

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Oddělení půdy a lesnictví



**Analýza a vyhodnocení účinnosti a kvality leteckého
vápnění v PLO 16
„Javořice“
pět let po vápnění**

dle specifikace činností č.j.: 22304/2020-MZE-16212, spojených s řešením úkolů, které pro MZe – úsek lesního
hospodářství provádí ÚKZÚZ Brno

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

Obsah

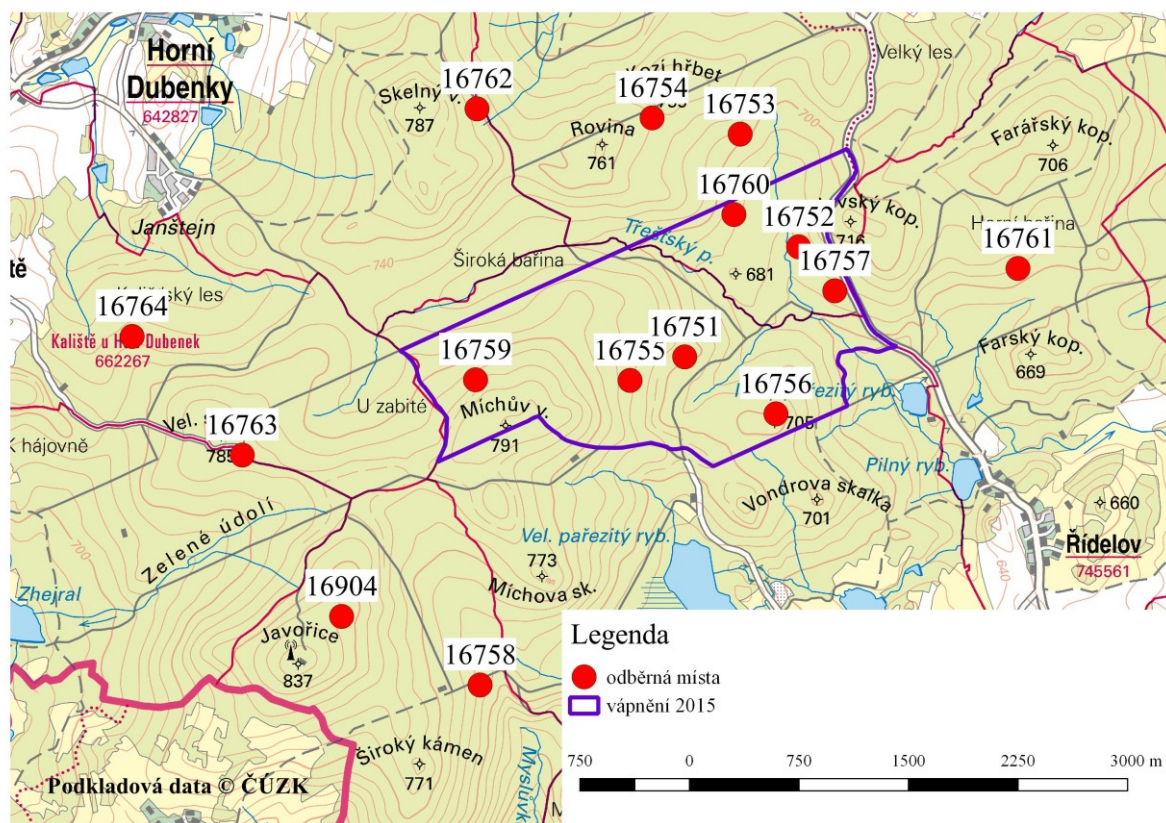
1. Úvod.....	5
2. Metodika.....	6
3. Údaje o vzorkovaných porostech	7
3.1. Popis stanovišť.....	7
3.2. Mocnosti vzorkovaných horizontů	9
2.3. Hydrometeorologické údaje	9
4. Výsledky.....	11
4.1. Chemizmus půdního prostředí.....	11
4.2. Výsledky mikrobiologických šetření.....	15
4.3. Chemizmus asimilačních pletiv smrku ztepilého	16
4.4. Chemizmus půdní vody	17
5. Závěr.....	25
6. Použitá literatura	26
7. Přílohy	27
7.1. Popisné statistiky	27
7.1.1. Nadložní organický horizont.....	27
7.1.2. Horizont organominerální	29
7.1.3. Horizont minerální	32
7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku.....	35
7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku	37
7.2. Grafy.....	39
7.2.1. pH_{H_2O}	39
7.2.2. Vápník.....	40
7.2.3. Hořčík	44
7.2.4. Zinek	48
7.3. Kartogramy.....	50
7.3.1. pH_{H_2O}	50
7.3.2. Vápník.....	51
7.3.3. Hořčík	55
7.3.4. Zinek	59

1. Úvod

V roce 2015 bylo provedeno letecké vápnění lesních pozemků v oblasti Javořice v PLO 16 (Českomoravská vrchovina) na území lesní správy LČR Telč. Kontrola účinnosti vápnění navazuje na předešlá šetření z let 2015 a 2017. Hodnocení výsledků analýz půdních a rostlinných vzorků posloužilo pro zhodnocení vývoje chemizmu půd a tím ke zhodnocení vlivu vápnění na lesní porosty.

V září roku 2015 se uskutečnila kontrola spadu dolomitického vápence na jednotlivých odběrných místech. Ve většině kontrolovaných porostů bylo ve sběrných miskách zachyceno množství odpovídající požadované dávce 2-3 t/ha. Pouze v jednom porostu na OM 16757 bylo zachyceno množství do 1 t/ha, což může souviset s polohou při okraji vápněné plochy a blízkostí pozemní komunikace s poměrně častým provozem (FIALA A KOL., 2016).

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 jehlicích a listech byla u kartogramů použita klasifikace ÚKZÚZ

Tab. 1. Hodnocení statisticky významných rozdílů v datech

			Porost					
			Vápněný			Kontrolní		
			2015	2017	2020	2015	2017	2020
Porost	Vápněný	2015		Ano	Ano	Ano		
		2017	Ano		Ano		Ano	
		2020	Ano	Ano				Ano
	Kontrolní	2015	Ano				Ano	Ano
		2017		Ano		Ano		Ano
		2020			Ano	Ano	Ano	

3. Údaje o vzorkovaných porostech

3.1. Popis stanovišť

Tab. 2: Seznam odběrných míst

Vápněná	Vlastník	Por.sk.	Zastoupení dřevin	Věk porostu	Lesní typ	Hospodářský soubor
16751	LS Telč	228B ₇	sm 100	69	6K2	531
16752	LS Telč	219F ₇	sm 100	69	6P1	571
16755	LS Telč	228A ₈	sm 100	78	6I1	531
16756	LS Telč	228F ₈	sm 100	78	6K6	531
16757	LS Telč	219F ₈	sm 100	79	6K2	531
16759	LS Telč	222B ₇	sm 86, bk 14	64	6K3	531
16760	LS Telč	219C ₇	sm 100	69	6K2	531
16905 (pouze mikrobiologie)	LS Telč	222C3	bk 100	26	6P1	
Kontrolní	Vlastník	Por.sk.	Zastoupení dřevin	Věk porostu	Lesní typ	Hospodářský soubor
16753	LS Telč	116C _{10/1}	sm 100	97/8	6K2	531
16754	LS Telč	116A ₈	sm 100	72	6K1	531
16758	LS Telč	304A ₉	sm 100	82	6K2	8521
16761	LS Telč	213B ₈	sm 100	72	6S1	8521
16762	LS Telč	119B ₉	sm 100	81	6K2	531
16763	LS Telč	129C ₈	sm 100	77	6K2	531
16764	LS Telč	125C ₇	sm 100	70	6P1	571
16904 (+ mikrobiologie)	LS Telč	224A ₁₀	sm 76, bk 24	96	6N2	8521

Tab. 3: Popis půdního prostření šetřených stanovišť

Vápněná	Nadloží organický	Organominerální horizont	Minerální horizont
16751	F-filcovitý, H sypký, přechod hladký	Hnědá, mírně humozní, hP, krupnatá, sypká	Narezavělá, hP, hranolovitá, soudržná
16752	F filcovitý, H blokovitý, spojený s minerální půdou, přechod hladký	Hnědá, mírně humozní, R, krupnatá, soudržná	Skořicově hnědá, pH.
16755	F filcovitý, H stmelený, přechod hladký	Světle hnědá, R, krupnatá, sypká	Hnědá, žlutavá, hR, hranolovitá, soudržná, vespod vazká
16756	F + H filcovitý, přechod hladký	Šedá, místy vybělená, luvická, hP, hrudkovitá, hranolovitá, soudržná	Skořicově hnědá, pH, hranolovitá, soudržná
16757	Dominuje H, filcovitý, přechod hladký	Hnědá, našedlá, R, drobtovitá, drobivá	Skořicově hnědá, hP, hranolovitá, soudržná
16759	F filcovitý H drobivý, přechod hladký	Hnědá-šedavá, středně humozní, R, hranolovitá, drobtovitá, drobivá až soudržná	Světle hnědá, narezavělá, R, hranolovitá, soudržná, slabě humózní
16760	F filcovitý, H blokovitý, spojený s minerální půdou, přechod hladký	Světle hnědá, mírně humozní, R, krupnatá, sypká	Skořicově hnědá, krupnatá, drobtovitá, pH, soudržná - sypká
Kontrolní	Nadloží organický	Organominerální horizont	Minerální horizont
16753	H-drobivý, vespod bloky s minerální půdou, přechod hladký	Hnědá - světle šedá, shora mírně humozní, rH, hrubě hranolovitá (limonity)	Světle šedá, vespod rezivá, pH, hrubě hranolovitá
16754	F filcovitý, H stmelený	Šedá, luvický horizont, R, hranolovitá (limonity), soudržná	Rezivá, pH, hranolovitá, soudržná
16758	Rozdílná mocnost, dominuje F, drobivý, přechod hladký	Světle hnědá, slabě humózní, místy šedavý luvický horizont, rH, drobtovitá, drobivá.	Žlutavá, narůžovělá, pH, drobtovitá, hranolovitá, drobivá, na jednom místě redukční horizont
16761	F filcovitý, H stmelený, přechod hladký	Světle šedá, mírně humozní, R, krupnatá - drobtovitá (limonity), soudržná,	Okrově hnědá, pH, hranolovitá, soudržná, vysoká skeletovitost na dvou místech
16762	Zpomalená mineralizace, akumulace materiálu, F filcovitý H krémovitý, vespod stmelený, přechod ostrý, svahový moder	Šedá, místy vybělená, luvický horizont, středně humózní, R, hranolovitá (limonity)	Skořicově hnědá, vespod rezivá, pH, hranolovitá, soudržná
16763	F + H, světle šedý, drobivý, přechod hladký	Světle hnědá, mírně humozní, rH, krupnatá, drobtovitá	Skořicově hnědá, rH, hrudkovitá, drobivá
16764	F + H, světlý, filcovitý, přechod hladký	Světle hnědá, slabě humozní, rH, krupnatá, hrudkovitá, drobivá	Skořicově hnědá, rH, drobtovitá, soudržná
16904	Dominuje F, drobivý, přechod hladký	Hnědá, šedavá, středně - mírně humozní, rH, drobtovitá, sypká	Rezivá, místy šedý redukční horizont, pH, drobtovitá – hranolovitá, soudržná

Pro zrnitost použity půdoznalecké zkratky

3.2. Mocnosti vzorkovaných horizontů

Zjištěná mocnost půdních horizontů není ve srovnávaném období 2017-2020 výrazně odlišná, a to ani v rámci vápněných a kontrolních stanovišť, ani při porovnání mezi vápněnými a kontrolními stanovišti. Vyjímkou je mocnost minerálních horizontů v roce 2020, kde odběr vzorků z tohoto horizontu nebyl proveden do takové hloubky jako v roce 2017 (Tab. 4).

Tab. 4: Hodnocení shody mocností vzorkovaných horizontů

Mocnost horizontů vzorkovaných v roce 2017 a 2020						
	Vápněná stanoviště					
	Nadložní organický		Organominerální		Minerální	
	2017	2020	2017	2020	2017	2020
16751	7	6	15	14	20	13
16752	7	8	13	13	22	14
16755	6	7	14	13	21	13
16756	7	10	16	15	19	9
16757	7	9	14	7	21	18
16759	6	6	15	16	20	10
16760	7	7	11	9	24	17
průměr	6,7	7,6	14,0	12,4	21,0	13,4
	Kontrolní stanoviště					
	Nadložní organický		Organominerální		Minerální	
	2017	2020	2017	2020	2017	2020
16753	10	10	10	11	25	9
16754	7	10	15	13	20	6
16758	10	7	13	10	17	17
16761	5	5	14	8	21	16
16762	6	12	15	12	20	12
16763	8	7	16	17	19	11
16764	7	5	12	12	23	19
16904	7	8	20	13	15	15
průměr	7,5	8,0	14,4	12,0	20,0	13,1

2.3. Hydrometeorologické údaje

Tab. 5: Roční průměrné koncentrace vážené srážkovým úhrnem měřeným na lokalitě Svratouch. (<http://portal.chmi.cz/>)

Rok	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	průměr
Srážky (mm)	-	575,8	631,4	774,3	518,4	737,6	1110,3	724,6
pH	5,15	5,32	4,95	5,16	5,18	5,26	5,43	5,2
Na ⁺ (μg.l ⁻¹)	79	118	112	132	105	93	61	100
K ⁺ (μg.l ⁻¹)	61	67	57	87	52	38	49	59
NH ₄ ⁺ (μg.l ⁻¹)	746	661	911	955	698	605	532	730
Mg ²⁺ (μg.l ⁻¹)	24	27	41	36	33	28	19	30
Ca ²⁺ (μg.l ⁻¹)	290	988	455	225	324	199	152	376
NO ₃ ⁻ (μg.l ⁻¹)	1674	1676	1979	1821	1740	1392	994	1604
F ⁻ (μg.l ⁻¹)	12	18	15	16	7	8	2	11
Cl ⁻ (μg.l ⁻¹)	130	203	208	223	170	173	112	174
SO ₄ ²⁻ (μg.l ⁻¹)	1201	1039	1264	953	970	915	669	1005

Ve sledovaném období činily průměrné atmosferické spady prvků: $\text{Na}^+ = 0,7 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{K}^+ = 0,4 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{NH}_4^+ = 5,3 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{Mg}^{2+} = 0,2 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{Ca}^{2+} = 2,7 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{NO}_3^- = 11,6 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{F}^- = 0,08 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{Cl}^- = 1,26 \text{ kg.ha}^{-1}$, $\text{SO}_4^{2-} = 7,28 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Okyselující prvky NO_3^- , SO_4^{2-} , a NH_4^+ , který je nitrifikován, představují významný vstup do půdního prostředí. Vstupy K a Mg z atmosférických srážek jsou velmi nízké.

4. Výsledky

4.1. Chemizmus půdního prostředí

V nadložním organickém horizontu na vápněných a kontrolních plochách není zaznamenána změna v **množství nadložního organického materiálu** (Tab. 6 a 7). Toto množství se na srovnávaných stanovištích pohybuje od 132 do 157 t.ha⁻¹ a odpovídá moderové formě humusu. Množství spalitelného uhlíku C_{ox} je na vápněných plochách stabilní. Je srovnatelné s hodnotami C_{ox} na kontrolních plochách. Významně vyšší hodnota poměru C/N, zjištěná v roce 2015 před vápněním souvisí s významně nižšími hodnotami celkového dusíku v této době. Vyšší hodnota C_{ox} v roce 2017 na kontrolních plochách, která se významně liší od hodnot zjištěných v letech 2015 a 2020 na těchto plochách, je zřejmě způsobena příměsí opadanky ve vzorku (standardní vzorek je směsným vzorkem subhorizontů F a H). Tato významně vyšší hodnota je spojena s významně vyšší hodnotou N_{tot} v tomto roce. Lze tedy předpokládat vyšší podíl labilního C_{ox} (cukrů, bílkovin, hemicelulóz a celulózy), jejichž podíl, na rozdíl od podílu ligninu) je přímo úměrný obsahu celkového dusíku N_{tot}.

Tab. 6: Spalitelný uhlík (C_{ox}) a celkový dusík (N_{tot})
(plochy vápněné)

Srovnání – opakovaný odběr												
Horizont	nadložní materiál (t/ha)			C _{ox} (%)			N _{tot} (%)			C/N		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020	2015	2017	2020	2015	2017	2020
nadložní organický	134	149	151	26,7	28,8	28,2	1,07	1,39	1,36	25,0	20,7	20,7
organominerální				5,54	5,12	4,78	0,27	0,31	0,30	20,6	16,2	16,1
minerální				3,52	2,79	2,19	0,13	0,23	0,18	27,0	12,1	11,9

Tab. 7: Spalitelný uhlík (C_{ox}) a celkový dusík (N_{tot})
(kontrolní plochy)

Srovnání – opakovaný odběr												
Horizont	nadložní materiál (t/ha)			C _{ox} (%)			N _{lot} (%)			C/N		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020	2015	2017	2020	2015	2017	2020
nadložní organický	132	134	157	27,0	31,5	28,3	1,06	1,48	1,36	25,3	21,3	20,9
organominerální				4,78	5,09	4,55	0,20	0,30	0,27	23,7	16,8	16,6
minerální				3,23	3,46	2,46	0,11	0,24	0,18	29,3	14,4	12,9

V organominerálním horizontu je na vápněných plochách zjištěno postupné snižování obsahu uhlíku C_{ox} (Tab. 6). Toto snížení nabývá statistické významnosti v roce 2020 (pět let po vápnění). Lze je vysvětlit zvýšeným rozkladem spalitelného materiálu. Intenzita rozkladu je spojována s vyšší biologickou (bakteriální) aktivitou půdy v podmínkách nižší kyselosti. Na plochách kontrolních není postupný pokles C_{ox} zaznamenán a rozdíly souvisí s odběrem vzorků a variabilitou stanoviště.

Obsahy celkového **dusíku** jsou na vápněných plochách podobné bez významnějších změn. Na plochách kontrolních jsou počáteční obsahy významně nižší. Zde je rovněž významně vyšší hodnota poměru C/N (23,7), která informuje o vyšším podílu ligninu v těchto vzorcích. Příčina může rovněž být v nestejnorodosti stanoviště. Významně nižší hodnoty poměrů C/N na vápněných i kontrolních plochách souvisí s vyšším podílem labilního uhlíku. Nejedná se ovšem o účinek vápnění.

V minerálním horizontu vápněných ploch se hodnota C_{ox} postupně snižuje a obsahy N_{tot} jsou dva roky po vápnění významně vyšší a po pěti letech jsou poněkud vyšší než před vápněním (Tab. 6). S tím souvisí i hodnoty poměru C/N, které se vyvíjí podobně jako v horizontech organominerálních. Na plochách kontrolních je v tomto horizontu vývoj podobný.

V nadložních organických horizontech po dvou a pěti letech od vápnění významně vyšší hodnoty **půdní chemické reakce aktivní i výměnné**. Na kontrolních plochách nejsou významnější změny zjištěny.

V organominerálních horizontech na vápněných stanovištích byla dva roky po vápnění zjištěna vyšší hodnota pH_{H_2O} a v roce 2020 (po pěti letech od vápnění) se mírně snižuje na hodnotu $pH = 3,94$, která je významně vyšší než tato hodnota na plochách kontrolních. Podobný průběh je zaznamenán u půdní reakce výměnné – pH_{CaCl_2} .

Pokud sledujeme průběh půdní kyselosti v horizontech minerálních, můžeme konstatovat zvyšování obou hodnot (pH_{H_2O} i pH_{CaCl_2}) na vápněných stanovištích po celé pětileté období. Na konci tohoto období jsou podobně jako v horizontech organominerálních obě hodnoty pH významně vyšší než na plochách kontrolních a také významně vyšší než v době před vápněním.

S půdní kyselostí souvisí obsahy vápníku a hořčíku v půdě. V nadložních organických horizontech jsou po dvou i pěti letech od vápnění významně vyšší hodnoty extrahovatelného vápníku Ca_{dus} (Tab. 8) i hořčíku Mg_{dus} .

Tab. 8: Vápněné a kontrolní porosty – nadložní organický horizont (průměrné hodnoty)

	Vápněná stanoviště			Kontrolní stanoviště		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020
P_{dus} (mg/kg)	651	676	689	655	652	622
K_{dus} (mg/kg)	980	929	950	924	903	924
Ca_{dus} (mg/kg)	934	3153	3991	926	946	927
Mg_{dus} (mg/kg)	398	1717	2016	358	358	357

V organominerálních horizontech jsou extrahovatelné obsahy vápníku (Ca_{dus}) významně vyšší ve srovnání s hodnotou zjištěnou na kontrolních stanovištích ($101 \text{ mg.kg}^{-1} > 44,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tab. 9). Přístupné obsahy dosahují na plochách vápněných významně vyšší hodnoty ($85,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) a podobně obsah výměnných kationtů významně vyšší hodnoty ($4,47 \text{ mekv.kg}^{-1}$).

V horizontech minerálních se extrahovatelné obsahy vápníku (Ca_{dus}) mírně zvyšují ve sledovaném období, přístupné obsahy (Ca_{min}) jsou beze změny a sycení sorpčního komplexu kationtem Ca^{2+} se významně zvyšuje na hodnotu, která je významně vyšší než na plochách kontrolních ($2,11 \text{ mekv.kg}^{-1} > 1,26 \text{ mekv.kg}^{-1}$).

Tab. 9: Vápněné a kontrolní porosty – organominerální horizont (průměrné hodnoty)

	Vápněná stanoviště			Kontrolní stanoviště		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020
pH _{CaCl2}	3,23	3,33	3,27	3,23	3,24	3,13
pH _{H2O}	3,80	4,01	3,94	3,80	3,91	3,80
P _{dus} (mg/kg)	122	115	125	131	118	121
K _{dus} (mg/kg)	85,4	70,6	78,4	82,4	74,3	74,5
Ca _{dus} (mg/kg)	66,1	91,9	101	50,1	48,8	44,4
Mg _{dus} (mg/kg)	113	139	154	104	92,1	94,5
P _{MIII} (mg/kg)	14,3	--	--	16,4	--	--
K _{MIII} (mg/kg)	44,6	41,7	48,9	42,6	42,6	46,2
Ca _{MIII} (mg/kg)	--	--	85,4	--	--	--
Mg _{MIII} (mg/kg)	16,8	20,5	46,7	14,6	11,9	13,5
Ca _{VYM} (mekv./kg)	2,72	--	4,47	2,07	< 1,0	2,08
Mg _{VYM} (mekv./kg)	1,24	2,48	3,95	0,98	0,92	1,00
K _{VYM} (mekv./kg)	0,99	0,77	0,86	0,96	0,81	0,84
CEC (mekv./kg)	81,7	75,3	80,6	74,7	76,1	76,1
BS (%)	6,53	7,83	11,8	5,76	4,06	5,55

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Extrahovatelný hořčík (**Mg_{dus}**) v organominerálních horizontech lineárně a nevýznamně narůstá, jeho přístupná hodnota se také zvyšuje a pět let po vápnění je významně vyšší než tato hodnota na kontrolních plochách a než byla před vápněním na vápněných stanovištích. Podobně významné zvyšování je zaznamenáno i u výměnné formy **Mg²⁺**.

V horizontech minerálních se významně zvýšila **přístupná forma Mg**, která v roce 2020 dosahuje hodnoty 17,9 mg.kg⁻¹ a výměnná forma s významně vyšší hodnotou 1,45 mekv.kg⁻¹. V porovnání s vápníkem stojí za zmínku zvýšení obsahů přístupné formy hořčíku. Zde se zřejmě projevila vyšší pohyblivost hořčíku půdním prostředím a dá se předpokládat také jeho rychlejší úbytek v následujících letech.

Hodnota obsahu **extrahovatelného draslíku** v nadložních horizontech (Tab. 8) se po dobu pětiletého pozorování výrazně nemění. V horizontech organominerálních se po dvou letech od data vápnění významně snižuje a po pěti letech se hodnota opět blíží k té původní z doby před vápněním. Na plochách kontrolních nejsou významné změny zaznamenány. V horizontech minerálních přetrvává významně snížená hodnota po celý pětiletý interval sledování.

Obsahy extrahovatelného fosforu (**P_{dus}**) se v nadložních organických (Tab. 8), organominerálních (Tab. 9) i minerálních (Tab. 10) horizontech nemění a obsahy přístupného fosforu (**P_{MIII}**) se pohybují na velmi nízkých hodnotách.

Tab. 10: Vápněné a kontrolní porosty – minerální horizont (průměrné hodnoty)

	Vápněná stanoviště			Kontrolní stanoviště		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020
pH _{CaCl2}	3,59	3,70	3,77	3,55	3,59	3,60
pH _{H2O}	4,16	4,31	4,40	4,15	4,21	4,19
P _{dus} (mg/kg)	149	155	151	136	172	159
K _{dus} (mg/kg)	80,0	61,3	63,9	79,5	74,2	71,0
Ca _{dus} (mg/kg)	53,9	55,1	62,0	39,3	52,2	39,4
Mg _{dus} (mg/kg)	173	173	182	159	156	152
P _{MIII} (mg/kg)	--	--	--	--	6,96	--
K _{MIII} (mg/kg)	29,5	27,9	31,2	30,2	33,9	36,1
Ca _{MIII} (mg/kg)	< 30	< 30	--	< 30	< 30	< 30
Mg _{MIII} (mg/kg)	< 10	< 10	17,9	< 10	< 10	< 10
Ca _{VYM} (mekv./kg)	--	< 1,0	2,11	1,23	< 1,0	1,26
Mg _{VYM} (mekv./kg)	0,64	0,81	1,45	0,59	0,62	0,61
K _{VYM} (mekv./kg)	0,60	0,48	0,48	0,66	0,62	0,60
CEC (mekv./kg)	62,2	56,1	53,9	63,7	67,0	60,1
BS (%)	4,76	4,56	7,86	4,55	3,89	4,64

Tab. 11: Výměnné kationty v organominerálním horizontu v roce 2020 (median)

Stanoviště	kontrolní	vápněná
Ca ²⁺ (mekv./kg)	2,05	3,91
Mg ²⁺ (mekv./kg)	1,00	3,34
Al ³⁺ (mekv./kg)	60,2	64,9
Ca ²⁺ /Al ³⁺	0,03 (0,15)	0,07 (0,15)
Mg ²⁺ /Al ³⁺	0,02 (0,04)	0,05 (0,04)

Za dostatečný podíl Ca²⁺/Al³⁺ v sorpčním komplexu považuje Bonneau (BONNEAU, 1992) hodnoty mezi 0,10 – 0,20 a pro Mg²⁺/Al³⁺ minimální podíl 0,04 (Tab. 11). Těchto bezpečných hodnot není na vápněných plochách u poměru Ca²⁺/Al³⁺ zatím dosaženo.

Tab. 12: Hodnocení stavu sycení bazemi v roce 2020 (median)

Horizont	organominerální		minerální	
	kontrolní	vápněná	kontrolní	vápněná
BS (mekv./kg)	4,09	7,45	2,39	3,35
(Al + H) = Al _t (mekv./kg)	70,7	71,8	57,7	48,0
BS/Al _t	0,05 (0,20)	0,12 (0,20)	0,04 (0,20)	0,07 (0,20)

Podle Collignona (2012) ukazuje poměr (K+Mg+Ca)/Al_t > 0,2 na nízké riziko hliníkové toxicity. Na vápněných i kontrolních plochách se pohybuje tento poměr v oblasti předpokládané toxicity (Tab. 12). Na vápněných plochách jsou díky vyššímu sycení sorpčního komplexu bazickými kationty poměry vyšší, a tedy nižší pravděpodobnost Al-toxicity.

4.2. Výsledky mikrobiologických šetření

Vápněné stanoviště popsané odběrným místem 16905 náleží typologicky ke kyselé smrkové jedlině (6P3). Na tomto stanovišti lze sledovat vývoj těsně po vápnění v roce 2015 a následně po 5 letech. Současně lze sledovat tento vývoj na kontrolním stanovišti 16904, které je typologicky odlišné a náleží ke kyselé smrkové bučině s třtinou rákosovitou (6N4).

Rozkladná činnost mikroorganismů je sledována mírou respirace několika způsoby (Tab. 13). Zřetelně vyšší míru respirace pozorujeme na vápněných plochách ve fermentačních organických horizontech. V těchto horizontech je zjištěna vyšší hodnota pH_{H_2O} po vápnění v roce 2015 a to 4,2 a v roce 2020 4,7. Na nevápněných stanovištích se tato hodnota pohybuje kolem 2,7. S vyšší mírou respirace souvisí také vyšší množství uhlíku mikrobiální biomasy na vápněných místech.

Tab. 13: Vybrané mikrobiologické vlastnosti

Stanoviště	OM	rok	horizont	pH_{H_2O}	C_{ox} (%)	C_{ext} ($\mu g \cdot g^{-1}$)	MBC ($\mu g \cdot g^{-1}$)	RES ($\mu g CO_2 \cdot C \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)	RSS ($\mu g O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)	SRS ($\mu g O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)
Kontrolní	16904	2015	F	2,7	45,2	389,5	1257,9	-	22,8	67,5
			H	2,5	37,7	285,8	1029,0	-	14,8	33,7
			A	2,4	5,7	111,8	116,5	-	1,8	5,9
		2020	F	2,7	44,7	383,0	1571,4	8,5	26,9	67,7
			H	2,3	31,6	282,8	1317,2	5,2	12,8	29,7
			A	2,9	5,1	97,4	126,9	0,7	1,3	4,4
	16763	2020	F	2,7	42,8	448,9	1845,5	9,14	25,0	75,1
			H	2,7	27,0	286,9	1211,7	5,55	13,1	38,8
			A	2,8	6,0	137,9	247,2	0,96	2,3	7,9
Vápněné	16905	2015	F	4,2	38,3	709,1	2689,6	29,11	49,6	285,9
			H	2,8	26,6	294,8	1290,1	5,14	14,6	58,2
			A	3,1	4,7	113,6	175,7	0,80	1,8	8,3
		2020	F	4,7	35,1	1587,0	2911,3	23,9	74,9	441,0
			H	3,4	25,5	291,9	1793,3	7,81	20,9	91,7
			A	3,2	4,1	95,7	179,2	0,73	1,7	7,8

C_{ox} – oxidovatelný uhlík, C_{ext} extrahovatelný uhlík, MBC – uhlík mikrobiální biomasy, RES – bazální respirace titračně, RSS – bazální respirace systémem OxiTop (WTW), SRS – substrátem indikovaná respirace systémem OxiTop (WTW).

V organominerálním horizontu (A) je tato hodnota vyšší jen nepatrně. Na kontrolní ploše jsou hodnoty bez výraznějších změn v intervalu 2,4 – 2,9 hodnoty pH_{H_2O} , tedy v silně kyselé oblasti.

4.3. Chemizmus asimilačních pletiv smrku ztepilého

Úroveň výživy **dusíkem** (Tab. 14) se podle obsahů v jehlicích běžného roku významně snížila z 1,44 % (před vápněním) na 1,23 % (pět let po vápnění). Významné snížení je zjištěno i v jehlicích na kontrolních místech. Toto snížení lze přisoudit zřed'ovacímu efektu v období intenzivnějšího růstu v letech 2019 a 2020, kdy byly v oblasti zaznamenány vyšší atmosferické srážky. Podobný vývoj probíhal i v jehlicích předchozího roku.

Tab.14: Vývoj úrovně výživy lesa – smrk – jehlice běžného roku

	Vápněná stanoviště			Kontrolní stanoviště		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020
N (%)	1,44	1,34	1,23	1,43	1,27	1,27
P (mg/kg)	1870	1681	1437	1735	1519	1345
K (mg/kg)	7467	6979	5826	6946	6286	5579
Ca (mg/kg)	2670	3236	3583	3223	2425	2879
Mg (mg/kg)	801	1026	1081	762	851	810

Tab.15: Vývoj úrovně výživy lesa – smrk – jehlice předchozího roku

	Vápněná stanoviště			Kontrolní stanoviště		
	2015	2017	2020	2015	2017	2020
N (%)	1,39	1,29	1,16	1,39	1,28	1,20
P (mg/kg)	1294	1299	1211	1255	1189	1123
K (mg/kg)	4939	5046	4719	4804	4589	4749
Ca (mg/kg)	4320	5239	4544	5121	4031	3606
Mg (mg/kg)	715	854	916	678	685	621

Nižší obsahy **fosforu** v jehlicích běžného roku jsou zjištěny na vápněných i kontrolních stanovištích (Tab. 14). V půdním prostředí jsou zjištěny velmi nízké obsahy na vápněných i kontrolních plochách. V jehlicích předchozího roku (Tab. 15) je zjištěno nepatrné snižování obsahů, které zřejmě souvisí s redistribucí, nebo vymýváním z listových pletiv.

Obsah **draslíku** v jehlicích běžného roku vápněných porostů významně klesl. Vzhledem k tomu že podobný trend byl zaznamenán i v jehlicích kontrolních porostů a hodnoty obsahu draslíku se mezi vápněnými a kontrolními porosty významně neliší, nejedná se zde pravděpodobně o důsledek vápnění.

Úroveň výživy **vápníkem** se podle očekávání zvyšuje na vápněných plochách až do významně vyšší hodnoty v roce 2020 (Tab. 14). Na plochách kontrolních je zaznamenáno významné snížení v roce 2017. Podobný vývoj probíhá i ve výživě **hořčíkem**. Tyto změny považujeme za kladný očekávaný účinek vápnění lesa (Tab. 14).

Hodnocení obsahů ostatních prvků v asimilačních pletivech neukázalo na změny, které by mohly souviset s účinky vápnění lesa (Tab. 16).

Tab.16: Hodnocení obsahů prvků v pátém roce po vápnění (jehlice běžného roku)

	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
Nedostatek	1,20	1000	3500	1500	600	1100	20	20	20	5
Nadbytek	1,70	2000	9000	6000	1500	1800	2000	200	60	
Vápněné	1,23	1437	5826	3583	1081	857	549	44,5	34,2	12,7
Kontrolní	1,27	1345	5579	2879	810	861	686	45,8	25,7	13,9

4.4. Chemizmus půdní vody

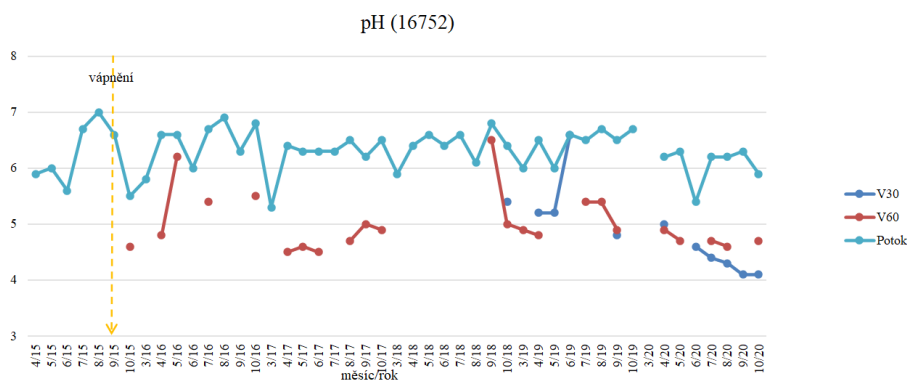
Na lokalitě „Javořice“ probíhá od dubna 2015 periodický odběr vzorků „půdní“ vody ve vápněných i kontrolních porostech a to 1x měsíčně v období březen až říjen. Současně je sledován i obsah prvků v povrchové vodě (potok) protékající vápněnou plochou. Pro odběr „půdní“ vody je zásadní množství srážek. Pokud se vyskytnou delší období „sucha“ s minimem srážek, tak sušící lyzimetry neplní svoji úlohu a tudíž není možné vzorek „půdní“ vody odebrat.

Budeme – li v následujícím textu sledovat rozdílnosti v chemizmu „půdní“ vody na vápněných a kontrolních stanovištích, tak nebudeme brát ohled na vstup atmosferickými srážkami, protože skladba srážkové vody nepředstavuje skutečný vstup prvků do ekosystému. Je zde mnoho vedlejších vlivů jako půdní prach, opad a pyl. Někteří autoři oznamují jak zvýšení, tak i snížení hodnoty pH v souvislosti s chemismem srážkové vody (KRÁM ET ALL. 1997).

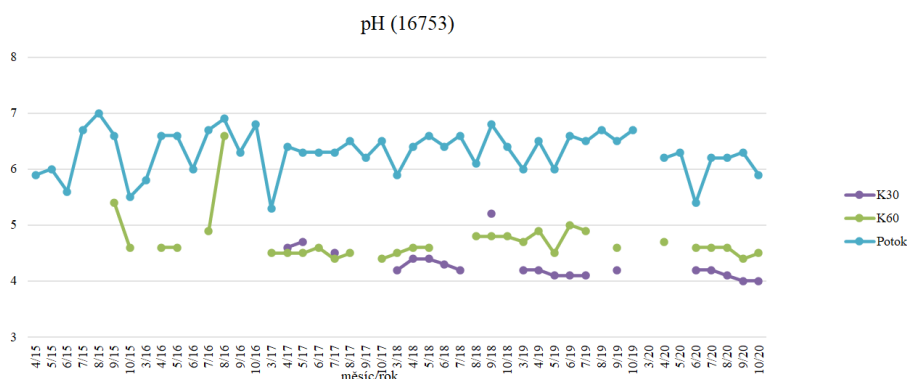
Pro grafické znázornění vývoje obsahu prvků v „půdní vodě“ byly vybrány výsledky rozborů vzorků z OM 16752 (vápněné – „V“) a 16753 (kontrolní – „K“). V okolí těchto OM nedošlo ve sledovaném období k odtěžení ani k prořezání porostů, které by mohlo mít vliv na mineralizaci nadložní organické hmoty a tím k ovlivnění obsahu sledovaných parametrů v „půdní“ vodě.

Graf 1: Hodnoty pH v půdní vodě

a)



b)

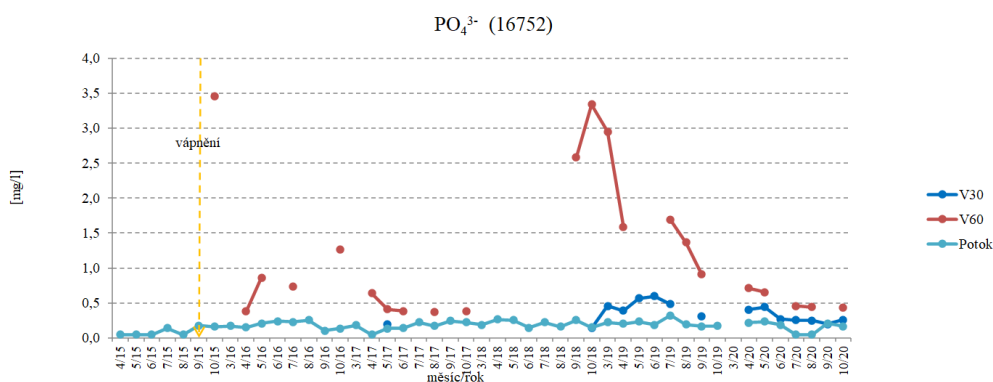


Hodnota chemické reakce půdní vody je na vápněné ploše vyšší v obou odebíraných hloubkách (30 a 60 cm). Grafy ukazují podobné hodnoty v počátcích sledování (Graf. 1a, b). Jarní odběry v roce 2016 už ukazují rozdílnost, která trvá až do letních měsíců 2020, kdy se kyselost půdní vody začíná zvyšovat.

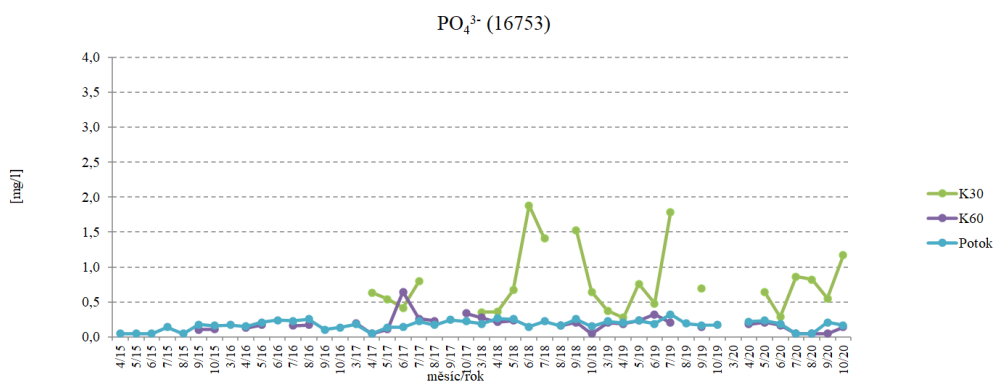
Obsahy fosforečnanů v půdní vodě mají vyšší hodnoty na vápněných plochách především v hloubce 60 cm („V60“). Původ těchto fosforečnanů (fosfátů) spatřujeme především v rozkladu nadložního organického materiálu, který je podle výše uvedených mikrobiologických šetření vyšší na vápněných plochách. Rozpuštěného fosforu je velice málo, asi 1% z celkového fosforu v půdě a obsah zjištěný v půdní vodě nepřesahuje hodnotu $3,5 \text{ mg.l}^{-1}$.

Graf 2: Hodnoty obsahu PO_4^{3-} v půdní vodě

a)



b)

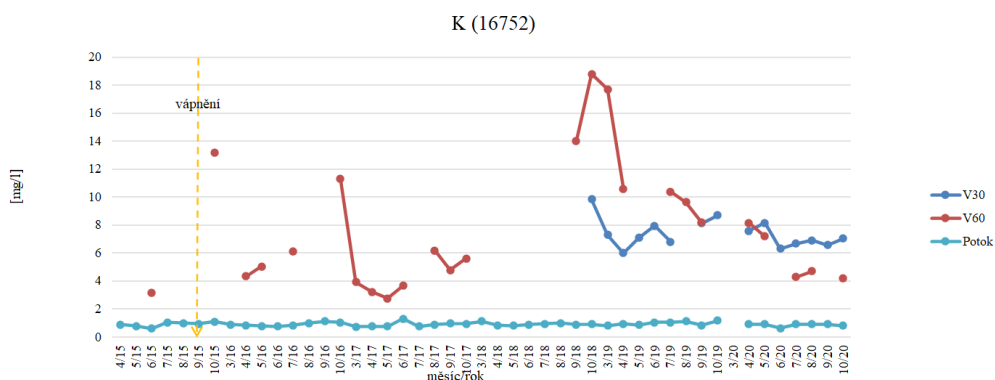


Obsahy fosforečnanů zjištěné na kontrolní i vápněné ploše mají klesající tendenci. Úroveň výživy fosforem se během sledování snižuje na vápněných i kontrolních místech. Vzhledem k nízkému podílu rozpuštěného fosforu v půdní vodě však nepředpokládáme významný úbytek fosforu odtokem.

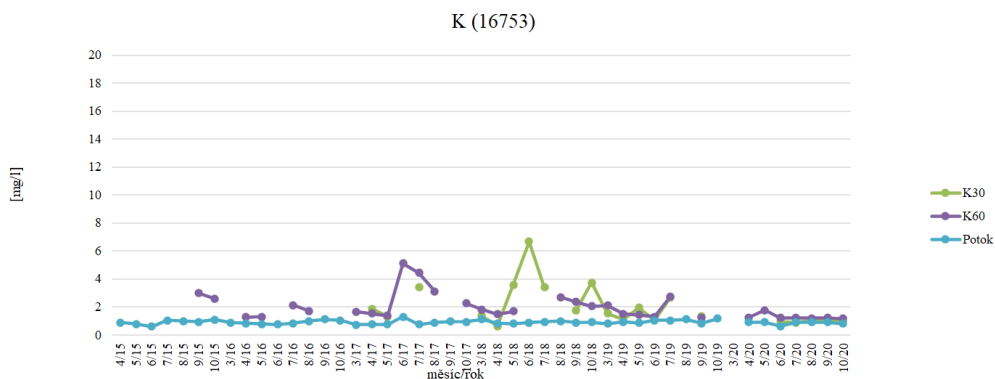
Obsahy draslíku v půdní vodě vápněné plochy jsou vyšší než obsahy na ploše kontrolní (Graf 3a, b). Tento poznatek neodpovídá výsledkům studií autorů citovaných TYLEREM AND OLSSONEM (2001), kteří referují o inverzním vztahu mezi hodnotou pH a koncentrací K v půdním roztoku. To zřejmě vyplývá z velké rozpustnosti K v půdním roztoku. Vysoká koncentrace K je zjištěna na vápněné ploše v hloubce 60 cm. Vyšší obsahy K dáváme rovněž do souvislosti s vyšší mikrobiální aktivitou na vápněných místech. Tento závěr podporují TRIPLER ET ALL.(2006), kteří ukazují na silný vztah K a NO_3^- v odtokové vodě a na jejich společný zdroj – biotickou přeměnu organického materiálu.

Graf 3: Hodnoty obsahu K v půdní vodě

a)



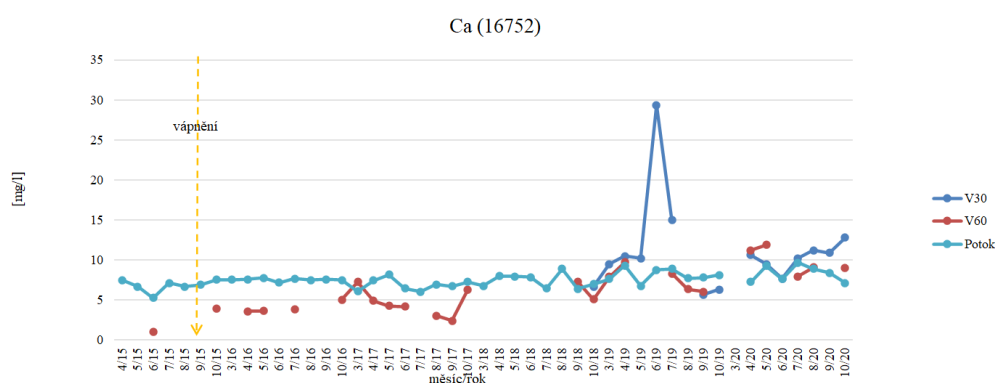
b)



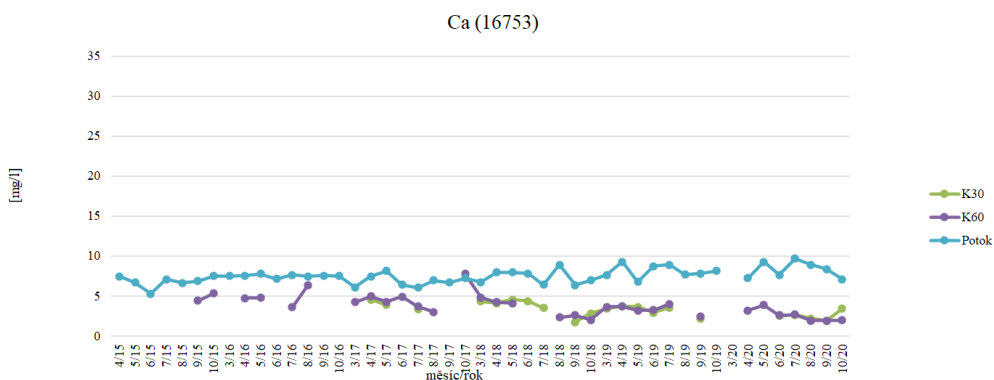
Vyšší obsahy Ca (Graf 4a, b) a Mg (Graf 5a, b) souvisí především s chemickým složením dolomitického vápence, který obsahuje 97,6% $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ v sušině a 42,9% MgCO_3 v sušině. Tento dolomitický vápenec je atmosférickými srážkami rozpouštěn a následně inkorporován do půdního výměnného systému a vegetace nebo je opouští ekosystém odtokovou vodou (LONG ET ALL 2015). Z grafů zřetelně vyplývají rozdíly mezi vápněnými a nevápněnými porosty. Zatímco ve vápněných porostech se stále zvyšuje obsah Ca v „půdní“ vodě, což se projevuje i v povrchové vodě (potok) odtékající z vápněné plochy, v kontrolních porostech dochází k postupnému poklesu obsahu Ca a tím i k acidifikaci hlubších půdních vrstev.

Graf 4: Hodnoty obsahu Ca v půdní vodě

a)

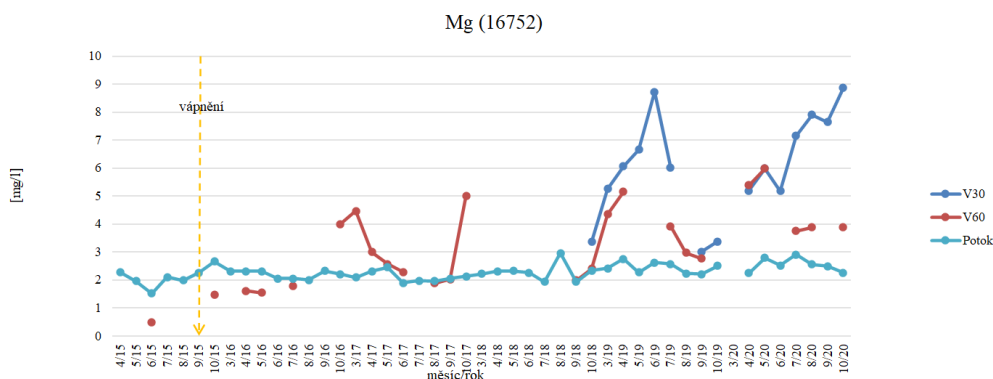


b)

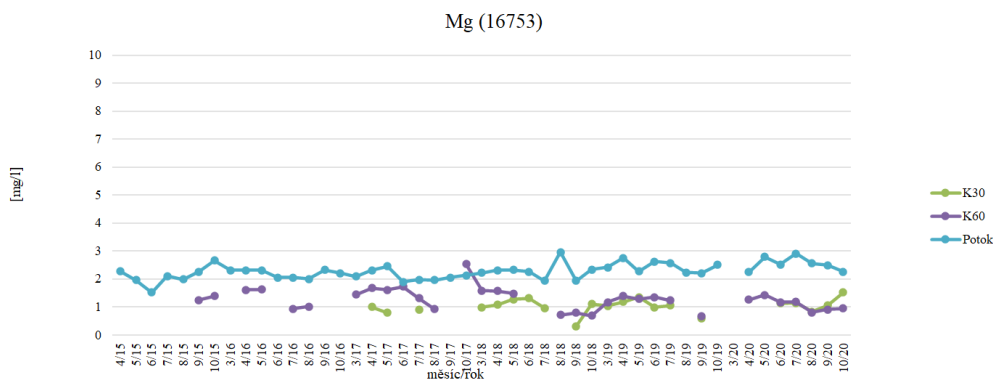


Graf 5: Hodnoty obsahu Mg v půdní vodě

a)



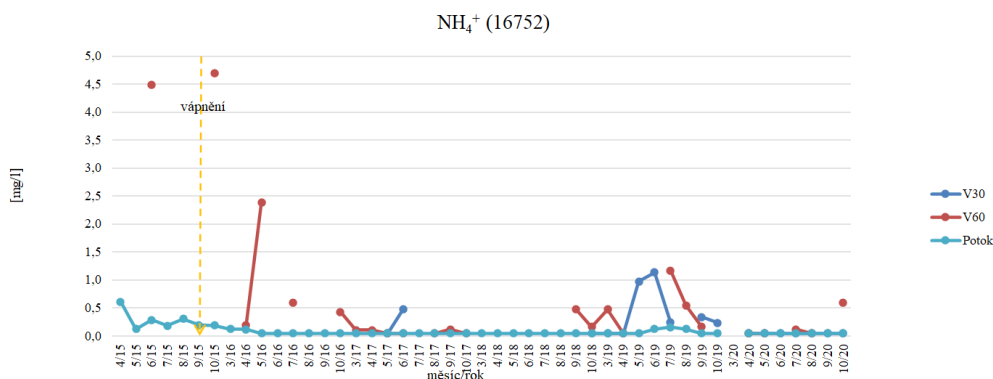
b)



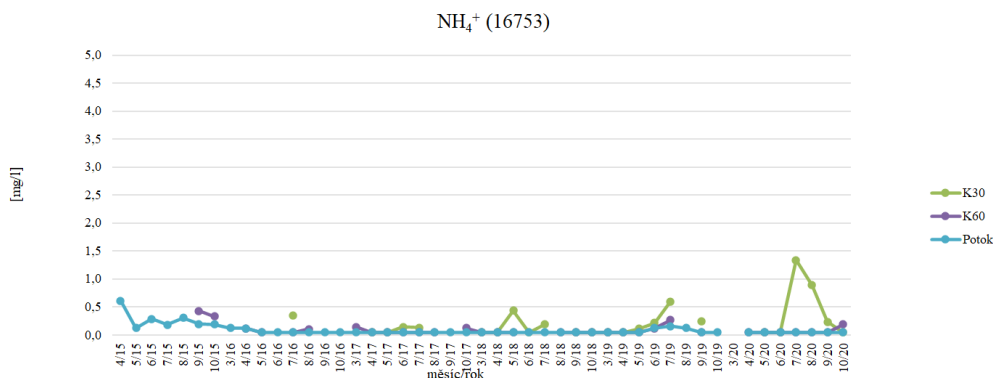
Na vápněné ploše jsou zjištěny vyšší obsahy Mg v půdní vodě už jeden rok po vápnění – na podzim 2016. Vedle vápnění, jako hlavního zdroje obohacení půdní lysimetrické vody, zvyšují obsah Ca a Mg vstupy uvolněné z rozkládajícího se organického nadložního materiálu (FORMÁNEK A VRÁNOVÁ, 2002). I když na šetřených plochách není zaznamenáno významné zvýšení pH až do hodnot 5,0 – 5,5, při kterých podle (NILSSON ET ALL.(2001) nastává bujný vývoj mikrobioty, dokládáme v nadložních organických horizontech na vápněných plochách vyšší hodnoty extrahovatelného uhlíku, respirace i substrátem indukované respirace našimi šetřeními (kapitola Výsledky mikrobiologických šetření). Uvolněním živin včetně zvýšení amonizace a nitrifikace je tedy na vápněných plochách pravděpodobné.

Graf 6: Hodnoty obsahu NH_4^+ v půdní vodě

a)



b)



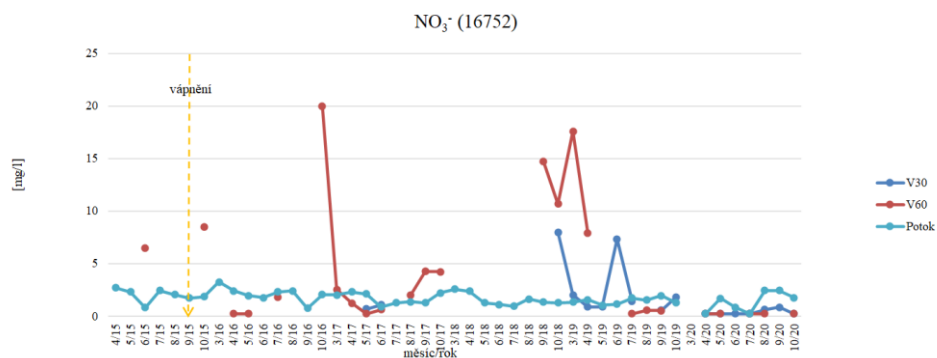
Obsahy čpavkového dusíku NH_4^+ (graf 6a, b) nejsou významně odlišné na vápněných a kontrolních plochách v hloubce 30 cm, ale významně vyšší jsou na těchto plochách v hloubce 60 cm. Tento poznatek neodpovídá zjištěním KREUTZERA (1995), který zjistil podle očekávání vyšší odtok $\text{NO}_3\text{-N}$ z vápněného nadložního organického horizontu na rozdíl od $\text{NH}_4\text{-N}$ odtoku. Do hloubky horizontů se tato koncentrace ($\text{NO}_3\text{-N}$) snižovala a odtok $\text{NH}_4\text{-N}$ se stával zanedbatelným. V případě odtoku $\text{NO}_3\text{-N}$ jsou výsledky našich měření totožné (graf 7a, b).

V našem případě byly už v roce 2015 na vápněné ploše zjištěny výrazně vyšší koncentrace NH_4^+ , které klesaly až do konce roku 2016. To koresponduje s obsahem NH_4^+ v povrchové vodě, tudíž zvýšený obsah NH_4^+ v počáteční periodě měření bude mít pravděpodobně jinou příčinu než vápnění lesních porostů.

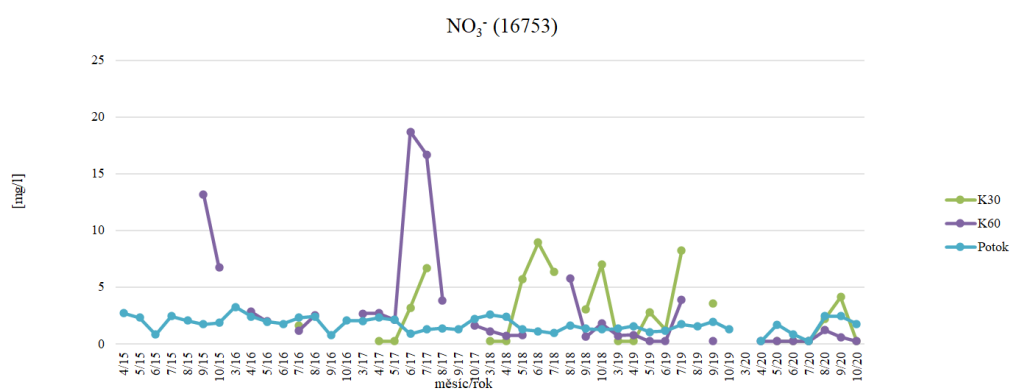
V případě kationtu NH_4^+ je také pravděpodobná jeho, alespoň částečná, refixace na organickém materiálu při vyšší hodnotě pH. Organický materiál je v případě šetřených lesních vápněných stanovišť vyjádřen hodnotou C_{ox} ($5,54_{2015} \rightarrow 4,78_{2020} \%$) v organominerálních a ($2,46_{2015} \rightarrow 1,25_{2020} \%$) v minerálních horizontech. Na kontrolních stanovištích jsou tyto hodnoty ($4,78_{2015} \rightarrow 4,55_{2020} \%$) a ($4,18_{2015} \rightarrow 3,25_{2020} \%$).

Graf 7: Hodnoty obsahu NO_3^- v půdní vodě

a)



b)

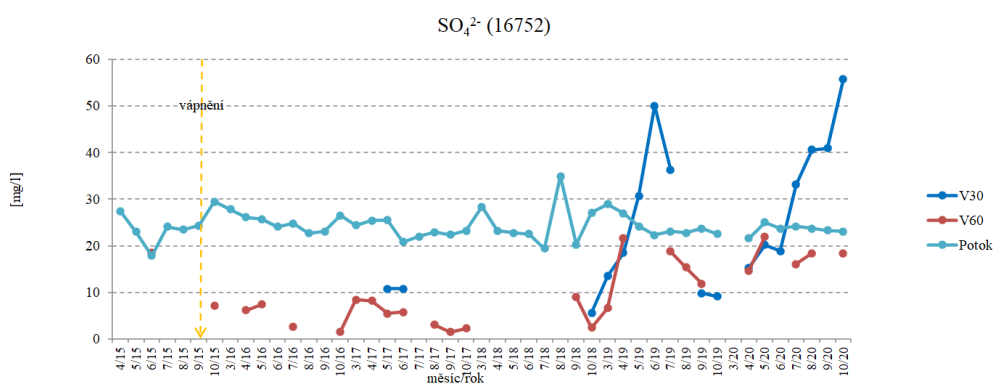


V hloubce 30 cm je výrazně vyšší koncentrace SO_4^{2-} na vápněné ploše. V hloubce 60 cm je tento obsah vyšší pouze nepatrně. Acidifikace normálně zvyšuje adsorpci SO_4^{2-} (redukuje SO_4^{2-} vymývání). Vyšší koncentrace SO_4^{2-} je výsledkem nižší adsorpce na oxidy Fe a organický materiál.

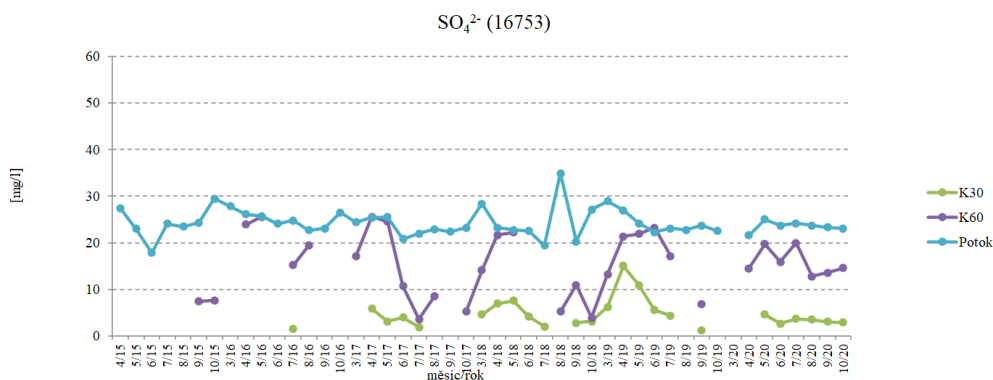
NILSSON ET ALL. (2001) zjistili vyšší množství rozpuštěné organické síry (DOS) na vápněných plochách ve srovnání s kontrolními plochami. Koncentrace DOS se v nadložních horizontech sezónně pohybovala od 1,0 do 2,0 mgS.l⁻¹ na vápněných plochách a od 0,5 do 1,0 mg.l⁻¹ na kontrolních plochách. V hloubce 50 cm byly tyto hodnoty od 0,5 do 2,5 mg S.l⁻¹ na vápněných plochách a od 0,5 do 1,0 mg.l⁻¹ na kontrolních plochách.

Graf 8: Hodnoty obsahu SO_4^{2-} v půdní vodě

a)



b)



5. Závěr

Letecké vápnění lokality „Javořice“ (provedené v roce 2015) přineslo očekávané zlepšení chemizmu půdního prostředí, spočívající ve snížení kyselosti a vyšších obsahů vápníku a hořčíku ve všech jejích studovaných formách, tedy celkových i přístupných.

Průběh změn půdní reakce aktivní v organominerálních horizontech ilustruje účinek vápnění po dvou letech a jeho následné dozívání v důsledku nastupující převahy acidifikačních vlivů.

Obsahy nedostatkových živin (vápníku a hořčíku) byly doplněny v půdním prostředí. V dostatečné míře se projevují v nadložních organických a organominerálních horizontech. Ve spodních minerálních horizontech je v případě hořčíku odezva potvrzena, v případě méně pohyblivého vápníku je jeho zvýšení očekáváno. Zároveň je v horních půdních horizontech viditelné dozívání účinku vápnění a pokračující opětovná acidifikace půdního prostředí.

Obsahy celkového (extrahovatelného) půdního fosforu a draslíku, které by mohly být negativně ovlivněny dolomitickým vápencem nebyly sníženy. Rovněž nebyla snížena jejich dostupnost rostlinám a nebyly zaznamenány změny v úrovni výživy rostlin, posuzované podle obsahů těchto živin v jehlicích smrku.

Vhodným doplněním studia kontrolních a vápněných stanovišť bylo sledování vybraných mikrobiologických charakteristik a procesů. Toto šetření potvrdilo všeobecně známe poznatky o vyšší mikrobiologické aktivitě, tedy především činnosti rozkladačů na vápněných plochách.

Průběžné studium chemizmu půdní vody potvrzuje kladný účinek vápnění lesních porostů. Obsahy živin jsou zvýšeny, především v horních 30 cm, které vymezují hloubku hlavní kořenové sféry a předpokládá se zde intenzivní kořenový odběr. V hloubce 60 cm je půdní voda obohacena v menší míře. Nežádoucí odtok spojený s eutrofizací odtokové vody je tedy nepravděpodobný. To souvisí s obsahy dusičnanů a fosforu, případně síry v půdní vodě, jejichž obsahy nejsou v hloubce 60 cm významně vysoké.

V úrovni výživy se vápnění projevilo vyššími obsahy makroživin na vápněných plochách. Nebezpečím by mohly být nižší obsahy borů, zjištěné v roce 2020 v jehlicích smrku na vápněných plochách.

Šetření účinnosti vápnění na lokalitě „Javořice“ dospělo do plánované poloviny, do pátého roku po provedeném vápnění. Toto období bylo poznamenáno významnými změnami, představované obdobím sucha a následným obdobím častých srážek ve vegetačním období. Druhou změnou bylo vytvoření kalamitních holosečí po gradaci kůrovce. Změna hydrického režimu i kůrovcové těžby, které se částečně dotkly odběrných míst nenarušily studium účinků vápnění a lze v nich pokračovat i v následném pětiletém období.

V následujícím šetření doporučujeme pomocí všech dosud šetřených vlastností půdního prostředí sledovat působení, případně dozívání účinků vápnění spolu s vývojem úrovně výživy smrku na vápněných i kontrolních plochách.

6. Použitá literatura

CROMAN C.S., GRIGAL D.F., 1995. Use of Calcium/Aluminium Ratios as Indicators of Stress in Forest Ecosystems, *Journal of Environment Quality*. 24. p. 209 – 226.

FIALA P., REININGER D., SAMEK T., 2016. Vyhodnocení chemických vlastností půd a asimilačních orgánů před leteckým vápněním v oblasti Javořice (PLO 16), *ÚKZÚZ*, 48 s.

FORMÁNEK P., VRÁNOVÁ V., 2003: A contribution to the effect of liming on forest soils, *Journal of Forest Science*, 48, p. 182 – 190.

JOHNSON D.W., 1984. Sulfur Cycling in Forests. *Biogeochemistry*, 1. pp. 29 – 43.

KRÁM P., HRUŠKA J., WENNER B. S., DRISCOLL C.T., JOHNSON C.E. 1997. The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in Czech Republic, *Biogeochemistry* 37, p. 173 – 202.

LONG R.P., BAILEY S. W., HORSLEY S. B., HALL T.J., SWISTOCK B. R., DEWALLE D. R., 2015. Long-Term Effects of Forest Liming on Soil, Soil Leachate, and Foliage Chemistry in Northern Pennsylvania. *Soil Sci. Soil Science Society of America Journal*. 79. p. 1223 – 1236.

KREUTZER K. 1995. Effects of forest liming on soil processes, *Plant and Soil* 168 – 169. p. 447 – 470.

NILSSON S.,I., ANDERSSON S., VALEUR I., PERSSON T., BERGHOLM J., WIRÉN A. 2001. Influence of dolomit lime on leaching and storage of C, N and S in Spodosol under Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management* 146, p. 55 – 73.

SCHAAF W., HÜTTL R., 2006. Experiences with liming in European countries – results of long-term experiments. *Journal of Forest Science*, 52. p. 35 – 44.

TRIPLER C.E., KAUSHAL S.S., LIKENS G.E., WALTER M.T., (2006). Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters*, 9. p. 451 – 466.

TYLER G., OLSSON T. 2001. Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming, *Plant and Soil*, 230, p. 307 – 321.

7. Přílohy

7.1. Popisné statistiky

7.1.1. Nadložní organický horizont

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – kontrolní porosty (2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	8	157	149	130	206	132	177
pH _{CaCl2}	8	2,75	2,75	2,60	2,90	2,65	2,85
pH _{H2O}	8	3,73	3,75	3,60	3,80	3,65	3,80
N [%]	8	1,36	1,34	1,22	1,53	1,25	1,46
C _{ox} [%]	8	28,3	28,4	24,7	32,1	25,8	30,8
C/N	8	20,9	20,6	19,4	22,9	20,4	21,3
Al _{dus} [mg/kg]	8	5143	5175	4170	6570	4555	5470
B _{dus} [mg/kg]	8	2,30	2,30	1,90	2,90	1,95	2,55
Ca _{dus} [mg/kg]	8	927	887	621	1320	671	1180
Cd _{dus} [mg/kg]	8	0,16	0,16	0,11	0,21	0,13	0,18
Cr _{dus} [mg/kg]	8	5,10	4,88	4,07	7,00	4,40	5,59
Cu _{dus} [mg/kg]	8	5,99	5,97	3,89	8,48	5,08	6,72
Fe _{dus} [mg/kg]	8	4389	4285	3790	6220	3900	4365
K _{dus} [mg/kg]	8	924	910	760	1100	879	978
Mg _{dus} [mg/kg]	8	357	329	250	615	281	387
Mn _{dus} [mg/kg]	8	142	112	76,9	293	84,4	189
P _{dus} [mg/kg]	8	622	634	528	688	594	651
Pb _{dus} [mg/kg]	8	67,2	67,4	45,5	99,8	54,7	74,0
Zn _{dus} [mg/kg]	8	27,5	27,5	22,3	31,2	25,1	30,8

Popisné statistiky – nadložní organický horizont – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Nad. humus [t/ha]	7	151	134	132	198	134	178
pH _{CaCl2}	7	3,67	3,80	3,00	4,10	3,50	3,90
pH _{H2O}	7	4,51	4,60	3,90	4,90	4,30	4,80
N [%]	7	1,36	1,35	1,28	1,46	1,29	1,44
C _{ox} [%]	7	28,2	27,8	26,3	31,0	26,5	30,4
C/N	7	20,7	20,8	18,8	21,7	20,1	21,7
Al _{dus} [mg/kg]	7	5310	5670	3620	6630	4450	6510
B _{dus} [mg/kg]	7	2,73	2,90	1,80	3,30	2,40	3,00
Ca _{dus} [mg/kg]	7	3991	3550	1220	6410	2760	5830
Cd _{dus} [mg/kg]	7	0,15	0,16	0,08	0,21	0,12	0,18
Cr _{dus} [mg/kg]	7	5,34	5,21	3,53	7,11	5,03	5,78
Cu _{dus} [mg/kg]	7	4,71	4,70	4,07	5,98	4,26	4,94
Fe _{dus} [mg/kg]	7	4693	5230	3000	5640	3850	5480
K _{dus} [mg/kg]	7	950	992	725	1090	781	1080
Mg _{dus} [mg/kg]	7	2016	2010	615	3320	1370	3060
Mn _{dus} [mg/kg]	7	186	189	118	247	143	247
P _{dus} [mg/kg]	7	689	715	604	729	644	718
Pb _{dus} [mg/kg]	7	56,1	56,1	44,0	70,2	48,9	62,9
Zn _{dus} [mg/kg]	7	27,1	26,9	24,5	31,0	26,3	27,4

Porovnání průměrných hodnot* (nadložní organický horizont)

	Porost					
	Vápněný			Kontrolní		
	před vápněním (2015) (A)	dva roky po vápnění (2017) (B)	pět let po vápnění (2020) (C)	(2015) (D)	(2017) (E)	(2020) (F)
Nad. humus [t/ha]	134	149	151	132	134	157
pH _{CaCl2}	2,94 ^{BC}	3,41 ^{AE}	3,67 ^{AF}	2,91	2,93 ^B	2,75 ^C
pH _{H2O}	3,70 ^{BC}	4,13 ^{ACE}	4,51 ^{ABF}	3,66	3,73 ^B	3,73 ^C
N [%]	1,07 ^{BC}	1,39 ^A	1,36 ^A	1,06 ^{EF}	1,48 ^D	1,36 ^D
C _{ox} [%]	26,7	28,8	28,2	27,0 ^E	31,5 ^{DF}	28,3 ^E
C/N	25,0 ^{BC}	20,7 ^A	20,7 ^A	25,3 ^{EF}	21,3 ^D	20,9 ^D
Al _{dus} [mg/kg]	5650	5253	5310	5608	4914	5143
B _{dus} [mg/kg]		2,40	2,73		2,21	2,30
Ca _{dus} [mg/kg]	934 ^{BC}	3153 ^{AE}	3991 ^{AF}	926	946 ^B	927 ^C
Cd _{dus} [mg/kg]	0,12	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16
Cr _{dus} [mg/kg]	5,49 ^B	4,93 ^A	5,34	5,72 ^F	5,40	5,10 ^D
Cu _{dus} [mg/kg]	4,56 ^D	4,39 ^E	4,71	6,05 ^A	5,93 ^B	5,99
Fe _{dus} [mg/kg]	4421	4323	4693	4219	4161	4389
K _{dus} [mg/kg]	980	929	950	924	903	924
Mg _{dus} [mg/kg]	398 ^{BC}	1717 ^{AE}	2016 ^{AF}	358	358 ^B	357 ^C
Mn _{dus} [mg/kg]	136 ^C	133 ^C	186 ^{AB}	144	164	142
P _{dus} [mg/kg]	651	676	689	655	652	622
Pb _{dus} [mg/kg]	59,2	54,5	56,1	69,4	66,7	67,2
Zn _{dus} [mg/kg]	27,7 ^B	25,3 ^{AC}	27,1 ^B	29,2 ^F	27,7	27,5 ^D

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

7.1.2. Horizont organominerální

Popisné statistiky – horizont organominerální – kontrolní porosty (2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,13	3,10	3,00	3,30	3,05	3,20
pH _{H2O}	8	3,80	3,75	3,70	4,00	3,70	3,90
Vým. acid. [mekv./kg]	8	138	135	126	157	129	147
COX [%]	8	4,55	4,56	4,01	5,05	4,30	4,83
N [%]	8	0,27	0,27	0,25	0,31	0,26	0,29
C/N	8	16,6	16,4	16,0	17,5	16,3	17,1
Al _{MIII} [mg/kg]	8	1335	1370	1110	1520	1170	1485
P _{MIII} [mg/kg]	8	--	11,4	< 3,5	95,6	< 3,5	35,6
K _{MIII} [mg/kg]	8	46,2	43,4	40,1	63,0	40,6	49,3
Ca _{MIII} [mg/kg]	8	--	38,9	< 30	53,5	< 30	41,8
Mg _{MIII} [mg/kg]	8	13,5	13,5	10,7	16,5	11,6	15,2
B _{MIII} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	8	775	776	720	821	746	808
S _{MIII} [mg/kg]	8	23,9	24,8	18,4	25,9	23,3	25,4
P _{dus} [mg/kg]	8	121	107	52,8	248	70,4	158
K _{dus} [mg/kg]	8	74,5	74,9	62,0	86,8	68,2	80,7
Mg _{dus} [mg/kg]	8	94,5	85,6	45,3	161,0	62,5	127,0
Ca _{dus} [mg/kg]	8	44,4	45,3	31,9	59,3	35,0	51,7
Al _{dus} [mg/kg]	8	2181	2300	1550	2610	1880	2465
Cd _{dus} [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	8	1,76	1,65	1,26	2,41	1,46	2,09
Cu _{dus} [mg/kg]	8	1,39	1,33	0,90	1,91	1,23	1,61
Fe _{dus} [mg/kg]	8	4391	4300	3360	5290	4065	4875
Mn _{dus} [mg/kg]	8	91,2	85,8	37,9	149	67,7	118
Pb _{dus} [mg/kg]	8	30,2	30,5	22,6	39,1	25,8	33,8
Zn _{dus} [mg/kg]	8	6,47	6,37	5,09	8,32	5,48	7,33
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	71,9	70,7	62,0	86,4	65,7	77,0
K _{VYM} [mekv./kg]	8	0,84	0,79	0,68	1,24	0,74	0,89
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	2,08	2,05	1,32	2,93	1,68	2,46
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	1,00	1,00	0,80	1,23	0,84	1,13
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,30	0,31	0,19	0,41	0,24	0,38
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,38	0,40	0,16	0,69	0,20	0,51
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	60,9	60,2	50,5	73,7	53,8	67,5
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	5,11	4,81	4,36	6,77	4,63	5,45
CEC [mekv./kg]	8	76,1	74,6	65,4	91,2	69,7	81,9
BS [%]	8	5,55	5,35	4,20	6,50	5,30	6,20

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont organominerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,27	3,30	3,20	3,40	3,20	3,30
pH _{H2O}	7	3,94	3,90	3,80	4,10	3,90	4,10
Vým. acid. [mekv./kg]	7	137	134	122	150	127	148
Cox [%]	7	4,78	4,79	3,86	5,48	4,38	5,40
N [%]	7	0,30	0,29	0,26	0,34	0,28	0,33
C/N	7	16,1	16,1	14,8	17,2	15,6	16,4
Al _{MIII} [mg/kg]	7	1469	1480	1180	1650	1400	1560
P _{MIII} [mg/kg]	7	--	6,18	< 3,5	21,1	< 3,5	13,5
K _{MIII} [mg/kg]	7	48,9	48,7	42,8	58,8	43,7	51,2
Ca _{MIII} [mg/kg]	7	85,4	83,9	62,7	113	65,4	109
Mg _{MIII} [mg/kg]	7	46,7	40,5	20,3	81,5	33,0	63,6
B _{MIII} [mg/kg]	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,61	< 0,5	0,59
Fe _{MIII} [mg/kg]	7	740	735	683	780	729	772
S _{MIII} [mg/kg]	7	26,8	25,0	24,4	32,2	24,4	30,8
P _{dus} [mg/kg]	7	125	99,0	63,9	241	75,5	216
K _{dus} [mg/kg]	7	78,4	75,7	71,1	95,0	71,6	81,2
Mg _{dus} [mg/kg]	7	154	132	116	238	117	205
Ca _{dus} [mg/kg]	7	101	102	69,9	136	76,6	133
Al _{dus} [mg/kg]	7	2521	2590	1870	3180	2050	2840
Cd _{dus} [mg/kg]	7	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	7	1,93	1,80	1,26	2,89	1,36	2,71
Cu _{dus} [mg/kg]	7	1,37	1,31	0,92	2,30	0,98	1,52
Fe _{dus} [mg/kg]	7	4846	4720	3870	5990	4000	5870
Mn _{dus} [mg/kg]	7	142	103	51	317	55	209
Pb _{dus} [mg/kg]	7	35,4	33,7	25,2	62,8	25,9	39,1
Zn _{dus} [mg/kg]	7	7,14	6,83	6,00	8,28	6,35	8,01
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	71,0	71,8	59,1	78,7	65,4	77,0
K _{VYM} [mekv./kg]	7	0,86	0,87	0,71	1,06	0,76	0,92
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	4,47	3,91	3,24	6,77	3,50	6,06
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	3,95	3,34	1,64	7,12	2,64	6,02
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,31	0,29	0,18	0,56	0,21	0,33
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	0,76	0,55	0,23	1,69	0,23	1,18
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	62,0	64,9	50,5	69,8	55,3	66,1
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	4,00	4,47	2,11	5,11	2,61	4,65
CEC [mekv./kg]	7	80,6	81,4	66,7	92,9	74,6	85,6
BS [%]	7	11,8	11,3	8,60	16,2	9,00	15,3

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Porovnání průměrných hodnot* (organominerální horizont)

	Porost					
	Vápněný			Kontrolní		
	před vápněním (2015) (A)	dva roky po vápnění (2017) (B)	pět let po vápnění (2020) (C)	(2015) (D)	(2017) (E)	(2020) (F)
pH _{CaCl2}	3,23 ^B	3,33 ^A	3,27 ^F	3,23 ^F	3,24 ^F	3,13 ^{CDE}
pH _{H2O}	3,80 ^{BC}	4,01 ^{AE}	3,94 ^{AF}	3,80 ^E	3,91 ^{BDF}	3,80 ^{CE}
Vým. acid. [mekv./kg]	160 ^B	126 ^A	137	142	125	138
Cox [%]	5,54 ^{CD}	5,12	4,78 ^A	4,78 ^A	5,09 ^F	4,55 ^E
N [%]	0,27 ^D	0,31	0,30	0,20 ^{AEF}	0,30 ^D	0,27 ^D
C/N	20,6 ^{BC}	16,2 ^A	16,1 ^A	23,7 ^{EF}	16,8 ^D	16,6 ^D
Al _{MIII} [mg/kg]	1330 ^{BC}	1471 ^A	1469 ^A	1196 ^{EF}	1331 ^D	1335 ^D
P _{MIII} [mg/kg]	14,3	--	--	16,4	--	--
K _{MIII} [mg/kg]	44,6	41,7 ^C	48,9 ^B	42,6	42,6	46,2
Ca _{MIII} [mg/kg]	-- ^C	-- ^C	85,4 ^{ABF}	--	--	-- ^C
Mg _{MIII} [mg/kg]	16,8 ^C	20,5 ^C	46,7 ^{ABF}	14,6	11,9	13,5 ^C
B _{MIII} [mg/kg]		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	706	687 ^C	740 ^B	745	724 ^F	775 ^E
S _{MIII} [mg/kg]	17,5 ^{BC}	25,4 ^A	26,8 ^A	15,1 ^{EF}	22,4 ^D	23,9 ^D
P _{dus} [mg/kg]	122	115	125	131	118	121
K _{dus} [mg/kg]	85,4 ^B	70,6 ^A	78,4	82,4	74,3	74,5
Mg _{dus} [mg/kg]	113	139	154	104	92,1	94,5
Ca _{dus} [mg/kg]	66,1 ^C	91,9 ^E	101 ^{AF}	50,1	48,8 ^B	44,4 ^C
Al _{dus} [mg/kg]	2189 ^{BC}	2530 ^A	2521 ^A	1975	2239	2181
Cd _{dus} [mg/kg]	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	1,91	1,83	1,93	1,79	1,71	1,76
Cu _{dus} [mg/kg]	2,62 ^C	2,13	1,37 ^A	2,31 ^F	1,86	1,39 ^D
Fe _{dus} [mg/kg]	4127	4573	4846	4065	4491	4391
Mn _{dus} [mg/kg]	81,6	118	142	96,7	98,4	91,2
Pb _{dus} [mg/kg]	30,7	30,1	35,4	31,9	34,6	30,2
Zn _{dus} [mg/kg]	8,54 ^C	7,58	7,14 ^A	8,16 ^F	7,38	6,47 ^D
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	76,4	69,4	71,0	70,4	73,0	71,9
K _{VYM} [mekv./kg]	0,99 ^B	0,77 ^A	0,86	0,96	0,81	0,84
Ca _{VYM} [mekv./kg]	2,72 ^C	-- ^C	4,47 ^{ABF}	2,07	< 1,0	2,08 ^C
Mg _{VYM} [mekv./kg]	1,24 ^C	2,48 ^C	3,95 ^{ABF}	0,98	0,92	1,00 ^C
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,37	0,32	0,31	0,28	0,33	0,30
Mn _{VYM} [mekv./kg]	0,42	0,50	0,76	0,52	0,45	0,38
Al _{VYM} [mekv./kg]	63,3 ^B	55,9 ^{AC}	62,0 ^B	58,0	55,5	60,9
Fe _{VYM} [mekv./kg]	5,06	3,74	4,00	4,80	4,50	5,11
CEC [mekv./kg]	81,7	75,3	80,6	74,7	76,1	76,1
BS [%]	6,53 ^C	7,83 ^{CE}	11,8 ^{ABF}	5,76	4,06 ^B	5,55 ^C

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

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

7.1.3. Horizont minerální

Popisné statistiky – horizont minerální – kontrolní porosty (2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	8	3,60	3,60	3,40	3,90	3,45	3,70
pH _{H2O}	8	4,19	4,15	3,90	4,50	4,05	4,35
Vým. acid. [mekv./kg]	8	107	108	84,8	134	92,0	121
COX [%]	8	2,46	2,28	1,25	4,18	1,58	3,25
N [%]	8	0,18	0,18	0,13	0,26	0,15	0,22
C/N	8	12,9	13,4	8,63	16,1	10,7	15,1
Al _{MIII} [mg/kg]	8	1659	1675	1460	1860	1560	1740
P _{MIII} [mg/kg]	8	--	5,55	< 3,5	44,8	< 3,5	9,46
K _{MIII} [mg/kg]	8	36,1	32,4	24,8	63,9	26,0	41,8
Ca _{MIII} [mg/kg]	8	< 30	< 30	< 30	33,1	< 30	< 30
Mg _{MIII} [mg/kg]	8	< 10	< 10	< 10	11,8	< 10	10,2
B _{MIII} [mg/kg]	8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	8	657	663	425	766	628	742
S _{MIII} [mg/kg]	8	30,4	28,6	22,8	41,2	24,5	36,6
P _{dus} [mg/kg]	8	159	105	56,6	336	78,4	259
K _{dus} [mg/kg]	8	71,0	69,8	62,9	87,7	64,4	74,7
Mg _{dus} [mg/kg]	8	152	139	78,3	306	94,1	184
Ca _{dus} [mg/kg]	8	39,4	35,5	29,5	56,7	31,1	47,8
Al _{dus} [mg/kg]	8	3169	3105	2580	3850	2795	3560
Cd _{dus} [mg/kg]	8	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	8	2,19	2,09	1,79	3,16	1,93	2,29
Cu _{dus} [mg/kg]	8	1,17	1,23	0,81	1,39	1,03	1,33
Fe _{dus} [mg/kg]	8	5759	5480	5030	7150	5075	6390
Mn _{dus} [mg/kg]	8	215	204	108	349	170	259
Pb _{dus} [mg/kg]	8	23,0	22,9	14,1	29,6	18,5	28,7
Zn _{dus} [mg/kg]	8	7,97	7,66	6,87	9,94	7,12	8,70
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	8	57,3	57,7	40,5	71,1	49,7	66,0
K _{VYM} [mekv./kg]	8	0,60	0,50	0,37	1,25	0,39	0,70
Ca _{VYM} [mekv./kg]	8	1,26	1,27	< 1,0	1,59	1,16	1,56
Mg _{VYM} [mekv./kg]	8	0,61	0,59	0,33	0,87	0,51	0,74
Na _{VYM} [mekv./kg]	8	0,26	0,24	0,16	0,39	0,22	0,30
Mn _{VYM} [mekv./kg]	8	0,59	0,63	0,32	0,76	0,45	0,76
Al _{VYM} [mekv./kg]	8	53,4	53,3	40,4	64,9	47,0	60,7
Fe _{VYM} [mekv./kg]	8	1,85	1,65	0,49	3,93	0,97	2,57
CEC [mekv./kg]	8	60,1	60,6	42,5	75,1	52,2	68,8
BS [%]	8	4,64	4,55	3,90	5,30	4,25	5,15

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Popisné statistiky – horizont minerální – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
pH _{CaCl2}	7	3,77	3,70	3,60	4,00	3,70	3,90
pH _{H2O}	7	4,40	4,40	4,20	4,60	4,30	4,50
Vým. acid. [mekv./kg]	7	98,1	96,8	84,8	119	90,4	104
Cox [%]	7	2,19	1,95	1,18	3,70	1,42	3,01
N [%]	7	0,18	0,18	0,14	0,24	0,15	0,19
C/N	7	11,9	12,2	7,87	15,8	7,89	15,4
Al _{MIII} [mg/kg]	7	1794	1770	1530	2170	1680	1910
P _{MIII} [mg/kg]	7	--	12,3	< 3,5	48,0	< 3,5	22,9
K _{MIII} [mg/kg]	7	31,2	30,1	24,5	40,1	26,5	36,5
Ca _{MIII} [mg/kg]	7	--	31,7	< 30	59,2	< 30	37,6
Mg _{MIII} [mg/kg]	7	17,9	12,2	10,6	37,4	10,7	24,1
B _{MIII} [mg/kg]	7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	7	581,6	616,0	348,0	698,0	472,0	698,0
S _{MIII} [mg/kg]	7	32,5	31,0	29,4	37,2	29,8	36,7
P _{dus} [mg/kg]	7	151	86,8	42,2	381	72,4	285
K _{dus} [mg/kg]	7	63,9	62,2	51,6	85,3	57,3	67,7
Mg _{dus} [mg/kg]	7	182	166	114	277	143	251
Ca _{dus} [mg/kg]	7	62,0	64,0	42,6	78,4	49,7	74,7
Al _{dus} [mg/kg]	7	3533	3350	3030	4520	3060	3960
Cd _{dus} [mg/kg]	7	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	7	2,24	2,17	1,27	3,21	1,55	3,21
Cu _{dus} [mg/kg]	7	1,03	0,87	0,53	2,03	0,60	1,33
Fe _{dus} [mg/kg]	7	5580	5150	4440	7220	5030	6060
Mn _{dus} [mg/kg]	7	252	266	90,9	418	139	387
Pb _{dus} [mg/kg]	7	18,1	16,9	12,1	29,2	13,5	20,7
Zn _{dus} [mg/kg]	7	8,17	7,73	6,47	9,58	7,50	9,20
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	7	49,6	48,0	42,7	57,9	44,5	55,1
K _{VYM} [mekv./kg]	7	0,48	0,43	0,32	0,64	0,39	0,62
Ca _{VYM} [mekv./kg]	7	2,11	1,88	1,50	3,52	1,61	2,35
Mg _{VYM} [mekv./kg]	7	1,45	0,98	0,81	3,13	0,86	2,00
Na _{VYM} [mekv./kg]	7	0,28	0,23	0,13	0,60	0,20	0,32
Mn _{VYM} [mekv./kg]	7	0,71	0,75	0,30	1,28	0,34	0,98
Al _{VYM} [mekv./kg]	7	47,3	45,5	41,0	54,9	41,4	52,8
Fe _{VYM} [mekv./kg]	7	0,95	0,95	0,30	1,79	0,52	1,45
CEC [mekv./kg]	7	53,9	52,9	45,9	65,4	47,4	59,4
BS [%]	7	7,86	7,10	6,10	11,40	6,80	9,40

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

Porovnání průměrných hodnot* (minerální horizont)

	Porost					
	Vápněný			Kontrolní		
	před vápněním (2015) (A)	dva roky po vápnění (2017) (B)	pět let po vápnění (2020) (C)	(2015) (D)	(2017) (E)	(2020) (F)
pH _{CaCl2}	3,59 ^{BC}	3,70 ^A	3,77 ^{AF}	3,55	3,59	3,60 ^C
pH _{H2O}	4,16 ^{BC}	4,31 ^A	4,40 ^{AF}	4,15	4,21	4,19 ^C
Vým. acid. [mekv./kg]	118 ^{BC}	102 ^A	98,1 ^A	115	113	107
Cox [%]	3,52 ^{BC}	2,79 ^A	2,19 ^A	3,23 ^F	3,46 ^F	2,46 ^{DE}
N [%]	0,13 ^B	0,23 ^A	0,18	0,11 ^{EF}	0,24 ^{DF}	0,18 ^{DE}
C/N	27,0 ^{BC}	12,1 ^A	11,9 ^A	29,3 ^{EF}	14,4 ^D	12,9 ^D
Al _{MIII} [mg/kg]	1554 ^{BC}	1880 ^A	1794 ^A	1493 ^E	1710 ^D	1659
P _{MIII} [mg/kg]	--	--	--	--	6,96	--
K _{MIII} [mg/kg]	29,5	27,9	31,2	30,2	33,9	36,1
Ca _{MIII} [mg/kg]	< 30	< 30	--	< 30	< 30	< 30
Mg _{MIII} [mg/kg]	< 10 ^C	< 10 ^C	17,9 ^{ABF}	< 10	< 10	< 10 ^C
B _{MIII} [mg/kg]		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5
Fe _{MIII} [mg/kg]	648	596	582	674	628	657
S _{MIII} [mg/kg]	19,0 ^{BC}	29,6 ^A	32,5 ^A	17,3 ^{EF}	28,4 ^D	30,4 ^D
P _{dus} [mg/kg]	149	155	151	136	172	159
K _{dus} [mg/kg]	80,0 ^{BC}	61,3 ^A	63,9 ^A	79,5	74,2	71,0
Mg _{dus} [mg/kg]	173	173	182	159	156	152
Ca _{dus} [mg/kg]	53,9	55,1	62,0 ^F	39,3	52,2	39,4 ^C
Al _{dus} [mg/kg]	3069	3554	3533	2700 ^E	3478 ^D	3169
Cd _{dus} [mg/kg]	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cr _{dus} [mg/kg]	2,26	2,22	2,24	2,23	2,41	2,19
Cu _{dus} [mg/kg]	2,23 ^C	1,44	1,03 ^A	2,02 ^F	1,85	1,17 ^D
Fe _{dus} [mg/kg]	5460	5429	5580	5550	6909	5759
Mn _{dus} [mg/kg]	223	225	252	267	216	215
Pb _{dus} [mg/kg]	26,7 ^C	21,0	18,1 ^A	28,5	29,3	23,0
Zn _{dus} [mg/kg]	9,52 ^C	9,03	8,17 ^A	9,60 ^F	9,45 ^F	7,97 ^{DE}
(Al+H) _{VYM} [mekv./kg]	59,3 ^C	53,5 ^E	49,6 ^A	60,9	64,4 ^{BF}	57,3 ^E
K _{VYM} [mekv./kg]	0,60	0,48	0,48	0,66	0,62	0,60
Ca _{VYM} [mekv./kg]	-- ^{BC}	< 1,0 ^{AC}	2,11 ^{ABF}	1,23 ^E	< 1,0 ^{DF}	1,26 ^{CE}
Mg _{VYM} [mekv./kg]	0,64 ^C	0,81 ^C	1,45 ^{ABF}	0,59	0,62	0,61 ^C
Na _{VYM} [mekv./kg]	0,30	0,26	0,28	0,26	0,28	0,26
Mn _{VYM} [mekv./kg]	0,69	0,59	0,71	1,03	0,75	0,59
Al _{VYM} [mekv./kg]	56,0 ^{BC}	47,5 ^A	47,3 ^A	57,2	54,6	53,4
Fe _{VYM} [mekv./kg]	1,84	1,25	0,95	1,69	1,96	1,85
CEC [mekv./kg]	62,2	56,1	53,9	63,7	67,0	60,1
BS [%]	4,76 ^C	4,56 ^C	7,86 ^{ABF}	4,55	3,89	4,64 ^C

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

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

7.1.4. Smrk ztepilý – jehlice běžného roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - kontrolní porosty (2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	85,4	86,2	56,7	111	75,9	95,8
B [mg/kg]	8	13,9	13,6	9,80	19,3	12,5	15,0
Ca [mg/kg]	8	2879	2855	2230	3520	2420	3365
Cd [mg/kg]	8	0,06	0,06	0,04	0,09	0,05	0,07
Cr [mg/kg]	8	0,19	0,19	0,14	0,26	0,16	0,21
Cu [mg/kg]	8	2,30	2,30	2,05	2,48	2,17	2,47
Fe [mg/kg]	8	45,8	44,1	39,6	59,6	41,6	48,1
K [mg/kg]	8	5579	5560	5310	5850	5430	5745
Mg [mg/kg]	8	810	774	533	1180	671	941
Mn [mg/kg]	8	686	687	261	1410	464	760
N [%]	8	1,27	1,28	1,12	1,35	1,24	1,32
Ni [mg/kg]	8	1,45	1,41	0,75	2,76	0,96	1,70
P [mg/kg]	8	1345	1350	1190	1510	1315	1365
Pb [mg/kg]	8	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,26	< 0,20	0,23
S [mg/kg]	8	861	863	777	979	833	869
Zn [mg/kg]	8	25,7	25,9	18,2	32,1	23,0	29,0

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice běžného roku) - vápněné porosty (pět let po vápnění, 2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	7	77,0	78,3	56,4	96,0	63,6	95,5
B [mg/kg]	7	12,7	11,8	7,70	21,3	9,50	14,0
Ca [mg/kg]	7	3583	3430	2880	4990	2960	3900
Cd [mg/kg]	7	0,07	0,06	0,03	0,11	0,04	0,10
Cr [mg/kg]	7	0,16	0,16	0,11	0,18	0,14	0,17
Cu [mg/kg]	7	2,26	2,16	1,91	2,58	2,06	2,53
Fe [mg/kg]	7	44,5	47,0	32,5	49,4	41,4	48,8
K [mg/kg]	7	5826	5500	4130	7360	5080	6830
Mg [mg/kg]	7	1081	1000	861	1400	969	1220
Mn [mg/kg]	7	549	530	173	1200	239	752
N [%]	7	1,23	1,23	1,04	1,38	1,17	1,30
Ni [mg/kg]	7	1,06	0,81	0,40	2,09	0,58	1,77
P [mg/kg]	7	1437	1370	1230	1720	1260	1710
Pb [mg/kg]	7	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,21	< 0,20	< 0,20
S [mg/kg]	7	857	870	748	952	786	916
Zn [mg/kg]	7	34,2	35,3	23,8	44,0	27,6	38,8

Porovnání průměrných hodnot* (smrk ztepilý – jehlice běžného roku)

	Porost					
	Vápněný			Kontrolní		
	před vápněním (2015) (A)	dva roky po vápnění (2017) (B)	pět let po vápnění (2020) (C)	(2015) (D)	(2017) (E)	(2020) (F)
Al [mg/kg]	57,3 ^C	60,7	77,0 ^A	60,4 ^F	66,3 ^F	85,4 ^{DE}
B [mg/kg]	14,7	12,7	12,7	12,2	14,6	13,9
Ca [mg/kg]	2670 ^C	3236 ^E	3583 ^A	3223 ^E	2425 ^{BD}	2879
Cd [mg/kg]	0,12	0,10	0,07	0,14 ^{EF}	0,08 ^D	0,06 ^D
Cr [mg/kg]	0,19 ^B	0,15 ^A	0,16 ^F	0,18	0,16 ^F	0,19 ^{CE}
Cu [mg/kg]	3,58 ^{BC}	3,16 ^{AC}	2,26 ^{AB}	3,41 ^{EF}	2,98 ^{DF}	2,30 ^{DE}
Fe [mg/kg]	38,1 ^C	37,3 ^C	44,5 ^{AB}	36,6 ^F	37,5 ^F	45,8 ^{DE}
K [mg/kg]	7467 ^C	6979	5826 ^A	6946	6286	5579
Mg [mg/kg]	801 ^{BC}	1026 ^{AE}	1081 ^{AF}	762	851 ^B	810 ^C
Mn [mg/kg]	635	527	549	671	561	686
N [%]	1,44 ^C	1,34	1,23 ^A	1,43 ^{EF}	1,27 ^D	1,27 ^D
Ni [mg/kg]	1,95 ^C	1,50	1,06 ^A	2,50 ^F	2,16 ^F	1,45 ^{DE}
P [mg/kg]	1870 ^{BC}	1681 ^{AC}	1437 ^{AB}	1735 ^{EF}	1519 ^{DF}	1345 ^{DE}
Pb [mg/kg]	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
S [mg/kg]	1000 ^C	943 ^{CE}	857 ^{AB}	943 ^{EF}	862 ^{BD}	861 ^D
Zn [mg/kg]	28,2	30,2	34,2 ^F	33,6 ^{EF}	25,7 ^D	25,7 ^{CD}

-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

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

7.1.5. Smrk ztepilý – jehlice předchozího roku

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – kontrolní porosty (2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	8	102	99,3	63,9	156	80,4	119
B [mg/kg]	8	10,5	10,2	7,60	15,7	8,50	11,6
Ca [mg/kg]	8	3606	3550	2710	4560	3150	4090
Cd [mg/kg]	8	0,05	0,04	0,03	0,07	0,04	0,06
Cr [mg/kg]	8	0,19	0,19	0,12	0,27	0,16	0,23
Cu [mg/kg]	8	1,65	1,60	1,04	2,26	1,45	1,89
Fe [mg/kg]	8	57,1	54,7	47,0	73,0	48,9	64,6
K [mg/kg]	8	4749	4885	4310	5070	4385	5035
Mg [mg/kg]	8	621	524	383	1100	454	767
Mn [mg/kg]	8	739	654	289	1760	492	786
N [%]	8	1,20	1,23	1,01	1,33	1,12	1,28
Ni [mg/kg]	8	0,92	0,78	0,49	1,64	0,69	1,16
P [mg/kg]	8	1123	1110	1060	1250	1075	1150
Pb [mg/kg]	8	< 0,20	0,22	< 0,20	0,29	< 0,20	0,27
S [mg/kg]	8	848	832	765	979	817	873
Zn [mg/kg]	8	19,3	20,7	11,9	24,2	16,1	22,3

Popisné statistiky – smrk ztepilý (jehlice předchozího roku) – vápněné porosty (pět let po vápnění, 2020)

	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
Al [mg/kg]	7	88,4	88,9	67,0	128	67,8	103
B [mg/kg]	7	8,77	7,40	5,80	15,9	6,20	10,8
Ca [mg/kg]	7	4544	4120	3530	7170	3740	4760
Cd [mg/kg]	7	0,05	0,05	0,03	0,07	0,03	0,07
Cr [mg/kg]	7	0,17	0,17	0,12	0,20	0,16	0,20
Cu [mg/kg]	7	1,62	1,72	1,14	1,96	1,23	1,93
Fe [mg/kg]	7	54,7	53,7	46,6	66,1	47,2	57,9
K [mg/kg]	7	4719	4650	3710	5590	4600	4980
Mg [mg/kg]	7	916	831	682	1220	819	1150
Mn [mg/kg]	7	643	690	158	1330	351	848
N [%]	7	1,16	1,15	1,07	1,26	1,10	1,23
Ni [mg/kg]	7	0,65	0,55	0,29	1,03	0,42	0,93
P [mg/kg]	7	1211	1160	1120	1370	1130	1300
Pb [mg/kg]	7	< 0,20	0,20	< 0,20	0,25	< 0,20	0,22
S [mg/kg]	7	860	841	742	1020	789	922
Zn [mg/kg]	7	28,9	30,4	19,2	40,4	21,1	32,7

Porovnání průměrných hodnot* (smrk ztepilý – jehlice předchozího roku)

	Porost					
	Vápněný			Kontrolní		
	před vápněním (2015) (A)	dva roky po vápnění (2017) (B)	pět let po vápnění (2020) (C)	(2015) (D)	(2017) (E)	(2020) (F)
Al [mg/kg]	93,4	89,9	88,4	93,3	105	102
B [mg/kg]	14,0 ^{BCD}	10,0 ^A	8,77 ^A	10,7 ^A	12,2	10,5
Ca [mg/kg]	4320	5239	4544	5121	4031	3606
Cd [mg/kg]	0,09 ^C	0,08	0,05 ^A	0,11 ^{EF}	0,07 ^D	0,05 ^D
Cr [mg/kg]	0,26 ^{BC}	0,19 ^A	0,17 ^A	0,24 ^F	0,21	0,19 ^D
Cu [mg/kg]	2,42 ^C	2,15 ^C	1,62 ^{AB}	2,39 ^{EF}	2,02 ^{DF}	1,65 ^{DE}
Fe [mg/kg]	60,5	50,9	54,7	56,9	54,4	57,1
K [mg/kg]	4939	5046	4719	4804	4589	4749
Mg [mg/kg]	715	854	916 ^F	678	685	621 ^C
Mn [mg/kg]	1019	898	643	1162 ^F	904	739 ^D
N [%]	1,39 ^{BC}	1,29 ^{AC}	1,16 ^{AB}	1,39 ^{EF}	1,28 ^D	1,20 ^D
Ni [mg/kg]	0,99 ^C	0,78 ^E	0,65 ^A	1,35 ^F	1,46 ^{BF}	0,92 ^{DE}
P [mg/kg]	1294	1299	1211	1255	1189	1123
Pb [mg/kg]	0,27 ^B	< 0,20 ^A	< 0,20	0,27 ^E	< 0,20 ^D	< 0,20
S [mg/kg]	1006 ^{BC}	913 ^A	860 ^A	972 ^F	926 ^F	848 ^{DE}
Zn [mg/kg]	20,9 ^{CD}	23,6	28,9 ^{AF}	27,6 ^{AEF}	20,8 ^D	19,3 ^{CD}

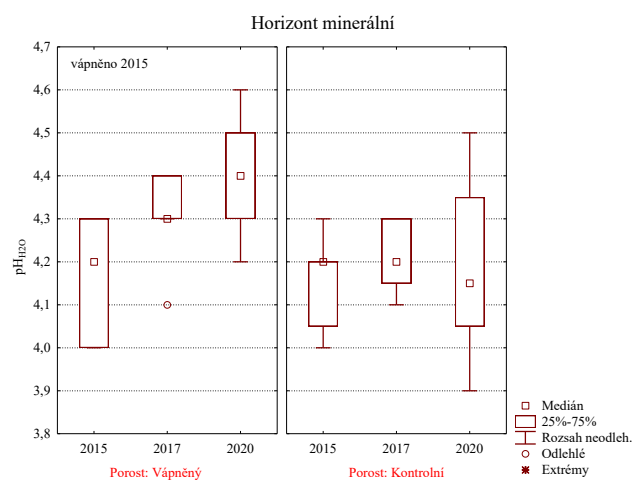
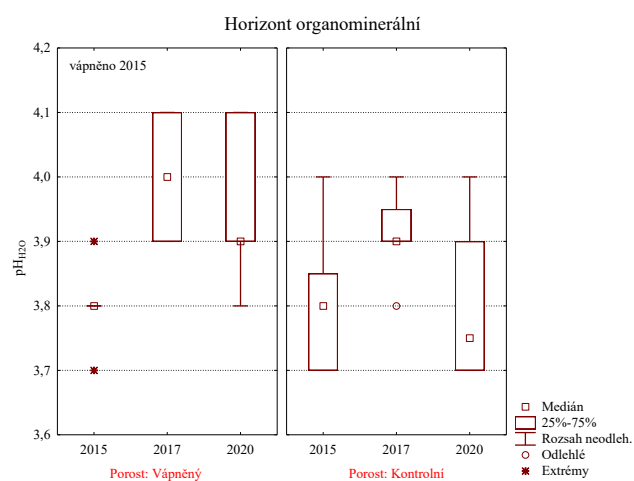
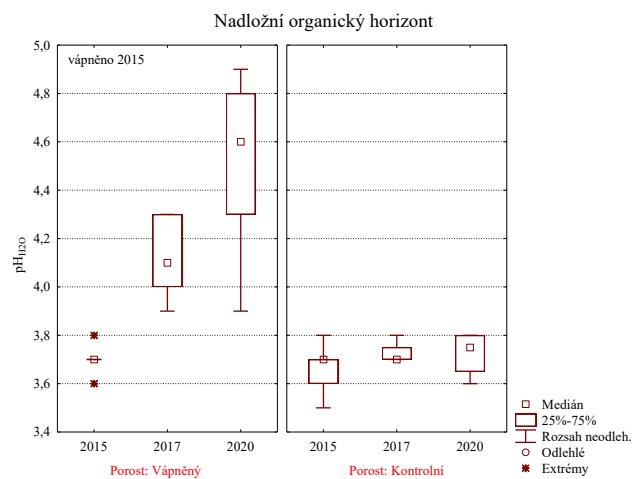
-- hodnota neuvedena pro vysoký výskyt hodnot pod limitem detekce

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

7.2. Grafy

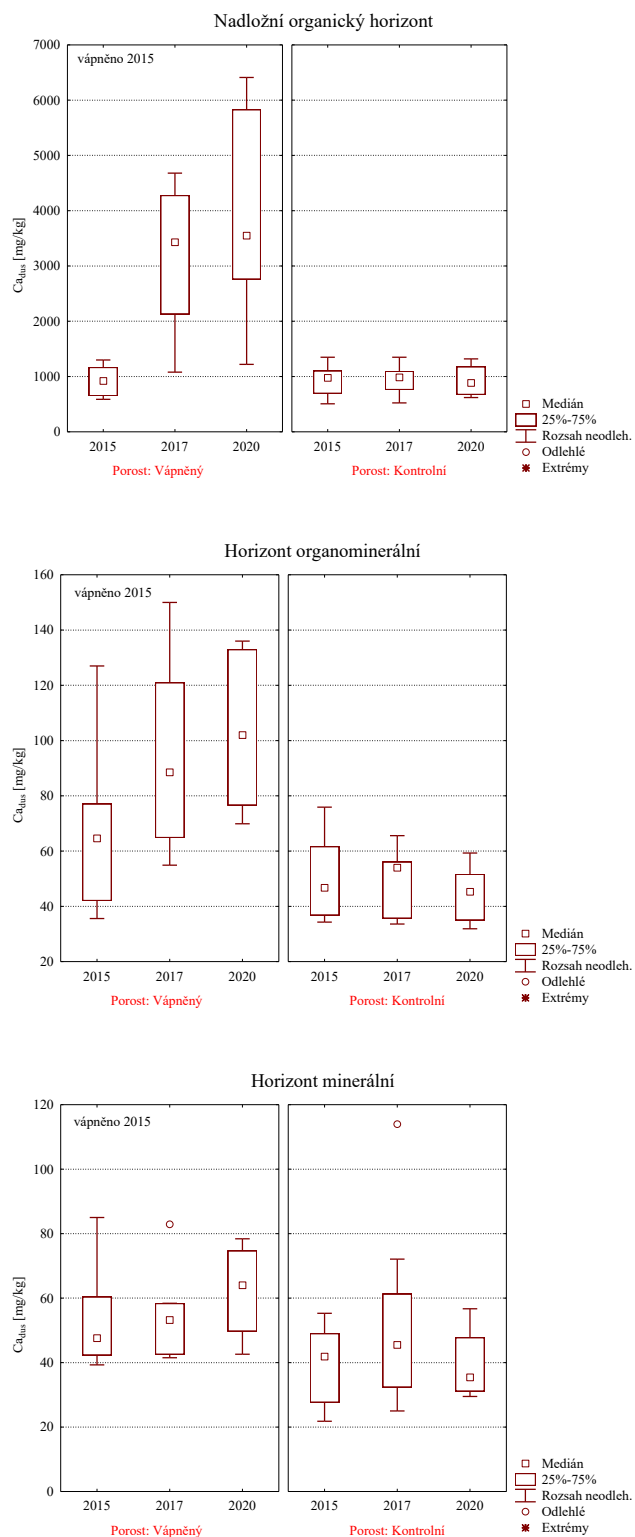
7.2.1. pH_{H_2O}

Hodnoty pH_{H_2O} zjištěné v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

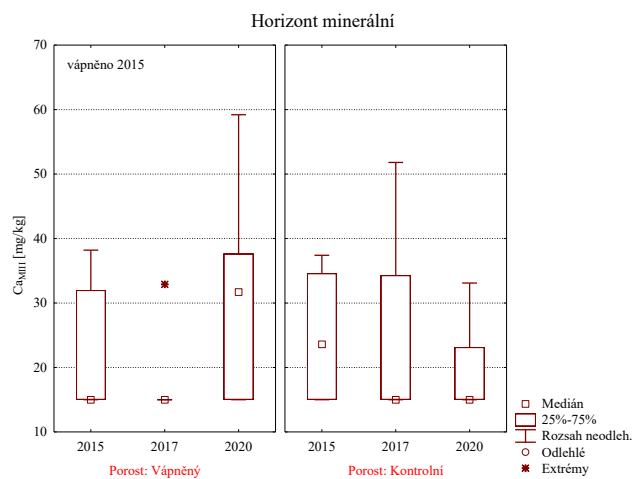
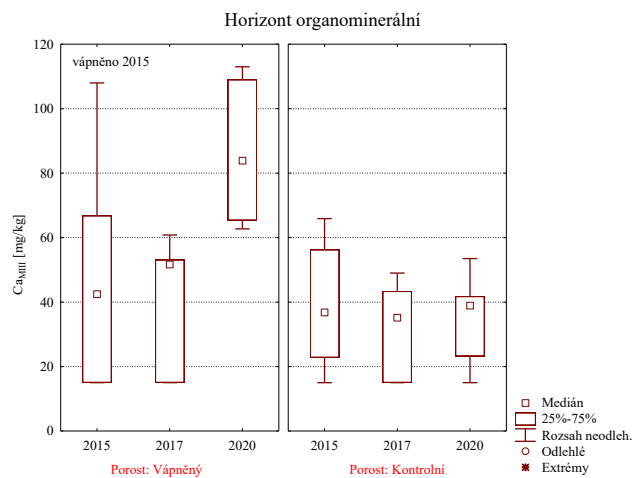


7.2.2. Vápník

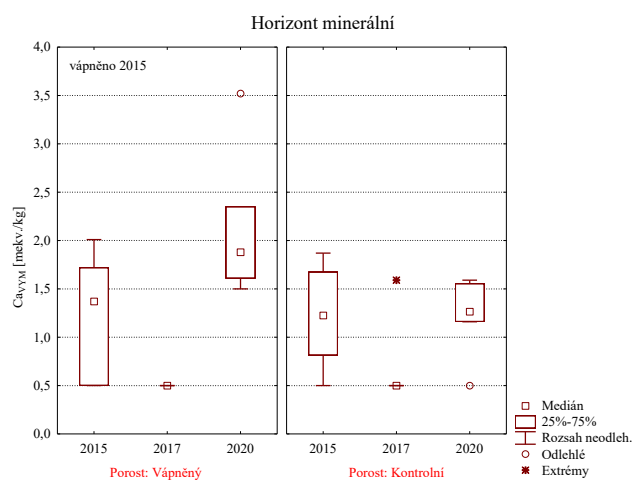
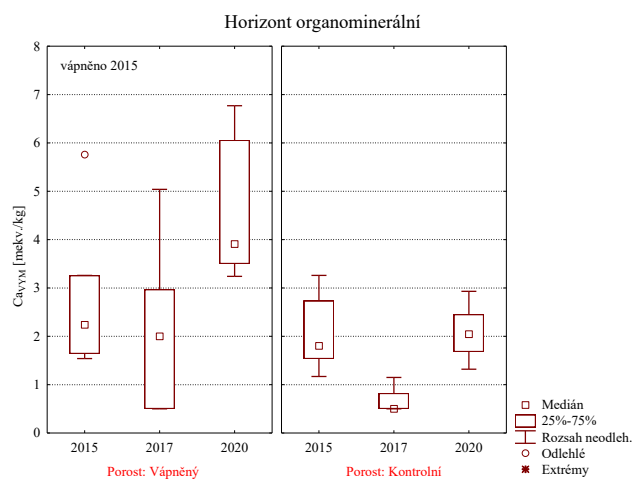
Obsah extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)



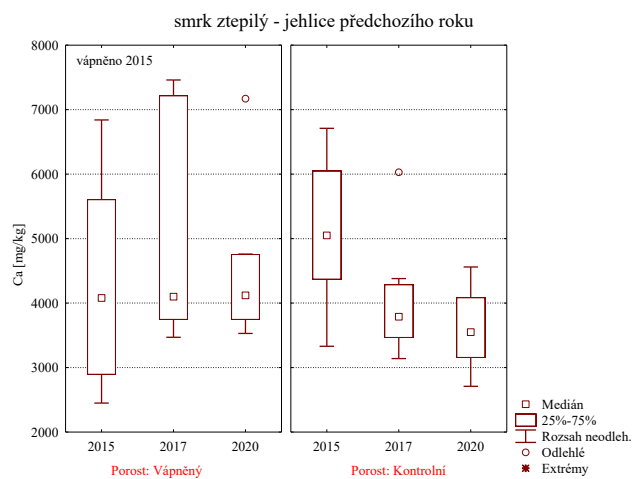
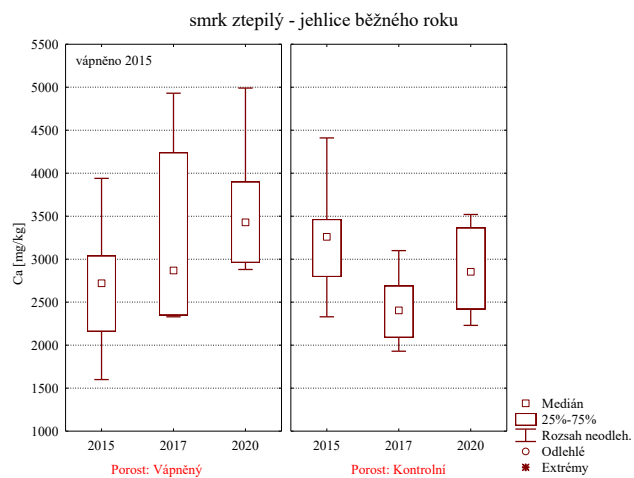
Přístupný obsah vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)



Obsah výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

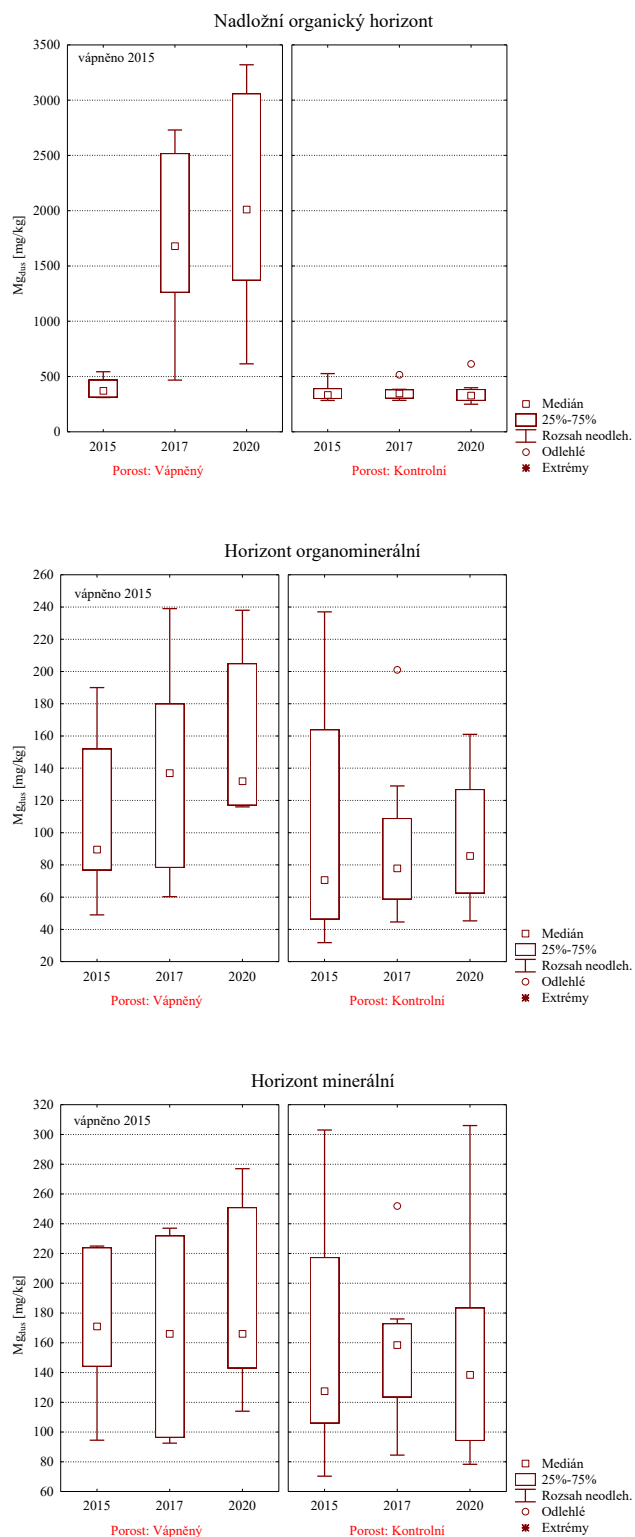


Obsah vápníku (Ca) v jehlicích smrku ztepilého před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

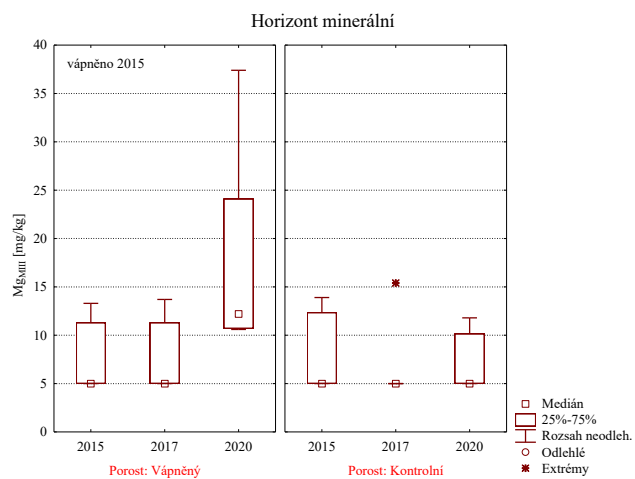
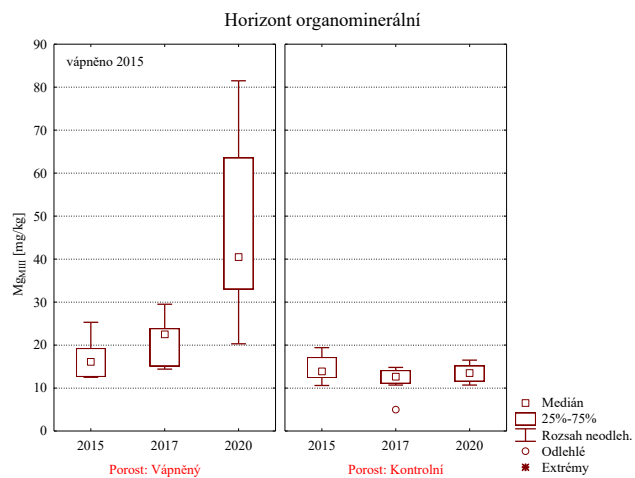


7.2.3. Hořčík

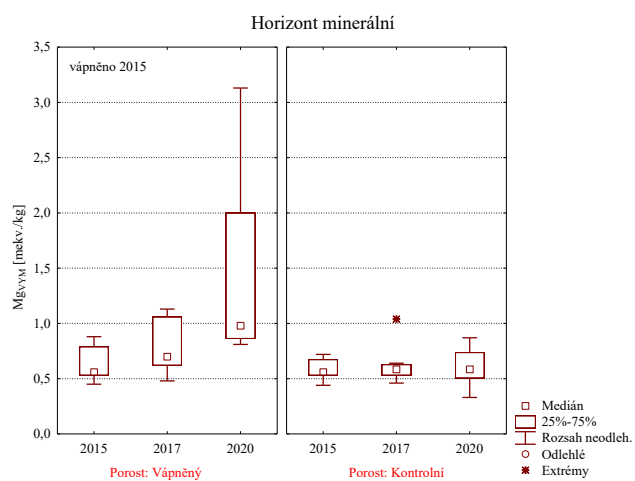
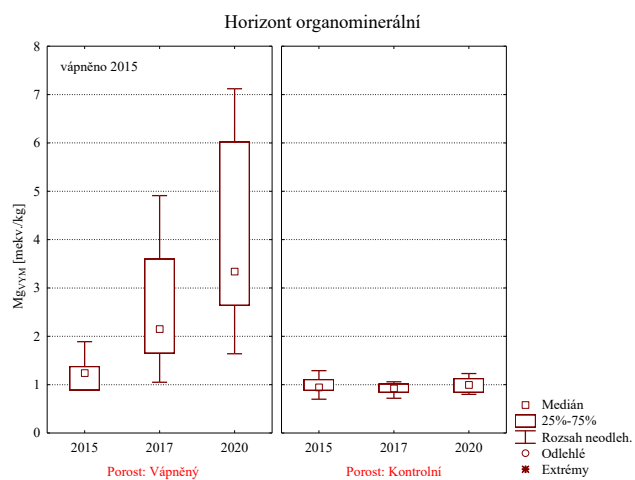
Obsah extrahovatelného hořčíku ($Mg_{\text{duš}}$) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)



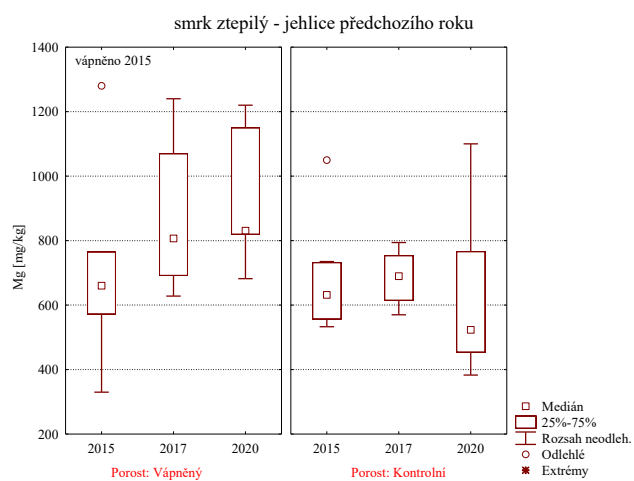
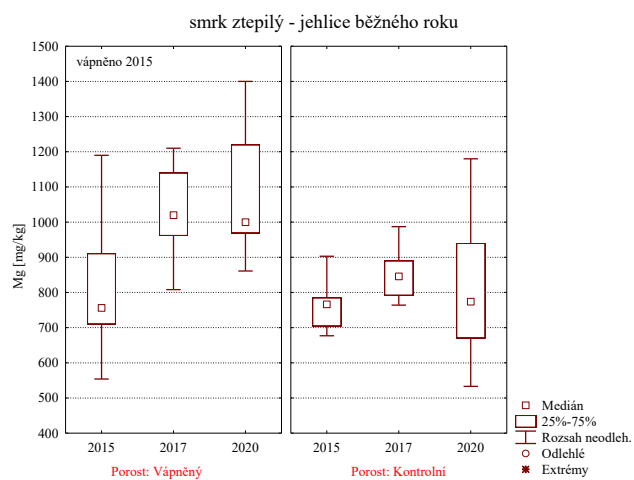
Přístupný obsah hořčíku (Mg_{III}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)



Obsah výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

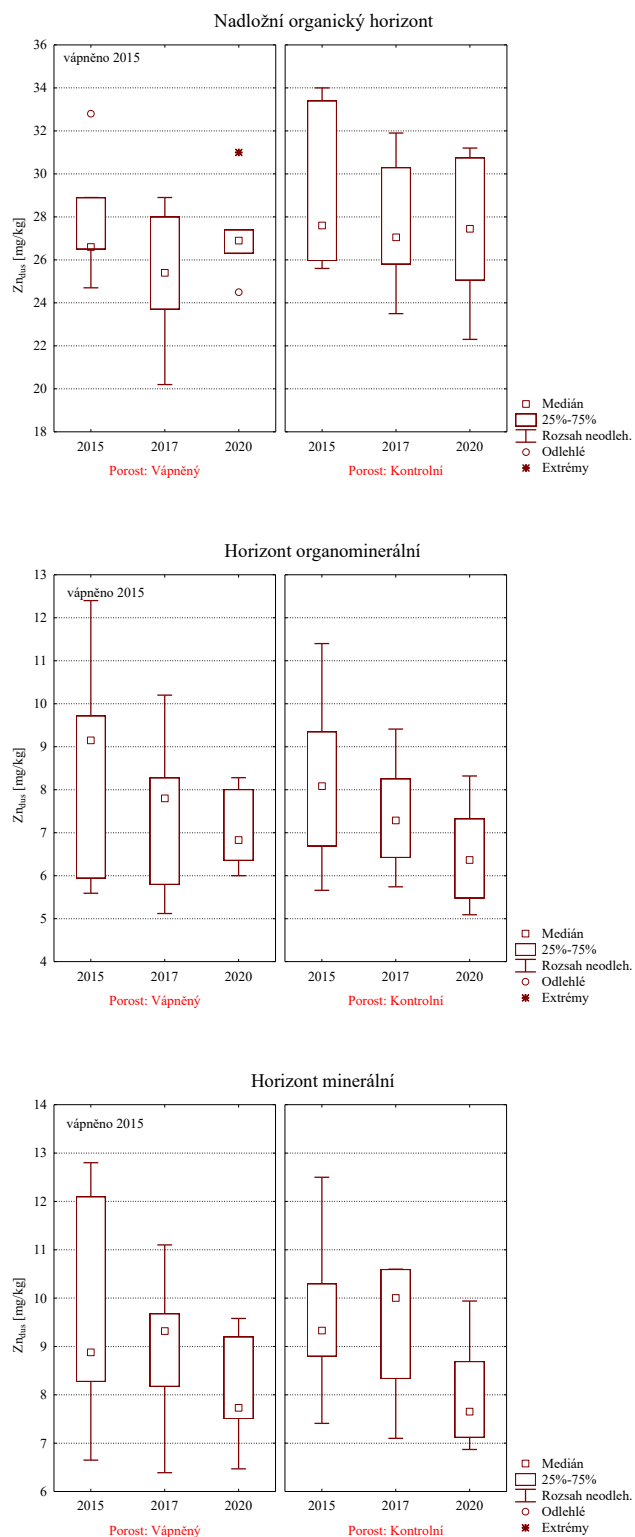


Obsah hořčíku (Mg) v jehlicích smrku ztepilého před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

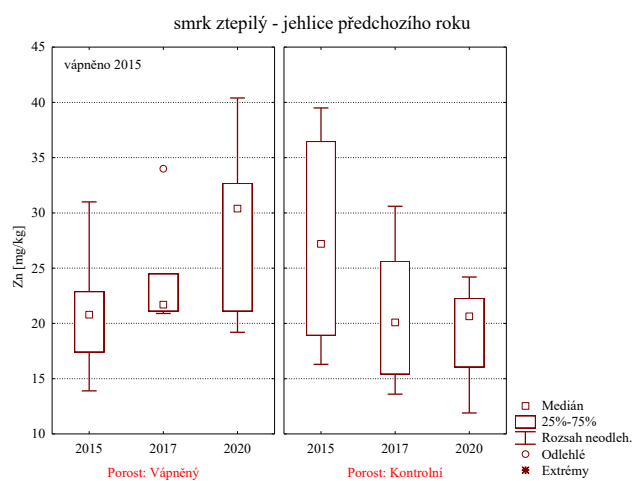
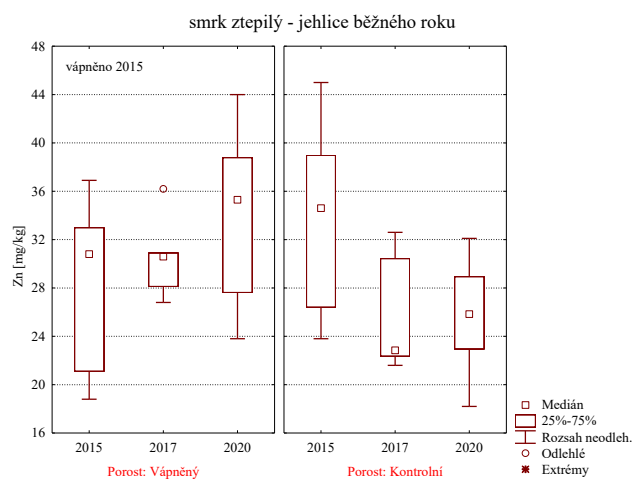


7.2.4. Zinek

Obsah extrahovatelného zinku (Zn_{du}) v půdních horizontech před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)



Obsah zinku (Zn) v jehlicích smrku ztepilého před vápněním (2015), dva roky po vápnění (2017) a pět let po vápnění (2020)

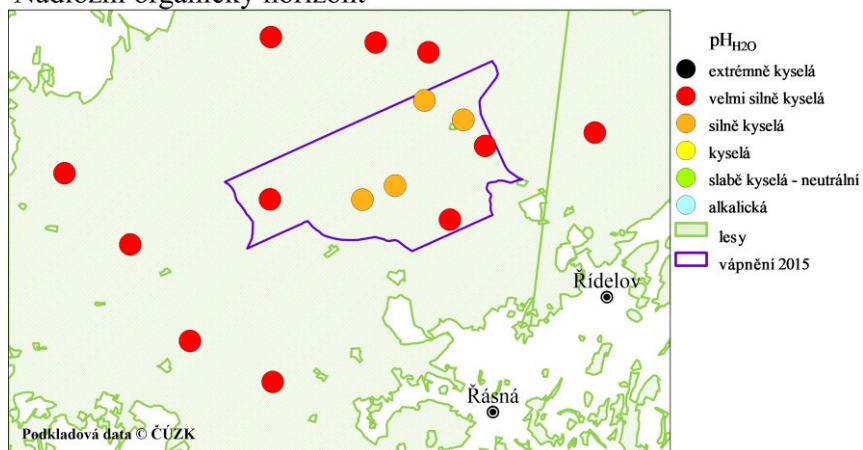


7.3. Kartogramy

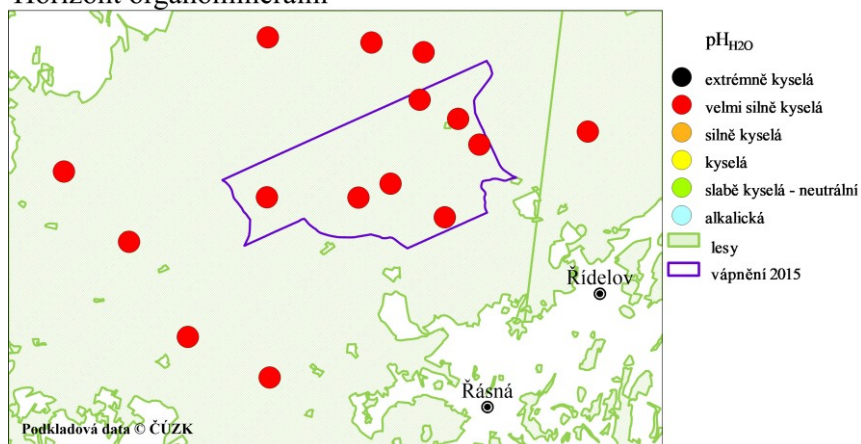
7.3.1. pH_{H_2O}

Kartogramy hodnocení pH_{H_2O} v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

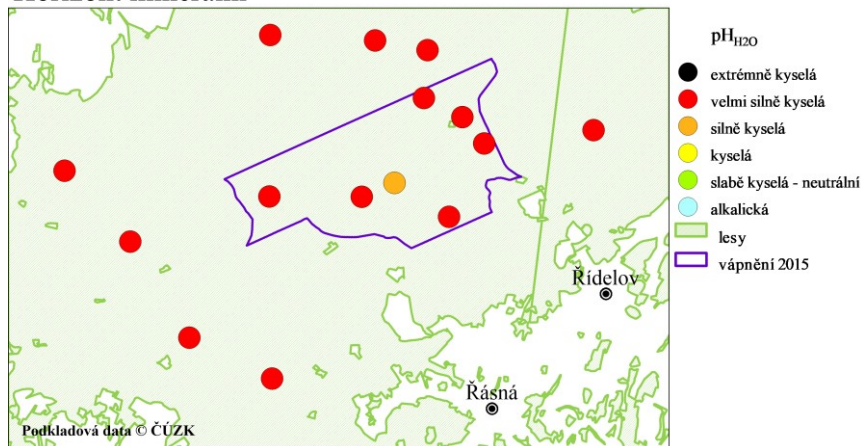
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální



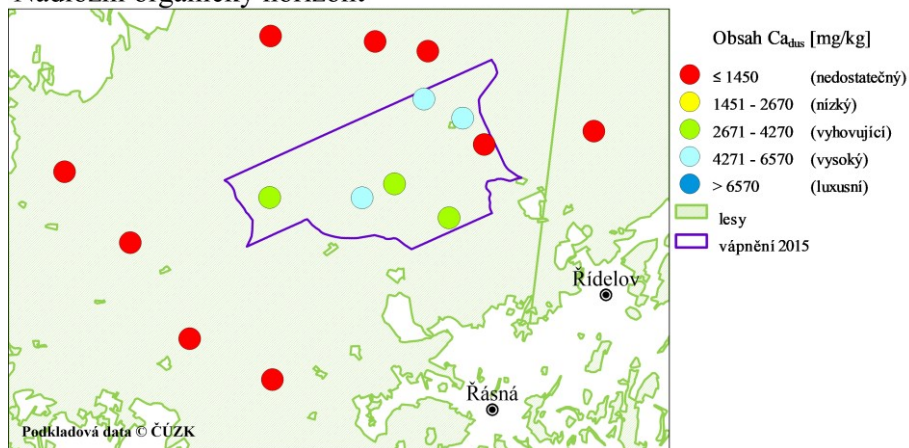
Horizont minerální



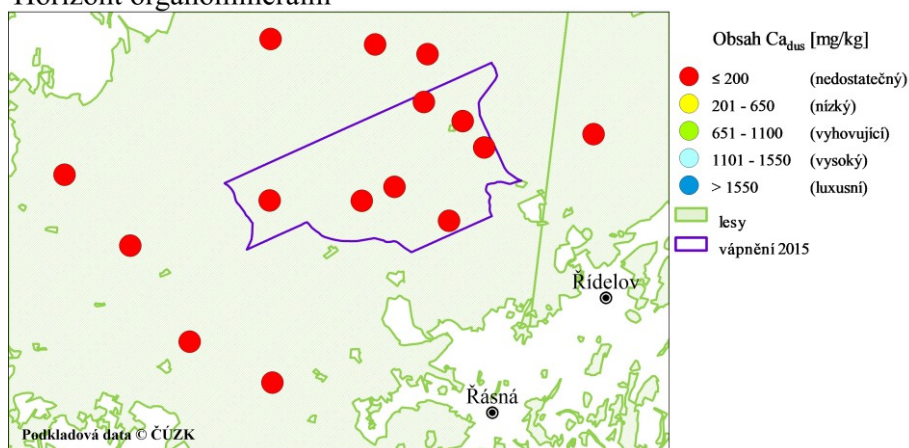
7.3.2. Vápník

Kartogramy obsahu extrahovatelného vápníku (Ca_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

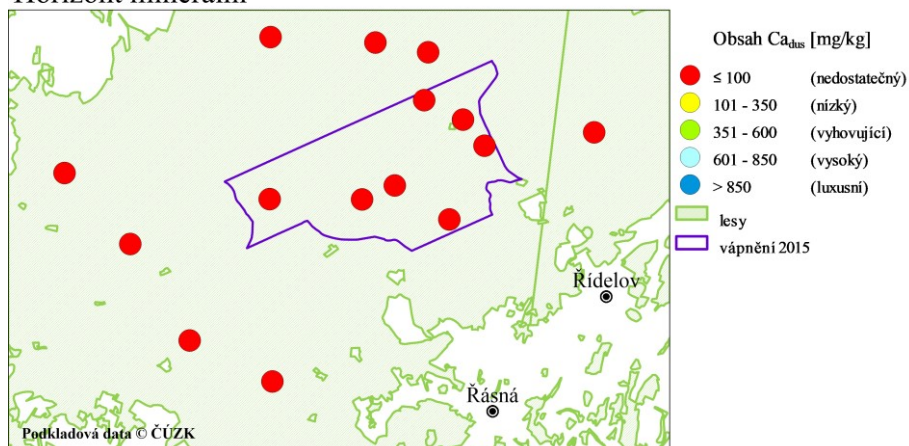
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

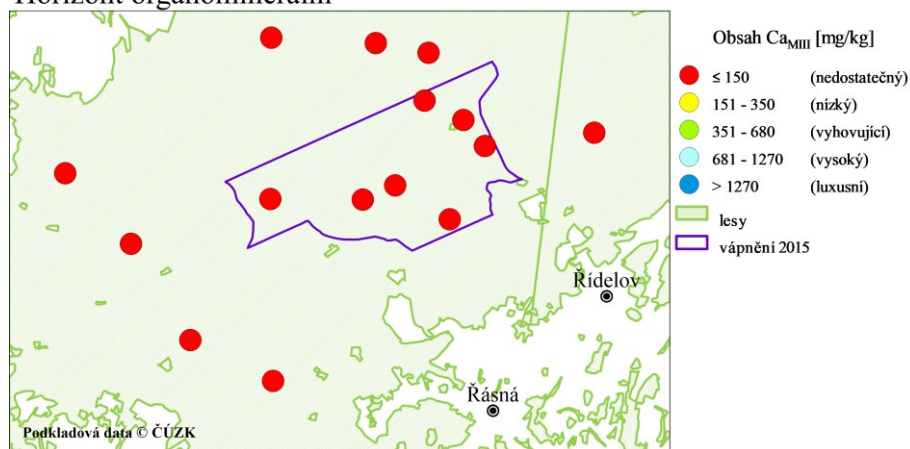


Horizont minerální

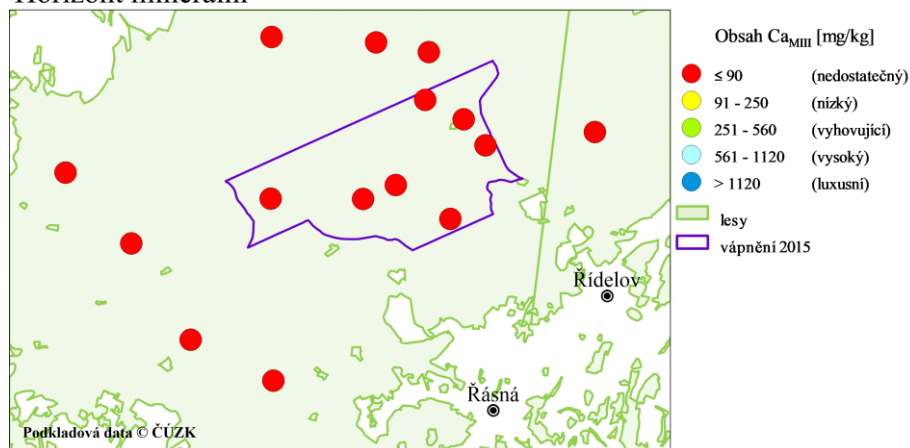


Kartogramy přístupného obsahu vápníku (Ca_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

Horizont organominerální

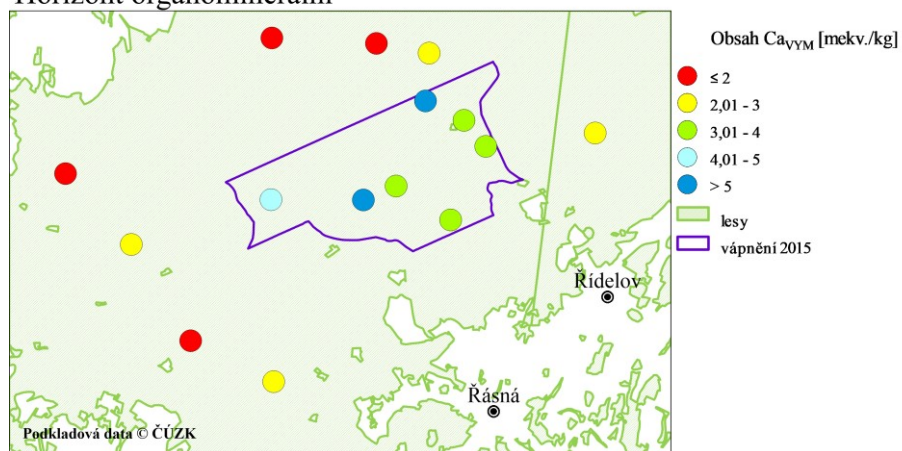


Horizont minerální

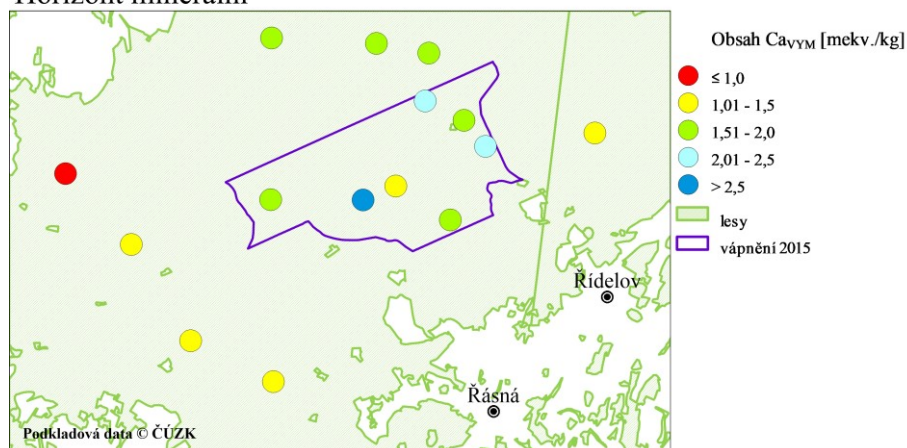


Kartogramy obsahu výměnných kationtů vápníku (Ca_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

Horizont organominerální

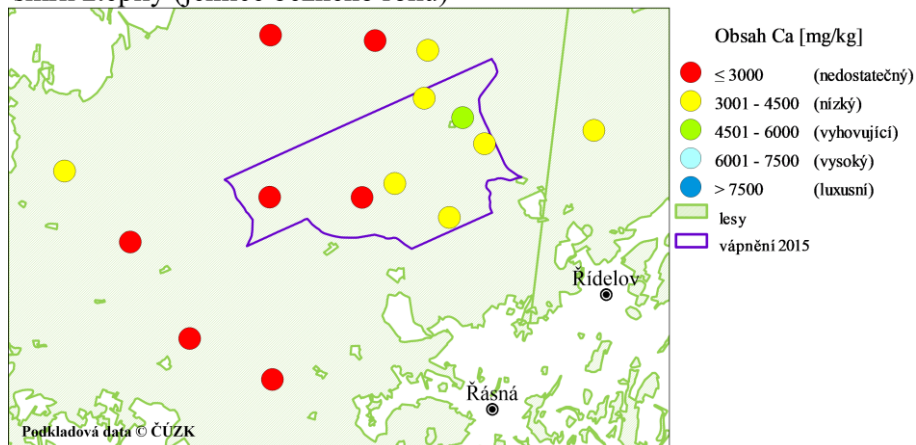


Horizont minerální

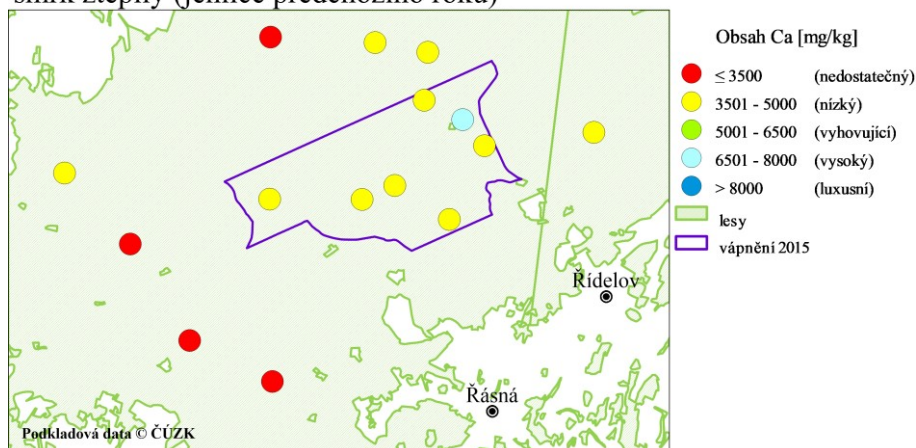


Kartogramy obsahu vápníku (Ca) v jehlicích smrku ztepilého pět let po vápnění (2020)

smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



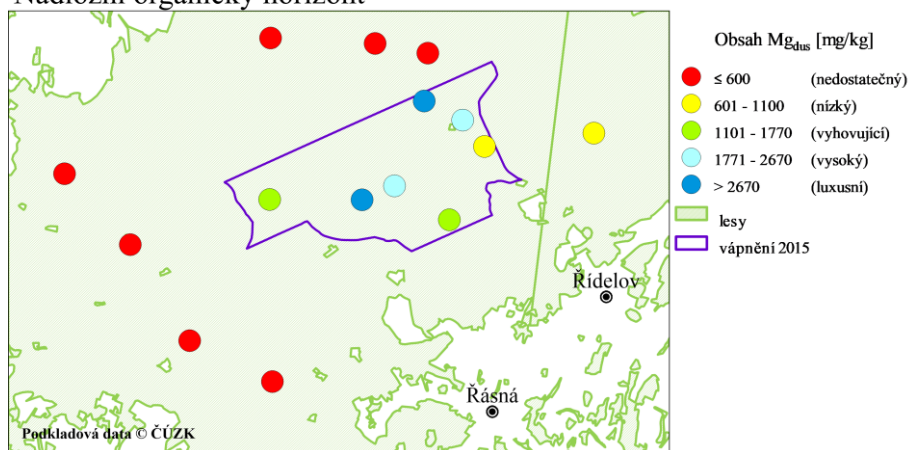
smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)



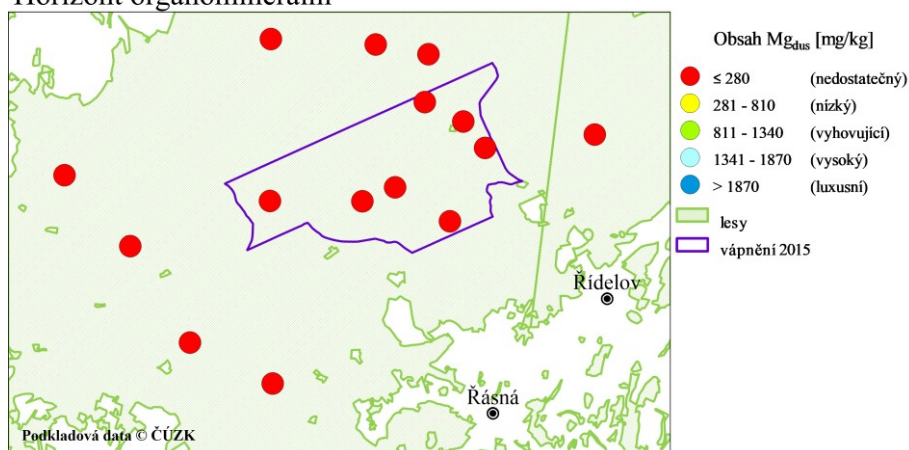
7.3.3. Hořčík

Kartogramy obsahu extrahovatelného hořčíku (Mg_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

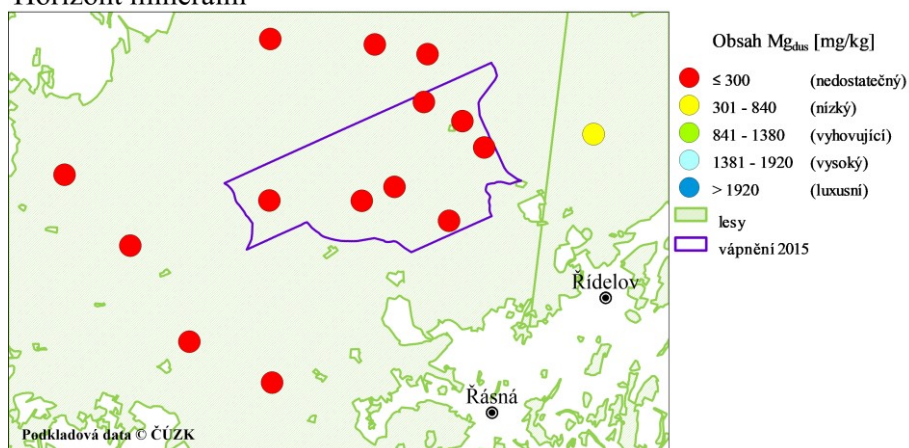
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

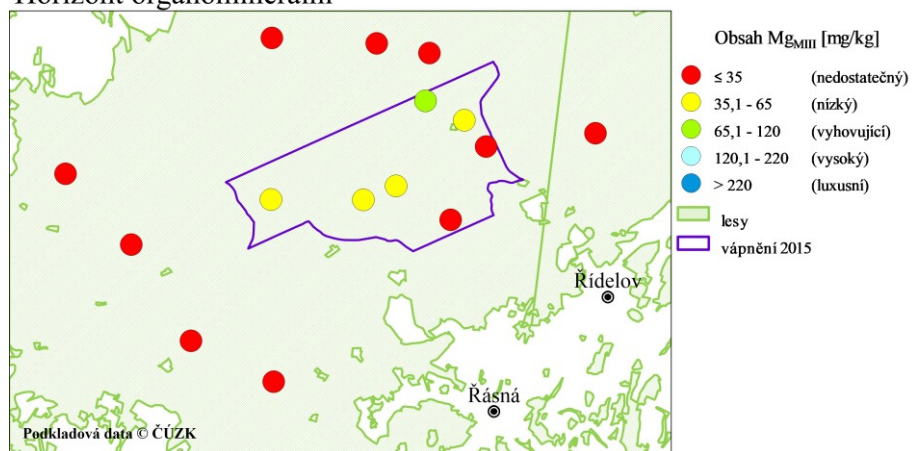


Horizont minerální

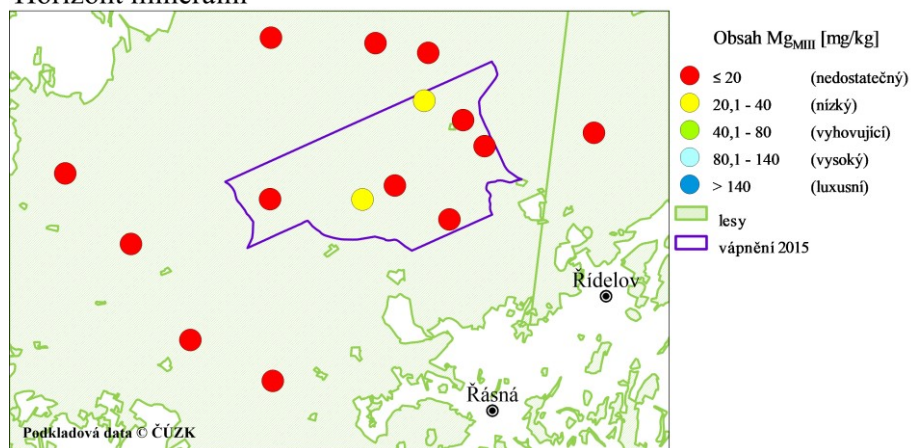


Kartogramy přístupného obsahu hořčíku (Mg_{MIII}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

Horizont organominerální

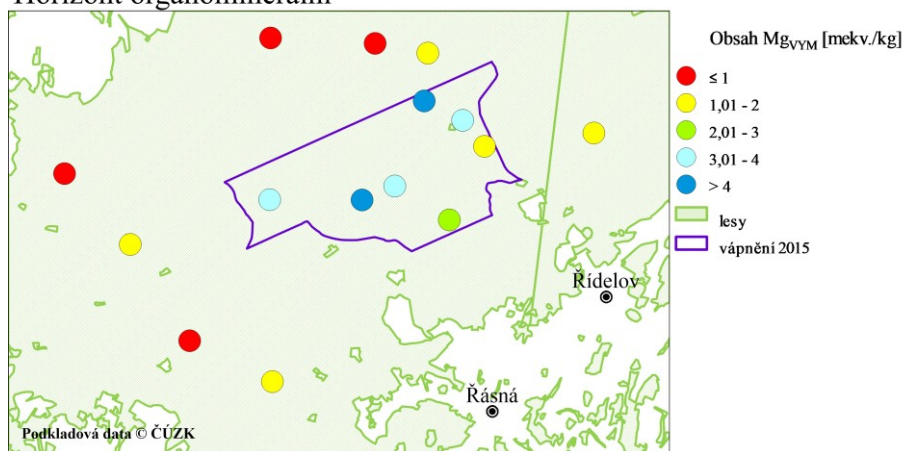


Horizont minerální

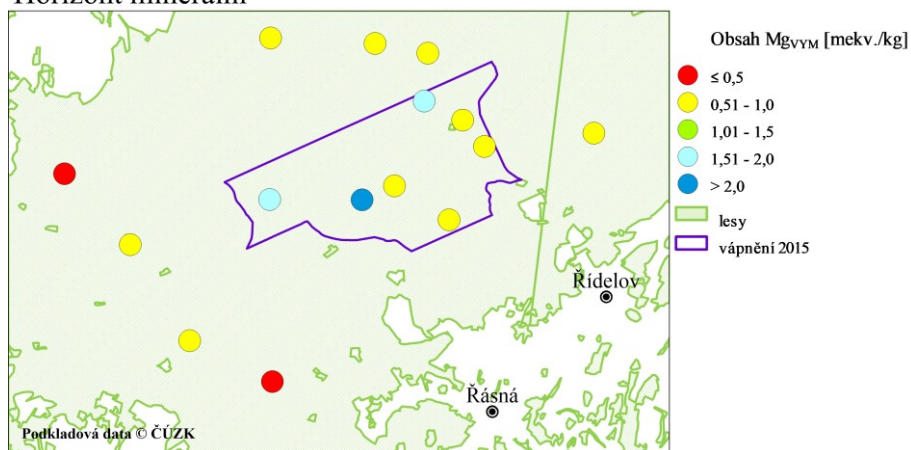


Kartogramy obsahu výměnných kationtů hořčíku (Mg_{VYM}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

Horizont organominerální

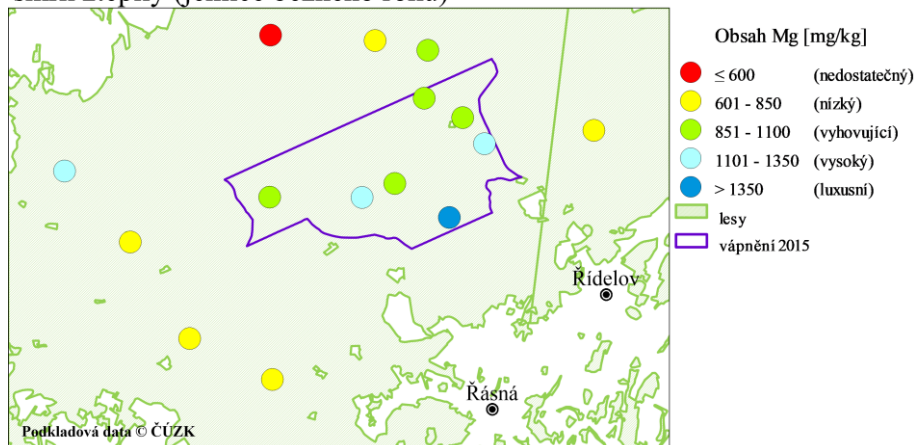


Horizont minerální

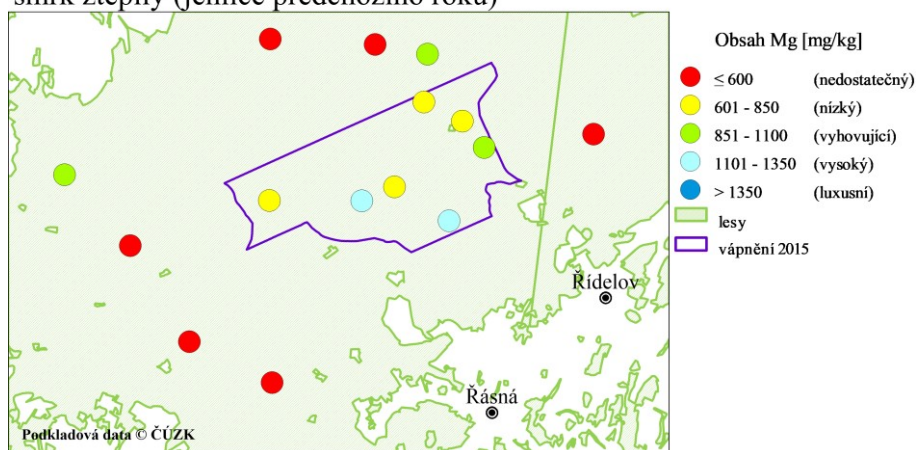


Kartogramy obsahu hořčíku (Mg) v jehlicích smrku ztepilého pět let po vápnění (2020)

smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



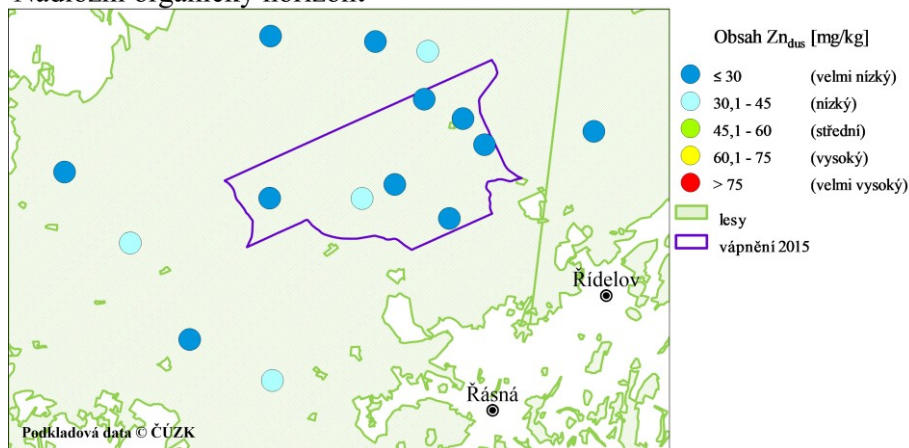
smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)



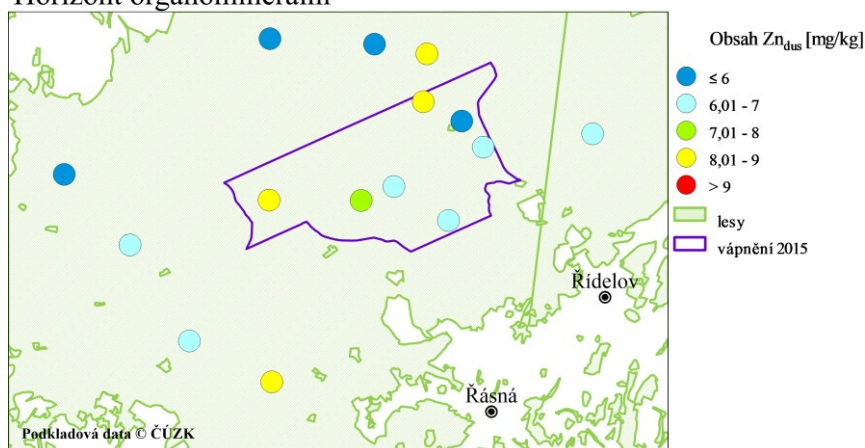
7.3.4. Zinek

Kartogramy obsahu extrahovatelného zinku (Zn_{dus}) v půdních horizontech pět let po vápnění (2020)

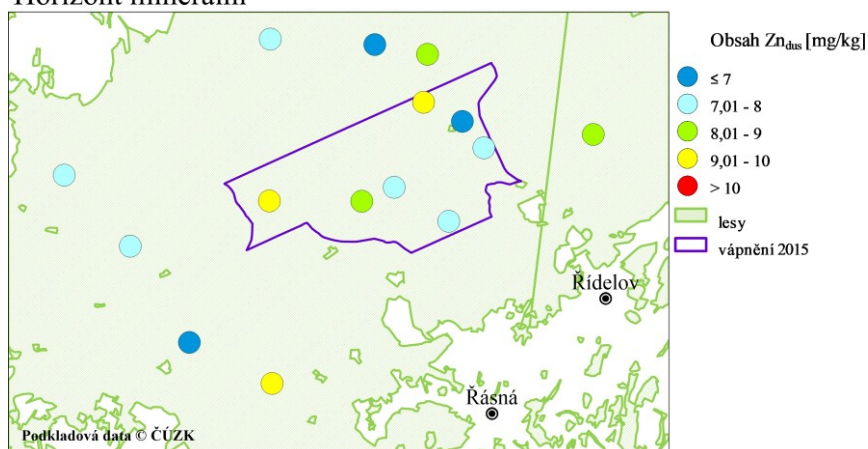
Nadložní organický horizont



Horizont organominerální

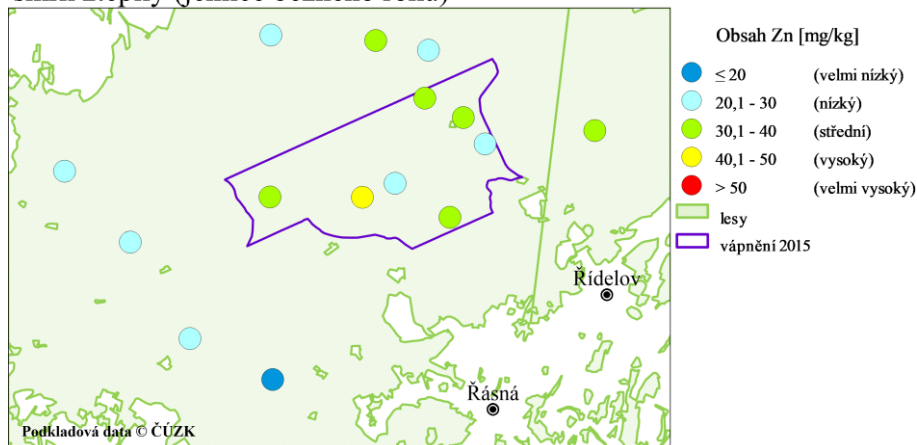


Horizont minerální



Kartogramy obsahu zinku (Zn) v jehlicích smrku ztepilého pět let po vápnění (2020)

smrk ztepilý (jehlice běžného roku)



smrk ztepilý (jehlice předchozího roku)

