7
C/N	7	18,4	18,8	13,1	22,9	16,7	20,5
Al _{dus} [mg/kg]	7	8886	8230	6930	11600	7440	10400
B _{dus} [mg/kg]	7	3,36	3,50	2,30	3,70	3,30	3,70
Ca _{dus} [mg/kg]	7	3319	3370	1280	6160	1830	4120
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,44	0,46	0,20	0,65	0,31	0,52
Cr _{dus} [mg/kg]	7	12,2	12,1	11,1	14,0	11,3	12,7
Cu _{dus} [mg/kg]	7	17,1	16,8	13,1	19,5	15,4	19,1
Fe _{dus} [mg/kg]	7	9121	8460	7300	13300	7530	10700
K _{dus} [mg/kg]	7	1353	1420	940	1720	1030	1640
Mg _{dus} [mg/kg]	7	1439	1260	964	2450	992	1810
Mn _{dus} [mg/kg]	7	521	333	96,2	1760	316	415
P _{dus} [mg/kg]	7	1134	1020	907	1650	919	1260
Pb _{dus} [mg/kg]	7	84,3	77,6	61,7	140	68,5	88,2
Zn _{dus} [mg/kg]	7	45,6	41,3	34,6	63,3	37,1	60,5

Porovnání průměrných hodnot* (nadložní organický horizont)

	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	pět let po vápnění (2013) (A)	jedenáct let po vápnění (2019) (B)	(2013) (C)	(2019) (D)
Nad. humus [t/ha]	177	125	145	123
pH _{CaCl2}	3,79	3,94 ^D	3,47	3,49 ^B
pH _{H2O}	4,53	4,60	4,31	4,17
N [%]	1,21	1,23	1,19	1,32
C _{ox} [%]	17,0 ^B	22,8 ^A	17,7 ^D	22,8 ^C
C/N	14,7 ^B	18,4 ^A	15,2	17,4
Al _{dus} [mg/kg]	8054	8886	8007	8291
Ca _{dus} [mg/kg]	2831 ^C	3319 ^D	1280 ^A	1538 ^B
Cd _{dus} [mg/kg]	0,84 ^B	0,44 ^A	0,74 ^D	0,31 ^C
Cr _{dus} [mg/kg]	10,9	12,2	10,4	11,9
Cu _{dus} [mg/kg]	18,9	17,1	19,3	16,4
Fe _{dus} [mg/kg]	7660 ^B	9121 ^A	7000	7856
K _{dus} [mg/kg]	1285	1353	1417	1419
Mg _{dus} [mg/kg]	1204 ^C	1439 ^D	610 ^A	725 ^B
Mn _{dus} [mg/kg]	867	521	477	385
P _{dus} [mg/kg]	1122	1134	1086	1131
Pb _{dus} [mg/kg]	102	84,3	86,4	81,8
Zn _{dus} [mg/kg]	45,6	45,6	48,2	41,2

* ANOVA při opakovaných měřeních, statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$); písmena A,B,C,D označují zjištěný statisticky významný rozdíl od hodnoty uvedené v tomto sloupci.

7.1.2. Horizont organominerální

Popisné statistiky – horizont organominerální – kontrolní porosty (2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,40	3,40	3,30	3,50	3,40	3,40
pH _{H2O}	7	4,10	4,10	3,90	4,30	4,00	4,20
Vým. acid. [mekv./kg]	7	141	145	109	181	113	169
Cox [%]	7	3,78	4,07	1,49	4,52	3,95	4,29
N [%]	7	0,22	0,23	0,16	0,26	0,17	0,25
C/N	7	17,5	17,2	9,31	23,8	17,0	20,4
Al _{III} [mg/kg]	7	1843	1980	1370	2170	1570	2090
P _{III} [mg/kg]	7	51,1	60,8	13,3	72,3	19,9	68,2
K _{III} [mg/kg]	7	78,8	70,9	63,1	112	65,4	86,9
Ca _{III} [mg/kg]	7	50,8	50,2	< 30	98,5	33,1	68,3
Mg _{III} [mg/kg]	7	17,4	16,2	11,5	24,7	16,1	19,5
B _{III} [mg/kg]	7	< 0,5	0,54	< 0,5	0,57	< 0,5	0,57
Fe _{III} [mg/kg]	7	652	632	611	717	620	693
S _{III} [mg/kg]	7	30,6	28,6	20,6	52,1	22,7	35,4
P _{dus} [mg/kg]	7	409	488	188	620	204	584
K _{dus} [mg/kg]	7	208	233	98,8	248	193	243
Mg _{dus} [mg/kg]	7	631	672	41,4	1110	478	889
Ca _{dus} [mg/kg]	7	208	236	68,2	361	88,1	300
Al _{dus} [mg/kg]	7	4434	4680	2460	6300	3020	5690
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,51	0,53	0,21	0,71	0,41	0,65
Cr _{dus} [mg/kg]	7	4,61	4,27	1,28	7,34	3,69	6,49
Cu _{dus} [mg/kg]	7	5,70	4,86	3,54	11,20	4,24	6,62
Fe _{dus} [mg/kg]	7	6639	6210	2460	9890	5710	8180
Mn _{dus} [mg/kg]	7	242	233	27,9	476	55,1	450
Pb _{dus} [mg/kg]	7	59,7	60,3	35,7	81,1	44,1	79,7
Zn _{dus} [mg/kg]	7	25,9	26,1	7,16	45,1	16,5	39,9
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	80,0	75,5	58,7	102,0	74,1	95,5
K _{VYM} [mekv./kg]	7	1,55	1,44	1,21	2,29	1,26	1,73
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	3,22	3,05	1,52	5,65	2,21	3,82
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	1,21	1,09	0,78	2,07	1,01	1,27
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,24	0,23	0,15	0,33	0,20	0,29
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	0,88	1,03	0,12	1,53	0,29	1,42
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	69,7	69,6	52,8	87,0	62,1	80,5
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	2,10	1,92	0,86	4,72	1,21	2,66
CEC [mekv./kg]	7	86,2	83,0	62,5	110	79,0	101
BS [%]	7	7,20	6,90	5,00	9,90	6,10	9,10

Popisné statistiky – horizont organominerální – vápněné porosty (jedenáct let po vápnění, 2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,51	3,50	3,30	3,70	3,40	3,70
pH _{H2O}	7	4,31	4,30	4,10	4,50	4,10	4,50
Vým. acid. [mekv./kg]	7	146	131	110	219	124	170
Cox [%]	7	3,90	3,90	3,10	5,45	3,27	3,98
N [%]	7	0,22	0,22	0,17	0,27	0,20	0,24
C/N	7	17,7	17,7	16,4	20,2	16,6	18,2
Al _{MIII} [mg/kg]	7	1964	1950	1710	2270	1770	2160
P _{MIII} [mg/kg]	7	40,5	26,1	6,21	90,0	9,82	72,4
K _{MIII} [mg/kg]	7	75,4	76,3	48,7	118,0	55,9	91,2
Ca _{MIII} [mg/kg]	7	124	104	80,6	221	83,3	163
Mg _{MIII} [mg/kg]	7	77,8	90,1	22,6	121	27,7	112
B _{MIII} [mg/kg]	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,56	< 0,5	0,53
Fe _{MIII} [mg/kg]	7	609	622	515	680	577	636
S _{MIII} [mg/kg]	7	30,6	30,9	22,9	41,3	26,5	31,2
P _{dus} [mg/kg]	7	407	350	244	670	252	538
K _{dus} [mg/kg]	7	275	279	115	473	177	393
Mg _{dus} [mg/kg]	7	732	657	218	1380	432	998
Ca _{dus} [mg/kg]	7	409	378	158	843	266	461
Al _{dus} [mg/kg]	7	5063	5180	3540	5920	4410	5820
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,60	0,55	0,45	0,95	0,45	0,67
Cr _{dus} [mg/kg]	7	4,21	4,03	2,82	6,30	2,97	5,21
Cu _{dus} [mg/kg]	7	4,36	3,82	2,97	6,20	3,00	5,76
Fe _{dus} [mg/kg]	7	7206	7500	5790	8220	6680	7970
Mn _{dus} [mg/kg]	7	540	239	19,2	2580	173	313
Pb _{dus} [mg/kg]	7	72,3	71,6	40,8	103	42,1	98,3
Zn _{dus} [mg/kg]	7	20,9	22,1	10,4	31,0	12,0	29,2
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	75,1	67,6	56,2	110	60,2	98,9
K _{VYM} [mekv./kg]	7	1,41	1,36	0,96	2,19	1,08	1,57
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	6,94	6,04	3,77	12,50	4,57	8,72
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	6,00	6,94	1,18	10,20	2,17	9,10
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,34	0,30	0,19	0,54	0,23	0,52
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	1,51	0,71	0,13	5,73	0,61	1,69
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	65,9	58,9	47,0	90,9	56,8	89,7
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	1,67	1,26	< 0,3	4,04	0,44	3,51
CEC [mekv./kg]	7	89,7	82,8	66,7	128	66,8	116
BS [%]	7	16,3	14,7	9,70	24,5	12,9	21,7

Porovnání průměrných hodnot* (organominerální horizont)

	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	pět let po vápnění (2013) (A)	jedenáct let po vápnění (2019) (B)	(2013) (C)	(2019) (D)
pH _{CaCl2}	3,51	3,51	3,41	3,40
pH _{H2O}	4,24	4,31	4,11	4,10
Vým. acid. [mekv./kg]	145	146	132	141
Cox [%]	6,12 ^B	3,90 ^A	5,53 ^D	3,78 ^C
N [%]	0,22	0,22	0,22	0,22
C/N	28,2 ^B	17,7 ^A	26,8 ^D	17,5 ^C
Al _{MIII} [mg/kg]	1721 ^B	1964 ^A	1567 ^D	1843 ^C
P _{MIII} [mg/kg]	58,2	40,5	59,4	51,1
K _{MIII} [mg/kg]	56,6 ^B	75,4 ^A	64,2	78,8
Ca _{MIII} [mg/kg]	101 ^C	124 ^D	55,9 ^A	50,8 ^B
Mg _{MIII} [mg/kg]	50,8 ^{BC}	77,8 ^{AD}	-- ^A	17,4 ^B
Fe _{MIII} [mg/kg]	586	609	584 ^D	652 ^C
S _{MIII} [mg/kg]	20,7	30,6	19,2 ^D	30,6 ^C
P _{dus} [mg/kg]	385	407	364	409
K _{dus} [mg/kg]	179 ^B	275 ^A	183	208
Mg _{dus} [mg/kg]	488 ^B	732 ^A	414	631
Ca _{dus} [mg/kg]	260 ^B	409 ^{AD}	172	208 ^B
Al _{dus} [mg/kg]	4224 ^B	5063 ^A	3596 ^D	4434 ^C
Cd _{dus} [mg/kg]	0,60	0,60	--	0,51
Cr _{dus} [mg/kg]	3,52	4,21	3,37 ^D	4,61 ^C
Cu _{dus} [mg/kg]	3,42	4,36	3,46 ^D	5,70 ^C
Fe _{dus} [mg/kg]	5823 ^B	7206 ^A	4929 ^D	6639 ^C
Mn _{dus} [mg/kg]	658	540	263	242
Pb _{dus} [mg/kg]	81,4	72,3	62,8	59,7
Zn _{dus} [mg/kg]	21,1	20,9	22,9	25,9
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	80,2	75,1	73,7	80,0
K _{VYM} [mekv./kg]	1,32	1,41	1,51	1,55
Ca _{VYM} [mekv./kg]	6,31 ^C	6,94 ^D	3,43 ^A	3,22 ^B
Mg _{VYM} [mekv./kg]	4,53 ^C	6,00 ^D	1,28 ^A	1,21 ^B
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,31	0,34	0,23	0,24
Mn _{VYM} [mekv./kg]	1,64	1,51	0,92	0,88
Al _{VYM} [mekv./kg]	74,0	65,9	66,0	69,7
Fe _{VYM} [mekv./kg]	--	1,67	1,34	2,10
CEC [mekv./kg]	92,5	89,7	80,1	86,2
BS [%]	13,9 ^C	16,3 ^D	8,36 ^A	7,20 ^B

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

* ANOVA při opakovaných měřeních, statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$); písmena A,B,C,D označují zjištěný statisticky významný rozdíl od hodnoty uvedené v tomto sloupci.

7.1.3. Horizont minerální

Popisné statistiky – horizont minerální – kontrolní porosty (2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,61	3,60	3,40	3,80	3,50	3,70
pH _{H2O}	7	4,29	4,30	4,20	4,40	4,20	4,40
Vým. acid. [mekv./kg]	7	101	104	75,2	123	91,2	110
Cox [%]	7	2,67	2,92	0,81	3,63	2,28	3,31
N [%]	7	0,15	0,15	0,12	0,18	0,15	0,17
C/N	7	17,5	19,0	4,8	22,7	17,7	20,5
Al _{MIII} [mg/kg]	7	1957	1990	1320	2450	1810	2110
P _{MIII} [mg/kg]	7	85,0	97,7	29,7	182	32,5	108
K _{MIII} [mg/kg]	7	50,8	55,0	27,8	71,7	36,4	60,5
Ca _{MIII} [mg/kg]	7	--	35,3	< 30	43,6	< 30	42,2
Mg _{MIII} [mg/kg]	7	--	16,1	< 10	18,0	< 10	17,3
B _{MIII} [mg/kg]	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,56	< 0,5	0,51
Fe _{MIII} [mg/kg]	7	570	551	424	700	510	667
S _{MIII} [mg/kg]	7	33,6	30,7	20,6	55,2	29,4	38,6
P _{dus} [mg/kg]	7	547	630	161	817	353	762
K _{dus} [mg/kg]	7	184	191	72,3	275	121	257
Mg _{dus} [mg/kg]	7	816	804	70,9	1890	492	932
Ca _{dus} [mg/kg]	7	250	258	42,9	408	144	376
Al _{dus} [mg/kg]	7	5843	5530	2990	9270	4700	6740
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,31	0,28	< 0,2	0,57	0,23	0,40
Cr _{dus} [mg/kg]	7	5,24	4,02	2,48	9,14	3,48	8,84
Cu _{dus} [mg/kg]	7	3,97	3,66	1,84	7,27	3,01	4,52
Fe _{dus} [mg/kg]	7	7944	7830	4600	12400	7180	8330
Mn _{dus} [mg/kg]	7	312	321	29,8	763	104	353
Pb _{dus} [mg/kg]	7	29,3	27,7	19,4	39,0	21,0	37,1
Zn _{dus} [mg/kg]	7	31,3	28,8	14,1	63,1	15,0	43,3
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	62,2	65,8	48,8	81,8	49,2	67,9
K _{VYM} [mekv./kg]	7	0,92	0,94	0,44	1,48	0,67	1,16
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	2,30	2,41	1,69	2,80	1,76	2,71
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	0,77	0,76	0,46	1,27	0,56	0,82
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,25	0,24	0,19	0,33	0,19	0,30
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	0,70	0,76	0,18	1,19	0,38	1,00
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	56,1	57,3	45,5	71,4	47,0	60,9
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	0,97	0,45	< 0,3	2,92	0,34	1,46
CEC [mekv./kg]	7	66,5	70,3	51,7	86,6	53,8	72,3
BS [%]	7	6,46	6,00	5,60	8,50	5,60	7,30

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont minerální – vápněné porosty (jedenáct let po vápnění, 2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,73	3,70	3,60	3,90	3,70	3,80
pH _{H2O}	7	4,44	4,40	4,40	4,50	4,40	4,50
Vým. acid. [mekv./kg]	7	101	88,8	79,2	160	84,0	120
Cox [%]	7	2,43	1,85	1,35	5,12	1,50	2,85
N [%]	7	0,13	0,11	0,08	0,24	0,09	0,16
C/N	7	18,5	18,8	14,5	21,9	15,0	21,3
Al _{MIII} [mg/kg]	7	2117	2080	1760	2750	1770	2250
P _{MIII} [mg/kg]	7	74,1	43,7	13,4	255	16,1	119
K _{MIII} [mg/kg]	7	42,0	45,5	25,2	57,7	32,9	49,9
Ca _{MIII} [mg/kg]	7	42,6	42,5	34,5	52,4	35,9	47,0
Mg _{MIII} [mg/kg]	7	34,5	28,6	16,2	54,1	23,2	50,2
B _{MIII} [mg/kg]	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,52	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	7	503	516	343	607	491	534
S _{MIII} [mg/kg]	7	38,0	37,9	22,4	77,3	24,2	41,0
P _{dus} [mg/kg]	7	532	510	212	1040	310	663
K _{dus} [mg/kg]	7	249	244	98,2	538	145	276
Mg _{dus} [mg/kg]	7	822	667	269	1510	523	1170
Ca _{dus} [mg/kg]	7	361	226	127	1010	213	474
Al _{dus} [mg/kg]	7	6679	6530	5290	9670	5550	6950
Cd _{dus} [mg/kg]	7	--	0,25	< 0,2	0,61	< 0,2	0,33
Cr _{dus} [mg/kg]	7	4,51	4,10	3,16	6,77	3,58	5,22
Cu _{dus} [mg/kg]	7	2,28	2,37	1,74	3,03	1,81	2,43
Fe _{dus} [mg/kg]	7	8844	8730	7200	12000	7780	9300
Mn _{dus} [mg/kg]	7	391	367	35,4	1030	141	466
Pb _{dus} [mg/kg]	7	36,2	25,8	18,2	87,3	23,7	39,4
Zn _{dus} [mg/kg]	7	23,7	25,0	14,9	36,9	15,9	29,6
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	59,3	52,9	46,0	74,8	50,0	72,0
K _{VYM} [mekv./kg]	7	0,70	0,67	0,40	0,98	0,53	0,88
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	2,53	2,41	1,68	3,50	2,07	2,90
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	2,44	2,07	0,57	4,41	1,72	4,27
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,32	0,27	0,13	0,56	0,23	0,46
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	0,78	0,61	0,10	1,99	0,21	1,02
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	54,9	51,1	43,3	71,0	43,6	67,3
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	--	< 0,3	< 0,3	2,07	< 0,3	0,70
CEC [mekv./kg]	7	65,3	56,2	51,2	80,7	55,0	80,3
BS [%]	7	9,09	9,10	5,80	11,7	7,40	10,3

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Porovnání průměrných hodnot* (minerální horizont)

	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	pět let po vápnění (2013) (A)	jedenáct let po vápnění (2019) (B)	(2013) (C)	(2019) (D)
pH _{CaCl2}	3,67	3,73	3,61	3,61
pH _{H2O}	4,40	4,44	4,26	4,29
Vým. acid. [mekv./kg]	121	101	119	101
COX [%]	3,86 ^B	2,43 ^A	3,39	2,67
N [%]	0,15	0,13	0,14	0,15
C/N	25,4 ^B	18,5 ^A	25,5 ^D	17,5 ^C
Al _{MIII} [mg/kg]	1813 ^B	2117 ^A	1666 ^D	1957 ^C
P _{MIII} [mg/kg]	93,6	74,1	94,0	85,0
K _{MIII} [mg/kg]	42,9	42,0	37,0 ^D	50,8 ^C
Ca _{MIII} [mg/kg]	61,0	42,6	--	--
Mg _{MIII} [mg/kg]	28,3 ^C	34,5 ^D	< 15 ^A	-- ^B
Fe _{MIII} [mg/kg]	554	503	553	570
S _{MIII} [mg/kg]	20,3 ^B	38,0 ^A	19,6 ^D	33,6 ^C
P _{dus} [mg/kg]	513	532	425	547
K _{dus} [mg/kg]	167	249	158	184
Mg _{dus} [mg/kg]	501	822	544	816
Ca _{dus} [mg/kg]	247	361	209	250
Al _{dus} [mg/kg]	5067 ^B	6679 ^A	4506 ^D	5843 ^C
Cd _{dus} [mg/kg]	0,35	--	--	0,31
Cr _{dus} [mg/kg]	3,57	4,51	3,46 ^D	5,24 ^C
Cu _{dus} [mg/kg]	1,70	2,28 ^D	2,45 ^D	3,97 ^{BC}
Fe _{dus} [mg/kg]	6753 ^B	8844 ^A	5699 ^D	7944 ^C
Mn _{dus} [mg/kg]	704	391	250	312
Pb _{dus} [mg/kg]	44,4	36,2	26,7	29,3
Zn _{dus} [mg/kg]	21,9	23,7	26,8	31,3
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	69,7	59,3	62,1	62,2
K _{VYM} [mekv./kg]	0,96 ^B	0,70 ^A	0,95	0,92
Ca _{VYM} [mekv./kg]	3,93 ^{BC}	2,53 ^A	2,47 ^A	2,30
Mg _{VYM} [mekv./kg]	2,54 ^C	2,44 ^D	0,75 ^A	0,77 ^B
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,31	0,32	0,24	0,25
Mn _{VYM} [mekv./kg]	1,41	0,78	0,67	0,70
Al _{VYM} [mekv./kg]	65,8	54,9	57,1	56,1
Fe _{VYM} [mekv./kg]	--	--	--	0,97
CEC [mekv./kg]	77,4	65,3	66,5	66,5
BS [%]	10,4 ^C	9,09	6,84 ^A	6,46

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

* ANOVA při opakovaných měřeních, statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$); písmena A,B,C,D označují zjištěný statisticky významný rozdíl od hodnoty uvedené v tomto sloupci.

7.1.4. Buk lesní - listy

Popisné statistiky – buk lesní (listy) - kontrolní porosty (2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	7	133	137	102	147	119	145
B [mg/kg]	7	53,6	55,0	43,6	61,0	50,1	58,1
Ca [mg/kg]	7	5950	5610	5160	7210	5550	6630
Cd [mg/kg]	7	0,11	0,10	0,08	0,18	0,09	0,15
Cr [mg/kg]	7	0,35	0,34	0,28	0,42	0,33	0,39
Cu [mg/kg]	7	5,62	5,49	5,07	6,38	5,20	6,15
Fe [mg/kg]	7	137	144	114	149	127	147
K [mg/kg]	7	8853	9210	8080	9560	8090	9340
Mg [mg/kg]	7	1340	1320	1100	1730	1210	1420
Mn [mg/kg]	7	1756	1590	990	3250	1220	2220
N [%]	7	2,17	2,17	1,98	2,40	2,03	2,27
Ni [mg/kg]	7	1,76	1,72	1,35	2,33	1,51	1,94
P [mg/kg]	7	1656	1650	1300	1940	1350	1940
Pb [mg/kg]	7	0,43	0,44	0,34	0,52	0,35	0,51
S [mg/kg]	7	1613	1600	1470	1800	1470	1760
Zn [mg/kg]	7	28,4	29,0	22,1	35,3	24,3	32,2

Popisné statistiky – buk lesní (listy) - vápněné porosty (jedenáct let po vápnění, 2019)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	7	113	107	94,2	137	95,3	132
B [mg/kg]	7	43,6	43,7	32,1	54,3	39,9	47,8
Ca [mg/kg]	7	6931	6750	5990	8500	6040	7510
Cd [mg/kg]	7	0,07	0,06	0,02	0,16	0,04	0,11
Cr [mg/kg]	7	0,26	0,28	0,18	0,30	0,23	0,29
Cu [mg/kg]	7	4,69	4,67	3,13	5,84	3,84	5,84
Fe [mg/kg]	7	120	120	100	143	105	132
K [mg/kg]	7	6244	6320	4360	8360	4930	7720
Mg [mg/kg]	7	2406	2440	1710	3100	1790	2880
Mn [mg/kg]	7	1065	818	156	2160	426	1930
N [%]	7	2,22	2,30	1,89	2,38	2,04	2,36
Ni [mg/kg]	7	1,36	1,20	0,81	2,54	0,95	1,53
P [mg/kg]	7	1397	1350	1160	1810	1230	1480
Pb [mg/kg]	7	0,31	0,30	0,22	0,39	0,29	0,37
S [mg/kg]	7	1576	1610	1230	1870	1400	1780
Zn [mg/kg]	7	29,4	28,8	22,7	41,6	24,2	32,7

Porovnání průměrných hodnot* (buk lesní - listy)

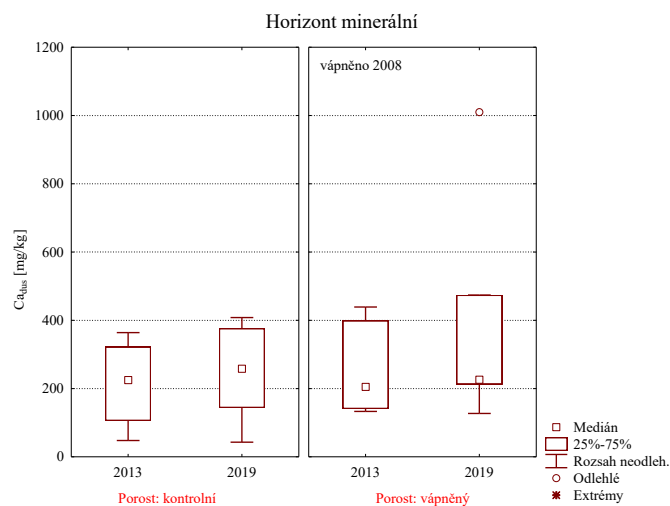
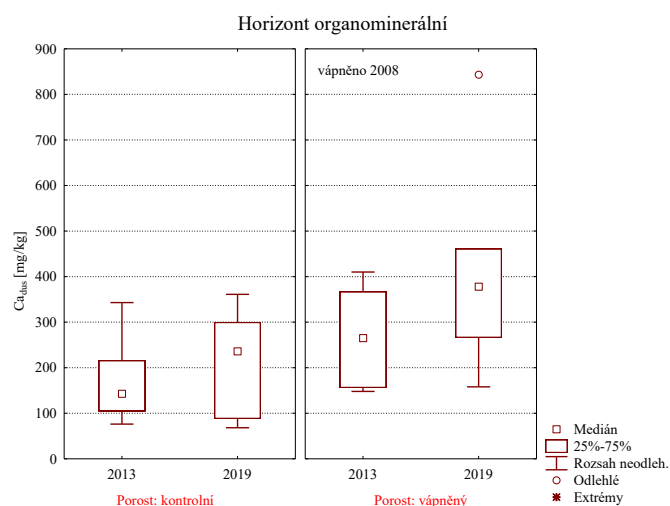
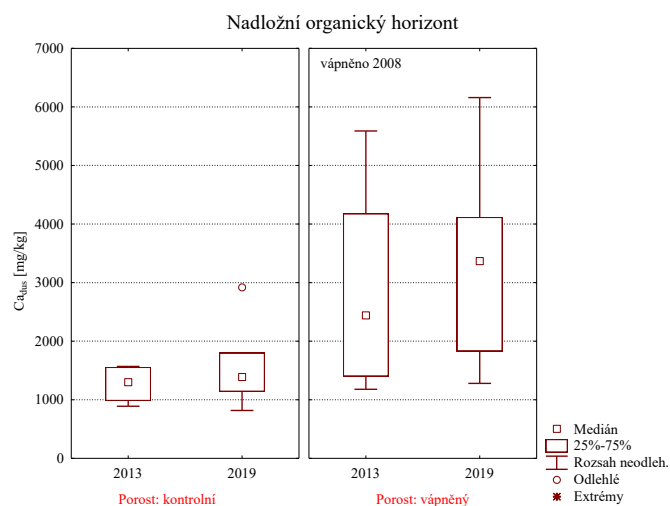
	Porost			
	Vápněný		Kontrolní	
	pět let po vápnění (2013) (A)	jedenáct let po vápnění (2019) (B)	(2013) (C)	(2019) (D)
Al [mg/kg]	158 ^B	113 ^A	150	133
B [mg/kg]	43,2	43,6 ^D	40,0 ^D	53,6 ^{BC}
Ca [mg/kg]	9980 ^{BC}	6931 ^A	8167 ^{AD}	5950 ^C
Cd [mg/kg]	0,12 ^B	0,07 ^A	0,13	0,11
Cr [mg/kg]	0,42 ^B	0,26 ^A	0,43	0,35
Cu [mg/kg]	6,38 ^B	4,69 ^A	6,08	5,62
Fe [mg/kg]	157 ^B	120 ^A	154	137
K [mg/kg]	9391 ^B	6244 ^{AD}	10623 ^D	8853 ^{BC}
Mg [mg/kg]	2466 ^C	2406 ^D	1281 ^A	1340 ^B
Mn [mg/kg]	1456	1065	2474 ^D	1756 ^C
N [%]	2,32	2,22	2,34 ^D	2,17 ^C
Ni [mg/kg]	1,53	1,36	1,80	1,76
P [mg/kg]	1910 ^B	1397 ^A	2246 ^D	1656 ^C
Pb [mg/kg]	0,34	0,31 ^D	0,38	0,43 ^B
S [mg/kg]	1716	1576	1851 ^D	1613 ^C
Zn [mg/kg]	33,6	29,4	30,9	28,4

* ANOVA při opakovaných měřeních, statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$); písmena A,B,C,D označují zjištěný statisticky významný rozdíl od hodnoty uvedené v tomto sloupci.

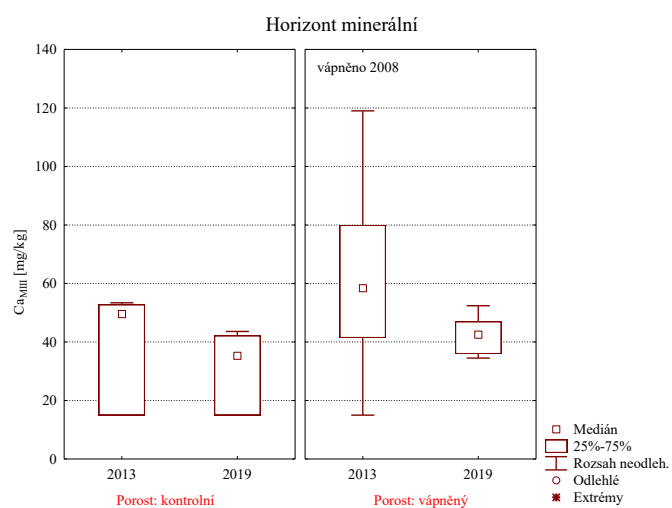
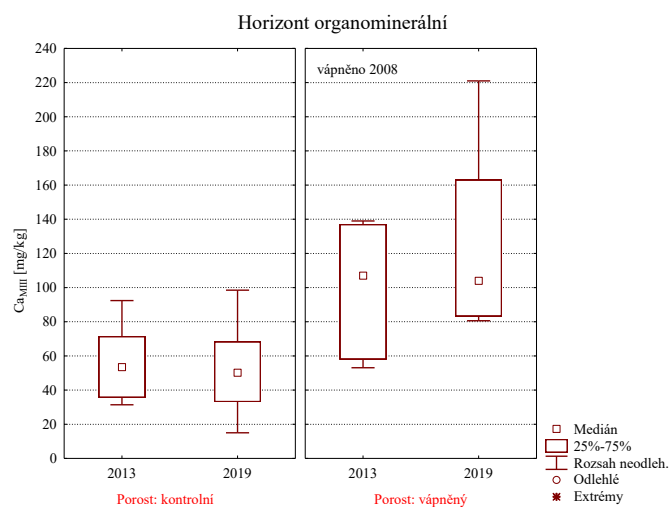
7.2. Grafy

7.2.1. Vápník

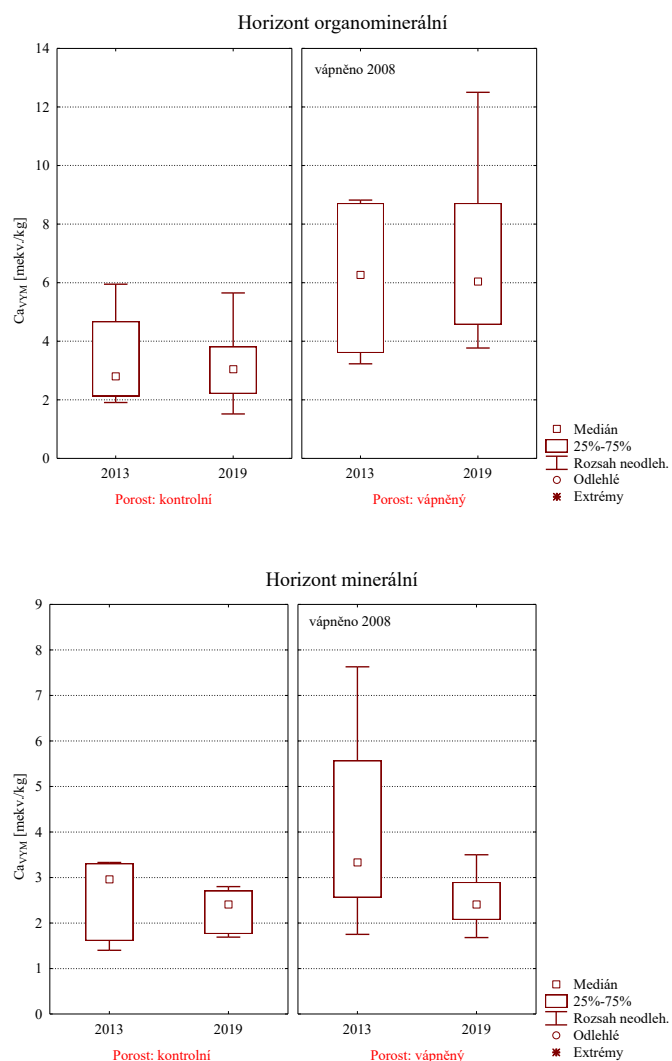
Obsah extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



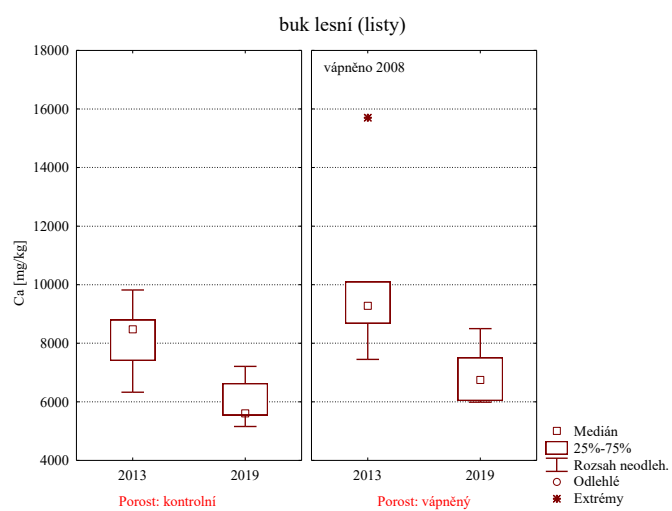
Přístupný obsah vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



Obsah výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)

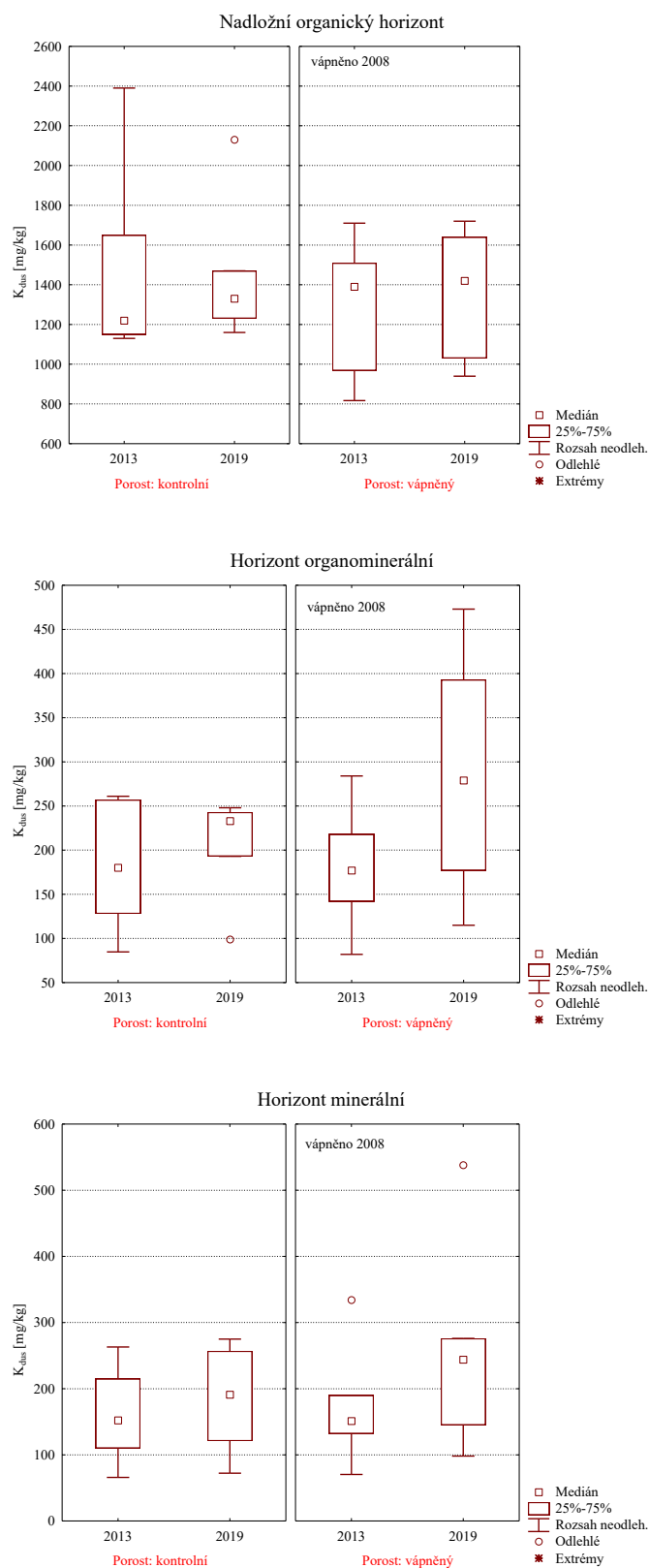


Obsah vápníku (Ca) v listech buku lesního pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)

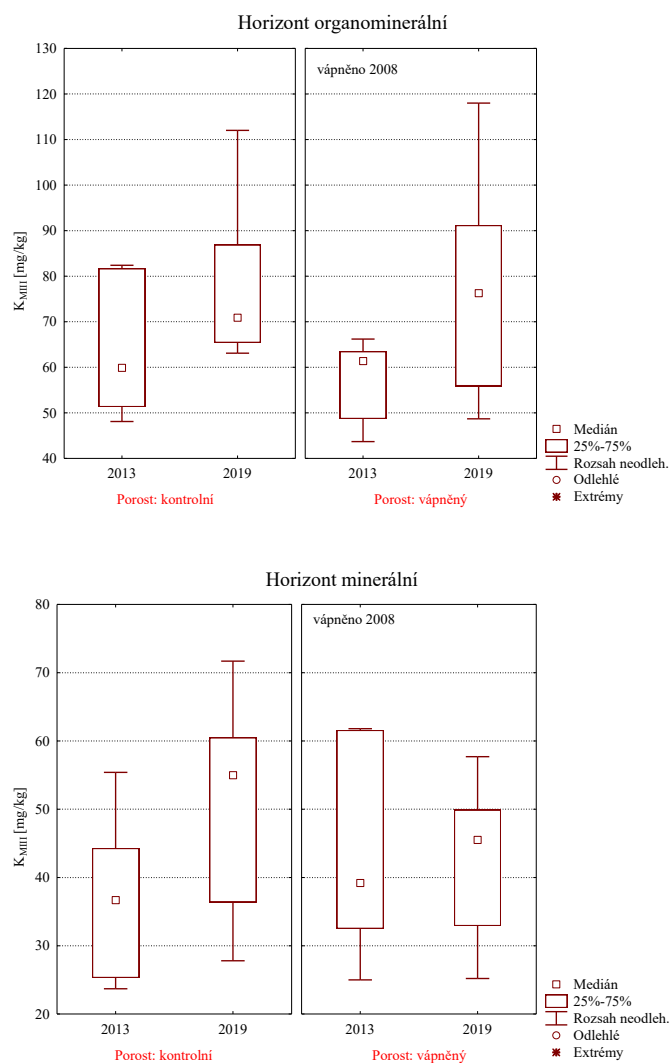


7.2.2. Draslík

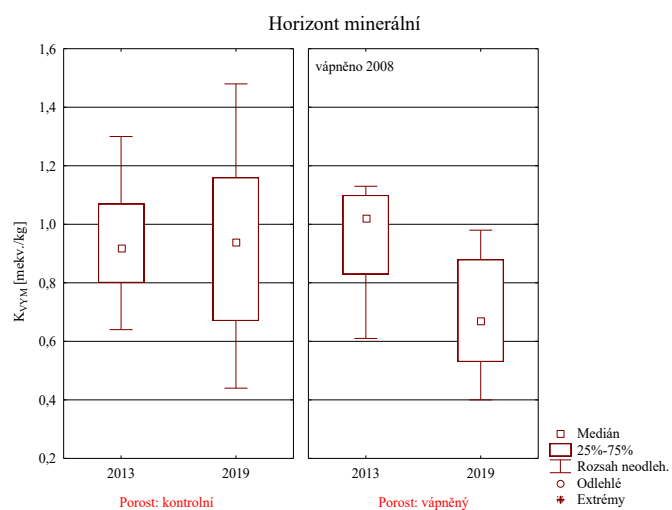
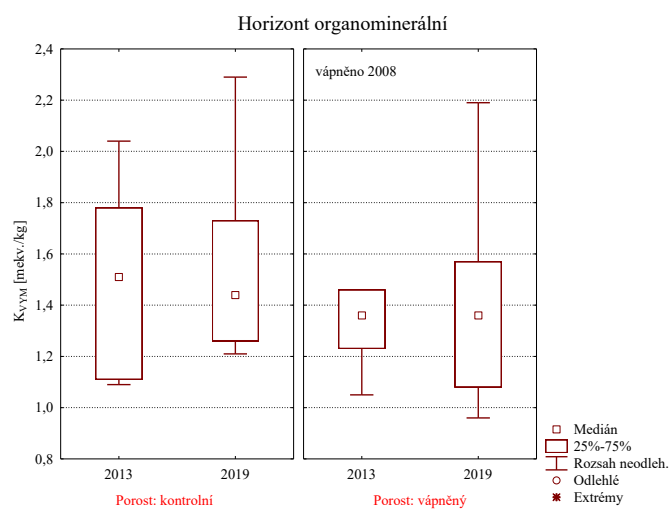
Obsah extrahovatelného draslíku (K_{dus}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



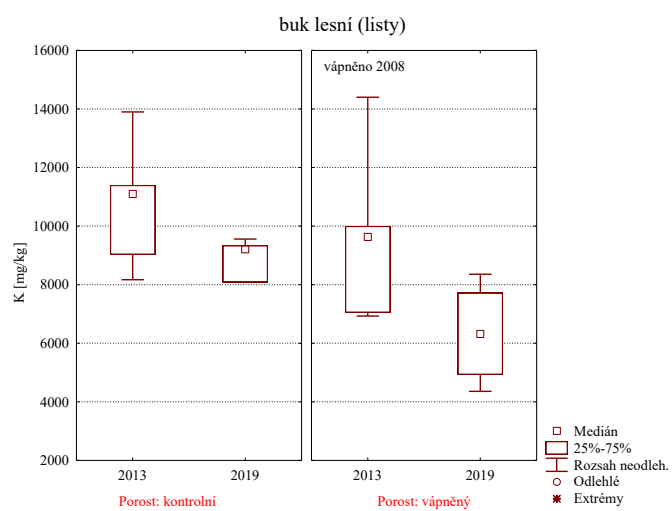
Přístupný obsah draslíku (K_{MII}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



Obsah výměnných kationtů draslíku (K_{VYM}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)

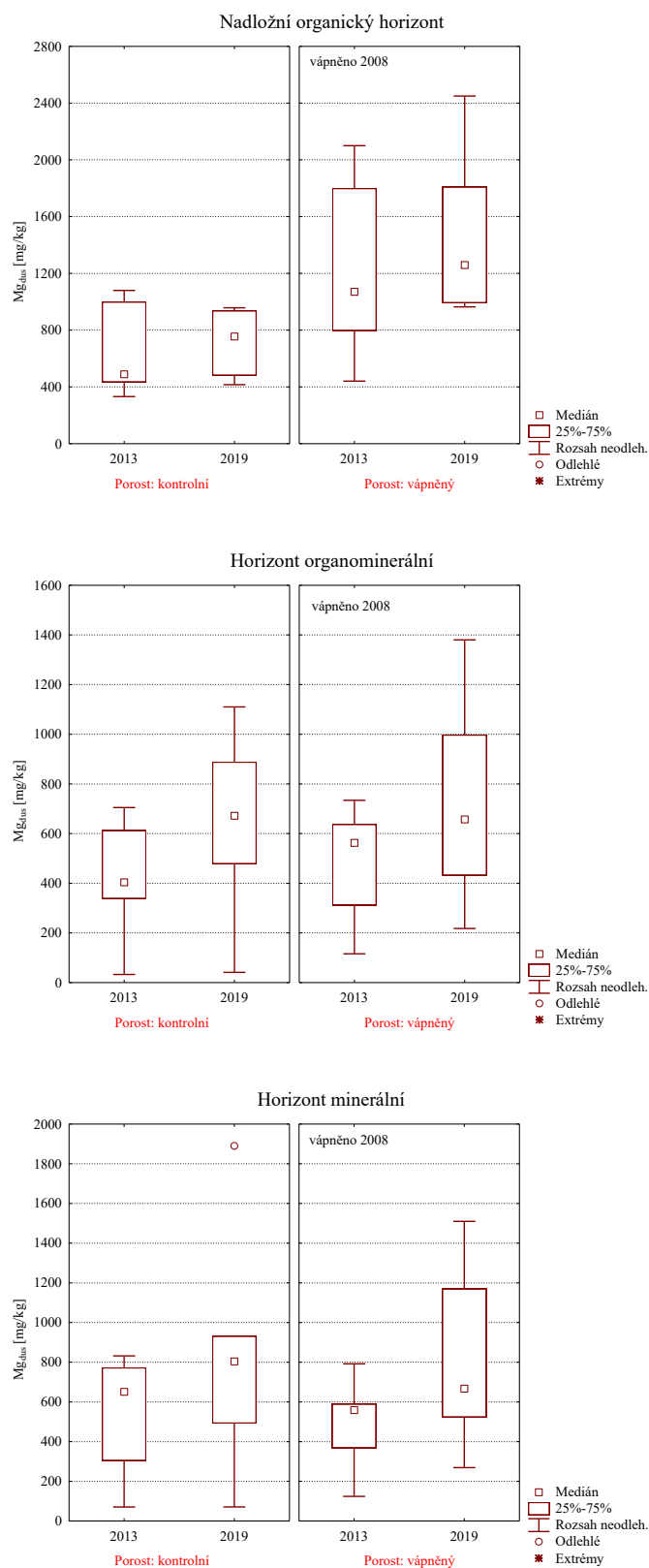


Obsah draslíku (K) v listech buku lesního pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)

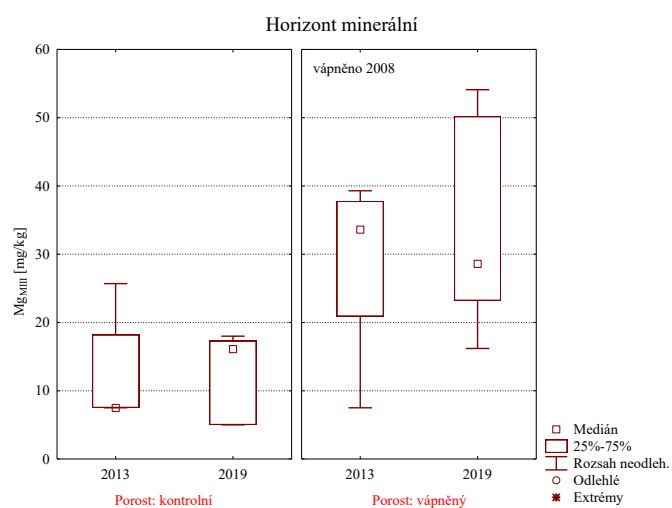
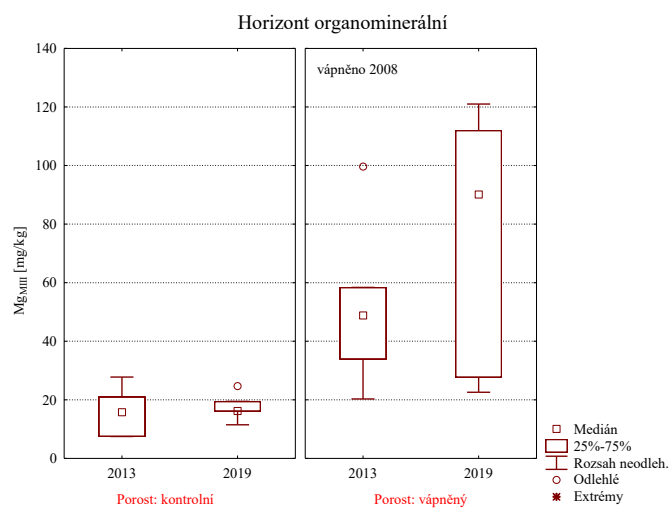


7.2.3. Hořčík

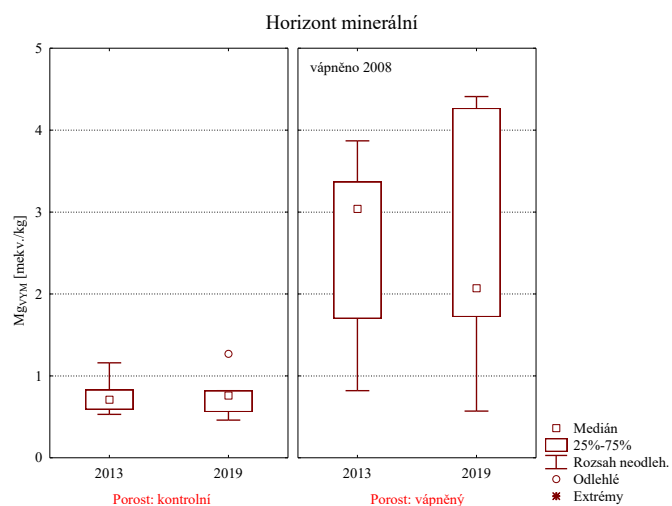
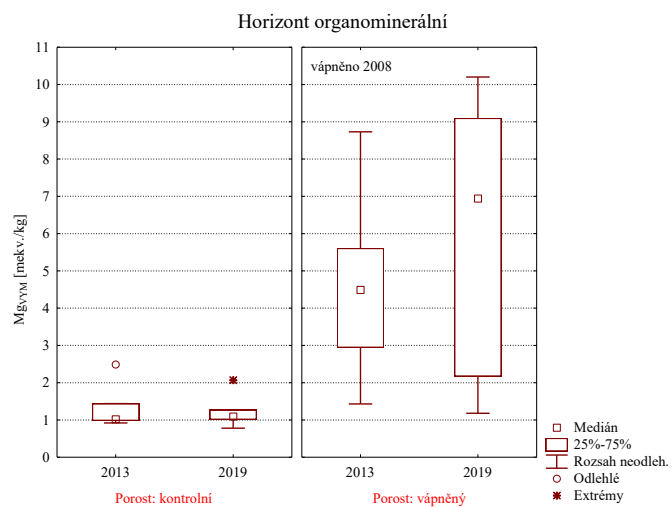
Obsah extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



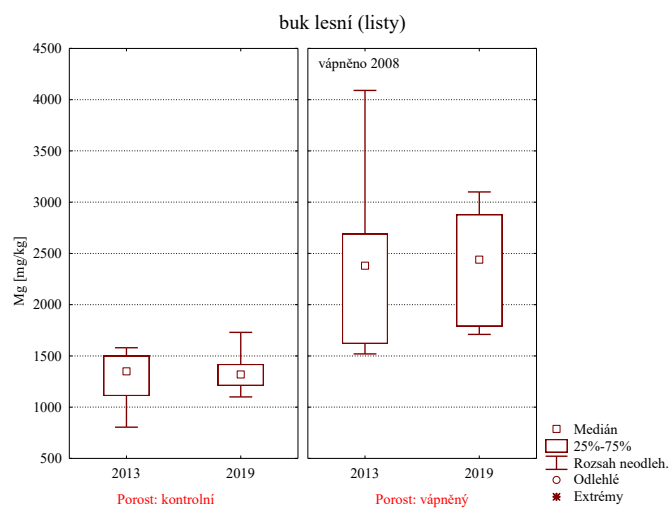
Přístupný obsah hořčíku (Mg_{MIH}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



Obsah výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)



Obsah hořčíku (Mg) v listech buku lesního pět (2013) a jedenáct let po vápnění (2019)

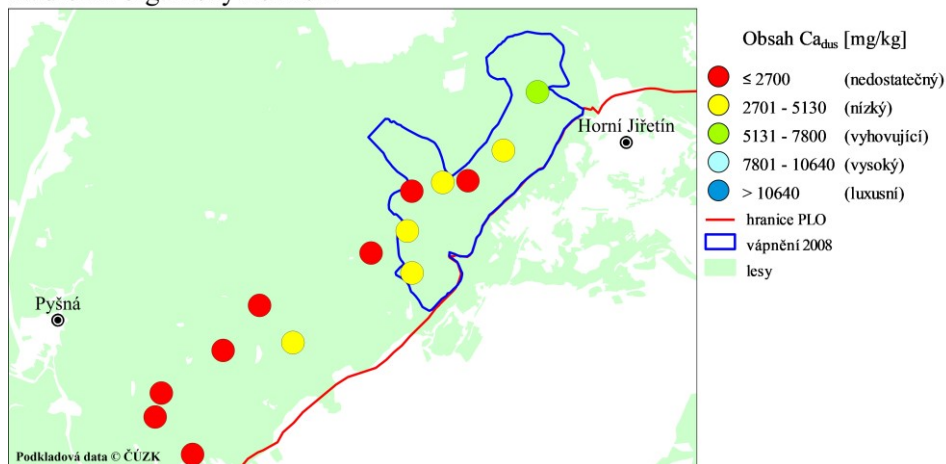


7.3. Kartogramy

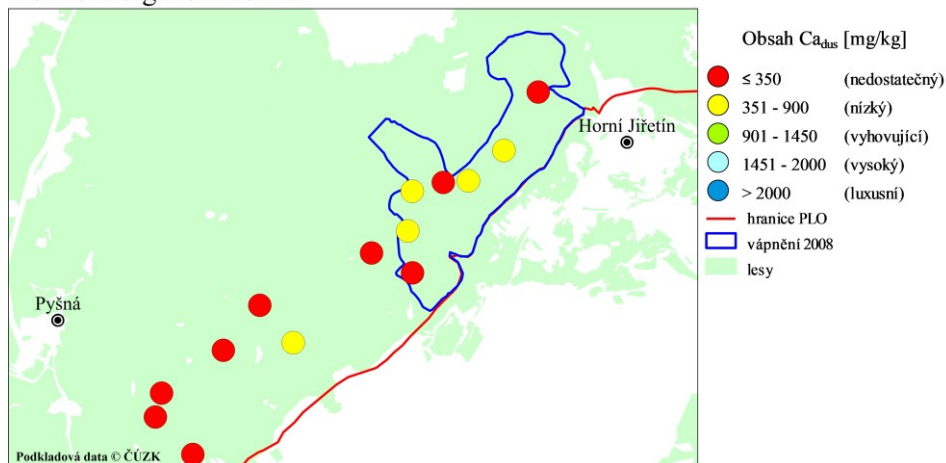
7.3.1. Vápník

Kartogramy obsahu extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

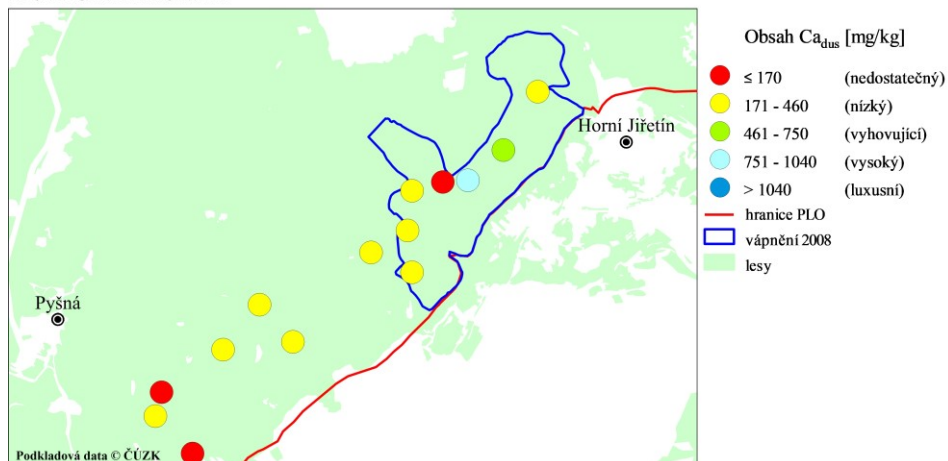
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

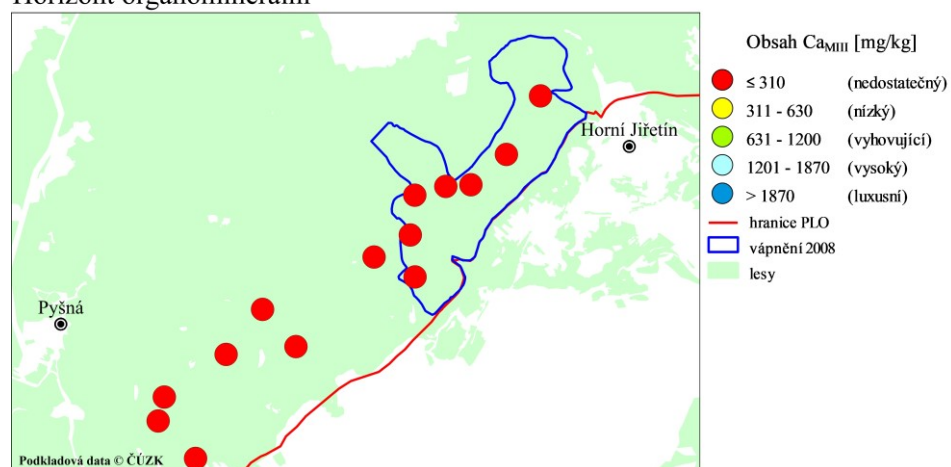


Horizont minerální

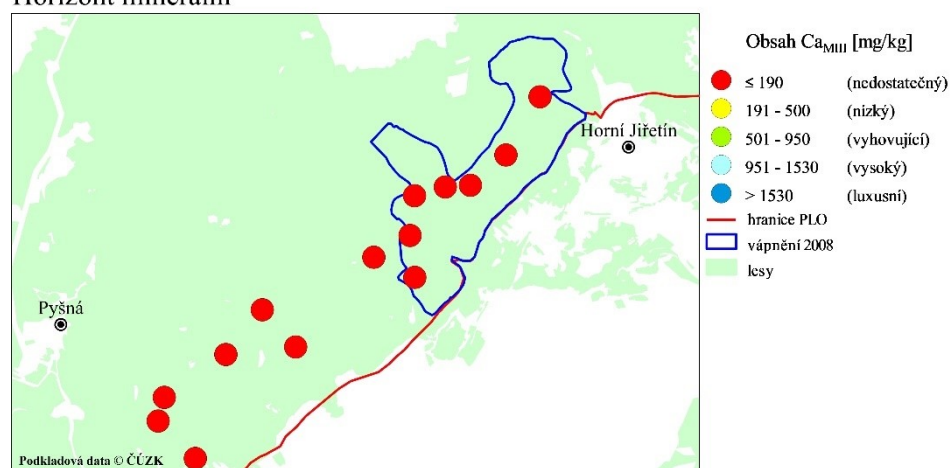


Kartogramy přístupného obsahu vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální

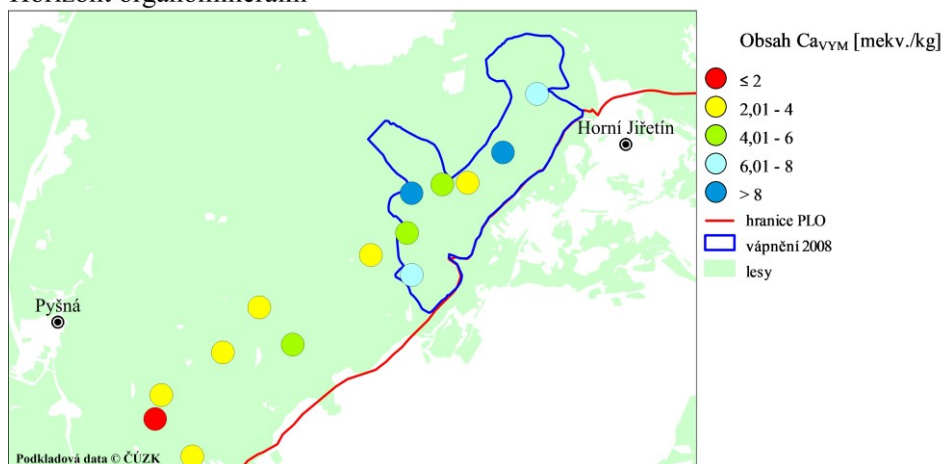


Horizont minerální

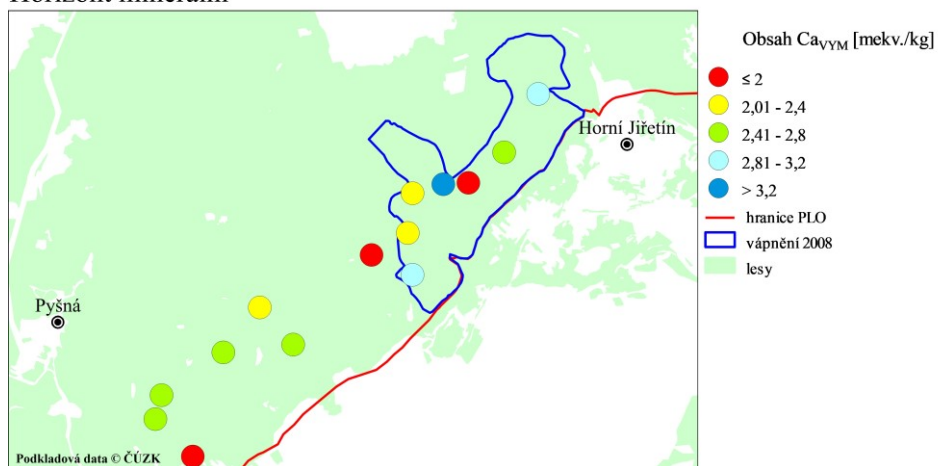


Kartogramy obsahu výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální

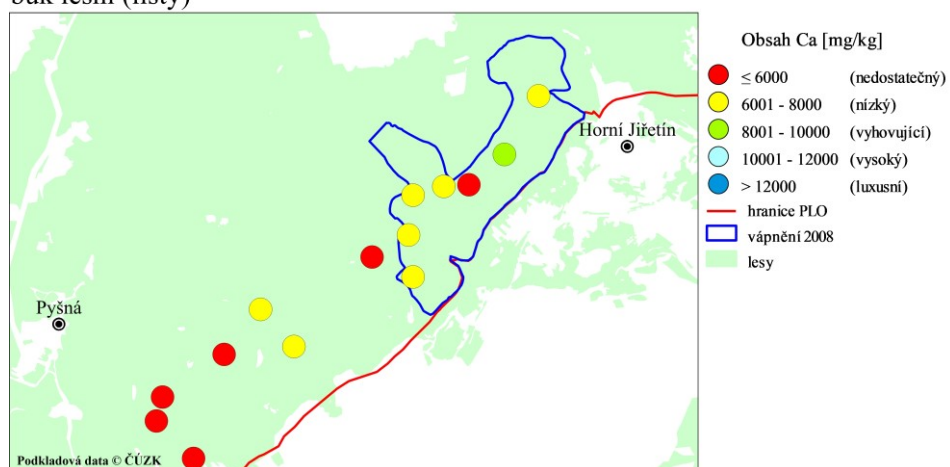


Horizont minerální



Kartogram obsahu vápníku (Ca) v listech buku lesního jedenáct let po vápnění (2019)

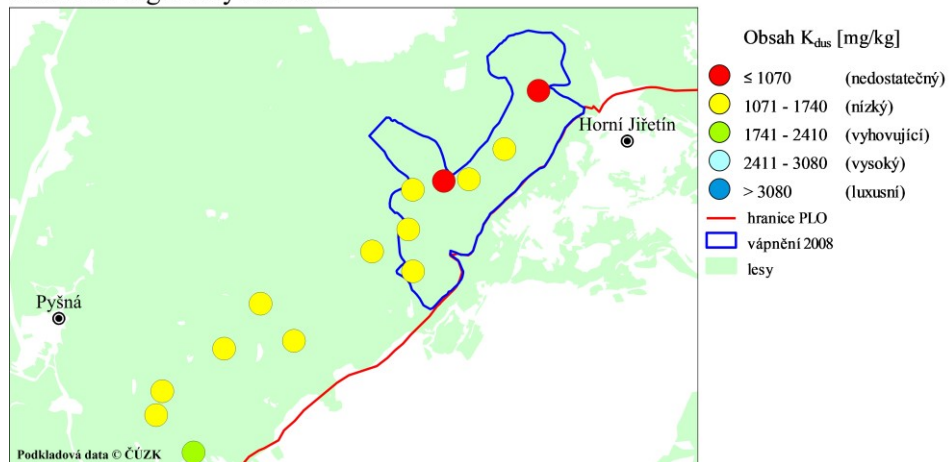
buk lesní (listy)



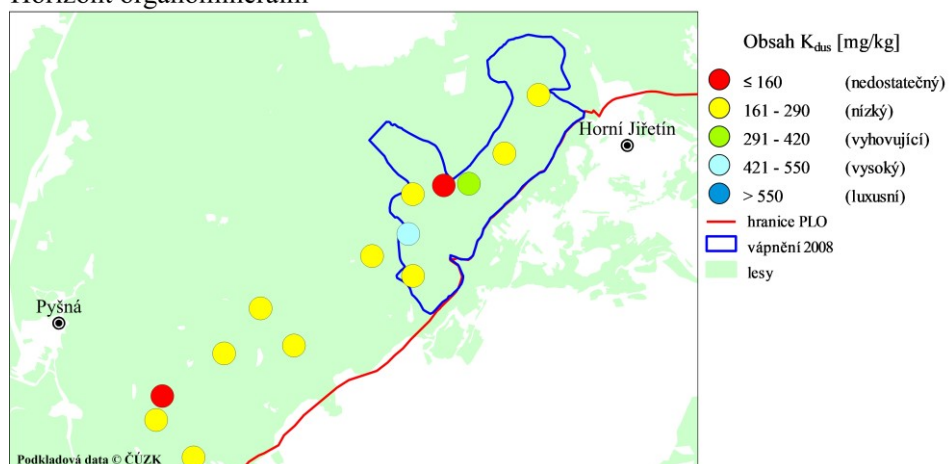
7.3.2. Draslík

Kartogramy obsahu extrahovatelného draslíku (K_{dus}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

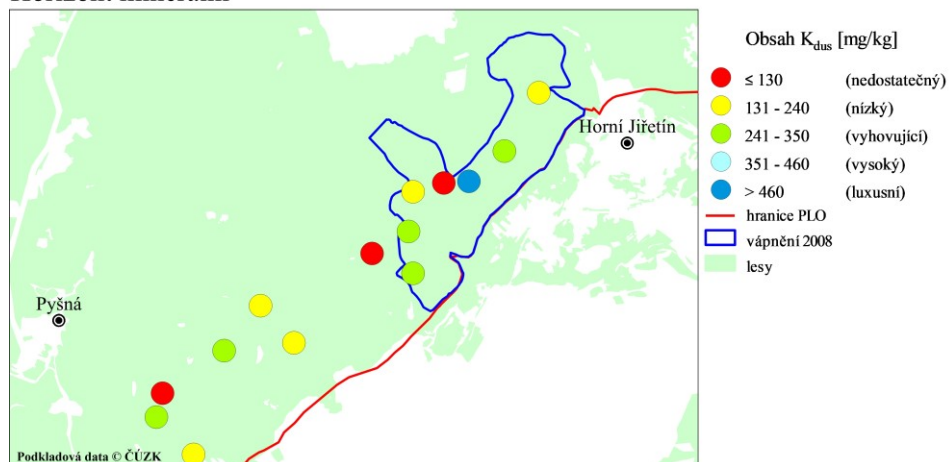
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

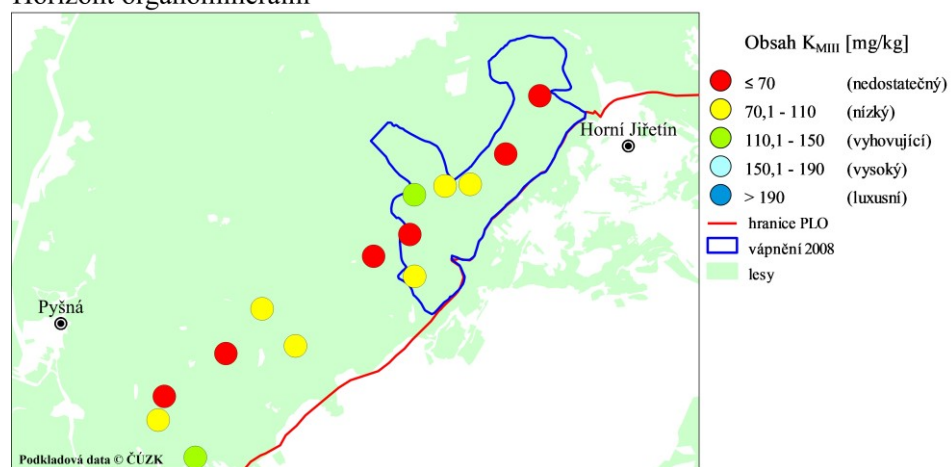


Horizont minerální

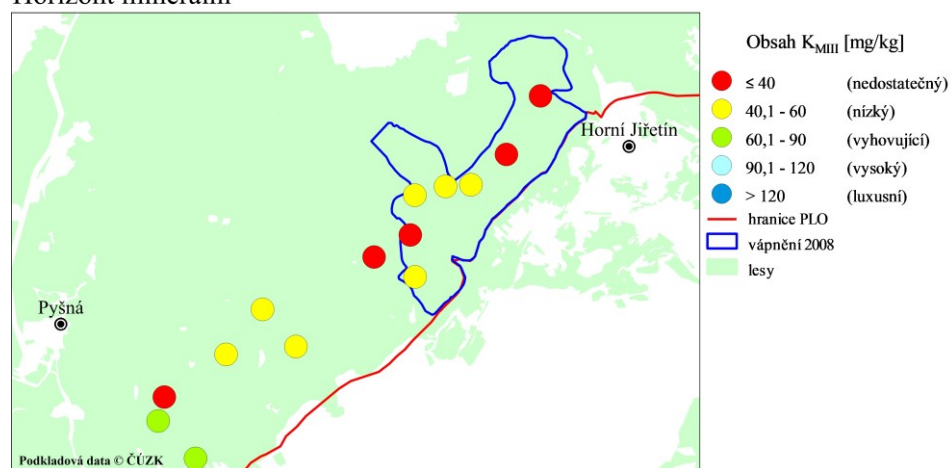


Kartogramy přístupného obsahu draslíku (K_{MIII}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální

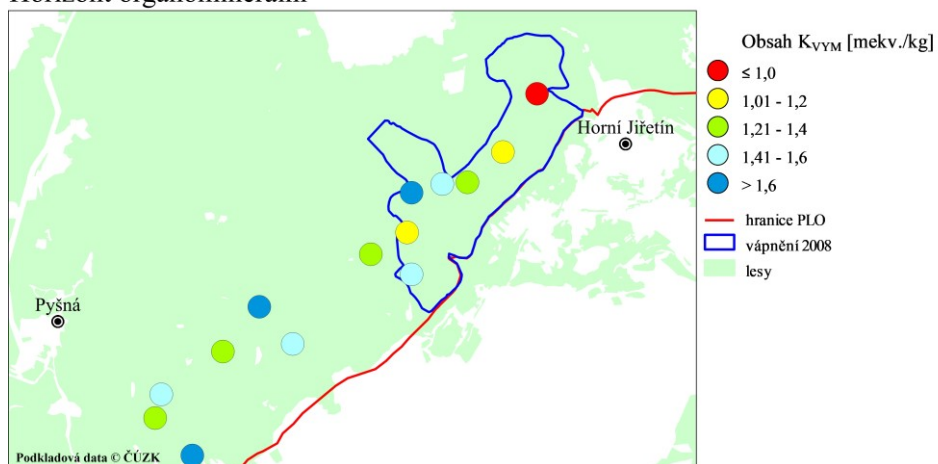


Horizont minerální

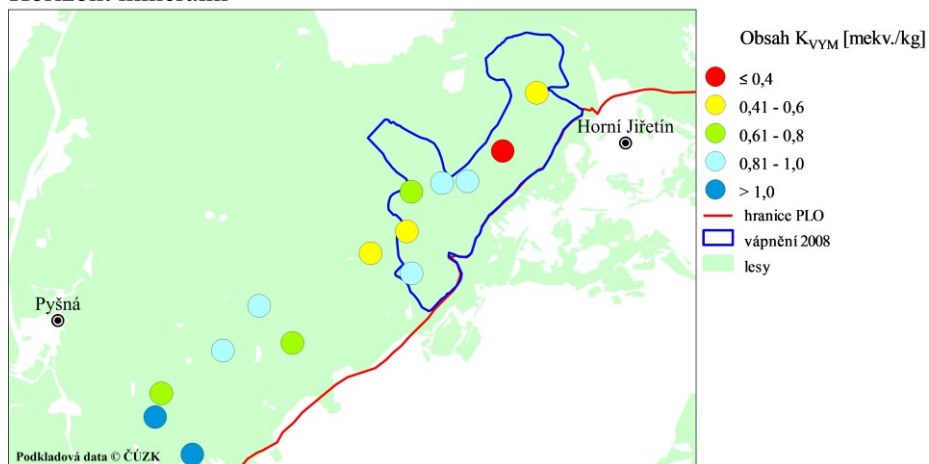


Kartogramy obsahu výměnných kationtů draslíku (K_{VYM}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální

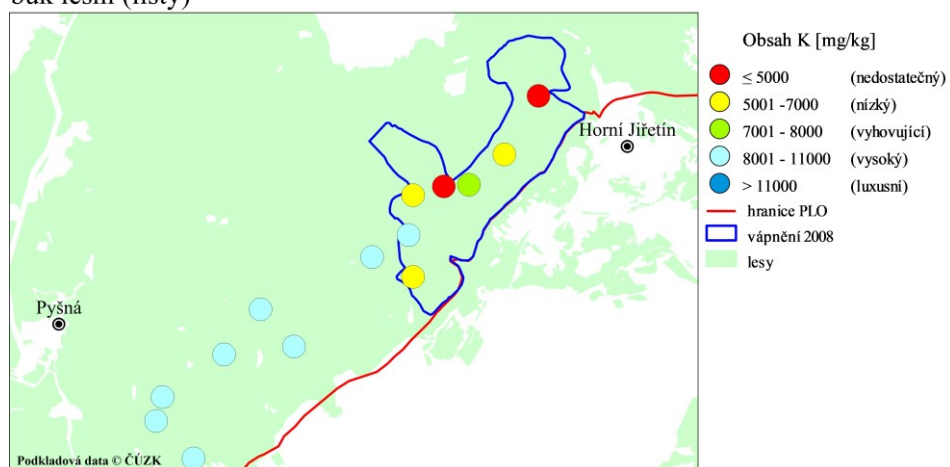


Horizont minerální



Kartogram obsahu draslíku (K) v listech buku lesního jedenáct let po vápnění (2019)

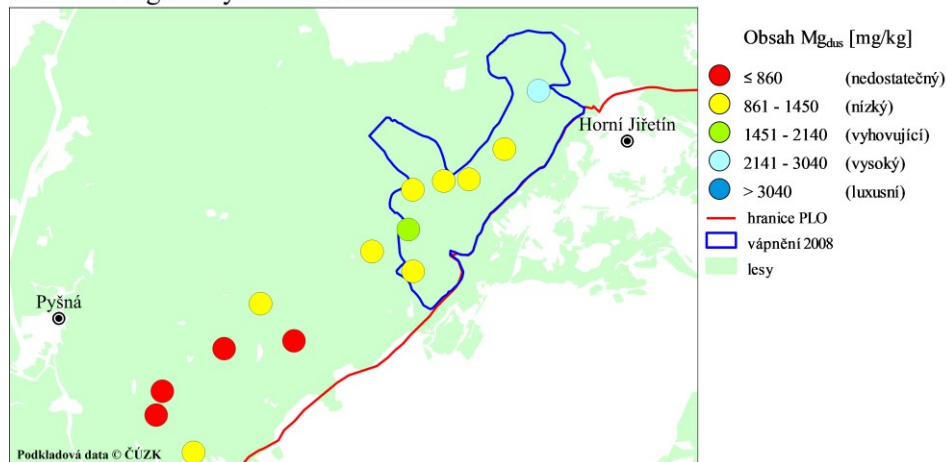
buk lesní (listy)



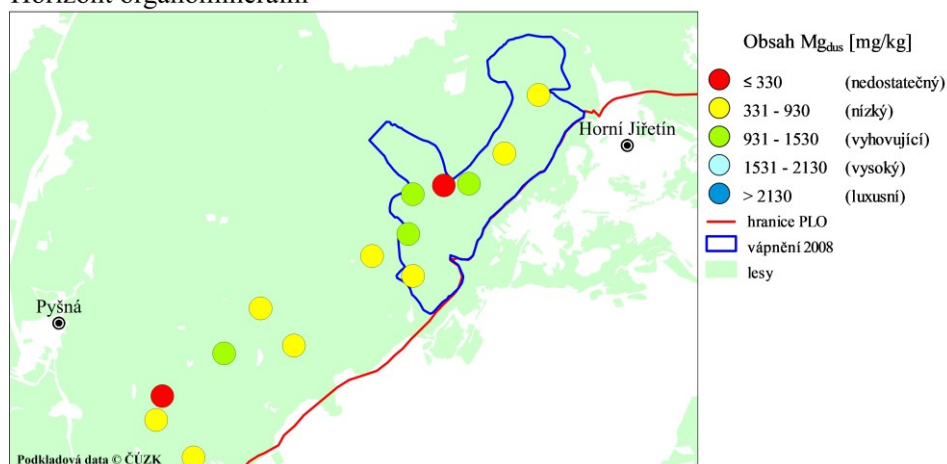
7.3.3. Hořčík

Kartogramy obsahu extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

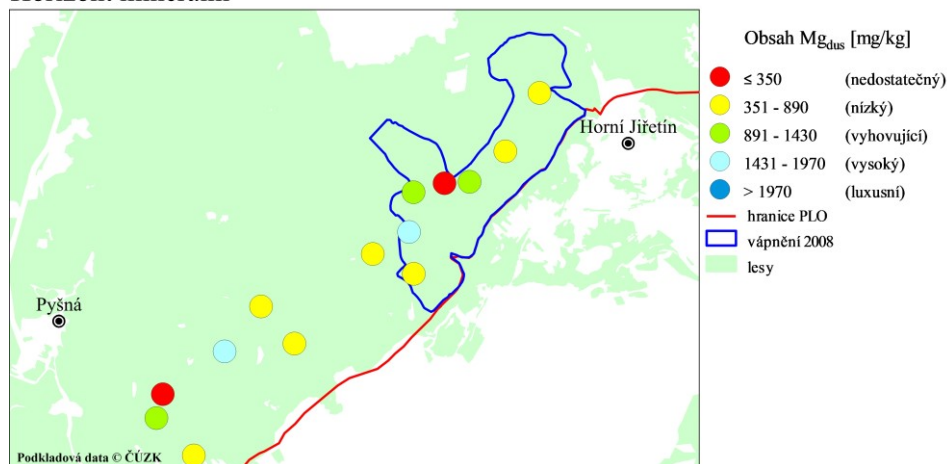
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

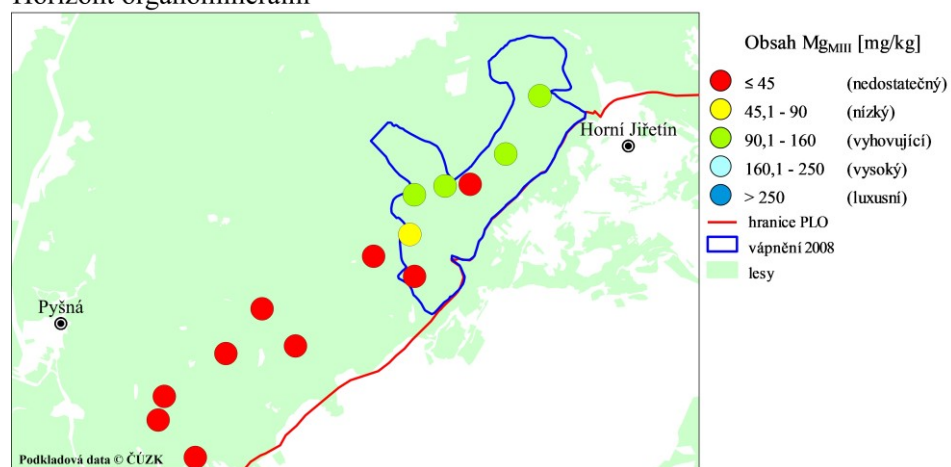


Horizont minerální

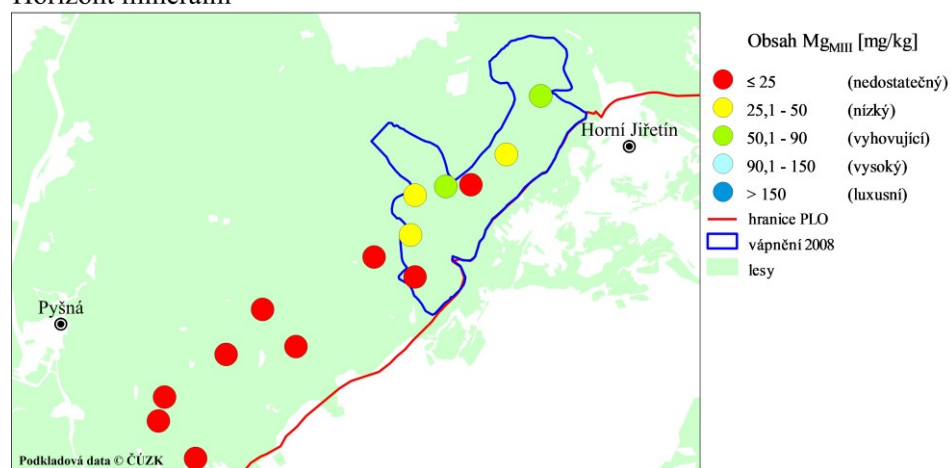


Kartogramy přístupného obsahu hořčíku (Mg_{MIII}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální

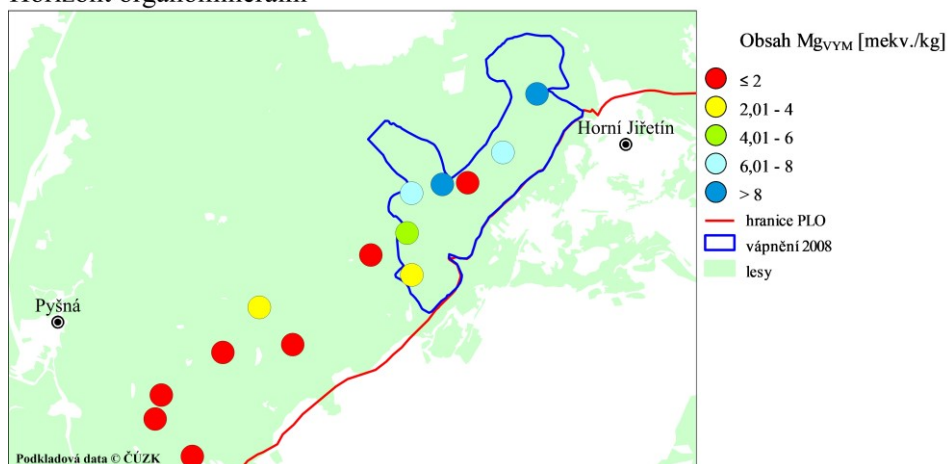


Horizont minerální

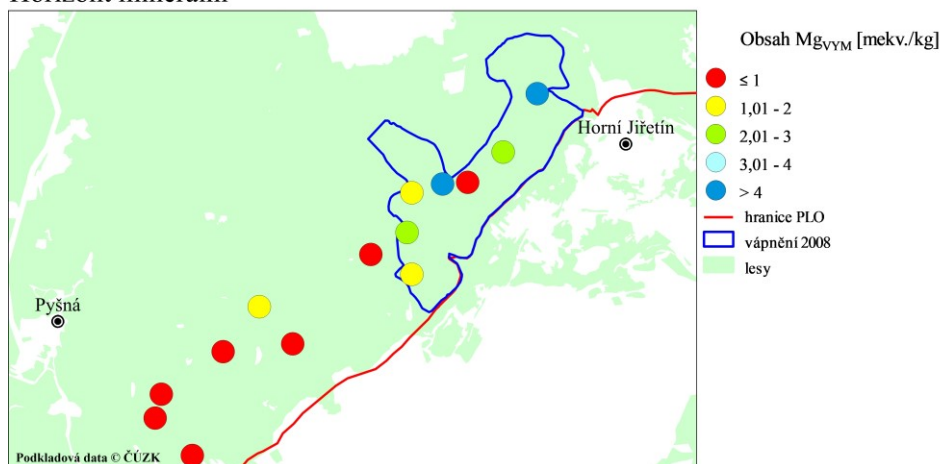


Kartogramy obsahu výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech jedenáct let po vápnění (2019)

Horizont organominerální



Horizont minerální



Kartogram obsahu hořčíku (Mg) v listech buku lesního jedenáct let po vápnění (2019)

buk lesní (listy)

