

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Nízkomolekulární organické kyseliny v půdním prostředí
pod různým vegetačním pokryvem**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Michala Šlechtová

**Vedoucí práce: Ing Ondřej Drábek Ph.D.
Konzultant: RNDr. Václav Tejnecký Ph.D.**

© 2013 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Nízkomolekulární organické kyseliny v půdním prostředí pod různým vegetačním pokryvem" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2013

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu práce Ing. Ondřejovi Drábkovi Ph.D. za vedení práce, jeho moudré rady, věcné připomínky a velkou trpělivost. Dále děkuji mému konzultantovi RNDr. Václavovi Tejneckému Ph.D. za odborné vedení v laboratoři, pomoc se zpracováním údajů a statistikou, za jeho dobrou náladu a ještě větší trpělivost.

Další díky patří mým drahým přítelkyním, které při mně stály v dobrém i zlém a vždy mně morálně podporovaly - Kačce, Šárce, Simče a Anetce. Dále děkuji Luděkovi Poláčkovi za pomoc s literaturou a za jeho velkou ochotu a ohleduplnost.

Velké poděkování patří mé rodině, hlavně mamce a babičce Lence, bez kterých by studium ani psaní této práce nebylo možné.

Největší díky patří mé Aničce, která i ve svých třech letech byla velice chápající a velmi uvědomělá. Dopřála mi čas a prostor ke studiu a dokázala ustoupit se svými nároky na můj čas, když jsem potřebovala pracovat.

Nízkomolekulární organické kyseliny v půdním prostředí pod různým vegetačním pokryvem

Low molecular mass organic acids in soil under different vegetation cover

Souhrn

Nízkomolekulární organické kyseliny (octová, mravenčí, máselná, jablečná, šťavelová, aj.) jsou nedílnou součástí půdního prostředí a mobilní frakce organické hmoty – rozpuštěné organické hmoty. Svým chemickým složením a chováním se řadí do skupiny DOC. Hrají důležitou roli v půdě, hlavně v oblasti rhizosféry.

V půdách LMMOA ovlivňují půdotvorné procesy. Je to převážně tím, že se podílejí na změně chemických a biologických procesů v půdě. Zasahují do celého koloběhu živin (např. Cu, Mn, Zn, Fe, P, S) a zvyšují jejich mobilitu. Pro půdní mikroorganismy jsou LMMOA snadno dostupný zdroj organického C, tedy zdroj energie. V půdním roztoku se chovají jako ligandy, prostřednictvím komplexotvorných reakcí s kovy a rizikovými prvky napomáhají k rozpustnosti nebo případné detoxikaci rizikových prvků.

Do půdního prostředí se LMMOA dostávají několika způsoby. Jsou to kořenová exudace rostlin, metabolity půdních mikroorganismů, z vyluhování a degradace organické hmoty. Jejich způsob produkce, infiltrace do půdy a další interakce značně ovlivňují jejich koncentraci v půdě.

Tato práce studuje vliv vegetace na koncentraci LMMOA v půdním prostředí. Porovnává jednotlivé horizonty na zvolených lokalitách s odlišným druhovým zastoupením vegetačního pokryvu a to: brusnicový bor; suťový les s výskytem buku, lípy, javoru; bukový les; dubohabrový; olšový les a smrkový les. Nízkomolekulární organické kyseliny byly prokázány v lesních půdách a to vždy s jinou koncentrací pod různým vegetačním pokryvem. Bylo zjištěno, že na obsah LMMOA má vliv množství organické hmoty obsažené v půdě. Koncentrace LMMOA se v jednotlivých horizontech snižovaly s přibývajícím hloubkou.

Klíčová slova: Nízkomolekulární organické horizonty, vegetační pokryv, půdní prostředí, horizonty

Summary

Low molecular mass organic acids (acetic, formic, butyric, malic, oxalic, etc.) are an integral part of the soil and the mobile fraction of organic matter - dissolved organic matter. Their chemical composition and behavior belong to a group DOC. They play an important role in the soil, mainly in the rhizosphere.

In soils LMMOA affect pedogenic processes, primarily by contributing to the change in the chemical and biological processes in the soil. They intervene in the cycle of nutrients (e.g. Cu, Mn, Zn, Fe, P, S) and increase their mobility. LMMOA are readily available source of organic carbon for soil microorganisms, thus an energy source. In the soil solution they behave as ligands by complexing reactions with metals and hazardous elements, contribute to solubility or even detoxification of hazardous elements.

LMMOA come into the soil in several ways. These are the root exudates of plants, soil microbial metabolites, degradation and leaching of organic matter. Their production method, infiltration into the soil and other interactions significantly affect their concentration in the soil.

This paper examines the effect of vegetation on LMMOA concentration in the soil environment. It compares individual horizons at selected locations with different generic representation of vegetation cover, namely: made of cranberry boron; forest debris with the occurrence of beech, linden, maple; beech forest; hornbeam forest; alder forest and spruce forest. LMMOA were detected in forest soils, and always with a different concentration under different vegetation cover. It was found that the content LMMOA affects the amount of organic matter in the soil. LMMOA concentration in individual horizons decreased with increasing depth.

Keywords: Low molecular mass organic acids, vegetation cover, soil environment, horizons

Obsah

1	Úvod	9
2	Vědecká hypotéza	10
3	Cíle práce	11
4	Literární přehled.....	12
4.1	Půdní organická hmota	12
4.2	Nízkomolekulární organické kyseliny	13
4.2.1	Klasifikace a chemické složení nízkomolekulárních organických kyselin	13
4.3	Nízkomolekulární organické kyseliny v půdním prostředí	14
4.3.1	Rhizosféra	15
4.3.2	Kořenová exudace.....	16
4.3.3	Metabolity bakterií a hub	17
4.3.4	Vyluhování z lesního opadu a dekompozice organické hmoty	17
4.4	Interakce nízkomolekulárních organických kyselin.....	18
4.4.1	Tvorba komplexů s kovy	18
4.4.2	Sorpce na minerální fázi půdy	19
4.5	Lesy mírného pásu	19
4.6	Lesní půdy mírného pásu	20
4.7	Organické půdní horizonty.....	21
4.8	Metody extrakce a analýzy nízkomolekulárních organických kyselin z půdního prostředí	22
5	Metodika a materiál.....	24
5.1	Zájmové lokality	24
5.1.1	Rašelinný brusnicový bor Radostínské rašeliniště (lokalita č. 1)	24
5.1.2	Suťový les u vrchu Věrovka (lokalita č. 2).....	26
5.1.3	Bučina u vrchu Věrovka (lokalita č. 3).....	28
5.1.4	Dubohabřina u vrchu Doutnáč (lokalita č. 4)	29
5.1.5	Olšina Benešův luh (lokalita č. 5).....	31
5.1.6	Kulturní smrkový les u obce Březí (lokalita č. 6).....	33
5.2	Odběr půdních vzorků.....	35
5.3	Analýzy půdních vzorků	36
5.3.1	Anorganické a organické anionty	37
5.3.2	Kationty	37
5.3.3	Speciace hliníku	37
5.3.4	Stanovení DOC	38
5.3.5	Stanovení prvků ve vodném extraktu	38
5.4	Statistické vyhodnocení	38

6	Výsledky.....	39
6.1	Hodnoty pH na jednotlivých lokalitách	39
6.2	Obsah rozpuštěného organického uhlíku na jednotlivých lokalitách.....	39
6.2.1	Obsah rozpuštěného organického uhlíku v horizontech na jednotlivých lokalitách.....	40
6.3	Obsah nízkomolekulárných organických kyselin v L horizontech na jednotlivých lokalitách.....	41
6.3.1	Obsah šŕavelanů v L horizontech	42
6.3.2	Obsah octanů v L horizontech	43
6.3.3	Obsah mléčnanů v L horizontech	44
6.3.4	Obsah mravenčanů v L horizontech	44
6.3.5	Obsah jablečnanů v L horizontech.....	45
6.3.6	Obsah citrátů v L horizontech.....	46
6.3.7	Obsah propionátů v L horizontech.....	46
6.3.8	Obsah máselnanů v L horizontech.....	47
6.3.9	Obsah vinanů v L horinontech.....	48
6.3.10	Obsahy maleátů v L horizontech	48
6.4	Obsah nízkomolekulárných organických kyselin v F horizontech na jednotlivých lokalitách.....	49
6.4.1	Obsahy octanů v F horizontech	50
6.4.2	Obsahy mléčnanů v F horizontech.....	50
6.4.3	Obsah propionátů v F horizontech.....	51
6.4.4	Obsah mravenčanů v F horizontech.....	52
6.4.5	Obsah máselnanů v F horizontech	52
6.4.6	Obsah jablečnanů v F horizontech.....	53
6.4.7	Obsah šŕavelanů v F horizontech	54
6.4.8	Obsah citrátů v F horizontech.....	54
6.4.9	Obsah vinanů v F horizontech	55
6.4.10	Obsah maleátů v F horizontech	56
6.5	Obsah nízkomolekulárných organických kyselin v H horizontech na jednotlivých lokalitách.....	56
6.5.1	Obsah octanů v H horizontech.....	57
6.5.2	Obsah šŕavelanů v H horizontech.....	57
6.5.3	Obsah mravenčanů v H horizontech.....	58
6.5.4	Obsah jablečnanů v H horizontech	59
6.5.5	Obsah maleátů v H horizontech.....	60
6.5.6	Obsah propionů, máselnanů a citrátů.....	60
6.6	Obsah nízkomolekulárných organických kyselin v A horizontech na jednotlivých lokalitách.....	61
6.6.1	Obsah mléčnanů v A horizontech.....	62
6.6.2	Obsah octanů v A horizontech.....	62
6.6.3	Obsah propionátů v A horizontech	63

6.6.4	Obsah mravenčanů v A horizontech.....	64
6.6.5	Obsah máselnanů v A horizontech	64
6.6.6	Obsah jablečnanů v A horizontech	65
6.6.7	Obsah šťavelanů v A horizontech.....	66
6.6.8	Obsahy citrátů a maleátů v A horizontech.....	66
6.7	Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v B horizontech na jednotlivých lokalitách.....	67
7	Diskuse	68
7.1	Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v půdě v závislosti na obsahu půdní organické hmoty	68
7.2	Porovnání obsahů LMMOA jednotlivých lokalit	70
7.3	Porovnání obsahů LMMOA horizontů	71
7.4	Interakce nízkomolekulárních organických kyselin.....	76
8	Závěr	78
9	Seznam literatury.....	79
9.1	Internetové zdroje.....	83

1 Úvod

Lesní ekosystémy jsou nedílnou součástí životního prostředí. Zaujímají přibližně 30 % celkové plochy České republiky. Lesy mají velký význam pro vytváření ochranných podmínek a pro biologickou rozmanitost. Jsou důležité při vytváření půdotvorného prostředí na zalesněných lokalitách.

Za poslední století se charakter lesních stanovišť poměrně změnil. Díky intenzifikaci hospodaření v lesích vzrůstá jejich uniformita, zvyšuje se jejich fragmentace a zavlečení či úmyslné vyžívání exotických druhů dřevin (invazních) může vést k poklesu důležitých půdotvorných procesů (MŽP, Natura 2000; 2004)

Různorodost lesních stanovišť mění stanovištní půdotvorné podmínky. Vegetace (stromy v tomto případě) se podílí na obsahu organické hmoty v půdě. Lesní opad (listy, větve, kůra) podléhá postupné degradaci a do půdy se tak dostává velice kvalitní organická hmota, která s horninového prostředí vytváří půdu. Dále se rostliny svým kořenovým systémem významně podílejí na biologických i chemických procesích. Díky kořenové exudaci produkují do prostředí rhizosféry organické sloučeniny. Součástí těchto organických sloučenin jsou i nízkomolekulární organické kyseliny, které napomáhají změnou chemismu v půdním prostředí zlepšit mobilitu živin k rostlinám a detoxikaci rizikových prvků.

Původ nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA) v lesních půdách je dále přisuzován, uvolňování z půdních hub a bakterií, vyluhování z rozkládajícího se lesního opadu a degradací organické hmoty v půdě.

Tato práce je zaměřena na původ a vliv LMMOA na půdy lesních ekosystémů. Jsou zde posuzovány vybrané lokality s různým vegetačním pokryvem a vyhodnoceno zastoupení a koncentrace LMMOA v jednotlivých půdních horizontech.

2 Vědecká hypotéza

Nízkomolekulární organické kyseliny (LMMOA) (šřavelová, citrónová, malonová, jablečná, mléčná, atd.), se vyskytují v půdním prostředí především jako kořenové exudáty a mikrobiální produkty. LMMOA mají veliký význam pro koloběh živin a potenciální detoxikaci rizikových prvků. Tyto procesy jsou závislé na koncentraci a výskytu jednotlivých organických kyselin. Půdní prostředí je tak rozdílné díky odlišné vegetaci a tím se liší i koncentrace LMMOA, která se mění s různým vegetačním pokryvem. Předpokládá se, že každý rostlinný druh má průkazný vliv na kvalitativní i kvantitativní zastoupení LMMOA v celém půdním profilu.

Vegetační pokryv (stromové patro) a jednotlivé horizonty mají vliv na zastoupení a množství LMMOA v lesních půdách. LMMOA ovlivňují chování hliníku v půdním prostředí.

3 Cíle práce

- 1) stanovit kvalitativně i kvantitativně nízkomolekulární organické kyseliny v lesních půdách pod různým vegetačním pokryvem a přítomných půdních horizontech
- 2) posoudit vliv vegetačního pokryvu a vybraných pedologických charakteristik na množství a speciaci LMMOA
- 3) určit interakce LMMOA s hlavními volnými kationy přítomnými v půdním prostředí a rizikovými prvky

4 Literární přehled

4.1 Půdní organická hmota

Organická hmota je nedílnou součástí půdního prostředí. Její existence odlišuje půdu od půdního geologického substrátu, i když ve většině půd tvoří jen malý podíl celkové hmotnosti (nejčastěji 2 – 5 %). Je tvořena živou částí (mikroorganismy, rostliny, edafon) a neživou částí (primární organická hmota a humusové látky) (Sposito, 2008; Vaněk et al., 2010).

Rostliny, které patří do živé části organické hmoty, svým kořenovým systémem značně ovlivňují biologické i chemické procesy. Po odumření kořenového systému jsou kořeny hlavním zdrojem organického materiálu. Mikroedafon (bakterie, houby, aktinomyce, sinice, aj.) patří mezi neaktivnější živou organickou část hmoty. Podílí se na většině rozkladných, ale i transformačních procesů. K rozkladu organických sloučenin dochází v aerobním i anaerobním prostředí, kde se mikrobiální biomasa podílí na rozkladu organických sloučenin oxidací, jejichž součástí jsou i nízkomolekulární organické kyseliny (Monetti et Scranton, 1992; Fox 1995).

Neživá část organických látek v půdě, respektive primární organická hmota a humusové látky (huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy) mají v půdním prostředí naprosto rozdílné poslání a uplatnění, než živá organická hmota. Primární organická hmota představuje původní organickou hmotu (kořínky, listy, opad, edafon) v různém stupni rozkladu. Je zdrojem energie pro mikroorganismy, mineralizací organické hmoty je produkován CO_2 a ostatní minerální látky. Ty jsou zdrojem živin nejen pro rostliny. Primární organická hmota je zdrojem pro tvorbu humusových látek, podléhá mineralizaci a malá část je transportována do humusových látek (Vaněk et al., 2010). Humusové látky, které tvoří podstatu humusu, jsou složité vysokomolekulární látky a vznikají v procesu humifikace, tj. tvorba huminových látek, která je spojena především s mikrobiologickou degradací celulosy, ligninu a rostlinných proteinů obsažených v původní biomase (Čechlovská, 2007). Na rozdíl od primární organické hmoty nejsou zdrojem živin. Vyznačují se značnou stálostí a mají velké sorpční a iontově výměnné vlastnosti (Sposito, 2008). Mezi zdroje primární organické hmoty patří kořenová exudace. Jednodušší organické sloučeniny jsou produkovány do okolí kořenů, rhizosféry. Hlavní složkou organických látek v těchto kořenových sekretech jsou cukry (sacharóza) a organické kyseliny (jablečná, citrónová, vinná, fumarová, aminokyseliny, aj.), které poskytují mikroorganismům snadno dostupné zdroje organického C (Vaněk et al., 2010). Kolář et al.

(1984) uvádí, že celkové množství organických látek, které jsou kořenovou exudací vydávány do prostředí, je odhadováno na 1,0 – 1,5 t sušiny za rok (Vaněk et al., 2010).

4.2 Nízkomolekulární organické kyseliny

4.2.1 Klasifikace a chemické složení nízkomolekulárních organických kyselin

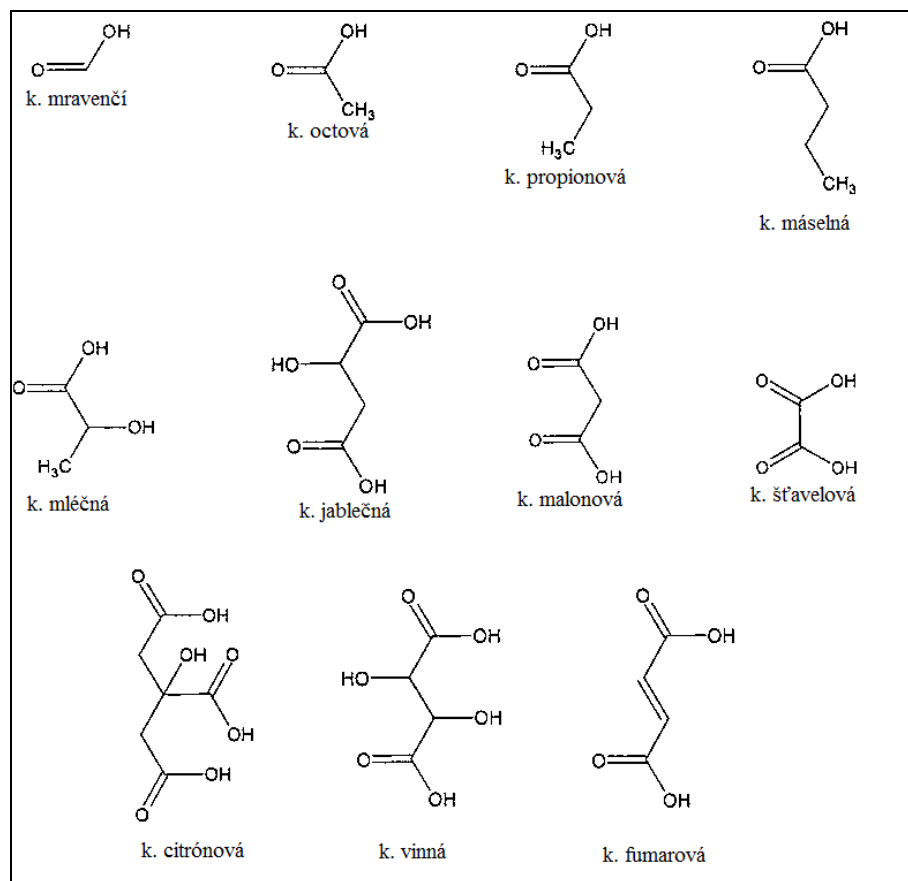
Nízkomolekulární organické kyseliny jsou organické látky složené z 1 - 6 uhlíků a z 1 - 3 karboxylových skupin (tab. 1). Jsou to převážně alifatické mono-, di- a tri- karboxilové kyseliny nebo aromatické substituované benzoové a skořicové organické sloučeniny (Strobel, 2001). Mají rozdílnou velikost a molekulovou hmotnost. Velikost LMMOA je menší, než 1 nm (van Hees et al., 2005).

Nízkomolekulární organické kyseliny mají široké spektrum molekulových hmotností. Vyskytují se s nízkou i s vysokou molekulovou hmotností. Např. kyselina mravenčí, nacházející se v půdním prostředí, má molekulovou hmotnost 46 M. Většina LMMOA má molekulovou hmotnost pod 300 M (Stevenson, 1982; Fox, 1995).

Chemické složení se odlišuje podle uspořádání funkční skupiny. Funkční skupina určuje kyselost a rozpustnost LMMOA. Nejdůležitější funkční skupina je karboxylová skupina (R-COOH), která se podílí na rozpustnosti a kyselosti organických kyselin tak, že odštěpí vodík a vyskytuje se v půdě jako snadno reaktivní aniont (Strobel, 2000).

Další důležité funkční skupiny nízkomolekulárních organických kyselin jsou např. enolová (R-CH=CH-OH), fenolová (Ar-OH), hydroxylová (R-CH₂-OH), éterová (R-CH₂-O-CH₂-R), aminová (R-CH₂-NH₂) a další. Mezi kyselé funkční skupiny patří karboxylová, enolová a fenolová, kdežto mezi neutrální skupiny patří hydroxylová, éterová, aldehydová, esterová, a další (Fox, 1995).

Nízkomolekulární organické kyseliny s benzenovým jádrem jsou méně rozpustné organické látky, ale jsou silnější kyseliny. Alifatické organické sloučeniny jsou s menší kyselostí rychleji rozložitelné (Thurman, 1985).



Obr.1: Alifatické mono-, di- a tri- karboxylové kyseliny (Strobel, 2001)

4.3 Nízkomolekulární organické kyseliny v půdním prostředí

Celková koncentrace LMMOA v půdním roztoku se pohybuje od 0,01 až 5 mol.m⁻³. Tyto hodnoty jsou však velmi proměnlivé v čase, jelikož LMMOA mají v půdním prostředí velmi krátkou životnost (nejčastěji hodiny). Průběžně jsou však do půdního prostředí neustále produkovány (Sposito, 2008). Stevenson (1982) a Fox (1995) uvádějí, že obsahy LMMOA se mohou pohybovat od méně než 10⁻⁶ mg.kg⁻¹ až po 10⁻³mg.kg⁻¹. Přispívá k tomu více faktorů, jako např. přítomnost vegetace, hloubka profilu, půdní aerace, degradace LMMOA půdními mikroorganismy a interakcemi LMMOA (Stevenson, 1982; Fox, 1995). Obsah LMMOA je nejvyšší v půdním roztoku z horních půdních vrstev, kde koncentrace uhlíku z LMMOA představuje až 10 % DOC (Strobel, 2001). Nejčastějšími kyselinami s karboxylovou skupinou v půdním profilu jsou: kyselina mravenčí, kyselina octová, kyselina citrónová, kyselina mléčná, kyselina jablečná a další (Krzyszowska, 1996). Jones et al. (2003) uvádí, že jsou nízkomolekulární organické kyseliny zastoupeny v půdním prostředí v posloupnosti: alifatické > aromatické > aminokyseliny. Nejvyšší koncentrace organických kyselin s nízkou

molekulovou hmotností byla sledována v prostředí rhizosféry, kde zároveň podléhají organické kyseliny značné redukci, jejich následnou reakcí (Jones et al., 2003).

Za hlavní zdroj výskytu organických kyselin v lesních půdách se považuje: kořenová exudace, uvolňování výměšků z bakterií a hub, vyluhování z lesního opadu, degradace organické hmoty a srážková depozice (Jones et al., 2003).

Kyselina mravenčí je nejčastěji produkována bakteriemi a v kořenovém exudátu kukuřice. Kyselina octová patří také mezi produkty mikroorganismů, zejména anaerobních. Hojně je produkována exudáty bylin a trav. Tyto dvě kyseliny dosahují průměrných koncentrací v půdním roztoku 2 - 5 mol.m⁻³. Kyselina šťavelová patří mezi všudypřítomné kyseliny a s kyselinou vinnou jsou hojně produkovány plísněmi a vylučovány z kořenů obilovin. jejich koncentrace v půdním roztoku se pohybuje v rozmezí 0,5 - 1 mol.m⁻³. Kyselina citrónová se často vyskytuje v humusových půdách, avšak v koncentracích menších než 0,05 mol.m⁻³ (Sposito, 2008).

Nízkomolekulární organické kyseliny zasahují do celého koloběhu živin a jsou nedílnou součástí DOC. (Jones et al., 2003). Úloha LMMOA v lesních půdách je velmi důležitá. Podílí se na změně chemických a biologických procesů. V půdním roztoku se chovají jako ligandy. Prostřednictvím komplexotvorné reakce s kovy a rizikovými prvky napomáhají k rozpustnosti nebo případné detoxikaci rizikových prvků. Další reakcí těchto ligandů je výměna na minerálních povrchích, kde se rizikové prvky adsorbují (Hashimoto, 2007). Organické kyseliny se rovněž podílejí na okyselování půdy v okolí rhizosféry (Hinsinger, 2003).

Strobel (2001) uvádí, že koncentrace mono- karboxylových kyselin (mravenčí, octová, propionová, máselná a mléčná) v půdním roztoku v zalesněných půdách je běžně v rozsahu 0 - 1 μM, zatímco koncentrace alifatických di- a tri- karboxylových kyselin (šťavelová, malonová, jablečná, citrónová a vinná) jsou obvykle v rozmezí 0 - 50 μM, ovšem v půdním roztoku lesních půd dosahují nižších koncentrací (vyšší koncentrace těchto kyselin se nacházejí na půdách stálých pastvin a luk).

4.3.1 Rhizosféra

Rhizosféra je definována jako tenká vrstvička půdy, obklopující kořeny rostlin. Probíhá zde řada klíčových biologických funkcí, jako jsou např. příjem živin, dýchání a kořenová exudace. Tyto probíhající procesy v blízkosti rhizosféry mají za následek změnu koncentrace živin, změnu koncentrace komplexotvorných a chelatačních sloučenin, pH a redox potenciálu, parciálních tlaků plynů (O₂ a CO₂) atd. (Hinsinger et al., 2002).

V rhizosféře se navzájem ovlivňují svým působením rostliny, půdy a půdní mikroorganismy. Kořeny přijímají živiny, které transportují do nadzemních částí rostliny. Také přijímají vodu s rozpuštěnými ionty, dále přijímají nebo uvolňují O_2 , což může způsobit změny redox potenciálu. Naopak kořeny vylučují H^+ nebo $(HCO_3)^-$, CO_2 , exudáty s organickými kyselinami a snižují tak pH (Fujii, 2012).

V prostředí rhizosféry dochází k cyklickým pochodům. Kořenové exudáty slouží jako živný substrát pro půdní mikroorganismy, jejichž populace jsou dále konzumovány biofágními prvky. Bakterie v prostředí rhizosféry produkují další LMMOA, které působí jako stimulatory pro růst kořenového vlášení, čímž se zvýší kořenová exudace. Zvýšená kořenová exudace stimuluje růst mikroorganismů, což vede k vyšší aktivitě dravých prvků a dalšímu růstu LMMOA (Bonkowski et Brandt, 2002; Samec, 2008).

Fujii (2012) uvádí, že v okolí rhizosféry dochází k degradacím LMMOA v závislosti obsahu fosforu. Zjistil, že v půdách ochuzených o fosfor, dochází v oblasti rhizosféry k nižším degradacím LMMOA, než v půdách bohatých na fosfor.

4.3.2 Kořenová exudace

Kořenový systém rostlin plní řadu biologických funkcí, jako jsou např. příjem živin, dýchání a exudace, kterými může značně ovlivnit biogeochemické parametry půdy v blízkosti kořenů (v rhizosféře). Svým působením kořeny ovlivňují koncentraci živin, toxických prvků (např. hliník) a znečišťujících látek, koncentrace komplexotvorných nebo chelatačních sloučenin, pH a redox potenciál, parciální tlak plynů, jako je O_2 a CO_2 , atd. Tyto parametry mají přímý vliv na činnost půdních mikroorganismů, které stimuluje kořenovou exudaci (Hinsinger et al., 2005).

Kořenovou exudací uvolňují rostliny velký počet organických sloučenin, do nichž spadají i organické kyseliny s nízkou molekulovou hmotností. Mezi kořenovou exudací nejvíce produkované LMMOA patří kyselina šťavelová, kyselina citrónová a kyselina jablečná (Jones et al., 2003).

Kořenovými výměšky se do půdního prostředí dostává poměrně velké množství rozpuštěného organického uhlíku (DOC). Převážná část uvolněného C (20 – 40 %) je přisuzována kořenovému dýchání, kdy je uvolňován CO_2 . Zároveň jsou uvolňovány složitější organické látky (sacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny), včetně LMMOA. Ty představují jen zlomek uvolněného C do půdy (cca 1 – 3 % z celkové biomasy uvolněné

kořenovou exudací) (Farrar et Jones, 2000; Jones 2003). Množství uvolněných LMMOA závisí na rostlinném druhu a na fyziologickém a zdravotním stavu rostliny (Fox, 1995).

4.3.3 Metabolity bakterií a hub

Půdní mikrobiální biomasa hraje významnou roli v množství LMMOA v půdě. Aktivně se podílí na zvyšování koncentrace vyluhováním LMMOA (Jones et al. 2003).

Mykorhizní houby uvolňují LMMOA do půdy. Nízkomolekulární organická kyselina s nejvyšší koncentrací, která je uvolňována mykorhizními houbami do půdního prostředí, je kyselina šťavelová. Ta v lesních ekosystémech reaguje s Ca a vytváří nerozpustný šťavelan vápenatý a to především v A horizontu, kde se tyto mykorhizní houby často vyskytují (Sollins et al., 1981; Fox, 1995). Další LMMOA (citrónová, jablečná, fumarová, aj.) patří mezi metabolity hub, ale nedosahují takových koncentrací, jako kyselina šťavelová, která dosahuje koncentrací 25 - 1000 μM v půdním roztoku, kdežto kyselina mravenčí nepřesahovala koncentraci 175 μM (Fox, 1990).

Bakterie, narozdíl od hub, produkují jednodušší LMMOA, jako je např. kyselina mravenčí nebo octová. Většina půdních mikroorganismů se také podílí na zvyšování LMMOA tím, že rozkládají složitější organické látky (např. cukry, humínové kyseliny, atd.) na jednodušší, které využívají k dodání energie. Mikroorganismy využívají pro svou energii výhradně jen jednoduché mono- nebo di- uhlíkaté sloučeniny a tím zvyšují podíl LMMOA v půdě. K rozkladu organických sloučenin dochází v aerobním i anaerobním prostředí, kde se mikrobiální biomasa podílí na rozkladu organických sloučenin oxidací, jejichž součástí jsou i nízkomolekulární organické kyseliny (Monetti et Scranton, 1992; Fox, 1995).

4.3.4 Vyluhování z lesního opadu a dekompozice organické hmoty

Lesní půdy se vyznačují horizonty nadložního humusu: horizont opadanky (L), horizont drti (fermentační - F) a horizont měli (humifikační - H) (Němeček et al., 2001). Z těchto horizontů je uvolňováno velké množství organických kyselin a zároveň i LMMOA. Rozpadem a postupnou degradací lesního opadu se LMMOA uvolňují a macerují do půdního prostředí. Koncentrace organických kyselin s nízkou molekulovou hmotností uvolňovaných do půdy touto cestou může být mnohem větší, než kořenovou exudací nebo z dalších zdrojů (Fox, 1995). Rychlost rozkladu čerstvého rostlinného opadu se může snižovat z cca 0,1 % rozloženého materiálu za den na 0,00001 % rozloženého materiálu za den. Pokles degradace organické hmoty zaleží na kvalitě organického materiálu, půdních podmínkách (vlhkost,

teplota, pH) a množství a složení mikroorganismů schopných lesní opad rozkládat (Björn, 2000).

Stabilní složkou půdní organické hmoty jsou humínové kyseliny, fulvokyseliny a humíny. Převážně půdní mikroorganismy se podílejí na degradaci těchto organických sloučenin. Výsledkem mikrobiálního rozkladu jsou jednodušší látky, mezi které se řadí i LMMOA (Čechlovská et al., 2007).

Součástí půdní biomasy je také velké množství sloučenin s vysokou molekulovou hmotností, např. mastných kyselin, polysacharidů a bílkoviny. Tyto látky se vyznačují svým dlouhým a složitým řetězcem. Díky půdním mikroorganismům tyto látky také degradují až na sloučeniny s nižší molekulovou hmotností. Dekompozicí půdní organické hmoty vznikají nejčastěji di- a tri- karboxylové kyseliny, nebo nižší mastné kyseliny. V podmáčených půdách mají tendenci vznikat aromatické sloučeniny, na které jsou navázány 1 - 3 skupiny OH a 1 - 5 skupin COOH. V anaerobním prostředí je hlavním procesem fermentace, při kterém vzniká také velké množství mastných kyselin, jako např. kyselina octová nebo kyselina máselná (Stevenson, 1967; Fox 1995). Degradace LMMOA může být zpomalena, pokud tyto kyseliny vytvoří stabilnější komplex s kovem (Boudot, 1992).

4.4 Interakce nízkomolekulárních organických kyselin

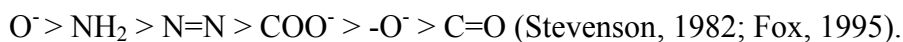
Organické kyseliny mají vliv na půdní vlastnosti, jako např. dostupnosti nedostupných živin (např. Cu, Mn, Zn, Fe, P, S). Mají velký vliv na tvorbu chelátů kovů v roztoku a na ligandové výměny na površích hydroxidů kovů (Stumm, 1986; Fox 1995). Nízkomolekulární organické kyseliny se účastní interakcí s pevnými půdními fázemi, kde dochází k jejich adsorpci, absorpci a desorpci. Dále podléhají biodegradaci a účastní se komplexotvorných reakcí s kovy, takže je jejich chování těžko předvídatelné (Jones et al.; 2003).

4.4.1 Tvorba komplexů s kovy

Organické kyseliny, které fungují jako ligandy, tvoří stabilní komplexy s kovy v půdním roztoku i na minerálním povrchu půdních částic. Při těchto reakcích jsou kovy koordinovány hydroxylovými povrchovými skupinami, kde centrální iont kovu reaguje s hydroxylovými skupinami a LMM organické kyseliny vytvářejí vnitřní sféru komplexů s těmito kovy (Stumm, 1986; Fox, 1995). Stabilita komplexu závisí na počtu atomů, které tvoří vazbu s kovem. Nejstabilnější jsou pěti- a šesti-četné kruhové struktury (např. pěti-četnou kruhovou vazbu tvoří s Al). Těchto reakcí se nejčastěji účastní karboxylové a fenolové

funkční skupiny, které tvoří pěti a šesti-četné kruhové struktury koordinovaných kovem a podílí se tak na rozpustnosti a mobilitě kovů v půdě (Fox, 1995).

Funkční skupiny nízkomolekulárních organických kyselin, které mají volný elektronový pár, mohou tvořit kovalentní vazby mezi funkční skupinou a centrálním kovovým iontem. Afinita funkčních skupin kyselin s kovem klesá v pořadí:



Pohlman et McColl (1986) uvádějí, že pro komplexotvorné reakce s kovy jsou důležité dvojmocné a trojmocné anionty (jablečnany, citráty, šťavelany). Také Li (2008) studoval reakce LMMOA. Zjistil, že mají vliv na rozpustnost a mobilitu toxických forem hliníku. Ve své studii uvádí, že mají LMMOA tendenci odštěpit proton a navázat na sebe toxický kov. Schopnost organických kyselin mobilizovat Al popisuje v následujícím pořadí: kyseliny citrónová > šťavelová > jablečná > vinná > > salicylová > mléčná > maleinová.

4.4.2 Sorpce na minerální fázi půdy

Lesní půdy mohou dosahovat kyselého pH. Nízkomolekulární organické kyseliny napomáhají k okyselení půd. Kyselé pH umožňuje vznik kladného pozitivního náboje na minerálních površích a dochází tak k sorpci volných aniontů z půdního roztoku (Harrison, 2006; Strahm et Harrison, 2008). Kromě anorganických iontů je převládající funkční skupinou, která se účastní těchto sorpčních reakcí, karboxylová skupina (-COOH). Z anorganických aniontů to jsou SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , aj. Z organických aniontů jsou adsorbovány např. octany (CH_3COO^-), mravenčnany (HCOO^-), šťavelany $(\text{COO})_2^{2-}$ (Stevenson, 1994; Strahm et Harrison, 2008).

Další možnou reakcí, která může nastat, je, že karboxylová skupina může uvolnit proton a stát se aniontem. Tím se stává organická sloučenina mnohem rozpustnější a lépe se tak adsorbuje na minerální fázi půdy (Langmuir, 1997; Strahm et Harrison, 2008).

Sorpce organických kyselin na minerálních površích způsobují silné adsorpční síly a proto je adsorpce LMMOA považována za reverzibilní stav (Ryan et al., 2001; Jones et al.; 2002). Hashimoto (2007) se zabýval sorpcí citrátů na Al a Fe oxidy v kyselých půdách a zjistil, že citráty mají tendenci se sorbovat na tyto minerální oxidy.

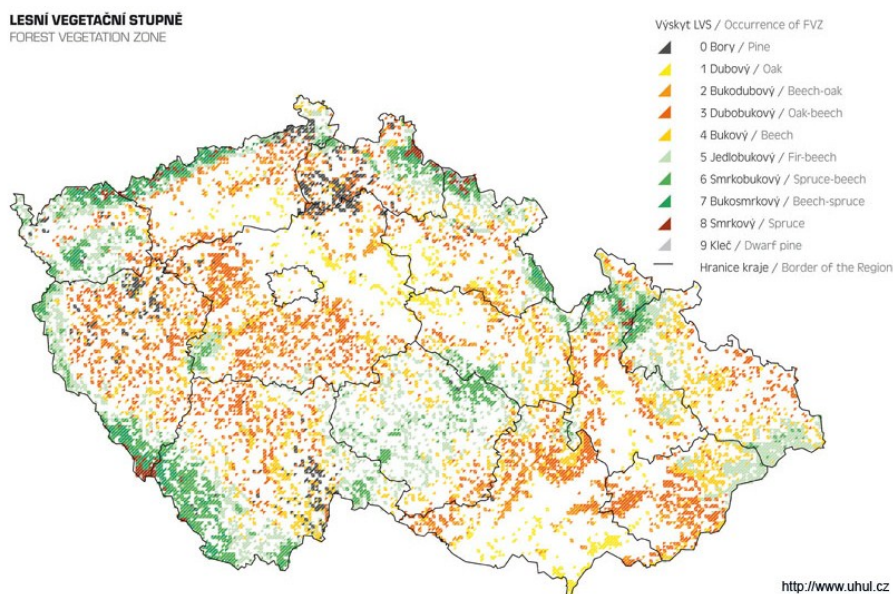
4.5 Lesy mírného pásu

Les je významnou vegetační složkou biosféry, protože má ochrannou regulační a produkční funkci. K nejdůležitějším vlastnostem patří ochrana půdy, ochrana před sluneční

radiací a klimatickými podmínkami, čímž vytváří podmínky pro rostliny a živočichy. Dále hrají lesy důležitou roli v absorpci, depozici a desorpci CO₂, O₂ a minerálních látek, transformaci radiační a tepelné energie, v autoregulaci a regeneraci tvorby dřeva, kůry, listů a jejich metabolitů a produktů (Kudrna et al., 1988).

Lesy mírného pásu (vegetační stupeň České republiky, obr. 2) se nacházejí především na severní polokouli. Zaujímají rozsáhlé plochy na východě Severní Ameriky, v Evropě a ve východní Asii. Vyhovují jim klimatické podmínky s dostatečným množstvím a intenzitou letních srážek a vyššími letními teplotami, což je příznivé pro produkci biomasy, a mírné zimy. Lesům mírného pásu vyhovuje podnebí s vegetační sezónou dlouhou alespoň 120 dní s průměrnou denní teplotou 10°C (Prach et al., 2009).

Charakteristická vegetace pro lesy mírného pásu je ve smíšených lesích bříza, smrk, lípa, osika, buk, jedle, v listnatých javor, buk, dub, bříza, jilm, topol, vrba a v jehličnatých převládá smrk, modřín, cedr, jedle (Kudrna et al., 1988).

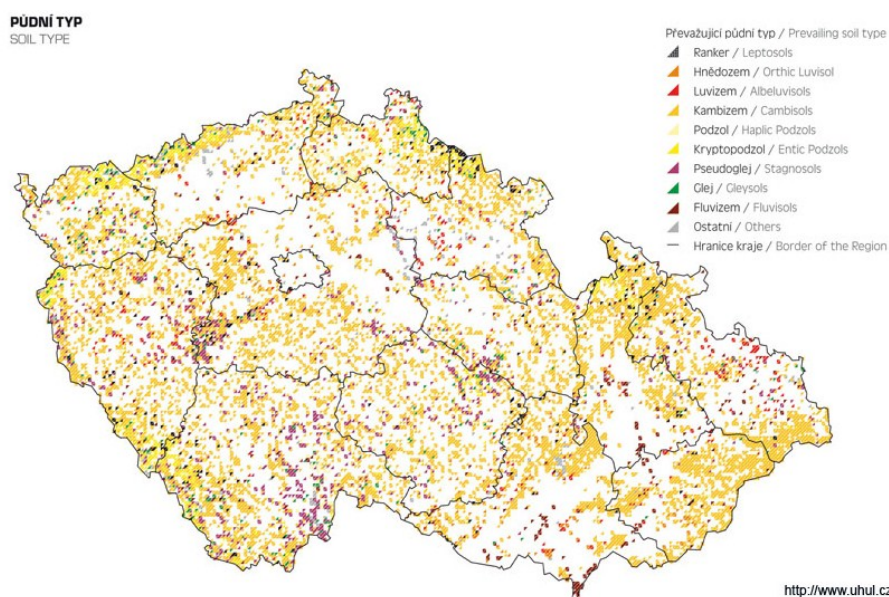


Obr.2: Lesní vegetační stupně České republiky - výskyt LVS (převzato z http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/vegetacni_stupne.php; 14. 2. 2013)

4.6 Lesní půdy mírného pásu

Nejčastěji vyskytující půdní typ v lesích mírného pásu je kambizem (obr. 3). Díky příznivým klimatickým podmínkám zde dochází k rychlé degradaci opadu a stálé produkci živin (Prach et al., 2009). Na dostupnost živin má také vliv infiltrační schopnost, která ovlivňuje vodní režim půd. Propustnost u lesních půd je závislá na textuře půdy, kvalitě

organického horizontu, na rozložení kořenů a množství dutin, které vznikají po odumření a rozložení kořenů (Sáňka et Materna, 2004)



Obr. 3: Půdní typy České republiky - výskyt převažujících PT (převzato z http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/pudni_typ.php; 14. 2. 2013)

4.7 Organické půdní horizonty

Lesní půda se od zemědělské půdy zásadně odlišuje hustotou organického horizontu, který se rozděluje na mor, moder a mul. Kvalita a množství lesního organického horizontu ovlivňuje výživu porostů, stabilitu, produkci i funkci rostlin (Sáňka, Materna, 2004). Tyto tři základní horizonty se řadí k horizontům anhydrogenních, které vznikají na propustných půdách bez výrazného zamokření (Němeček et al., 2001).

Organické horizonty jsou horizonty nadložní vrstvy humusu lesních půd (obr. 4). Celkový organický uhlík C_{OX} dosahuje u těchto horizontů > 12 - 18% (hm.) a > 20 - 30 % (hm.) organických látek (Němeček et al, 2001).

Mor (surový humus)

Vzniká při zpomaleném rozkladu organické hmoty. Může se dělit na tři vrstvy, které jsou od sebe snadno rozpoznatelné (Sáňka et Materna, 2004):

horizont opadanky - L: jeho obsah je nerozložený nebo jen částečně rozložený, snadno rozpoznatelný. Skládá se z rostlinného opadu (jehličí, listí, větvičky, kůry, odumřelými částmi rostlin).

horizont drti - F (fermentační): hůře identifikovatelný, polorozložený materiál. Často obsahuje i houbová mycelia.

horizont měli - H (humifikační): tvořen rostlinnými zbytky v silném stupni rozkladu, bez možnosti identifikace původního složení. Je tvořen vlastním humusem, který je ostře oddělený od minerálního horizontu.

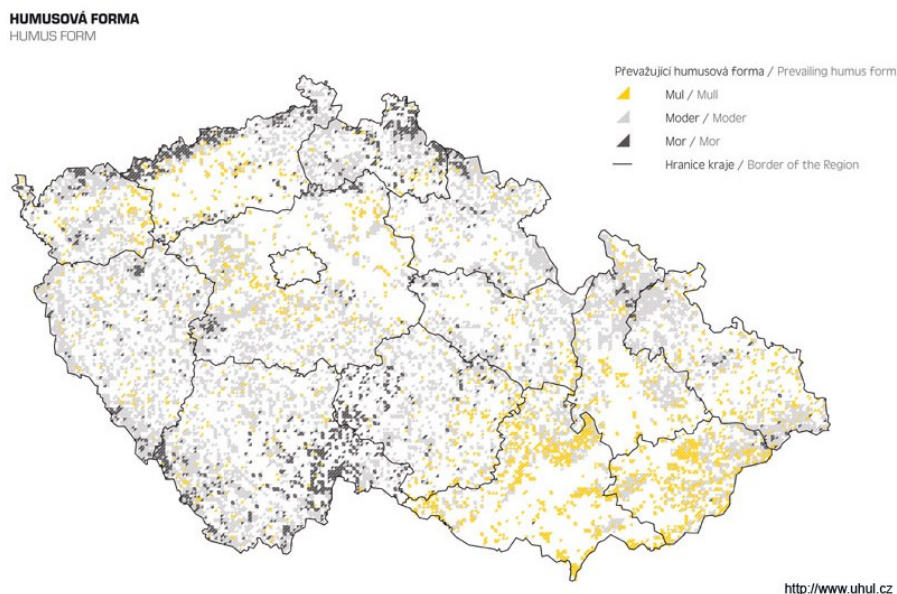
Moder

Rozdíl mezi horizonty mor a moder spočívá v tom, že nelze od sebe oddělit vrstvu opadanky a drtě. Měl se mísit s povrchem minerální půdy.

Mul

U tohoto horizontu splývají horizonty, měli a drtě, které se mísí činností členovců s povrchem minerální půdy. Především v podzimních měsících je na povrchu půdy patrný horizont opadanky.

Na zamokřených organických půdách vznikají hydrogenní horizonty nadložního humusu, u kterých je organický materiál v různém stupni degradace. Tyto horizonty jsou ovlivněny převážně vysokou hladinou spodní vody (Němeček et al., 2001).



Obr.4: Humusová forma nadložních organických horizontů lesních půd (převzato z http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/humusova_forma.php, 14. 2. 2013)

4.8 Metody extrakce a analýzy nízkomolekulárních organických kyselin z půdního prostředí

Nízkomolekulární organické kyseliny se v půdním prostředí vyskytují buď v půdním roztoku nebo adsorbované na půdní časti. Zásadním problémem je získávání kyselin z půdy

(Jones et al.; 2002). Pro desorpci LMMOA je zapotřebí působení extrémních chemických podmínek, které se v půdním prostředí v podstatě nevyskytují. K uvolnění organických kyselin z minerální frakce půdy se používá např. 1 M HCl (Ryan et al., 2001; Jones et al.; 2002). V půdním roztoku se zase vyskytují jen rozpuštěné organické kyseliny. Velké množství nízkomolekulárních organických kyselin, které není do stanovení započteno, se nachází adsorbované na minerálních složkách půdy a v mikrobiální biomase (Jones et al.; 2002). Jones et al. (2002) získávali organické kyseliny z organické frakce lesní půdy extrakcí pomocí 50 mM roztoku KH_2PO_4 . Tato koncentrace extrakčního činidla však nevyhovovala k získávání LMMOA z minerální složky půdy. Extrakce byla neúplná i při vysokých koncentracích KH_2PO_4 (500 mM). Jelikož je většina LMMOA rozpustná ve vodě, používá se obvykle k jejich extrakci z půdního prostředí demineralizovaná a destilovaná voda, nebo se za použití vysokorychlostní centrifugy oddělí půdní roztok z čerstvě odebrané půdy. Extrakce demineralizovanou vodou je vhodná proto, že se minimalizují změny v chemickém složení analyzovaného vzorku (Strobel; 2001).

Nízkomolekulární organické kyseliny se stanovují kvalitativně i kvantitativně. Analytické metody jsou zaměřeny na stanovení z půdního roztoku. Analýza extraktu může být stanovena iontovou chromatografií (IC) s využitím membránového nabohacení analytu, která umožňuje detekci LMMOA do 200 nM (Shen, 1996). Kapalinová chromatografie (HPLC) je další vhodnou metodou při stanovení LMMOA. Separuje analyty pomocí reverzní mobilní fáze (např. 93 % 25mM KH_2PO_4 a 7 % methanolu) a kolony C-18. Detekce byla provedena pomocí detektoru diodového pole (UV-VIS detekce) (Cawthray, 2003). Tuto metodu požili např. Pohlman et McColl (1988) a John G. et al (1995) k detekci nízkomolekulárních organických kyselin z DOC. Obdobnou analýzou pro stanovení LMMOA ve vodném extraktu může být také kapalinová chromatografie spojená s hmotnostním spektrometrem (LC-MS) (Ali, 2011). Tato citlivá a selektivní metoda je založena na chromatografické separaci LMMOA iontů a detekci s využitím hmotnostního spektrometru (Bylund et al., 2007). K dalším metodám stanovení LMMOA v půdním extraktu patří kapilární zónová elektroforéza (CZE). Analyty jsou odděleny z roztavené křemenové kapiláry naplněné elektrolytem a připojené k napětím 20 - 30 kV. Výhodou CZE metody je použití malého množství extrahovaného vzorku (25ml) (Strobel, 2001).

5 Metodika a materiál

5.1 Zájmové lokality

Pro studii nízkomolekulárních organických kyselin v půdě pod různým vegetačním pokryvem bylo vybráno šest lokalit s různým typem lesa, které reprezentují vybrané lesní typy České republiky. Liší se vegetačním pokryvem, vlhkostí a půdním typem. Biotopová klasifikace lokalit byla provedena dle Chytrého et al. (2001), názvy rostlin jsou převzaty z Kubáta (2002), půdní typologie dle Němečka (2011). Výběr lokalit a odběry půd byly provedeny ve spolupráci s Mgr. Říhovou D. z Karlovy Univerzity (Říhová, 2009).

5.1.1 Rašelinný brusnicový bor Radostínské rašeliniště (lokalita č. 1)

Rašelinný brusnicový bor u Radostínského rašeliniště (49° 39' 28" SŠ, 15° 53'12" VD; 600 m n.m.) (obr. 5; 6; 7) leží blízko obce Radostín, asi 12 km severně od Žďáru nad Sázavou, v CHKO Žďárské vrchy. Lokalitě dominuje zarostlý rašelíník (*Sphagnum spp.*), s hojným výskytem rosnatky okrouhlolistou (*Drosera rotundifolia L.*) a suchopýrem (*Eriophorum sp.*). Okraj rašeliniště tvoří rozvolněný smrko-borový les. Keřové patro je zastoupeno břízami (*Betula sp.*) a mladými smrky (*Picea abies L.*). Bylinné patro tvoří keřiky borůvek (*Vaccinium myrtillus L.*) a brusinek (*Vaccinium vitis-idaea L.*). Lokalita je trvale zavlhčená, s tmavou rašelinnou půdou. Svrchní horizonty jsou značně prokořeněny borůvčím. Půdní typ organozem. Forma humusu hydromor (F horizonty mykogenní (Fm), H horizonty humusový (Hh)) (tab. 1).



Obr. 5: Lokalita č. 1 - rašelinný brusnicový bor Radostínské rašeliniště (vytvořeno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK;14. 2. 2013)



Obr. 6: Lokalita č. 1 - vegetační pokryv (smrko-borový les; zarostlý rašeliník (*Sphagnum spp.*) s keříky borůvek (*Vaccinium myrtillus L.*) a brusinek (*Vaccinium vitis-idaea L.*); foto vlastní (31. 5. 2012)

Tab. 1: Lokalita č. 1 - záznam půdní sondy

lokalita	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)
brusnicový bor	145	L	1	148	L	1	151	L	1
	146	F	7,5	149	F	7,5	152	F	8
	147	H	15	150	H	15	153	H	17
půdní typ	organozem			forma humusu		hydromor			



Obr. 7: Lokalita č. 1 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků; půdní typ organozem; forma humusu hydromor; přítomnost rašeliníku (*Sphagnum spp.*); foto vlastní (31. 5. 2012)

5.1.2 Suťový les u vrchu Věrovka (lokalita č. 2)

Lokalita suťový les u Vrchu Věrovka (49 ° 55'15 "SŠ;13° 50'59" VD; 450 m n.m.) (obr. 7; 8; 9) se nachází asi 200 m západně od bukového lesa, ve kterém byly odebírány další vzorky experimentu (bučina). Stromové patro suťového lesa na úpatí Věrovky je velmi druhově bohaté. Ve stromovém patře se nachází buk lesní (*Fagus sylvatica* L.), lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.) a javor mléč (*Acer platanoides* L.). Javor mléč (*Acer platanoides* L.) dominuje i keřovému patru. V bylinném patře se vyskytuje kaprad' samec (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), pitulník žlutý (*Galeobdolon luteum* Huds.), svízel vonný (*Galium odoratum* L.), netýkavka nedůtklivá (*Impatiens noli-tangere* L.), bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis* L.) a kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica* L.).

Půda je silně skeletovitá s velkými břidlicovými balvany, mezi kterými se drží vlhko.

Půdní typ ranker kambický, forma humusu mull (F horizonty amfigenní (Fa), H horizonty mykogenní (Hm)) (tab. 2), častý výskyt břidlic.



Obr. 7: Lokalita č.2 - suťový les u vrchu Věrovka (vytvoreno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK; 14. 2. 2013)



Obr. 8: Lokalita č. 2 - vegetační pokryv (suťový les; buk lesní (*Fagus silvatica* L.), lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.) a javor mléč (*Acer platanoides* L.); foto vlastní (31. 5. 2012)

Tab. 2: Lokalita č. 2 - záznam půdní sondy

lokalita	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)
suťový les	113	L	5	116	L	4	120	L	3
	114	F	6,5	117	F	8	121	F	4
		H	chybí	118	H	13	122	A	14
	115	A	12	119	A	< 13	123	B	< 14
půdní typ	ranker kambický			forma humusu		mull			



Obr. 9: Lokalita č. 2 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků; půdní typ ranker kambický, forma humusu mull; foto vlastní (31. 5. 2012)

5.1.3 Bučina u vrchu Věrovka (lokalita č. 3)

Další zkoumanou lokalitou je acidofilní bučina u vrchu Věrovka (49° 55' 15 "SŠ;13° 50' 58" VD; 430 m n.m.) (obr. 10; 11). Nachází se asi 3,2 km od vesnice Kublov. Dominující dřeviny a stromového patra jsou buk lesní (*Fagus sylvatica L.*), lípa srdčitá (*Tilia cordata*) s menší příměsí smrku pichlavého (*Picea abies L.*). Keřové patro zde není. Bylinné patro je ochuzené. Vyskytuje se zde pouze sasanka hajní (*Anemone nemorosa L.*), kyčelnice devítilistá (*Dentaria enneaphyllos L.*) a semenáčky buku.

Lokalita se nachází na andezitovém podloží. Půdní typ je zde kambizem rankerová s výskytem břidlice a formou humusu mull (tab.3). V horizontech byl viditelný půdní edafon (žížaly).



Obr. 10: Lokalita č. 3 - bučina u vrchu Věrovka (vytvoreno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK; 14. 2. 2013)

Tab. 3: Lokalita č. 3 - záznam půdní sondy

lokalita	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)
bukový les	124	L	4	128	L	4	131	L	3
	125	F	6	129	F	5	132	F	4
	126	A	10	130	A	9	133	A	8
	127	B	< 10	x	B	chybí	x	B	chybí
půdní typ	kambizem rankerová			forma humusu			mull		



Obr. 11: Lokalita č. 3 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků; půdní typ kambizem rankerová, forma humusu mull; foto vlastní (31. 5. 2012)

5.1.4 Dubohabřina u vrchu Doutnáč (lokalita č. 4)

Lokalita dubohabřina u vrchu Doutnáč (49° 57' 25" SŠ, 14° 09' 06" VD, 420 m n.m.) (obr. 12; 13; 14) se nachází asi 2 km od obce Bubovice, která se nachází v CHKO Český kras v NPR Karlštejn. Stromové patro je tvořeno přirozenou dubohabřinou s výskytem dubů (*Quercus sp.*) a habrů (*Carpinus betulus L.*) s příměsí lípy srdčité (*Tilia cordata Mill.*). Keřové patro je ojedinělé, tvořeno mladými lipami. Bylinnému patru dominují sléz vonný (*Galium odoratum L.*), hrachor jarní (*Lathyrus vernus L.*) a semenáčky dubu a habru.

Půdní typ je zde rendzina kambická na vápenci. Forma humusu mull (tab.4). Horizonty jsou mělké bez známek humifikace. Výskyt koprolitů, půdního edafonu (žížaly) a v horizontu A se objevují mycélia.



Obr. 12: Lokalita č. 4 - dubohabřina u vrchu Doutnáč (vytvořeno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK; 14. 2. 2013)



Obr. 13: Lokalita č. 4 - vegetační pokryv (přirozená dubohabřina; výskyt dubů (*Quercus* sp.) a habrů (*Carpinus betulus* L.) s příměsí lípy srdčité (*Tilia cordata* Mill.)); foto vlastní (31. 5. 2012)

Tab. 4: Lokalita č. 4 - záznam půdní sondy

lokalita	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)
dubohabřina	134	L	0,5	137	L	1	142	L	0,5
	135	A ₁	1,5	138	H	1,5	143	A ₁	2,5
	136	A ₂	8	139	A ₁	2,5	144	A ₂	< 2,5
	x	chybí	x	140	A ₂	4	x	chybí	x
	x	chybí	x	141	B	< 4	x	chybí	x
půdní typ	rendzina kambická			forma humusu		mull			



Obr. 14: Lokalita č. 4 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků, půdní typ rendzina kambická na vápenci, forma humusu mull; foto vlastní (31. 5. 2012)

5.1.5 Olšina Benešův luh (lokalita č. 5)

Olšina Benešův luh ($50^{\circ} 02' 39''$ SŠ, $14^{\circ} 02' 00''$ VD, 430 m n.m.) (obr. 15; 16; 17; 18) se vyskytuje na rozhraní dvou obcí, Nižbor a Bratronice, asi 3 km jižně od Bratronice (CHKO Křivoklátsko). Odběr vzorků byl proveden v údolní olšině. Les je velmi světlý, téměř bez keřového patra. Stromovému patru dominují olše lepkavé (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Keřové patro je zastoupeno ostružiníkem (*Rubus* spp.) a v bylinném patře převažují ostřice (*Carex* spp.), sasanka hajní (*Anemone nemorosa* L.), mokřýš střídavolistý (*Chrysosplenium alternifolium* L.) a zběhovec plazivý (*Ajuga reptans* L.). Potok Vůznice způsobuje stálé podmáčení a trvalé zamokření celého půdního profilu. Vyskytuje se zde půdní typ glej s typicky mramorově šedo-oranžovým zabarvením. Forma humusu hydromull.



Obr. 15: Lokalita č. 5 - olšina Benešův luh (vytvořeno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK; 14. 2. 2013)



Obr. 16: Lokalita č. 5 - vegetační pokryv (olšina; výskyt olše lepkavé (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), ostružiníku (*Rubus* spp.), v bylinném patře ostřice (*Carex* spp.), sasanka hajní (*Anemone nemorosa* L.), mokřýš střídavolistý (*Chrysosplenium alternifolium* L.) a zběhovce plazivý (*Ajuga reptans* L.); foto vlastní (1. 6. 2012)

Tab. 5: Lokalita č. 5 - záznam půdní sondy

lokalita	vzorek	horizonnt	mocnost (cm)	vzorek	horizonnt	mocnost (cm)	vzorek	horizonnt	mocnost (cm)
olšina	154	A ₁	6	156	A ₁	6	158	A ₁	6
	155	A ₂	14	157	A ₂	14	159	A ₂	14
půdní typ	glej			forma humusu		hydromull			



Obr. 17: Lokalita č.5 - glejový, reduktomorfní vzorek rezivými novotvary (oxidačně-redukční forma) foto vlastní (1. 6. 2012)

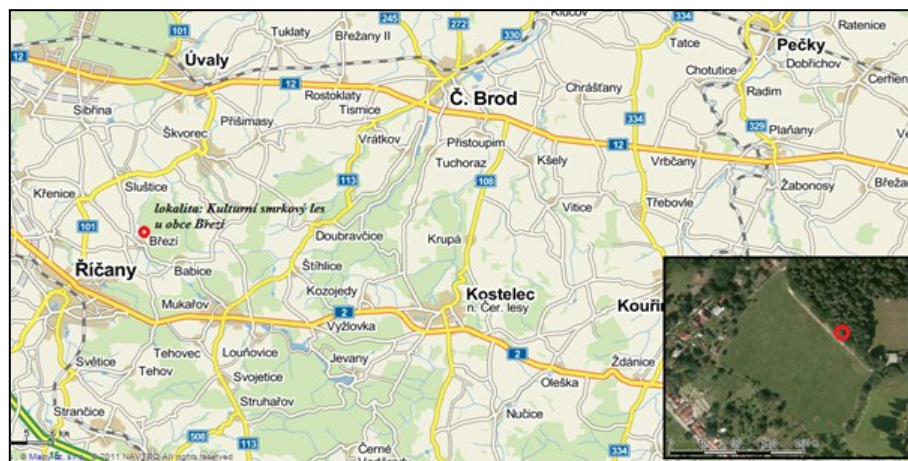


Obr. 18: Lokalita č. 5 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků, půdní typ glej, forma humusu hydromull; foto vlastní (1. 6. 2012)

5.1.6 Kulturní smrkový les u obce Březí (lokalita č. 6)

Kulturní smrkový les u obce Březí ($50^{\circ} 01' 02''$ SŠ, $14^{\circ} 41' 59''$ VD, 400 m n.m.) (obr. 19; 20) leží nedaleko Prahy, asi 5 km od Říčán. Stromové patro je tvořeno smrkem pichlavým

(*Picea abies* L.), keřové patro ojedinele habrem (*Carpinus betulus* L.) a v bylinném patře se nachází brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.), šťavel kyselý (*Oxalis acetosella* L.) a pstroček dvoulistý (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), v mechovém patře běloměch sivý (*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Angstr.). Půdním typem je na této lokalitě typická lesní půda kambizem modální, forma humusu moder (tab.6), s výskytem edafonu i mycélia.



Obr. 19: Lokalita č. 6 - kulturní smrkový les (vytvořeno v ArcGIS 10, podkladové mapy zdroj: ČÚZK; 14. 2. 2013)

Tab. 6: Lokalita č. 6 - záznam půdní sondy

lokality	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)	vzorek	horizont	mocnost (cm)
smrkový les	101	L	1	106	L	1	109	L	1
	102	F	2	107	F	5	110	F	4
	103	H	0,5	108	H	1	111	H	1
	104	A	2	x	chybí	x	x	chybí	x
	105	B	< 2	x	chybí	x	112	B	< 1
půdní typ	kambizem modální			forma humusu			moder		



Obr. 20: Lokalita č. 6 - mocnost půdních horizontů po odebrání vzorků, půdní typ kambisem modální, forma humusu moder; foto vlastní (1. 6. 2012)

5.2 Odběr půdních vzorků

Odběr půdních vzorků probíhal na přelomu května/června 2012. Byly odebírány destruktivně z jednotlivých horizontů. Kvantitativně byly odebírány organické horizonty L, F a H, organo-minerálních A (pokud to bylo možné) a kvalitativně byly odebírány minerální horizonty B. K odběrům vzorků byl použit odběrový rámeček 25x25 cm (obr. 21). Na každém stanovišti byly vykopány vždy tři půdní sondy až k minerálnímu horizontu B. Jednotlivé horizonty byly fotografovány.

Co nejdříve po odebrání byly vzorky zváženy, aby byla vypočtena objemová hmotnost. Část vzorků byla vložena do mrazáku, zbytek byl archivován pro další analýzy v suchém stavu.



Obr. 21: Odběr vzorků odběrovým rámečkem (25x25 cm) (foto vlastní (31. 5. 2012))

5.3 Analýzy půdních vzorků

Zpracování vzorků probíhalo bez sítování. Byl brán důraz na to, aby nebyly naváženy větvičky, kořínky a kamínky (Jones and Willet, 2006). Nesítované, mokré půdní vzorky z jednotlivých půdních horizontů byly extrahovány deionizovanou vodou v poměru vzorek k roztoku 1:10 (w/v) při laboratorní teplotě 20°C 24h. Extrakt byl centrifugován (4000 rpm) po dobu 10 minut. Suspenze byla filtrována přes nylonový membránový filtr 0,45 μm (Cronus Membrane Filter nylon, VB) za podtlaku. Následně byly extrakty podrobeny analýze, která byla zaměřena na stanovení aniontů (včetně LMMAA), kationtů, speciace Al, DOC a jednotlivých prvků. Jelikož byly zpracovávány mokré vzorky, byla koncentrace jednotlivých komponentů přepočítávaná na sušinu vzorku. K výpočtu byl použit vzorec (1):

$$C(\mu\text{g}\cdot\text{g}_{\text{sus}}^{-1}) = C(\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) \cdot \frac{V + (w\cdot m) / 100}{m} \quad (1)$$

$C(\mu\text{g}\cdot\text{g}_{\text{sus}}^{-1})$ – množství v půdním vzorku přepočtené na sušinu

$C(\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1})$ – koncentrace v roztoku odečtená z kalibrační křivky

V (ml) – objem extrakčního činidla v ml

m (g) – množství suché půdy, které odpovídá dané navážce čerstvé půdy

w – obsah vody vyjádřený jako procentuální poměr hmotnosti vody k hmotnosti suché půdy

Vzorky byly stanovovány metodami podle Borůvka et al. (2009), Tejnecký et al. (2010), Zbíral (2002), Drábek et al. (2005), Yakovchenko and Sikora (1998), Tejnecký et al. (2013).

5.3.1 Anorganické a organické anionty

Anorganické anionty (F^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) a LMMOA v aniontové formě (mravenčany, octany, mléčnany, šťavelany, aj.) ve vodném roztoku byly stanovovány iontovou chromatografií ICS 1600 (Dionex). K analýze byla použita mobilní fáze KOH na AS11-HC analytické koloně. Analyt byl detekován konduktometricky po supresi vodivosti mobilní fáze a po odstranění uhličitanů pomocí jednotky CRD (Dionex).

5.3.2 Kationty

Pro stanovení základních volných kationtů (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ve vodném extraktu byla použita iontová chromatografie ICS 90 (Dionex). Jako mobilní fáze byla použita methasulfanová kyselina a zachycení jednotlivých kationtů probíhalo na analytické koloně CS16.

5.3.3 Speciace hliníku

Pro speciaci Al byla použita metoda HPLC-IC (Drábek et al., 2005), která rozděljuje jednotlivé speciace podle náboje do tří rozdílných skupin:

$Al(X)^{1+}$ ($Al(OH)^{2+}$, $Al(SO_4)^+$, AlF^{2+} , $Al(org.)^{\leq 1+}$, atd.

$Al(Y)^{2+}$ ($Al(OH)^{2+}$, $(AlF)^{2+}$, atd.

Al^{3+} (Al^{3+} a transformované Al hydroxy polymery

Stanovení probíhalo na přístroji s gradientovou pumpou GP50, termostatovanou kolonou TCC 100 a PC řízenou tlakovou kontrolou pro postkolonovou derivatizaci (Dionex, USA), UV/VIS detektoru Deltachrom UVD200 (Watrex, CZ) a automatického dávkovače vzorků Triathlon (Sparks Ltd., NL). Dále byla použita Alltech cation R (USA) IC kolona. Mobilní fáze zde byl použit 100 mM Na_2SO_4 (pH 2,40) v 7,5 mM H_2SO_4 a pro postkolonovou derivatizaci byl použit $3 \cdot 10^{-4}$ M tiron v 1 M octanu amonném (pH 7,05). Při 310 nm byly detekovány vytvářené Al-tiron komplexy.

5.3.4 Stanovení DOC

Stanovení rozpuštěného organického uhlíku v půdním extraktu probíhalo oxidimetricky podle prací Yakovchenka a Sikory (1998) a Zbírala (2002). Metodika byla upravena na stanovení DOC ve vodném extraktu. Vodný extrakt půdního vzorku byl oxidován chromsírovou směsí. Vzniklý roztok se nechal při 140°C zmineralizovat. Princip stanovení spočíval v oxidaci organické hmoty za přítomnosti silné kyseliny a redukci Cr^{6+} na Cr^{3+} . Pomocí UV/VIS spektrofotometru se stanovil úbytek Cr^{6+} při 340 nm. Absorbance záření byla srovnávána s glukózovými standardy o koncentraci 0, 5, 10, 20, 30, 40 a 50 mg C/l. Množství organického uhlíku v extraktech se odečetl z kalibrační křivky.

5.3.5 Stanovení prvků ve vodném extraktu

Základní prvky (Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Si) byly stanovovány ve vodném extraktu pomocí ICP-OES (An iCAP 6500 Radial ICP, Thermo Scientific) za standardních analytických podmínek v Laboratořích geologických ústavů Přf UK. Stanovení metodou ICP-OES bylo upřednostněno z důvodů širšího spektra analyzovaných prvků, rychlejšího proměření poměrně velkého množství vzorků a z důvodu nižší meze detekce pro vybrané prvky ve vodném extraktu oproti AAS (např. Al).

5.4 Statistické vyhodnocení

Ke statistickému vyhodnocení získaných dat byl použit software Statgraphics XV. Centurion (<http://statgraphics.com>). Byly využity základní statistické analýzy, jako jsou: jednoduché a vícenásobné regrese a korelace, jednoduchá a vícefaktorová analýza rozptylu (Anova). Pro tvorbu vstupních dat a tabulek byl použit software Microsoft Office Excel 2003. Pro určení závislosti jednotlivých proměnných byla použita regresní analýza v Microsoft Office Excel 2003.

Ze získaných dat byl statisticky vypočten průměrný obsah jednotlivých aniontů příslušných kyselin na hmotnost sušiny, množství uhlíku z LMMOA, průměrný obsah DOC, průměrný obsah uhlíku z LMMOA v DOC v % a průměrné procentuální zastoupení DOC a LMMOA na celý objem kopané sondy (tab. 2). To vše bylo vztaženo na jednotlivá stanoviště.

6 Výsledky

6.1 Hodnoty pH na jednotlivých lokalitách

Průměrné hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 4,2 - 6,2. V rašelinném brusnicovém boru (lok. 1) byly odebrány vzorky jen po horizont F. Bylo zde naměřeno průměrné pH 4,2. V suťovém lese (lok. 2) byly odebrány vzorky z horizontů L, H, F, A, B průměrné pH zde bylo naměřeno 6,0. V bukovém lese (lok. 3) chyběl horizont H a průměrné pH zde bylo 5,4. V dubohabrovém lese (lok. 4) byly odebrány vzorky z horizontů L, H, A, B a bylo zde naměřeno průměrné pH 5,8. Olšina (lok. 5) s pouze kvalitativně odebraným A horizontem dosahovala průměrných hodnot pH 6,2. A ve smrkovém lese s průměrným pH 4,4 byly odebrány vzorky z horizontů L, H, F, B. Průměrné hodnoty pH jednotlivých horizontů jsou uvedeny v tab. 7).

Jak je patrné z tabulky 1, klesá pH s přibývajícím hloubkou. Nejnížší hodnoty pH byly zaznamenány v brusnicovém boru a ve smrkovém lese. Naopak vyšších hodnot pH dosahovaly lokality olšina, suťový les, dubohabřina a bukový les.

Tab. 7: Průměrné hodnoty pH na jednotlivých lokalitách

	brusnicový bor	suťový les	bučina	dubohabřina	olšina	smrčina
L	4,5	6,4	6,1	5,6		5,4
F	4,1	6,5	5,9			4,0
H	3,9	6,3		6,7		4,0
A		5,2	5,3	6,1	6,2	
B		5,5	4,5	5,0		4,1
průměr	4,2	6,0	5,4	5,8	6,2	4,4

6.2 Obsah rozpuštěného organického uhlíku na jednotlivých lokalitách

Nejvyšší průměrné množství DOC bylo zjištěno ve smrkovém a suťovém lese. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny v dubohabrovém a olšovém lese.

Průměrný obsah DOC na sledovaných lokalitách je následující (tab. 8): brusnicový bor průměrně dosahuje hodnot DOC 1038 mg.kg⁻¹, což odpovídá 2,10 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku; suťový les dosahuje průměrných hodnot 1708 mg.kg⁻¹, což odpovídá 3,93 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku; bučina průměrně obsahuje 1091 mg.kg⁻¹, což odpovídá 2,55 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku; dubohabřina průměrně

obsahuje 519 mg.kg⁻¹, což odpovídá 1,22 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku; olšina dosahuje průměrně 564 mg.kg⁻¹ DOC, což odpovídá 1,51 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku a ve smrkovém lese byl průměrný obsah DOC 1736 mg.kg⁻¹, což odpovídá 15,0 % objemové hmotnosti odebíraného vzorku.

Dále byl vypočten průměrný obsah uhlíku z LMMOA na sledovaných lokalitách. Brusnicový bor obsahuje průměrně 44,8 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 3,93 % z celkového obsahu DOC. Suťový les obsahuje průměrně 97,1 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 5,69 % z celkového obsahu DOC. Bučina obsahuje průměrně 98,6 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 9,04 % z celkového obsahu DOC. Dubohabřina obsahuje průměrně 48,2 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 9,28 % z celkového obsahu DOC. Olšina průměrně obsahuje 12,4 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 2,20 % z celkového obsahu DOC a smrkový les obsahuje průměrně 37,9 mg.kg⁻¹ C, což odpovídá 2,18 % C z celkového obsahu DOC.

Tab. 8: Průměrné hodnoty uhlíku z LMMOA (mg.kg⁻¹), DOC (mg.kg⁻¹) a zastoupení v odebraném množství půdního vzorku (%) zájmových lokalit

	průměr C z LMMOA mg.kg⁻¹	průměr DOC mg.kg⁻¹	průměr C z LMMOA v DOC %	průměr DOC % na V	průměr C z LMMOA % na V
brusnicový bor	40,8	1038	3,93	49,8	1,96
suťový les	97,1	1708	5,69	79,7	4,53
bučina	98,6	1091	9,04	49,7	4,50
dubohabřina	48,2	519	9,28	23,4	2,18
olšina	12,4	564	2,20	24,2	0,53
smrkový les	37,9	1736	2,18	96,8	2,11
celkem	335	6656	32,3	323,8	15,8

6.2.1 Obsah rozpuštěného organického uhlíku v horizontech na jednotlivých lokalitách

Průměrný obsah DOC v jednotlivých horizontech na sledovaných lokalitách dosahoval hodnot od 564 mg.kg⁻¹ (A horizont; olšina) do 3947 mg.kg⁻¹ (L horizont; smrčina).

V brusnicovém boru byl naměřen průměrný obsah DOC 1214 mg.kg⁻¹, v suťovém lese byly naměřeny průměrné hodnoty DOC 1593 mg.kg⁻¹, bukový les dosahoval průměrných hodnot DOC 1430 mg.kg⁻¹, dubohabřina 735 mg.kg⁻¹, olšina 564 mg.kg⁻¹ a ve smrkovém lese byly naměřeny průměrné hodnoty DOC 1679 mg.kg⁻¹. Obsah DOC u jednotlivých horizontů je zaznamenán v tabulce 9.

Tab. 9: Průměrné hodnoty DOC (mg.kg⁻¹) na jednotlivých lokalitách

	brusnicový bor	suťový les	bučina	dubohabřina	olšina	smrčina
L	2143	5118	2679	1857		3947
F	638	1944	1353			2549
H	863	562		348		1101
A		240	257	0	564	684
B		99				117
průměr	1214	1593	1430	735	564	1679

Z tabulky 9 vyplývá, že nejvyšší koncentrace DOC jsou v L horizontu, proto byl zpracován samostatně.

Nejvyšší koncentrace DOC v L horizontu byly naměřeny v suťovém lese a to 5118 mg.kg⁻¹. Naopak nejnižší koncentrace u L horizontu byly naměřeny v dubohabrovém lese. Průměrná koncentrace DOC na této lokalitě je 1857 mg.kg⁻¹. Průměrné koncentrace DOC jsou zaznamenány v tabulce (tab. 10).

Tab. 10: Průměrná koncentrace DOC (mg.kg⁻¹) v L horizontech na jednotlivých lokalitách

	lokalita	počet zpracovávaných hodnot	průměr (mg.kg⁻¹)	odchylka	homogenní skupiny
brusnicový bor	1	3	2143	1128	X
suťový les	2	3	5118	1128	X
bučina	3	3	2679	1128	X
dubohabřina	4	3	1857	1128	X
smrčina	6	3	3947	1128	X

6.3 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v L horizontech na jednotlivých lokalitách

Při analýze bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace LMMOA v L horizontech se nachází v suťovém lese. Anionty příslušných kyselin zde dosahují hodnot: octony (1349 mg.kg⁻¹), mléčnany (408 mg.kg⁻¹), jablečnany (237 mg.kg⁻¹) a propionány (230 mg.kg⁻¹).

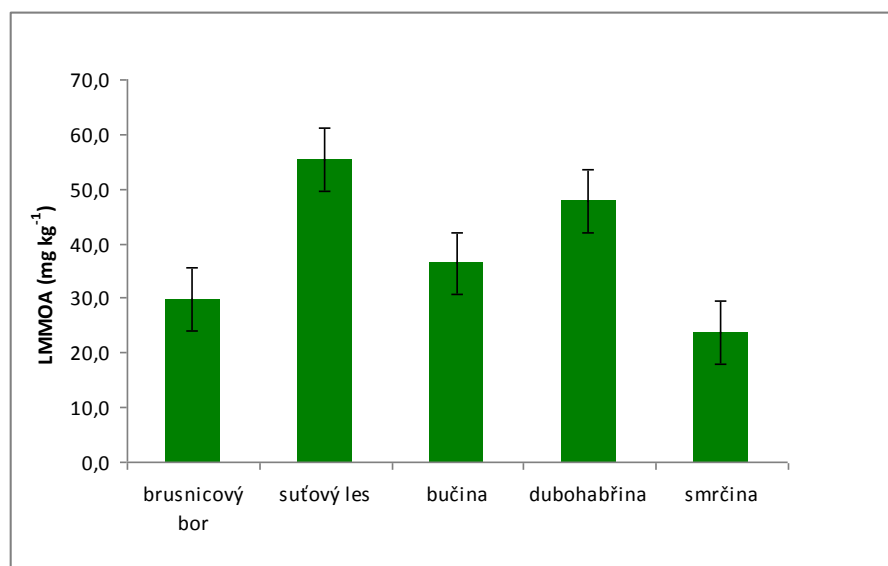
Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny ve smrčtině, a to u citrátů (0,80 mg.kg⁻¹) a maleátů (1,58 mg.kg⁻¹) a v dubohabřině u rovněž u citrátů (2,16 mg.kg⁻¹) a maleátů (1,61 mg.kg⁻¹). Jednotlivé koncentrace aniontů jsou zaneseny v tabulce 11.

Tab. 11: Průměrný obsah LMMOA ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) v L horizontech na jednotlivých lokalitách

	šťavelany	mravenčany	citráty	maleáty	propionáty
brusnicový bor	29,9	40,9	26,4	6,94	59
suťový les	55,3	113,2	5,65	21,7	230
bučina	36,4	114,3	25,3	5,94	152
dubohabřina	47,9	39,9	2,16	1,61	121
smrčina	23,7	44,4	0,80	1,58	72
	octany	mléčany	jablečnany	máselnany	vinany
brusnicový bor	446	161	74,6	7,54	6,55
suťový les	1349	408	237	49,4	19,7
bučina	893	212	201	14,1	21,1
dubohabřina	833	37,5	14,9	22,6	45,7
smrčina	651	72,2	67,7	14,5	10,3

6.3.1 Obsah šťavelanů v L horizontech

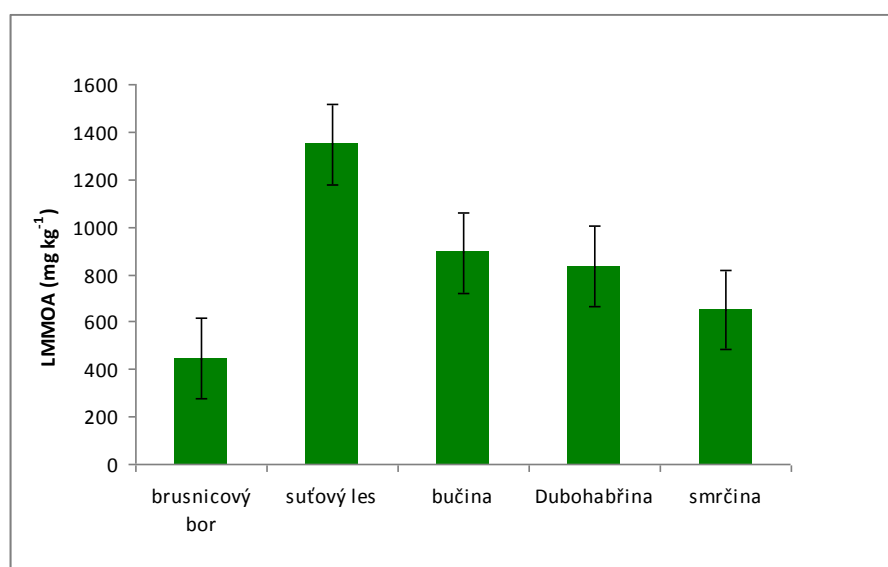
Šťavelany byly prokázány v nízkých hodnotách. Největší množství šťavelanů v L horizontech bylo naměřeno v suťovém a dubohabrovém lese, hodnoty jsou však statisticky neprůkazné. Nižší hodnoty byly prokázány v bučině a brusnicovém boru. Obsahy mezi těmito lokalitami byly statisticky neprůkazné, avšak ve srovnání se suťovým a dubohabrovým lesem byly rozdíly obsahů šťavelanů statisticky průkazné. Nejnížší množství šťavelanů bylo naměřeno ve smrčině. Statisticky průkazné rozdíly jsou ve srovnání s lokalitami suťový les, bučina a dubohabřina. S brusnicovým borem jsou rozdíly v obsazích šťavelanů v L horizontech statisticky neprůkazné (graf 1).



Graf 1: Průměr a 95% LSD interval množství šťavelanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.2 Obsah octanů v L horizontech

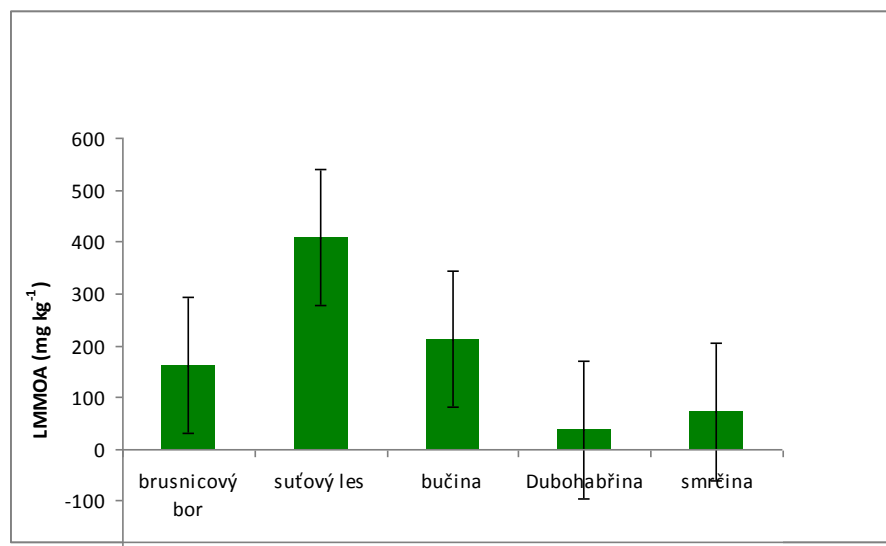
Velmi vysoké hodnoty byly naměřeny na lokalitě suťový les. S ostatními lokalitami tvoří statisticky průkazný rozdíl. Bučina, dubohabřina a smrčina dosahovaly podobné hodnoty. Brusnicový bor má nejnižší obsah octanů, avšak rozdíl hodnot mezi těmito čtyřmi lokalitami je statisticky neprůkazný při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 2).



Graf 2: Průměr a 95% LSD interval množství octanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.3 Obsah mléčnanů v L horizontech

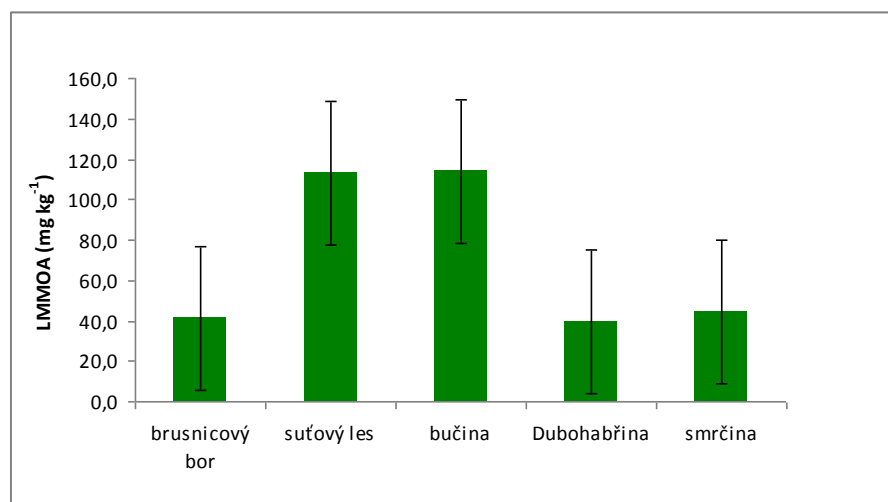
Mléčnany dosahují průměrných hodnot od 40 do 400 mg.kg⁻¹. I přes větší rozdíly v koncentracích na jednotlivých lokalitách, jsou tyto hodnoty statisticky neprůkazné (graf 3).



Graf 3: Průměr a 95% LSD interval množství mléčnanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.4 Obsah mravenčanů v L horizontech

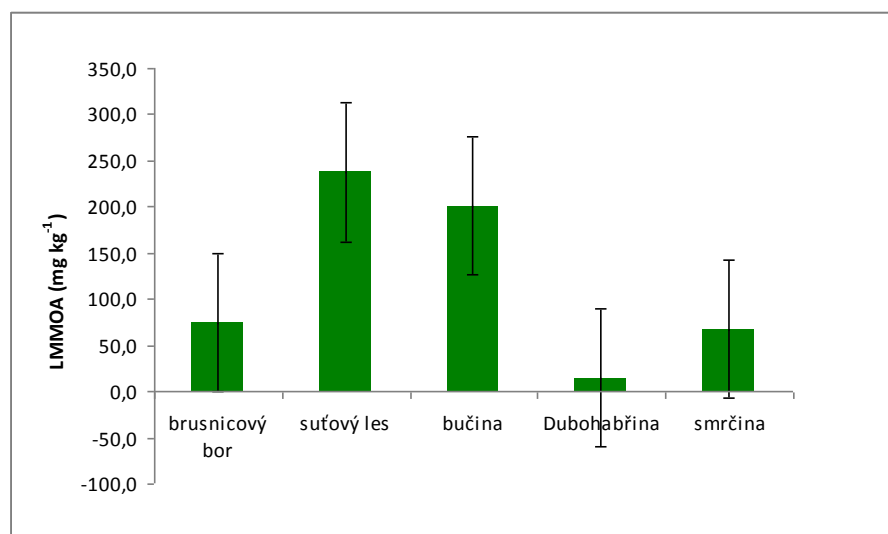
Mravenčany se vyskytují na jednotlivých lokalitách v průměrných koncentracích od 40 do 120 mg.kg⁻¹. V suťovém a bukovém lese byly hodnoty obsahů LMMOA nejvyšší, navzájem se statisticky neprůkaznými rozdíly. S ostatními lokalitami však statisticky průkazný rozdíl prokazovaly. Brusnicový bor, dubohabřina a smrčina dosahovaly podobných hodnot se statisticky neprůkaznými rozdíly při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 4).



Graf 4: Průměr a 95% LSD interval množství mravenčanu (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.5 Obsah jablečnanů v L horizontech

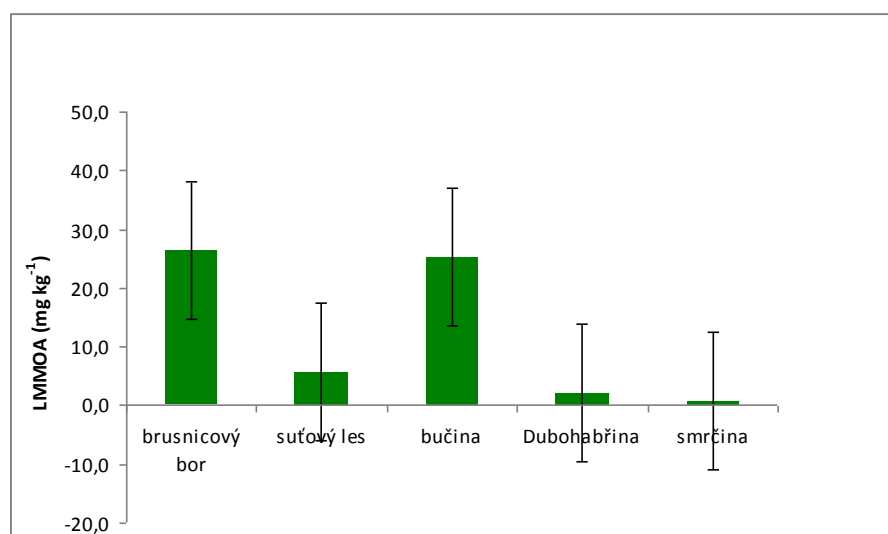
Jablečnany dosahují průměrných hodnot 15 až 250 mg.kg⁻¹. V suťovém lese není statisticky průkazný rozdíl ve srovnání s bučinou. Bučina dosahuje statisticky neprůkazných hodnot s brusnicovým borem a smrčinou. Nejmenší naměřené hodnoty jablečnanů byly naměřeny v dubohabrovém lese. Hodnoty jsou však statisticky neprůkazné s hodnotami v lese smrkovém borovém. Naopak statisticky průkazný rozdíl je u dubohabřiny ve srovnání s bučinou a suťovým lesem (graf 5).



Graf 5: Průměr a 95% LSD interval množství jablečnanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.6 Obsah citrátů v L horizontech

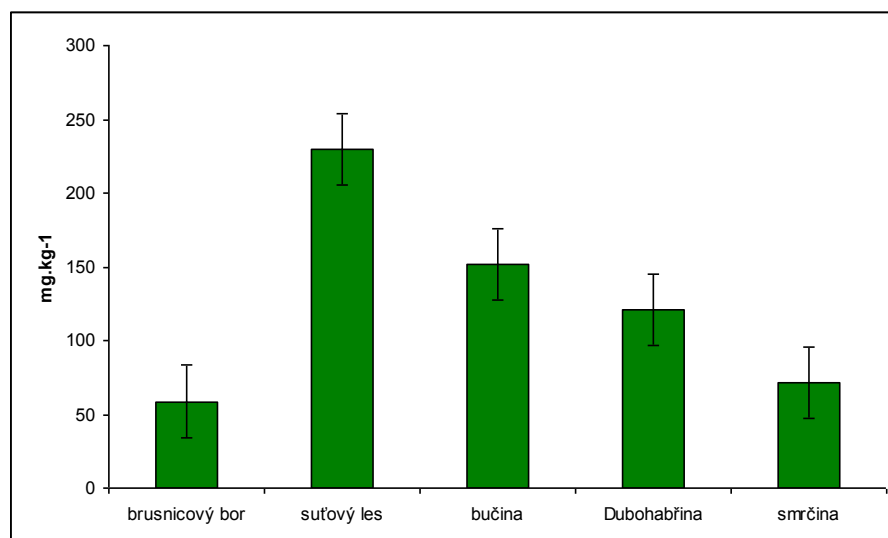
Citráty dosahují nízkých průměrných obsahů LMMOA ($1 - 30 \text{ mg.kg}^{-1}$), avšak s velkými rozdíly mezi lokalitami. Vyšších hodnot dosahují citráty v borovém a bukovém lese s navzájem statisticky neprůkaznými rozdíly. V L horizontu byly zjištěny v suťovém lese, dubohabřině a smrčíně. Rozdíly mezi těmito lokalitami nejsou statisticky významné. Nejnižší koncentrace citrátů jsou v dubohabrovém a smrkovém lese. Ve srovnání s bukovým a borovým lesem dosahuje dubohabřina a smrčina statisticky průkazných rozdílů v obsazích citrátů (graf 6).



Graf 6: Průměr a 95% LSD interval množství citrátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.7 Obsah propionátů v L horizontech

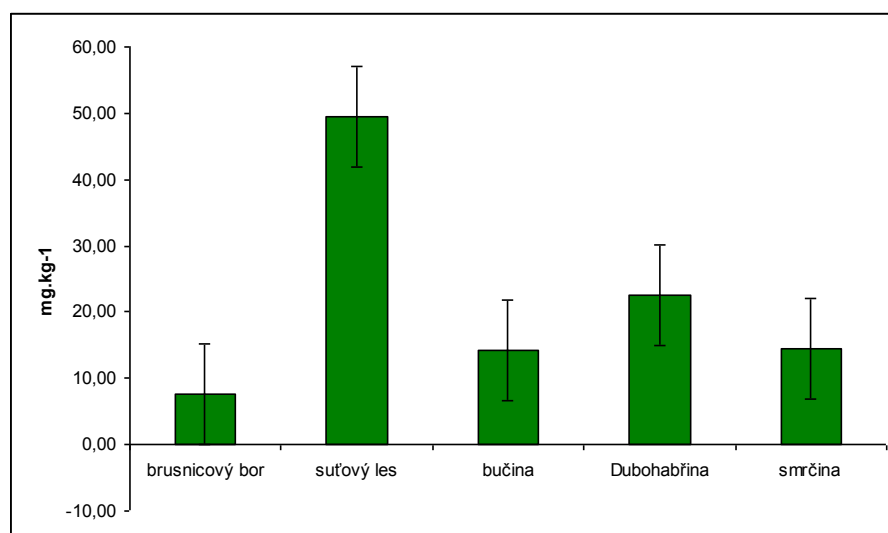
Průměrný obsah propionátů se na jednotlivých lokalitách pohybuje v rozmezí $50 - 240 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny v suťovém lese. S ostatními lokalitami prokazuje tato lokalita statisticky průkazný rozdíl v obsazích citrátů. Statisticky neprůkazné rozdíly při hladině významnosti $p = 0,05$ byly zjištěny pro lokality bučina a dubohabřina a u lokalit smrčina a brusnicový bor (graf 7).



Graf 7: Průměr a 95% LSD interval množství propionátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.8 Obsah máselnanů v L horizontach

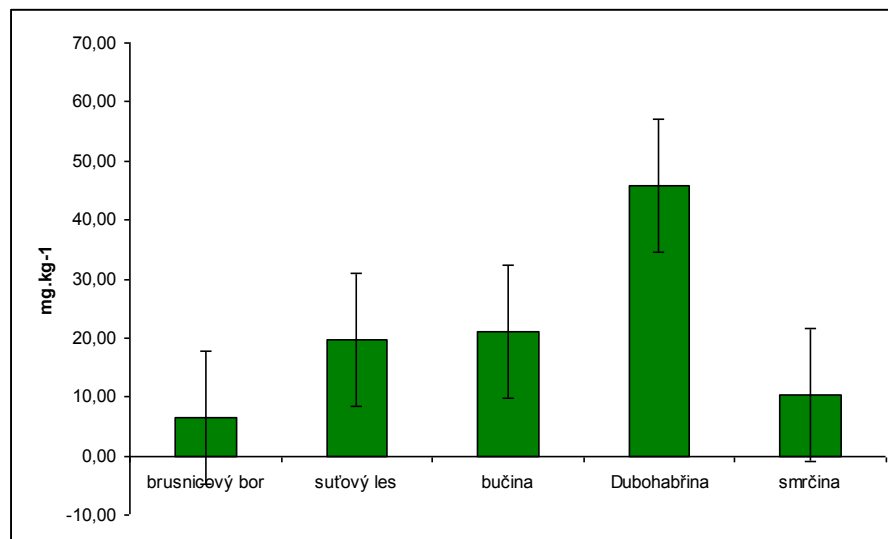
Celkově se máselnaný v L horizontech vyskytují v nižších koncentracích (10 - 50 mg.kg^{-1}). Nejvyšších hodnot se statistickou průkazností dosahuje suťový les. Brusnicový bor, bučina, dubohabřina a smrčina dosahují průměrných hodnot máselnanů se statisticky neprůkaznými rozdíly v koncentracích (graf 8).



Graf 8: Průměr a 95% LSD interval množství máselnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.9 Obsah vinanů v L horinontech

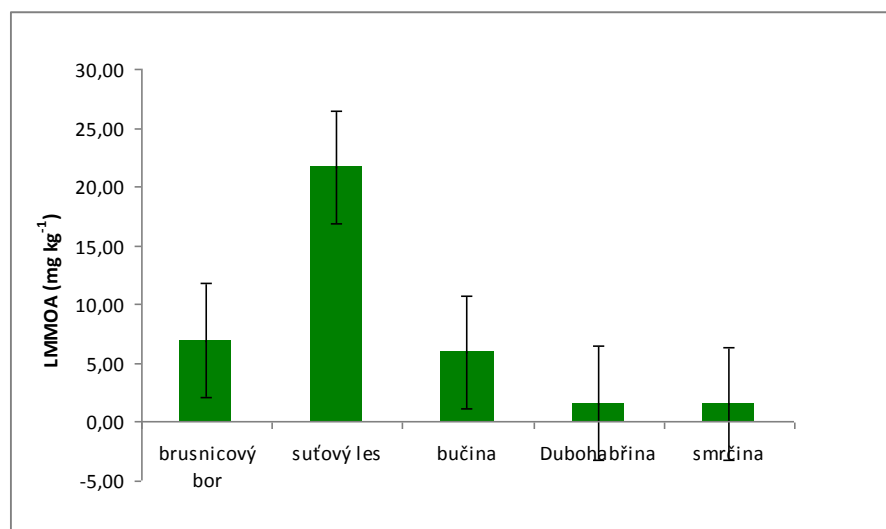
Obsahy vinanů na jednotlivých lokalitách byly zjištěny v průměrných koncentracích od 8 do 50 mg.kg⁻¹). Statisticky průkazné rozdíly byly prokázány v dubohabrovém lese. Statisticky neprůkazných hodnot v rozdílných koncentrací vinanů dosahují brusnicový bor, suťový les, bučina a smrčina (graf 9).



Graf 9: Průměr a 95% LSD interval množství vinanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.3.10 Obsahy maleátů v L horizontech

Statisticky průkazné rozdíly v obsazích maleátů byly zjištěny v suťovém lese oproti ostatním stanovištím. Mezi dalšími stanovišti nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl (graf 10).



Graf 10: Průměr a 95% LSD interval množství maleinátů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické L horizonty

6.4 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v F horizontech na jednotlivých lokalitách

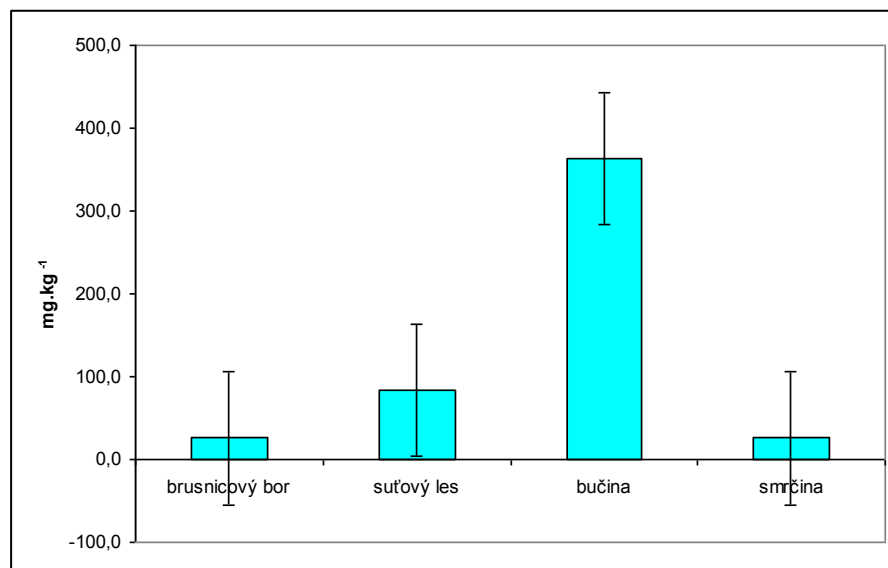
Obsahy aniontů příslušných stanovovaných kyselin v F horizontech na jednotlivých lokalitách nabývaly průměrných hodnot 0,5 - 363 mg.kg⁻¹. Největší obsahy byly zjištěny u octanů (363,3 mg.kg⁻¹) v bukovém lese. Naopak nejnižší obsahy byly zjištěny u máselnanů (0,54 mg.kg⁻¹), maleátů (0,65 mg.kg⁻¹) a citrátů (0,65 mg.kg⁻¹) v borovém lese. Jednotlivé obsahy aniontů jsou zaneseny v tabulce (tab. 6).

Tab. 6 Průměrný obsah LMMOA (mg.kg⁻¹) v F horizontech na jednotlivých lokalitách

	šťavelany	mravenčany	citráty	maleáty	propionáty
brusnicový bor	4,11	5,0	0,66	0,65	1,97
suťový les	13,3	11,8	0,00	1,39	11,06
bučina	10,9	30,4	1,23	1,31	39,40
smrčina	7,63	10,2	2,16	1,16	5,12
	octany	mléčnany	jablečnany	máselnany	vinany
brusnicový bor	25,8	5,84	3,90	0,54	0,87
suťový les	84,2	2,82	1,88	2,62	1,65
bučina	363,3	58,38	50,7	8,17	9,00
smrčina	25,8	4,95	3,01	3,98	2,14

6.4.1 Obsahy octanů v F horizontech

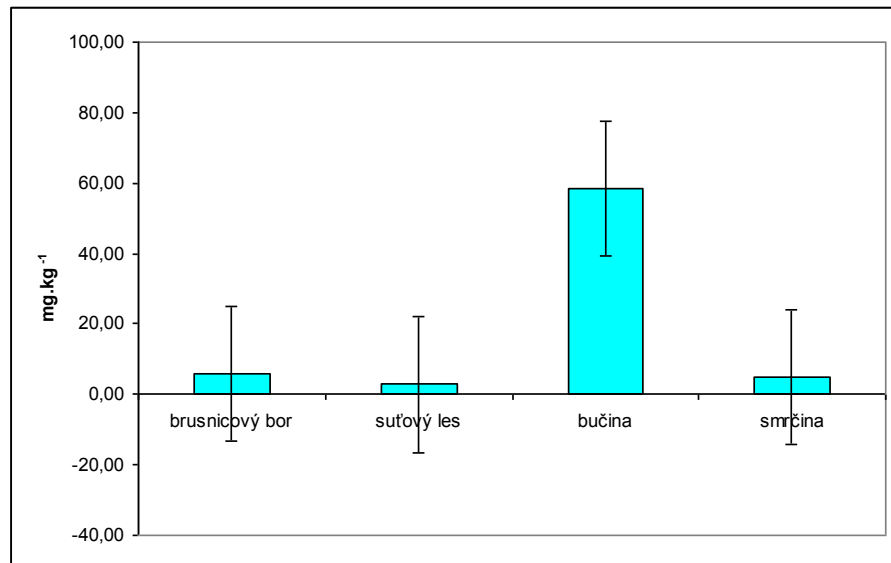
Statisticky průkazné rozdíly v obsazích octanů byly zjištěny v bukovém lese ve srovnání s ostatními lokalitami. V borovém, suťovém a smrkovém lese byly nalezeny nižší hodnoty octanů se statisticky neprůkaznými rozdíly v obsazích octanů (graf 11).



Graf 11: Průměr a 95% LSD interval množství octanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.2 Obsahy mléčnanů v F horizontech

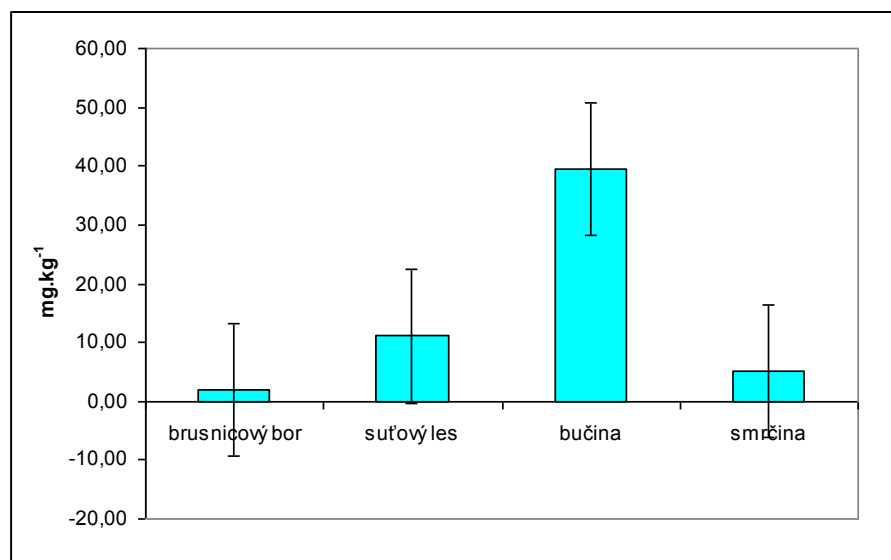
Nejvyšší obsahy mléčnanů byly zjištěny v bukovém lese. Ve srovnání s ostatními lokalitami má bukový les ve srovnání obsahů statisticky průkazný rozdíl. Brusnicový bor, suťový les a smrčina mají statisticky neprůkazné rozdíly při hladině významnosti $p = 0,05$ mezi obsahy mléčnanů (graf 12).



Graf 12: Průměr a 95% LSD interval množství mléčnanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.3 Obsah propionátů v F horizontech

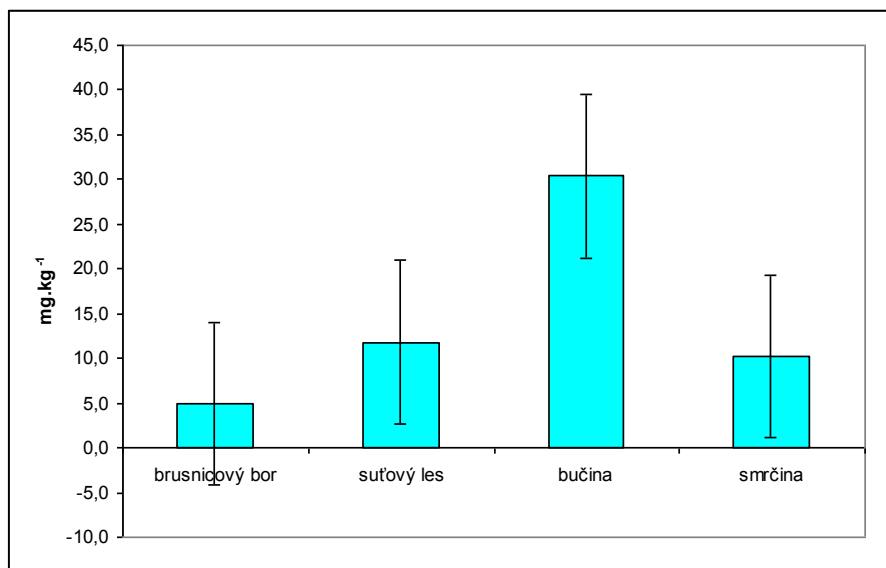
Statisticky průkazné rozdíly byly nalezeny v bukovém lese ve srovnání obsahu propionátu s ostatními lokalitami. Brusnicový bor, suťový les a smrčina mají statisticky neprůkazné rozdíly mezi obsahy (graf 13).



Graf 13: Průměr a 95% LSD interval množství propionátů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.4 Obsah mravenčanů v F horizontech

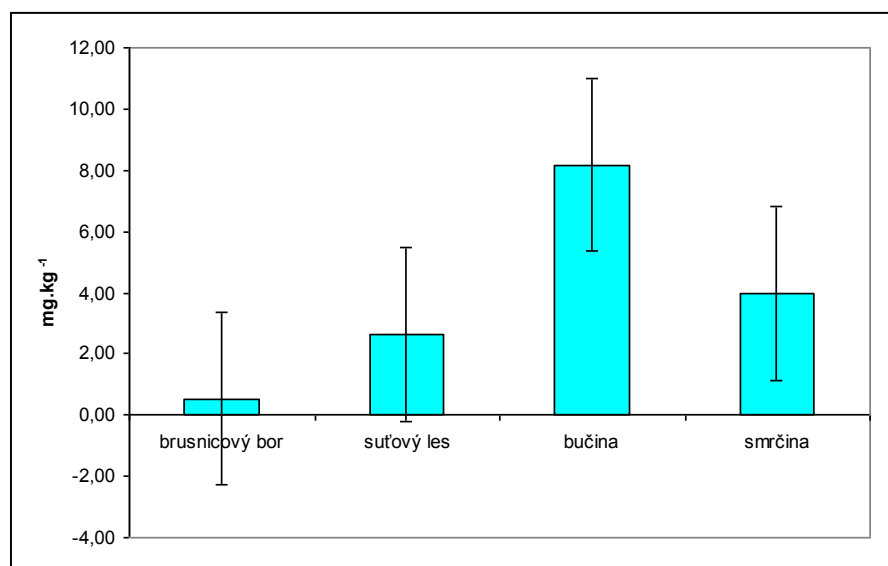
Statisticky průkazné rozdíly byly nalezeny v bukovém lese ve srovnání obsahu propionátu s ostatními lokalitami. Brusnicový bor, suťový les a smrčina mají statisticky neprůkazné rozdíly mezi obsahy při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 14).



Graf 14: Průměr a 95% LSD interval množství mravenčanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.5 Obsah máselnanů v F horizontech

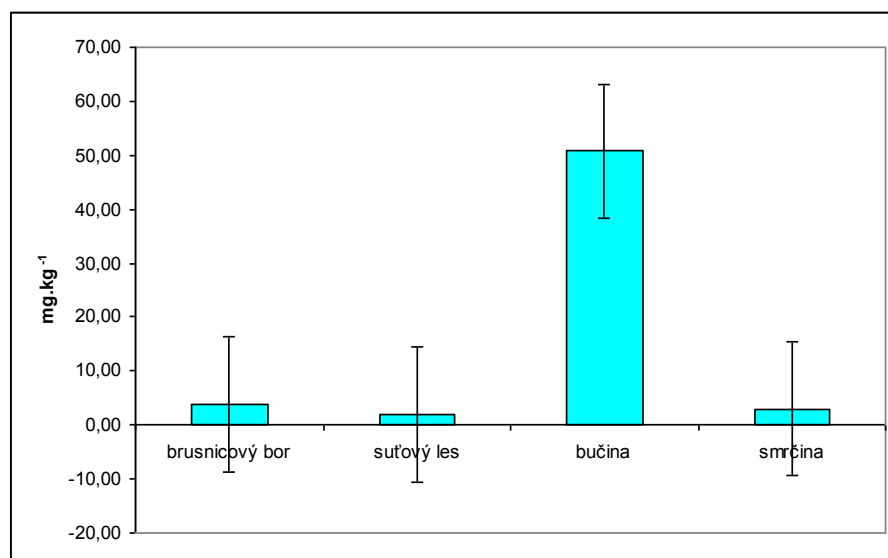
Máselnany vykazují statisticky neprůkazné rozdíly mezi lokalitami suťový les, smrčina, a bučina. Statisticky průkazné rozdíly v obsazích máselnanů jsou mezi lokalitami brusnicový bor a smrčinou (graf 15).



Graf 15: Průměr a 95% LSD interval množství máselnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.6 Obsah jablečnanů v F horizontech

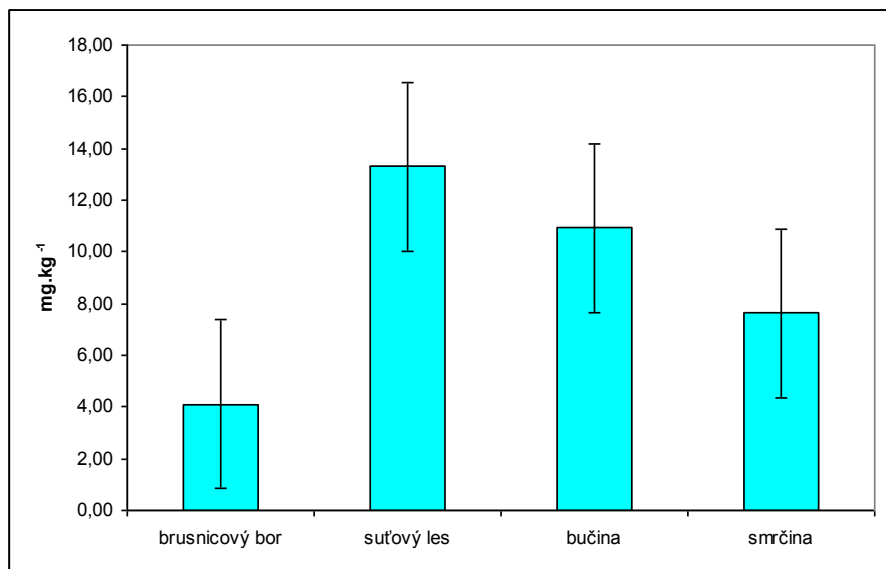
Nejvyšší obsahy se statistickou průkazností v obsahích jablečnanů byly nalezen v bukovém lese. Brusnicový bor, suťový les a smrčina mají statisticky neprůkazné rozdíly mezi obsahy jablečnanů při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 16).



Graf 16: Průměr a 95% LSD interval množství máselnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.7 Obsah šťavelanů v F horizontech

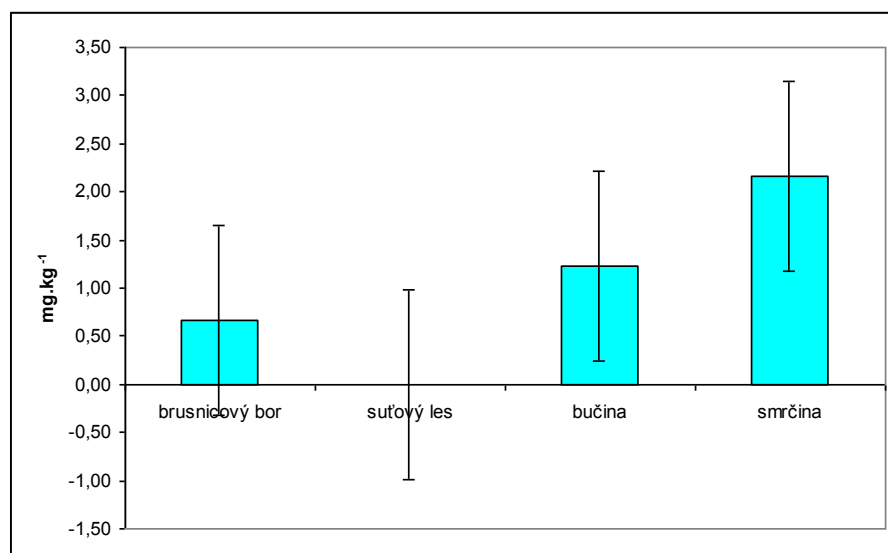
Podobné obsahy šťavelanů byly nalezeny na lokalitách suťový les, bučina a smrčina. Rozdíly mezi obsahy byly u těchto lokalit statisticky neprůkazné. Nejnižší hodnoty šťavelanů byly zjištěny v borovém lese. Tato lokalita měla statisticky neprůkazné rozdíly v obsazích jen s lokalitou smrkový les (graf 17).



Graf 17: Průměr a 95% LSD interval množství šťavelanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.8 Obsah citrátů v F horizontech

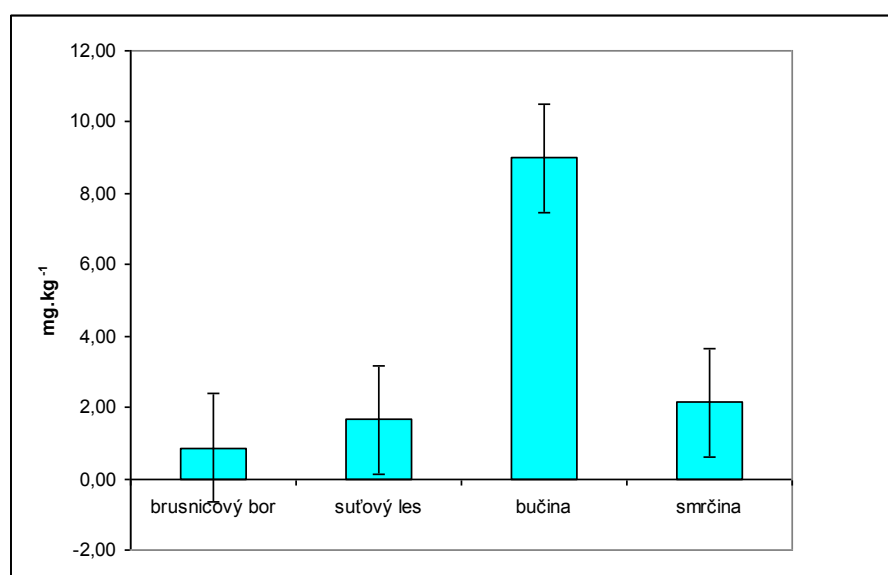
Citráty byly nalezeny jen na třech lokalitách a v borovém lese, bukovém lese a smrkovém lese. Všechny tři lokality dosahovaly podobných, minimálních hodnot v obsazích citrátů a to se statistickou neprůkazností (graf 18).



Graf 18: Průměr a 95% LSD interval množství citrátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.9 Obsah vnanů v F horizontech

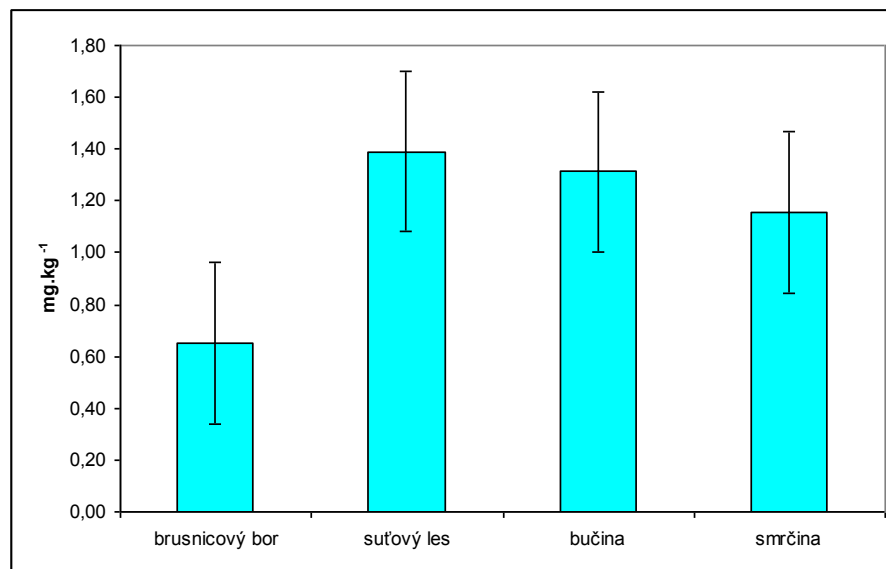
Nejvyšší obsah vnanů byl nalezen v bukovém lese. S ostatními lokalitami má statisticky průkazný rozdíl v obsahu vnanů. Brusnicový bor, suťový les a smrkový les mají podobné obsahy vnanů se statisticky neprůkazným rozdílem při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 19).



Graf 19: Průměr a 95% LSD interval množství vnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.4.10 Obsah maleátů v F horizontech

Obsahy maleátů v F horizontech byly poměrně nízké. V suťovém lese, v bukovém a smrkovém lese byly nalezeny podobné obsahy se statisticky neprůkaznými rozdíly. Nejnižší hodnoty byly zjištěny v brusnicovém boru, který dosahoval statisticky průkazných rozdílů ve srovnání s obsahy v suťovém a bukovém lese (graf 20).



Graf 20: Průměr a 95% LSD interval množství vinanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické F horizonty

6.5 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v H horizontech na jednotlivých lokalitách

Průměrné obsahy LMMOA v H horizontech byli zjištěny velmi nízké v porovnání s L a F horizonty. Hodnoty se pohybují od 0,03 (mg.kg⁻¹) do 4,11 (mg.kg⁻¹). Vinany nebyly na žádné lokalitě nalezeny. Propionáty, máselnany a citráty byly prokázány, ale v zanedbatelných koncentracích. Nejvíce byly v H horizontech zjištěny šřavelany (4,84 mg.kg⁻¹) v suťovém lese a mléčnany (4,10 mg.kg⁻¹) v suťovém lese a v dubohabřině.

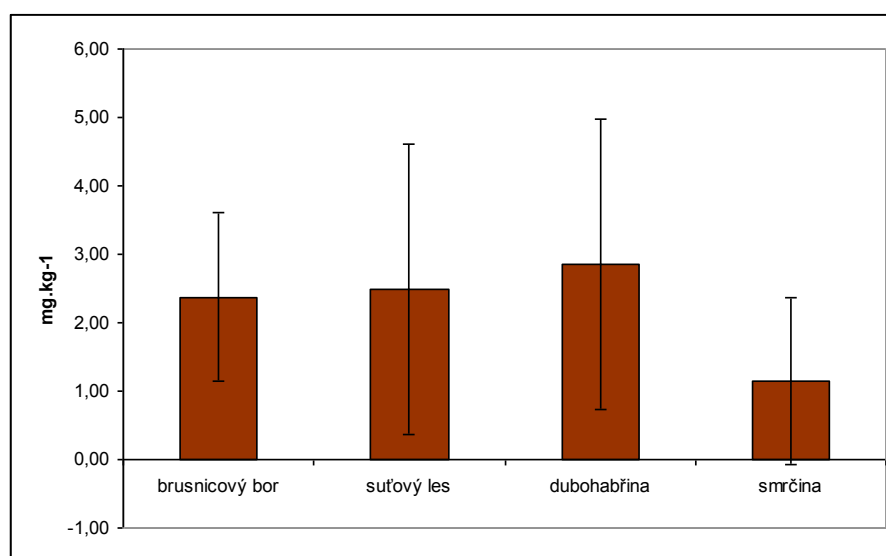
Průměrné obsahy aniontů příslušných kyselin jsou zaznamenány v tabulce (tab. 7)

Tab. 7: Průměrný obsah LMMOA (mg.kg^{-1}) v H horizontech na jednotlivých lokalitách

	šťavelany	mravenčany	citráty	maleáty	propionáty
brusnicový bor	2,87	2,81	0,03	0,70	0,00
suťový les	4,11	1,30	0,00	0,94	0,00
dubohabřina	2,54	0,10	0,00	0,57	0,00
smrčina	4,84	0,95	0,00	0,64	0,06
	octany	mléčnany	jablečnany	máselnany	vinany
brusnicový bor	2,38	2,37	0,56	0,00	0,00
suťový les	2,48	4,10	0,80	0,00	0,00
dubohabřina	2,86	4,10	0,36	0,00	0,00
smrčina	1,14	2,37	1,26	0,18	0,00

6.5.1 Obsah octanů v H horizontech

Octany v H horizontech byly analyzovány v extraktu jen pro H horizonty odebrané v borovém, suťovém, dubohabrovém a smrkovém lese. Stanovené hodnoty nevykazovaly statisticky významné rozdíly mezi stanovišti (graf 21).

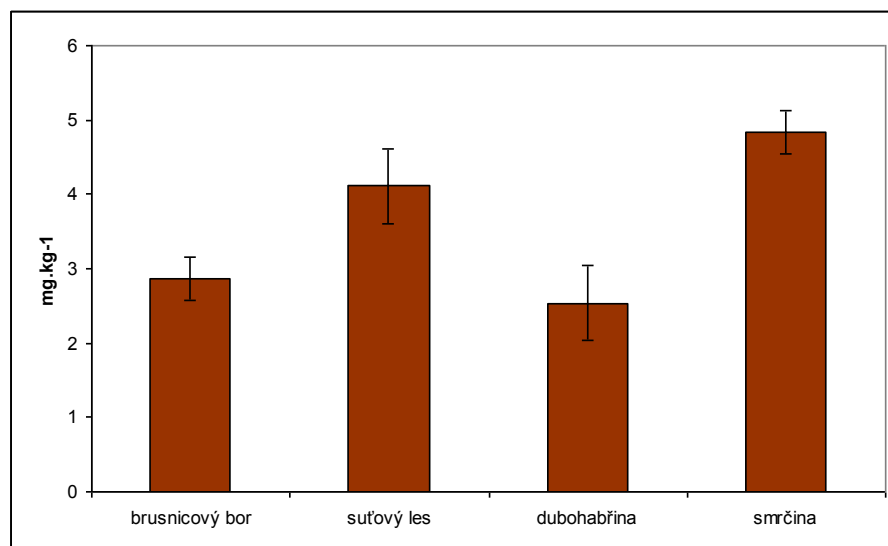


Graf 21: Průměr a 95% LSD interval množství octanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.5.2 Obsah šťavelanů v H horizontech

Obsahy šťavelanů jsou velmi podobné u suťového lesa a smrčiny, kde dosahují vyšších hodnot v obsazích. Rozdíl v obsazích na těchto dvou lokalitách je statisticky neprůkazný. Podobné vyhodnocení platí i u lokalit brusnicový bor a dubohabřina. Zde šťavelany

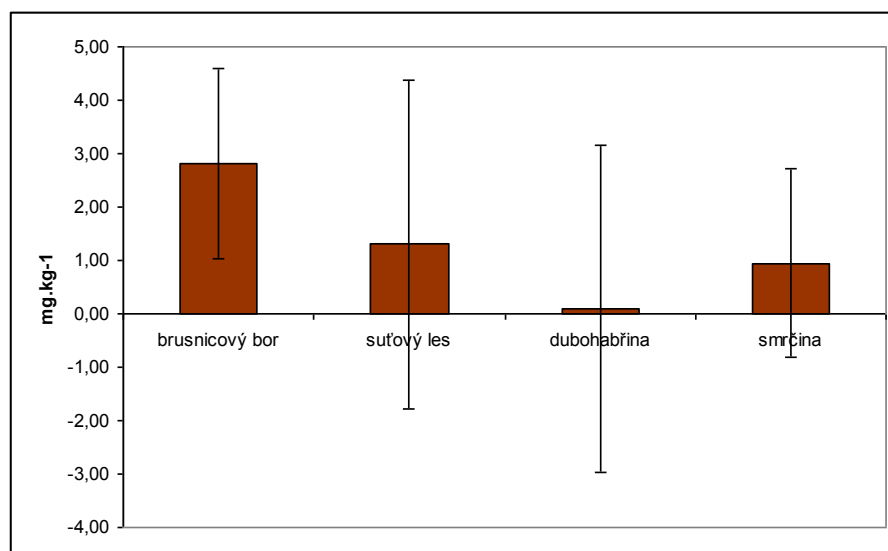
dosahovaly nižších koncentrací. I zde se rozdíl v obsazích jeví jako statisticky neprůkazný. Statistická průkaznost v koncentracích šťavelanů byla nalezena mezi lokalitami suťový les a brusnicový bor, suťový les a dubohabřina, smrčina a brusnicový bor, smrčina a dubohabřina (graf 22).



Graf 22: Průměr a 95% LSD interval množství šťavelanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.5.3 Obsah mravenčanů v H horizontech

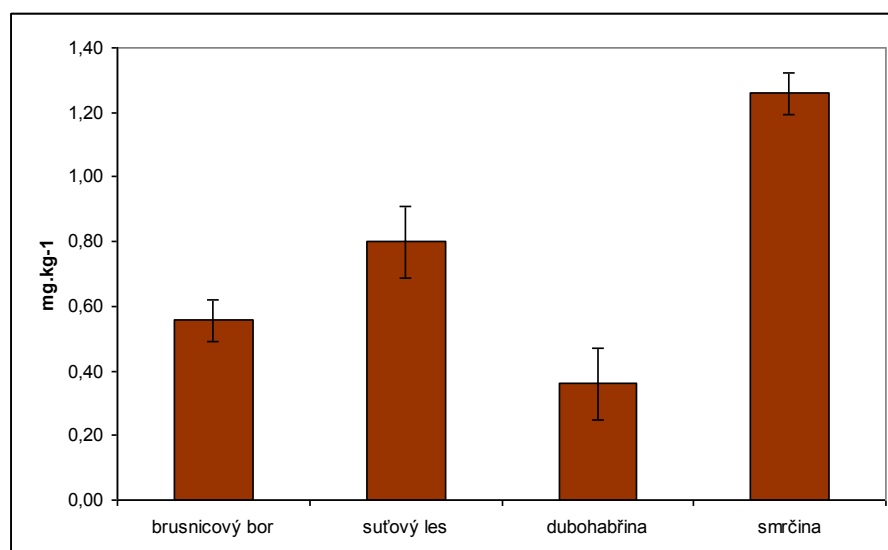
Obsahy mravenčanů dosahovaly v H horizontech rozdílných hodnot, avšak se statisticky neprůkaznými rozdíly. Nejvyšší obsah mravenčanů byl nalezen brusnicovém boru, naopak nejnižší v dubohabrovém (graf 23).



Graf 23: Průměr a 95% LSD interval množství mravenčanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.5.4 Obsah jablečnanů v H horizontech

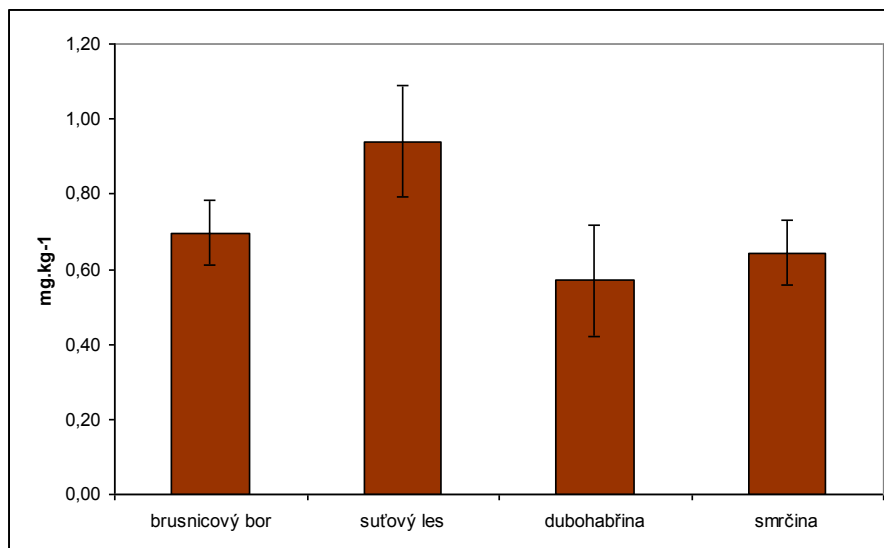
Byly zjištěny významné rozdíly mezi lokalitami v obsazích jablečnanů. Nejvíce bylo zjištěno jablečnanů v H horizontech odebraných ve smrčtině, poté v suťovém lese, brusnicovém boru. Nejnižší obsahy byly analyzovány v extraktu H horizontů vzorkovaných v dubohabřině (graf 24).



Graf 24: Průměr a 95% LSD interval množství jablečnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.5.5 Obsah maleátů v H horizontech

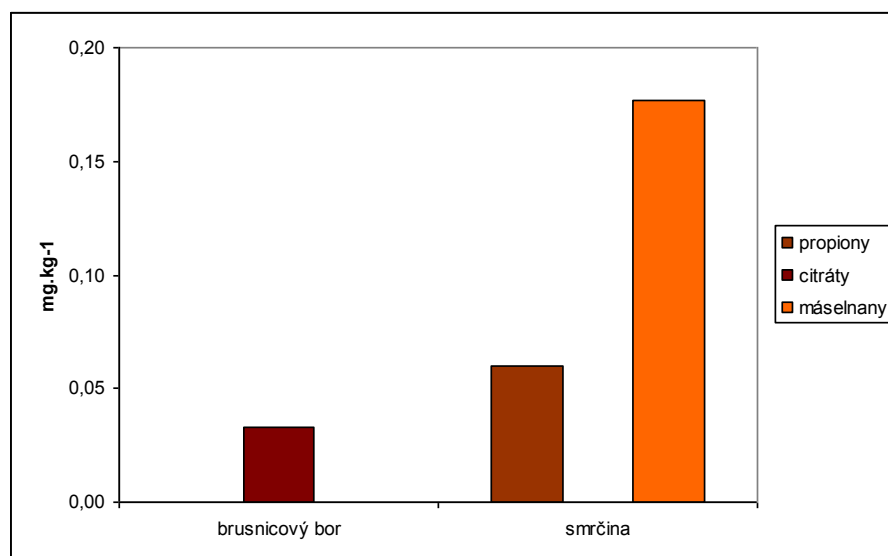
Obsah maleátů dosahoval velmi nízkých hodnot. Statisticky neprůkazné rozdíly v obsazích při hladině významnosti $p = 0,05$ byly zjištěny u lokalit brusnicový bor, dubohabřina a smrčina. Jediný statisticky průkazný rozdíl v obsazích maleátů byl zjištěn u suťového lesa (graf 25).



Graf 25: Průměr a 95% LSD interval množství maleátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.5.6 Obsah propionů, máselnanů a citrátů

Propiony, máselnany a citráty dosahují jen zanedbatelných obsahů. Byly stanoveny jen na jedné ze sledovaných lokalit a to borovém a smrkovém lese, proto u těchto aniontů nemohla být zjištěna statistická průkaznost (graf 26).



Graf 26: Průměr množství propionátů, citrátů a máselanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické H horizonty

6.6 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v A horizontech na jednotlivých lokalitách

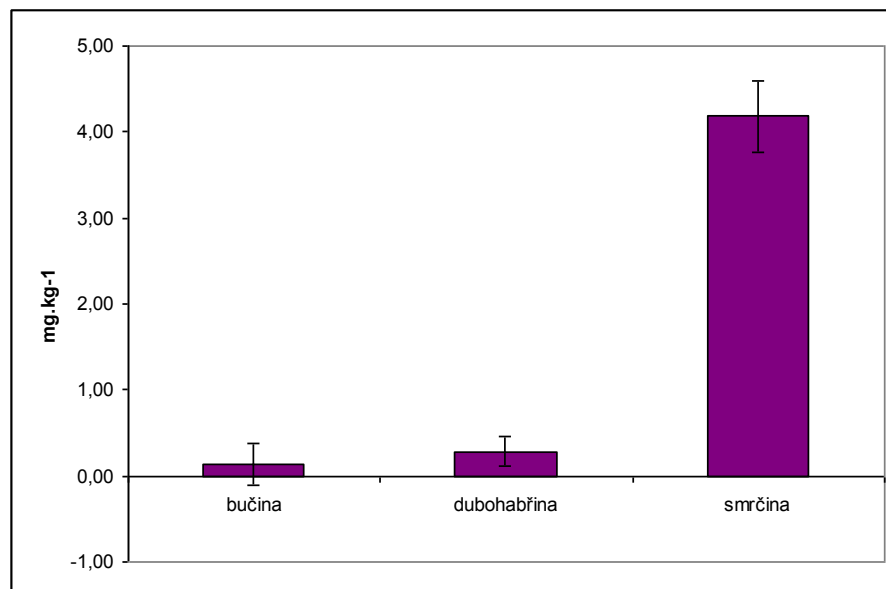
Nejvyšší hodnoty v A horizontech byly zjištěny u octanů v olšovém lese ($36,34 \text{ mg.kg}^{-1}$) a dubohabrovém lese ($13,74 \text{ mg.kg}^{-1}$), propionátů v olšovém lese ($12,40 \text{ mg.kg}^{-1}$), mravenčanů ve smrkovém lese ($11,15 \text{ mg.kg}^{-1}$) a máselanů rovněž v olšině ($13,34 \text{ mg.kg}^{-1}$). Ostatní obsahy dosahují zanedbatelné hodnoty. Vše je zobrazeno v tabulce (tab. 8).

Tab. 8: Průměrný obsah LMMOA (mg.kg^{-1}) v A horizontech na jednotlivých lokalitách

	šťavelany	mravenčany	citráty	maleáty	propionáty
sut'ový les	2,73	0,32	0,00	0,88	0,00
bučina	1,97	2,07	0,36	0,75	0,48
dubohabřina	2,37	2,26	0,11	0,60	0,32
olšina	3,56	0,99	1,36	0,80	12,4
smrčina	3,58	11,1	0,00	0,57	0,52
	octany	mléčnany	jablečnany	máselnany	vinany
sut'ový les	0,52	0,00	0,50	0,10	0,00
bučina	1,33	0,13	0,43	0,31	0,00
dubohabřina	13,7	0,28	0,32	0,00	0,00
olšina	36,3	0,00	0,67	13,3	2,19
smrčina	4,61	4,18	0,81	0,00	0,00

6.6.1 Obsah mléčnanů v A horizontech

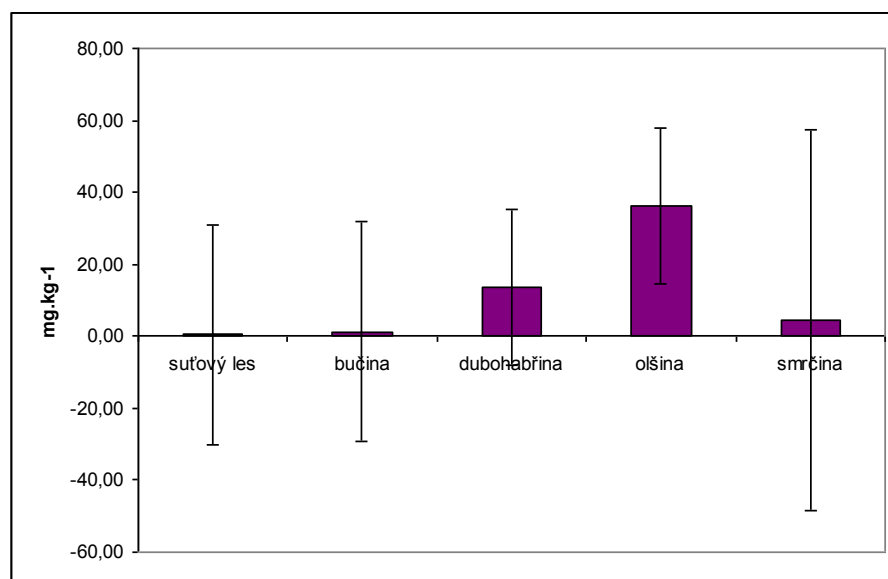
Nejvyšší obsah mléčnanů v A horizontech byl zjištěn ve smrkovém lese. Tato lokalita dosahuje statisticky průkazné rozdíly ve srovnání s obsahy na ostatních lokalitách. Další výskyt mléčnanů byl zjištěn na lokalitě bučina a dubohabřina. Obsahy však byly zanedbatelné a při hladině významnosti $p = 0,05$ statisticky neprůkazné (graf 27).



Graf 27: Průměr a 95% LSD interval množství mléčnanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.2 Obsah octanů v A horizontech

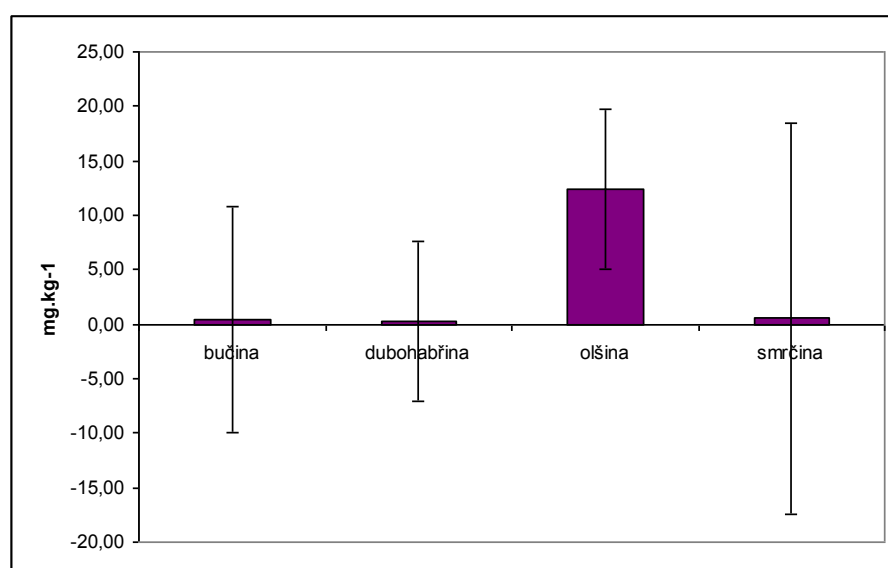
Nejvyšší hodnoty octanů v A horizontech byly zjištěny na lokalitě olšina a na lokalitě dubohabřina. Na ostatních lokalitách dosahovaly obsahy octanů nízkých či zanedbatelných statisticky neprůkazných hodnot (graf 28).



Graf 28: Průměr a 95% LSD interval množství octanů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.3 Obsah propionátů v A horizontech

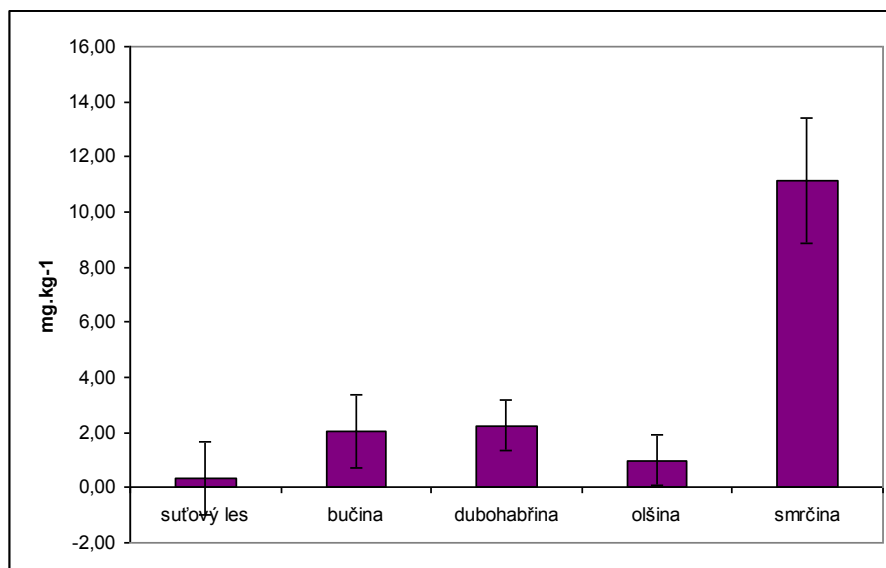
Nejvyšší obsahy propionů byly rovněž zjištěny v olšovém lese. Zbylé lokality obsahovaly zanedbatelné množství. Všechna získaná data nedosahovala statistickou průkaznost (graf 29).



Graf 29: Průměr a 95% LSD interval množství propionátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.4 Obsah mravenčanů v A horizontech

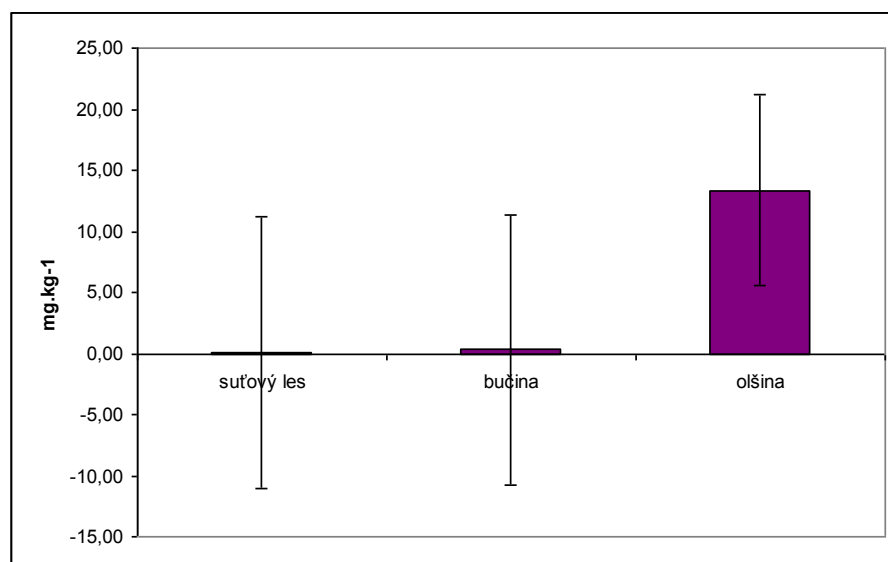
Nejvyšší obsah mravenčanů byl zjištěn ve smrkovém lese. Byly zde dosaženy statisticky průkazné obsahy. Ostatní lokality dosahovaly nižších, statisticky neprůkazných hodnot při hladině významnosti $p = 0,05$ (graf 30).



Graf 30: Průměr a 95% LSD interval množství mravenčanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.5 Obsah máselnanů v A horizontech

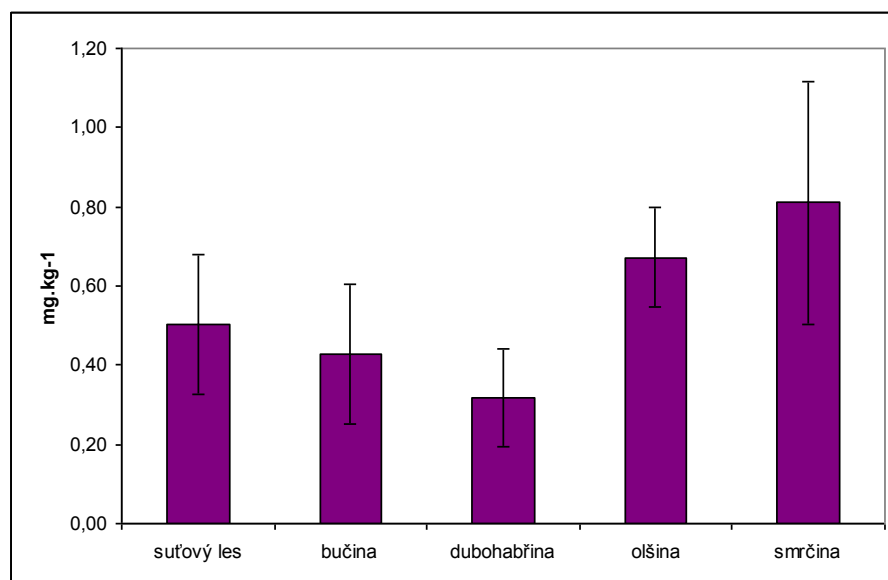
Nejvyšších hodnot dosahovaly máselnany v olšovém lese. Na ostatních lokalitách byly zjištěny v zanedbatelných hodnotách. Všechny obsahy však dosahovaly statisticky neprůkazných obsahů (graf 31).



Graf 31: Průměr a 95% LSD interval množství máseľnanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.6 Obsah jablečnanů v A horizontech

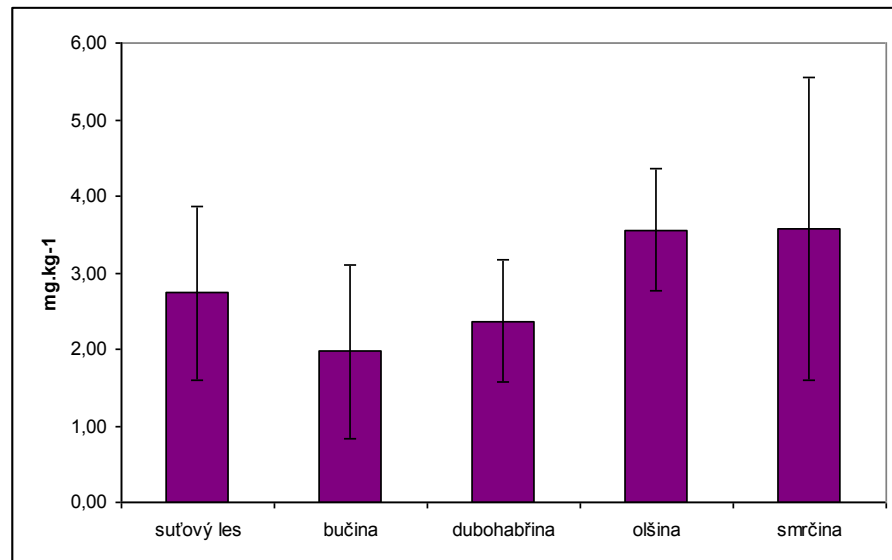
Rozdíl v obsazích se statistickou průkazností byl zjištěn v dubohabrovém a smrkovém lese. Ostatní lokality dosahovaly podobných obsahů se statistickou neprůkazností (graf 32).



Graf 32: Průměr a 95% LSD interval množství jablečnanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.7 Obsah šŕavelanů v A horizontech

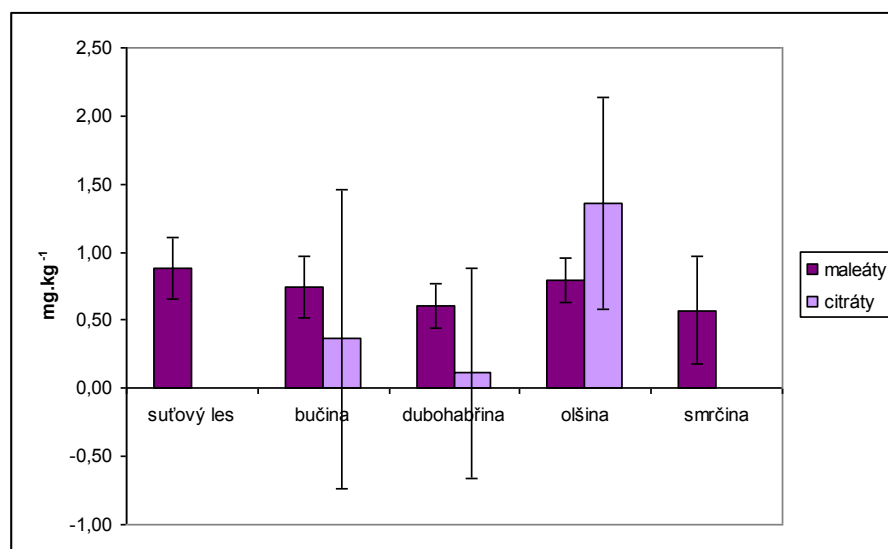
Šŕavelany dosahovaly podobných průměrných hodnot na zjištěných lokalitách. Hodnoty však byly statisticky neprůkazné (graf 33).



Graf 33: Průměr a 95% LSD interval množství šŕavelanů (mg.kg⁻¹) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.6.8 Obsahy citrátů a maleátů v A horizontech

Citráty a maleáty byly nalezeny ve velmi nízkých až zanedbatelných obsazích se statistickou neprůkazností (graf 34).



Graf 34: Průměr a 95% LSD interval množství citátů a maleátů (mg.kg^{-1}) na sledovaných lokalitách pro organické A horizonty

6.7 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v B horizontech na jednotlivých lokalitách

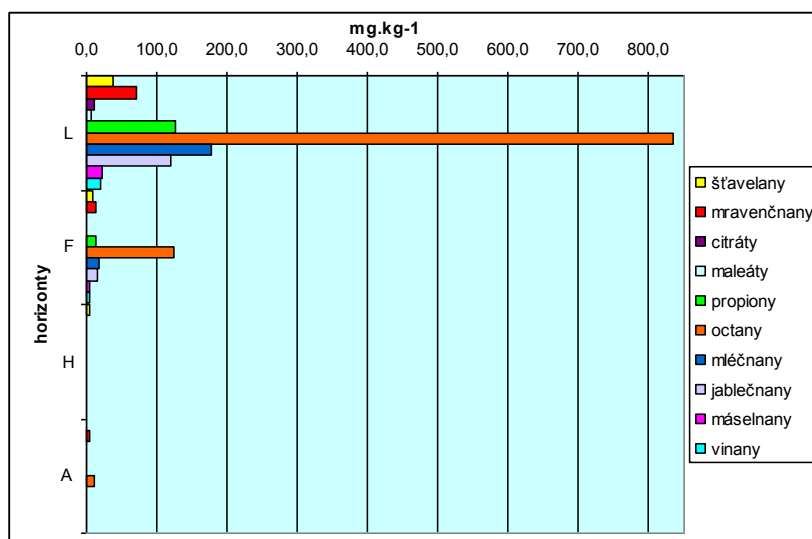
Koncentrace LMMOA na všech lokalitách v B horizontech dosahovaly minimálních či blízko hodnot bodu detekce IC.

7 Diskuse

Cílem této práce bylo zjistit obsah LMMOA půdy vybraných lokalit s různým vegetačním pokryvem a prokázat kvalitativně i kvantitativně výskyt nízkomolekulárních organických kyselin v jednotlivých půdních horizontech. Posoudit vliv vegetačního pokryvu na množství těchto sledovaných organických kyselin a určit jejich interakce s hlavními volnými kationy přítomnými v půdním prostředí a rizikovými prvky.

7.1 Obsah nízkomolekulárních organických kyselin v půdě v závislosti na obsahu půdní organické hmoty

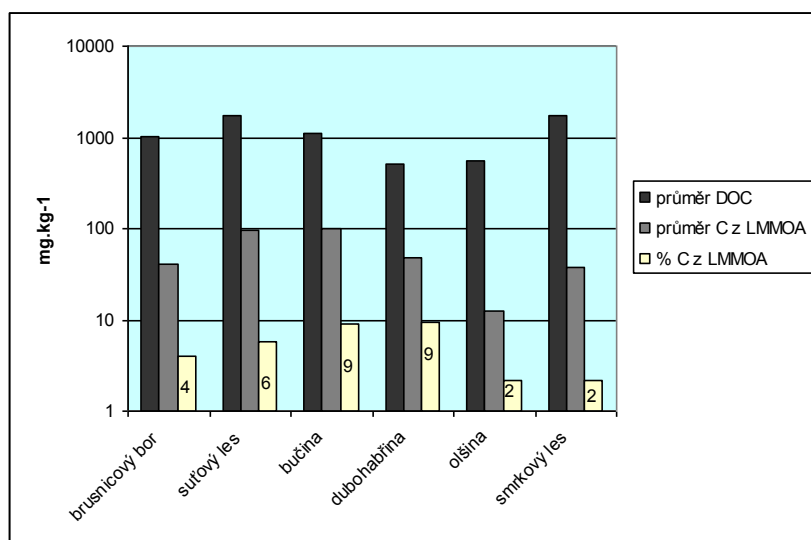
Analýzou byly prokázány LMMOA v půdě s různými hodnotami obsahů pod různým vegetačním pokryvem. Z grafu 35 lze vyčíst, že největší koncentrace LMMOA se nachází v L horizontu a s přibývajícím hloubkou obsah LMMOA markantně ubývá. Opadanka je jedním ze zdrojů půdní organické hmoty a tedy i LMMOA. Z toho lze odvodit, že na koncentraci nízkomolekulárních organických kyselin se nejvíce podílí lesní opadanka, jak uvádí Strobel (2001). Popisuje, že nejvyšší koncentrace LMMOA dosahují horní horizonty, protože koncentrace uhlíku z LMMOA představuje až 10 % půdní organické hmoty.



Graf 35: Obsah LMMOA (mg.kg^{-1}) v jednotlivých horizontech (průměrné hodnoty obsahů pocházejí ze statistického vyhodnocení zájmových lokalit)

Aby byla potvrzena hypotéza o závislosti obsahu LMMOA na množství organické hmoty v půdě, bylo zapotřebí srovnat obsahy DOC a koncentraci uhlíku z LMMOA (graf 36).

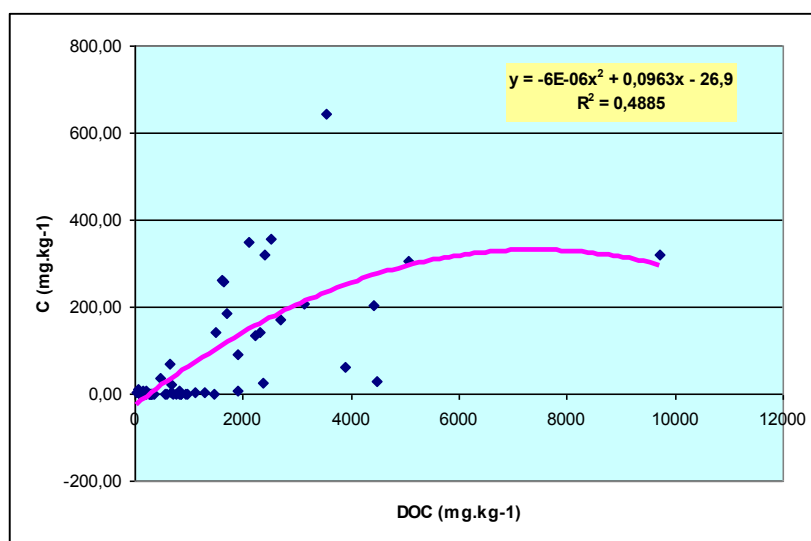
Při srovnání výstupů obsahů DOC s obsahy uhlíku obsaženém v LMMOA na sledovaných lokalitách, je zřejmé, že obsah LMMOA souvisí s obsahem organické hmoty. Z grafu 36 lze vyčíst, že nejvyšších obsahů DOC bylo naměřeno v suťovém a smrkovém lese. Naopak nejnižší hodnoty DOC byly zjištěny v dubohabrovém a olšovém lese. Podobné zobrazení grafu bylo získáno i u průměrných obsahů LMMOA. Nejvyšší hodnoty průměrných koncentrací uhlíku z LMMOA byly nalezeny v suťovém a bukovém lese. Naopak nejnižší koncentrace byly zjištěny v dubohabrovém a olšovém lese, z čehož vyplývá, že LMMOA jsou nedílnou součástí DOC (Jones et al., 2003). Z grafu lze dále vyčíst, kolik procent dosahuje koncentrace uhlíku z LMMOA a jednotlivých lokalitách. V bukovém a dubohabrovém lese se tyto koncentrace blíží k 10 %. Při porovnání našich výsledků s výsledky Strobel (2001) můžeme konstatovat, že jsme dospěli k podobným závěrům, které Strobel (2001) uvádí, že koncentrace uhlíku z LMMOA představuje až 10 % půdní organické hmoty.



Graf 36: Průměrné obsahy DOC (mg.kg⁻¹) a průměrné obsahy LMMOA (mg.kg⁻¹) na jednotlivých lokalitách; zastoupení uhlíku z LMMOA (%) v DOC (pro lepší výstupy byly hodnoty zlogaritmovány)

Pro lepší představu závislosti byla provedena korelační analýza. Pomocí metody nejmenších čtverců byla odhadnuta polygonická regresní přímka. Korelační koeficient ($R^2 = 0,4885$) poukazuje na střední závislost mezi obsahem DOC a koncentrací LMMOA (graf 37). Z hodnoty korelačního koeficientu můžeme vyčíst, že koncentrace LMMOA závisí z 50 % na obsahu organické hmoty. Koncentrace LMMOA produkovaných do půdy touto cestou může být mnohem větší, než kořenovou exudací nebo z dalších zdrojů (Fox, 1995). Zbýlých 50 %

je způsobeno jinými vlivy, jako např. již zmiňovanou kořenovou exudací nebo vyluhování metabolitů mikroorganismů do půdního prostředí (Jones, et al. 2003).

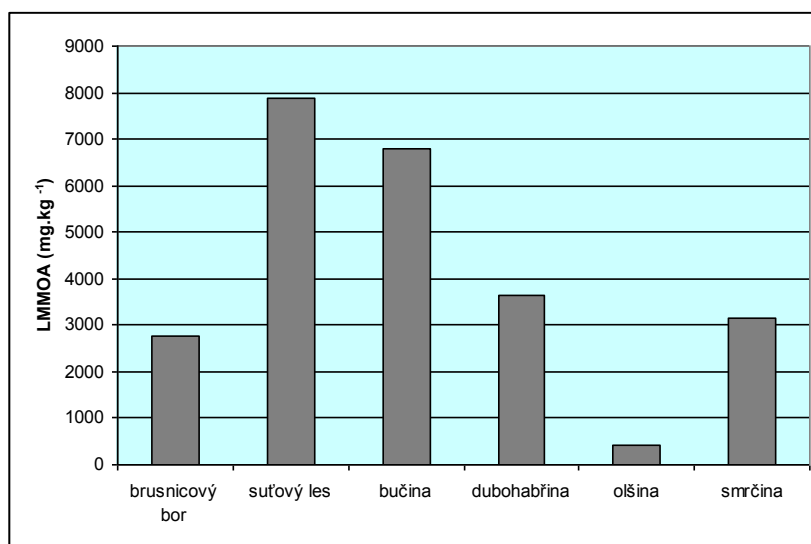


Graf 37: Závislost koncentrace LMMOA (mg.kg⁻¹) na obsahu DOC (mg.kg⁻¹) (s využitím polygonického modelu regresní analýzy)

7.2 Porovnání obsahů LMMOA jednotlivých lokalit

Hodnoty LMMOA na sledovaných lokalitách byl odvozen z naměřených obsahů aniontů příslušných kyselin. Anionty byly stanoveny z vodného roztoku iontovou chromatografií ICS 1600 (Dionex). Získané hodnoty byly přepočteny na sušinu. Největší množství LMMOA dosahuje suťový les, dále bučina, dubohabřina, smrčina, brusnicový bor a nejnižší množství bylo zaznamenáno v olšovém lese (graf 38). Při porovnání lokalit s nejvyššími a nejnižšími obsahy LMMOA, je patrné, že lokality prokazují značné rozdíly. Suťový les byl druhově bohatý les s výskytem buků, lip a javorů s výskytem bylinného patra. Na této lokalitě bylo nalezeno dostatečné množství POH, která při rozkladu produkuje LMMOA do půdního prostředí (Vaněk, Kolář, Pavlíková, 2010). Olšina, na které bylo nalezeno nejmenší množství LMMOA se vyskytovala v blízkosti potoka Vůznice. Lokalita byla silně podmáčená a ve všech horizontech dominovalo anaerobní prostředí. To může mít vliv na rozkladné procesy a mohlo ovlivňovat i kořenovou exudaci. Anaerobní prostředí však také může ovlivňovat koncentrace některých kyselin. Např. Stevenson (1967) a Foxe (1995), uvedli, že určité množství organických kyselin, jako např. kyselina octová nebo kyselina máselná vznikají jako výsledek fermentace v anaerobním prostředí. Bylo zjištěno, že na

lokalitě olšový luh byly zaznamenány nejvyšší koncentrace u octanů a máselnanů (graf 35), což vede k závěru, že tyto vyšší obsahy octanů a máselnanů na lokalitě olšový luh mohou představovat produkty fermentace v anaerobním prostředí, stejně, jak uvádějí (Stevenson (1967) a Fox (1995). Jak už bylo uvedeno, lokalita byla značně zamokřená a o přítomnosti anaerobního prostředí svědčí reduktomorfní znaky v půdním profilu (obr. 17, 18).



Graf 38: Průměrné obsahy aniontů příslušných LMMOA (mg.kg⁻¹) na jednotlivých lokalitách

7.3 Porovnání obsahů LMMOA horizontů

Byly zjištěny rozdílné koncentrace LMMOA v jednotlivých horizontech (graf 35).

Jak bylo zjištěno u L horizontů, kde anionty dosahovaly nejvyšších obsahů, byla prokázána nejvyšší koncentrace octanů (1349 mg.kg⁻¹), mléčnanů (408 mg.kg⁻¹), jablečnanů (237 mg.kg⁻¹) a mravenčanů (mg.kg⁻¹) a to vždy v suťovém lese (graf 38). Ve stromovém patře se na této lokalitě nachází buky, lípy a javory. Javor rovněž dominuje i keřovému patru.

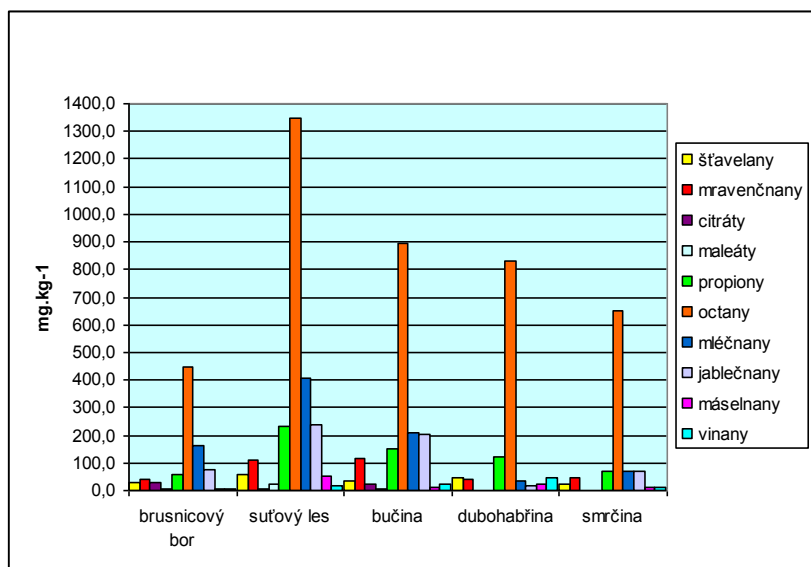
V F horizontech dominovali octany (363 mg.kg⁻¹), mléčnany (58,8 mg.kg⁻¹), jablečnany (50,7 mg.kg⁻¹) a mravenčany (30,4 mg.kg⁻¹) (graf 39) a to vždy v bukovém lese. Na této lokalitě je vegetace druhově chudá. Nejvíce se zde ve stromovém patře vyskytuje buk.

. V H horizontech je výskyt LMMOA nejnižší. H horizonty se vyznačují organickou hmotou v silném stupni rozkladu (němeček et al, 2001). To může mít za následek rychlou degradaci LMMOA půdními mikroorganismy (Stevenson (1982) a Fox (1995) Mikroorganismy využívají LMMOA jako rychlý zdroj energie. Nejvyšší obsahy byly změřeny

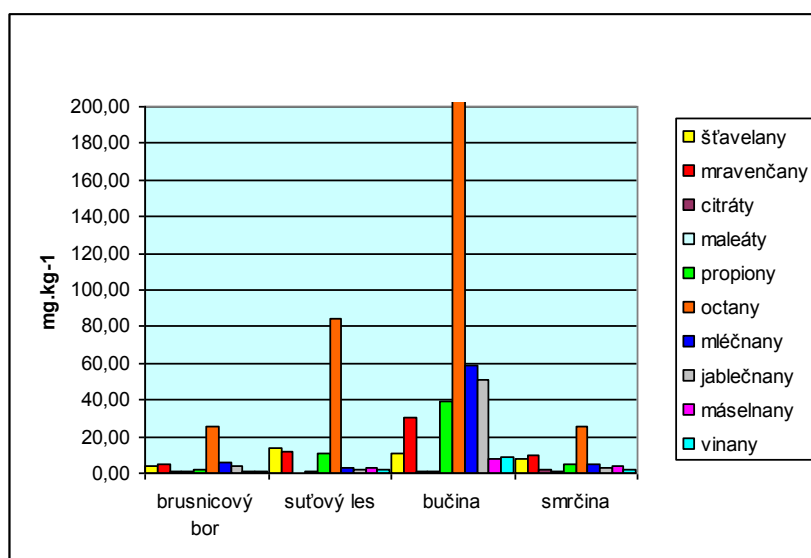
u šřavelanů ($4,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $4,11 \text{ mg.kg}^{-1}$) a to v suřovém a smrkovém lese. Ve srovnání s předchozími horizonty jsou však tyto hodnoty zanedbatelné (graf 40).

A horizont byly s nejvyšší koncentrací zjiřřeny octany ($36,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $13,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) v olřovém a dubobhabrovém lese a máselnany ($13,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) v olřovém lese (graf 41).

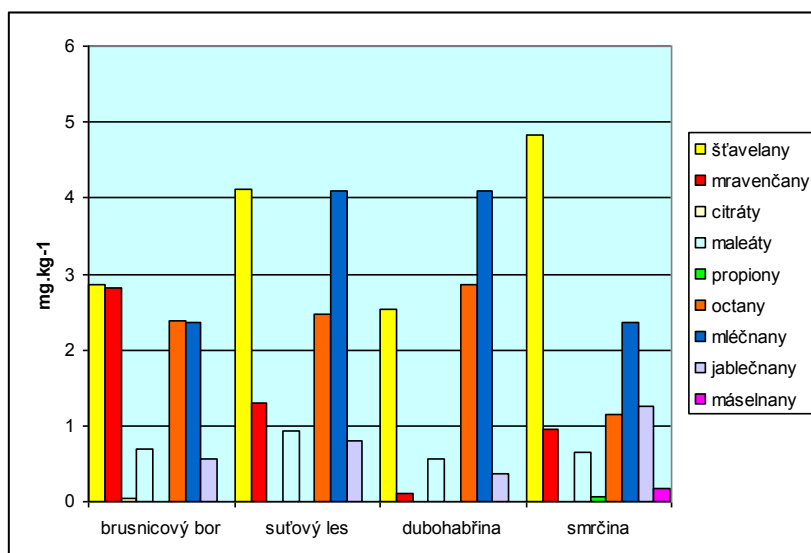
Uvedené výsledky jsou zaznamenány v grafech (38, 39, 40 a 41). Téměř ve všech horizontech jsou nejvíce zastoupeny octany, i když s rozdílnými koncentracemi.



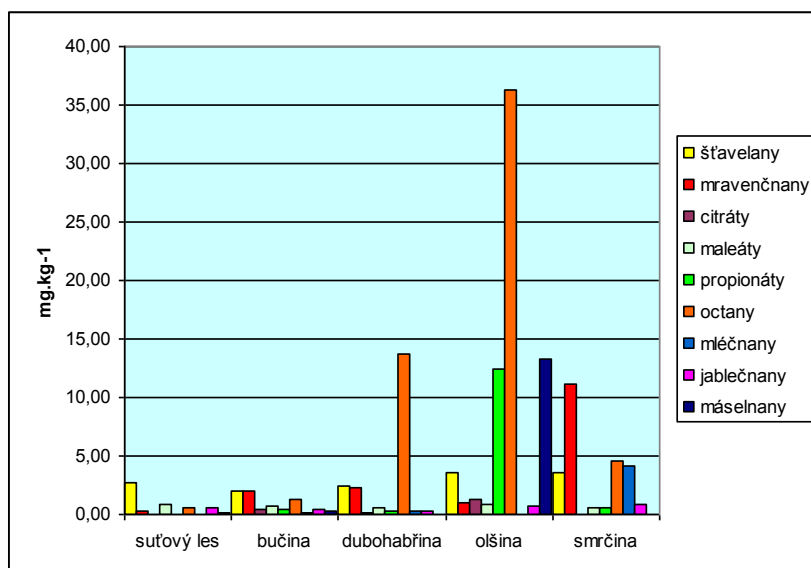
Graf 38: Obsah LMMOA (mg.kg^{-1}) na jednotlivých lokalitách v L horizontech



Graf 39: Obsah LMMOA (mg.kg^{-1}) na jednotlivých lokalitách v F horizontech



Graf 40: Obsah LMMOA (mg.kg⁻¹) na jednotlivých lokalitách v H horizontech

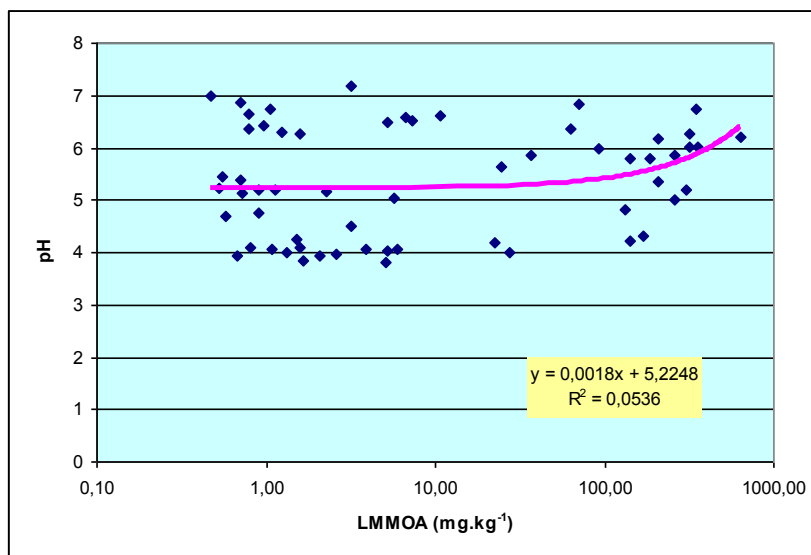


Graf 41: Obsah LMMOA (mg.kg⁻¹) na jednotlivých lokalitách v A horizontech

Srovnáním výsledků s Jonesem (2003), který uvádí, že mezi nejvíce produkované LMMOA patří kyselina šťavelová, kyselina citrónová a kyselina jablečná a výsledků Krzyszowska (1996), která uvádí, že nejčastějšími kyselinami s karboxylovou skupinou v půdním profilu jsou kyselina mravenčí, kyselina octová, kyselina citrónová, kyselina mléčná, kyselina jablečná a další. Bylo zjištěno podobné zastoupení LMMOA v jednotlivých horizontech. Lze tedy vyhodnotit, že nejčastěji vyskytujícími se kyselinami na sledovaných lokalitách v jednotlivých horizontech jsou kyselina octová, mléčná, jablečná, mravenčí a šťavelová a to s nejvyššími obsahy v L horizontech. Výsledky z olšového lesa, který byl

silně podmáčený s výskytem anaerobního prostředí v celém půdním profilu, byly s nejvyšší koncentrací potvrzeny octany a máselnany.

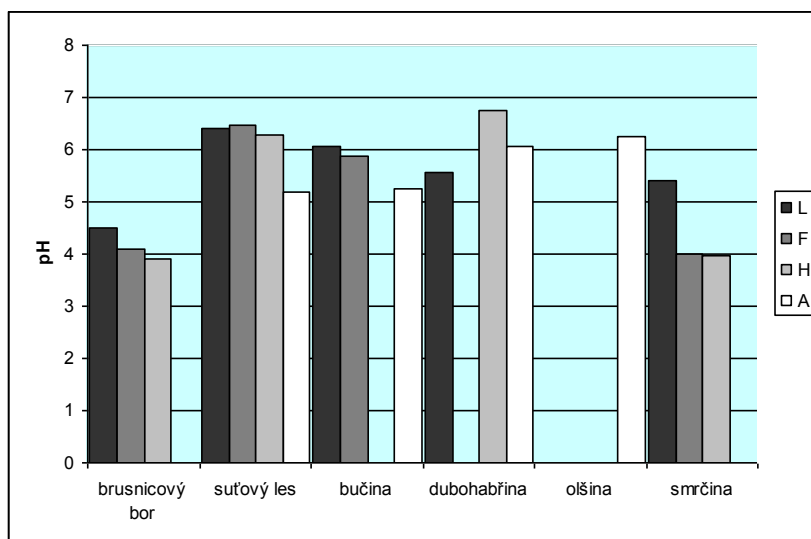
Další srovnání se nabízí ve zjištění závislosti pH půd na koncentraci LMMOA jednotlivých lokalit. Pro zjištění této závislosti byla použita korelační analýza. Jako závislou proměnnou byl použit parametr pH, jako nezávislou proměnnou pak průměrné koncentrace uhlíku jednotlivých LMMOA. Na základě metody nejmenších čtverců byla jako nejvhodnější regresní přímka navržena polynomická regresní přímka a lineární regresní přímka. Jelikož obě přímky dosahovali stejného korelačního koeficientu, byl zde využit princip parsimonia (jednoduchosti) a k určení závislosti byla použita lineární regresní přímka. Byl vytvořen bodový graf s korelačním koeficientem, který udává sílu závislosti. Korelační koeficient dosahuje v tomto případě minimálních hodnot ($R^2 = 0,0536$), z toho vyplývá, že LMMOA s těmito dosahujícími koncentracemi nemají přílišný vliv na změny pH půd na těchto lokalitách. Z hodnoty korelačního koeficientů (determinační index lze vyčíst, že LMMOA se na okyselování půdního prostředí podílejí z 5,36 %. Zbýlých 94,6 % je způsobeno jinými vlivy. Regresní přímka má však stoupající tendenci. Lze tedy uvažovat, že vyšší koncentrace LMMOA by se na okyselování půd mohly podílet (graf 42).



Graf 42: Závislost koncentrace LMMOA (mg.kg^{-1}) na pH půd (s využitím lineárního modelu regresní analýzy; pro lepší výstupy byly hodnoty zlogaritmovány)

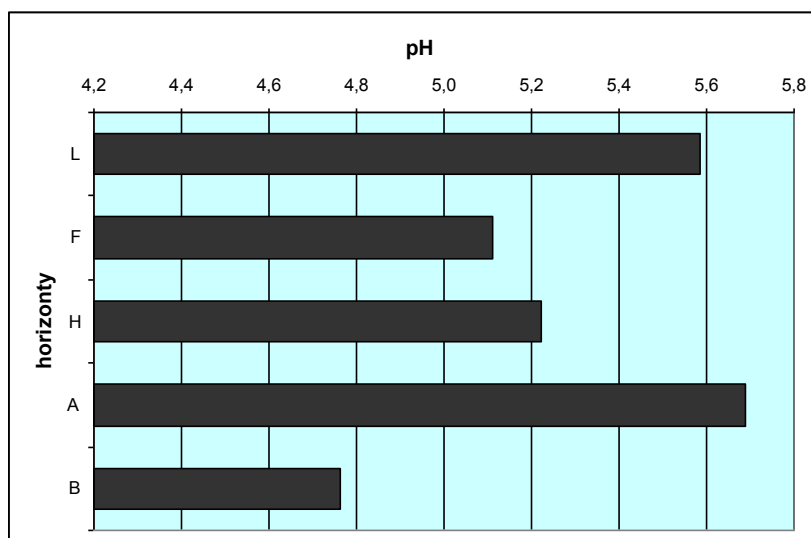
Thurman (1985) uvádí, že se alifatické organické sloučeniny (tedy i LMMOA) v méně kyselých půdách rychleji rozkládají. Po srovnání pH (graf 39) na jednotlivých lokalitách s koncentrací LMMOA (graf 36) můžeme konstatovat, že nejvyšších koncentrací dosahovaly

kyseleny v suťovém a smrkovém lese, kde byly zjištěny vyšší hodnoty pH. Naopak nejnižších koncentrací dosahovaly LMMOA v lese olšovém, kde byly také naměřeny vyšší hodnoty pH, než na ostatních lokalitách. Na lokalitě č. 5 (olšina) však převládá anaerobní prostředí, což má vliv na tvorbu a degradaci organické hmoty. Z tohoto vyplývá, že se nepotvrdilo Thurmanovo tvrzení o rychlejší rozložitelnosti organických kyselin (tedy i LMMOA) v kyselém prostředí.



Graf 43: Průměrné pH na jednotlivých lokalitách (nejčastěji s hloubkou klesá s výjimkou dubohabrového lesa)

Dále byly srovnány obsahy LMMOA (graf 36) s pH v jednotlivých horizontech (graf 40). Z grafu 40 lze odečíst, že nižší hodnoty pH byly naměřeny v horizontech F a H, kde se koncentrace aniontů příslušných kyselin pohybovaly jen v řádů desítek. Naopak vyšší průměrné pH bylo naměřeno v L horizontech, kde hodnoty koncentrací aniontů příslušných kyselin dosahovaly i řádů tisíců. Z toho lze vyhodnotit, že nebyl potvrzen fakt, že se alifatické organické kyseliny, tedy i LMMOA rychleji rozkládají v méně kyselém prostředí. Naše výsledky dokazují, že vyšší koncentrace kyselin jsou právě v horizontech s vyšším pH.



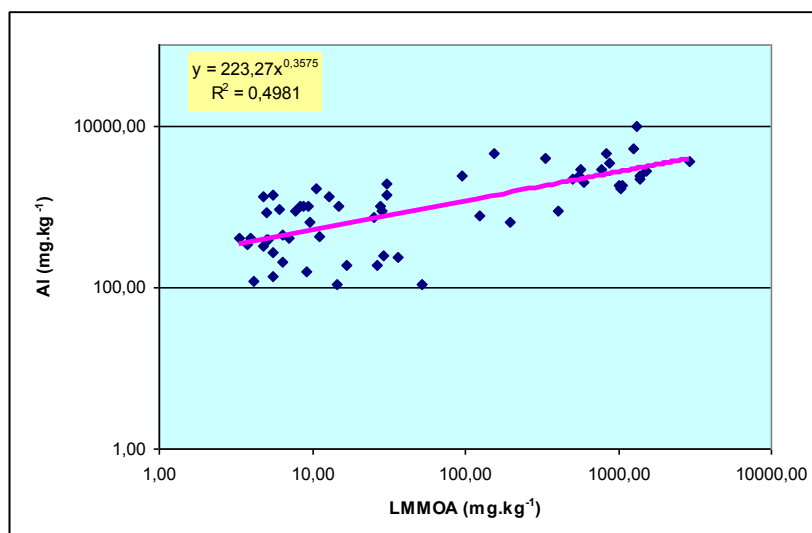
Graf 44: Průměrné hodnoty pH v jednotlivých lesních horizontech

7.4 Interakce nízkomolekulárních organických kyselin

Nízkomolekulární organické kyseliny ovlivňují svou přítomností chemické i biologické procesy v půdě. Mají vliv na rozpustnost a mobilitu živin a na případnou detoxikaci rizikových prvků (Fox, 1995).

Např. Li (2008) studoval reakce LMMOA a uvádí, že mají vliv na rozpustnost a mobilitu toxických forem hliníku. Ve své studii popisuje schopnost LMMOA odštěpit proton a navázat na sebe toxický kov. Tendenci organických kyselin mobilizovat Al popisuje v následujícím pořadí: kyseliny citrónová > šťavelová > jablečná > vinná > > salicylová > mléčná > maleinová.

Ze získaných extraktů hodnocených půd byly získány i koncentrace přítomných forem hliníku ($Al(x)^{1+}$, $Al(y)^{2+}$ a Al^{3+}). K zjištění závislosti koncentrace hliníku (týká se sumy koncentrací) na obsahu LMMOA v půdě byla použita opět korelační analýza (graf 45). Na základě metody nejmenších čtverců se jako nejvhodnější regresní přímka jevila mocninová regresní přímka. Byl vytvořen bodový graf s korelačním koeficientem, který udává sílu závislosti. V tomto případě dosahuje korelační koeficient středních hodnot ($R^2 = 0,4981$). Ze statistického vyhodnocení vyplývá, že tyto koncentrace LMMOA mají z necelých 50 % vliv na změny koncentrací hliníku. Závislost mezi jednotlivými proměnnými můžeme vyčíst z grafu 45. Přímka má vzestupnou tendenci, což odpovídá závislosti koncentrace hliníku na obsahu LMMOA. Z toho lze tedy usuzovat, že zvyšující se koncentrace LMMOA může mít stoupající vliv na koncentrace hliníku.



Graf 45 Závislost koncentrace LMMOA (mg.kg^{-1}) na koncentraci Al (s využitím mocinného modelu regresní analýzy; pro lepší výstupy byly hodnoty zlogaritmovány)

Třetí cíl této práce (interakce LMMOA s hlavními volnými kationy přítomnými v půdním prostředí a rizikovými prvky) nebylo z osobních důvodů možno splnit. Byla vyhodnocena jen závislost mezi obsahy LMMOA a obsahy hliníku. Ostatní získaná data z naměřených analýz (obsah aniontů, kationtů a prvků) však budou archivovaná pro další publikace zaměřené na tuto problematiku (interakce LMMOA). Místo toho byl porovnán vliv LMMOA na pH půdního prostředí.

8 Závěr

Cílem této práce bylo zanalyzovat půdy vybraných lokalit s různým vegetačním pokryvem a prokázat kvalitativně i kvantitativně výskyt nízkomolekulárních organických kyselin v jednotlivých půdních horizontech. Posoudit vliv vegetačního pokryvu na množství těchto sledovaných organických kyselin a určit jejich interakce (místo tohoto cíle byl posouzen vliv LMMOA na pH půd).

Výsledky této práce lze v závěrečné části stručně charakterizovat těmito poznatky:

- byly prokázány různé koncentrace LMMOA na sledovaných lokalitách s odlišným vegetačním pokryvem
- byly zjištěny koncentrace LMMOA v horizontech
- obsahy LMMOA se s hloubkou snižovaly v pořadí L → F → A → H → B
- byl prokázán velmi malý vliv LMMOA na pH půd
- byla prokázána středně velká závislost koncentrací LMMOA na koncentrace hliníku

9 Seznam literatury

Ali T., Bylund D., Essén S. A., Lundström U. S. 2011. Liquid extraction of low molecular mass organic acids and hydroxamate siderophores from boreal forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43. Sweden. 2417 - 2422

Björn. B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133 (2000). Germany. p. 13 - 22

Bonkowski, Brandt, 2002. IN: Samec, P. 2008. *Biochemie ekologických procesů v zonálních lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu sv. 53, č. 3/2008. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů* Česká republika. s.238

Borůvka, L., A. Nikodem, O. Drábek, P. Vokurková, V. Tejnecký & L. Pavlů. 2009. Assessment of soil aluminium pools along three mountainous elevation gradients. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 103, 1449-1458

Boudot J. P. 1992. Relative efficiency of complexed aluminum noncrystalline Al hydroxide, allophane and imogolite in retarding the biodegradation of citric acid. *Geoderma* 52. France. p. 29 - 39

Bylund. D., Norstrom S. H., Essen S. A., Lundstrom U. S. 2007. Analysis of low molecular mass organic acids in natural waters by ion exclusion chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1176 (2007). Sweden. p. 89–93

Cawthray G. R. 2003. An improved reversed-phase liquid chromatographic method for the analysis of low-molecular mass organic acids in plant root exudates. *Journal of Chromatography A*, 1011 (2003). Australia. p. 233–240

Čechlovská, H., Kislínger, J., Pekař, M., Kučerík J. 2007. [PDF] Kinetika degradace frakcí huminových kyselin ve vztahu k jejich biologické dostupnosti. VII. Pracovní setkání fyzikálních chemiků a elektrochemiků. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně. s. 25 - 27

Drábek, O., L. Mládková, L. Borůvka, J. Száková, A. Nikodem & K. Němeček 2005. Comparison of water-soluble and exchangeable forms of Al in acid forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99, 1788-1795

Farrar, J. F., Jones, L., 2000. The control of carbon acquisition by roots. *New Phytologist* 147 (1). UK. p. 43–53

Fox T. R. and Comerford N. B. 1990. Low-molecularweight organic acids in selected forest soils of the southeastern USA. *Soil Science Society of America. Journal* 54, 1139-1 144

Fox, T. 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison, USA, 1995. ISBN 0-89118-818-5

Fujii K. Aoki M. Kitayama K. 2012. Biodegradation of low molecular weight organic acids in rhizosphere soils from a tropical montane rain forest. *Soil Biology & Biochemistry* 47 (2012). Japan. p. 142 - 148

Gressel, N., McColl, J. G., Preston, C. M., Newman, R. H., Powers R. F., 1996. Linkages between phosphorus transformations and carbon decomposition in a forest soil. *Biogeochemistry* (33). p. 97 - 123

Hashimoto. Y. 2007. Citrate sorption and biodegradation in acid soils with implications for aluminum rhizotoxicity. *Applied Geochemistry* 22. USA. 2861–2871

Hinsinger, P., Gobran, G. R., Gregory P. J. a. Wenzel, W. W. 2005. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist*. 168 (2), p. 293-303. ISSN 0028646x

Hinsinger, P., Plassard, C., Tang C. & Jaillard B. 2003. Rhizosphere: A new frontier for soil biogeochemistry. *Plant and Soil* 248. Australia. p. 43–59

Chytrý, M. 2001. Katalog biotopů České republiky: interpretační příručka k evropským programům Natura 2000 a Smaragd. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha. s. 304 ISBN 80-860-6455-7

Jones, D. L. a Hinsinger, P. 2008. The rhizosphere: complex by design. *Plant and Soil* (312), p. 1-6. ISSN 0032-079x

Jones, D. L., Dennis, P.G. Owen A.G. & van Hees P.A.W. 2003. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. *Plant and Soil* 248. Sweden. p. 31–41

Jones, D.L., Willett V.B. 2006. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (5). p. 991–999

Kolář, I., 1984. IN: Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, Česká republika. ISBN 978-80-213-2006-2

Kubát, K. (překlad). 2002. Klíč ke květeně České republiky. Vyd. 1.. Praha: Academia. s. 927 ISBN 80-200-0836-5

Kudrna, K., Černá, A., Hladný, J., Kasalický, V. a kol. 1988. Biosféra a lidstvo. Academia Praha. Československá akademie věd. (1). s. 532

Kurzyakov, Y., Hill, P. W. a Jones, D. L. 2007. Root exudate components change litter decomposition in a simulated rhizosphere depending on temperature. *Plant and Soil*. (290). p. 293-305. ISSN 0032-079x

Langmuir, 1997. IN: Strahm, B. D. a Harrison, R. B. 2008. Controls on the Sorption, Desorption and Mineralization of Low-Molecular-Weight Organic Acids in Variable-Charge Soils. *Soil Science Society of America Journal*. (72) p. 1653-. ISSN 1435-0661

Li J., Xu R., Tiwari D., Ji G. 2006. Effect of low-molecular-weight organic acids on the distribution of mobilized Al between soil solution and solid phase. 2006. *Applied Geochemistry* 21 (2006). China. 1750–1759

Monetti, Scranton, 1992. IN: Fox 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison. USA, 1995. ISBN 0-89118-818-5

Natura 2000. 2004. Problémy a příležitosti. edice PLANETA 2004. MŽP. Praha. s. 68. ISSN 1213-3393

Němeček, Jan. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 79 s. ISBN 80-238-8061-6

Pohlman A. A., a McColl J. G., 1986. Kinetics of Metal Dissolution from Forest Soils by Soluble Organic Acids. *Journal of Environmental Quality* Vol. 15 (1), p. 86-92

PRACH, K, ŠTECH M.a ŘÍHA P. 2009. Ekologie a rozšíření biomů na Zemi. 1. vyd. Praha: Scientia, , s.151, [36] s. příl. *Biologie dnes*. ISBN 978-808-6960-463

Ryan et al. 2001. IN: D.L. Jones1,, P.G. Dennis, A.G. Owen1 & P.A.W. van Hees. 2003. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. *Plant and Soil* 248. Sweden. p. 31–41

Říhová D. 2009. Rozklad schránek suchozemských plžů v lesních ekosystémech. Diplomová práce, PřF UK Praha. s. 88

Sáňka, M. Materna, J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. edice PLANETA 2004. Odborný časopis pro životní prostředí. r. XII, č. 11/2004. Česká republika. s. 84

Shen. Y., STRGM. L., Jhnsson J.A and Tyler. G. 1996. Low-molecular organic acids in the rhizosphere soil solution of beech forest (*Fagussyl vatica L.*) cambisols determined by ion chromatography using supported liquid membraneenrichment technique. *Soil Biology & Biochemistry*. Vol. 28, No. 9 Sweden. p. 1163 - 1169

Sollins K.D. 1981; IN: Fox 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison. USA, 1995. ISBN 0-89118-818-5

SPOSITO, G. The chemistry of soils. 2008. 2nd ed. New York: Oxford University Press, xii, 329 p. ISBN 01-953-1369-0

Stevenson. 1967. IN: Fox 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison. USA. ISBN 0-89118-818-5

Stevenson. 1982. IN: Fox 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison. USA, 1995. ISBN 0-89118-818-5

Stevenson. 1994. IN: Strahm, B. D. a Harrison, R. B. 2008 Controls on the Sorption, Desorption and Mineralization of Low-Molecular-Weight Organic Acids in Variable-Charge Soils. Soil Science Society of America Journal. (72) p. 1653-. ISSN 1435-0661

Strahm, B. D. a Harrison, R. B. 2008 Controls on the Sorption, Desorption and Mineralization of Low-Molecular-Weight Organic Acids in Variable-Charge Soils. Soil Science Society of America Journal. (72) p. 1653-. ISSN 1435-0661

Strobel. B.W. 2000. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution—a review. Geoderma 99. Denmark.. p. 169–198

Stumm. 1986. IN: Fox 1995. Carbon forms and functions in forest soils. Madison. USA. ISBN 0-89118-818-5

Tejnecký, V., M. Bradová, L. Borůvka, K. Němeček, O. Šebek, A. Nikodem, J. Zenáhlíková, J. Rejzek & O. Drábek. 2013. Profile distribution and temporal changes of sulphate and nitrate contents and related soil properties under beech and spruce forests. Science of The Total Environment, 442, 165-171

Tejnecký, V., O. Drábek, L. Borůvka, A. Nikodem, J. Kopáč, P. Vokurková & O. Šebek, 2010. Seasonal variation of water extractable aluminium forms in acidified forest organic soils under different vegetation cover. Biogeochemistry, 101, 151-163

Thurman, E. 1985. Organic geochemistry of natural waters. Hingham, MA, USA: Distributors for the U.S. and Canada, Kluwer Academic, p. 497. ISBN 90-247-3143-7

Van Hees P.A.W., Vinogradoff S.I., Edwards A.C., Godbold. D.L., Jones. D.L. 2003. Low molecular weight organic acid adsorption in forest soils: effects on soil solution concentrations and biodegradation rates.. Soil Biology & Biochemistry 35 (2003). Sweden. p. 1015–1026

van Hees. P. A. W., Jones D. L, Nyberg L., Holmstro S. J. M., Godbold D. L, Lundströ U. S. 2005. Modelling low molecular weight organic acid dynamics in forest soils. Soil Biology & Biochemistry. Sweden.. p. 517–531

Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, Česká republika. ISBN 978-80-213-2006-2

Yakovchenko, V. P. & L. J. Sikora, 1998. Modified dichromate method for determining low concentrations of extractable organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29, 421-433

Zbírál, J. 2002. Analýza půd III - jednotné pracovní postupy. SKZÚZ, Brno

9.1 Internetové zdroje

ÚHUL. *Výsledky prvního cyklu Národní inventarizace lesů, 2001 – 2004: Lesní vegetační stupně.* Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. www.uhul.cz [Online], 2003-2013. [Citace: 14. 2. 2013] http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/pudni_typ.php

ÚHUL. *Výsledky prvního cyklu Národní inventarizace lesů, 2001 – 2004: Půdní typ.* Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. www.uhul.cz [Online], 2003-2013. [Citace: 14. 2. 2013] http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/pudni_typ.php

ÚHUL. *Výsledky prvního cyklu Národní inventarizace lesů, 2001 – 2004: Humusová forma.* Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. www.uhul.cz [Online], 2003-2013. [Citace: 14. 2. 2013] http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/humusova_forma.php

ČÚZK. Geoportál. *Český úřad zeměměřický a katastrální.* [Online], 2010. [Citace: 14. 2. 2013] http://www.uhul.cz/il/vysledky/map_vyst/pages/humusova_forma.php
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(t4v25f45mafryq55g33hbf55\)\)/Default.aspx?menu=3118&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(t4v25f45mafryq55g33hbf55))/Default.aspx?menu=3118&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba)