JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie
specializace: Ekologické zemědělství
Katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií
Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý St., CSc.

Diplomová práce

Vztah výměnné acidity a iontovýměnné kapacity v kambizemích Jihočeského kraje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radka Váchalová, Ph.D.
Autor bakalářské práce: Bc. Jiří Novák

České Budějovice, 2016

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Jiří NOVÁK**
Osobní číslo:	**Z14375**
Studijní program:	**N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor:	**Agroekologie - Ekologické zemědělství**
Název tématu:	**Vztah výměnné acidity a iontovýměnné kapacity v kambizemích Jihočeského kraje**
Zadávající katedra:	**Katedra agroekosystémů**

Zásady pro vypracování:

Osnova:

Literární rešerše. Vymezeny budou základní pojmy z oblasti výměnné acidity a iontovýměnné kapacity v kambizemích.
Cíl práce. V návaznosti na vypracovanou bakalářskou práci dojde k rozšíření stávajících poznatků s poznatky nově získanými v oblasti výměnné acidity a iontovýměnné kapacity v kambizemích Jihočeského kraje.
Materiál. Vybrané vzorky kambizemí Jihočeského kraje.
Metody. Ze vzorků bude stanovena výměnná acidita a iontovýměnná kapacita dle platné metodiky.
Výsledky a diskuse. Bude vyhodnocena nejen výměnná kapacita KVK a výměnná acidita, ale i z průběhu konduktometrických křivek také kvalita iontové výměny a z hodnot titrační výměnné acidity také pufrovitost měřených vzorků.
Závěr. Kromě slovního vyjádření budou výsledky zpracovány do přehledných odběrových map.
Literatura
Přílohy

Ke zpracování diplomové práce budou využita skripta Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš, J., Vaněček, D., Burešová, M., 2007) a Práce s VTI (Milota, J., Nýdl, V., 1996).

Rozsah grafických prací:	**dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy:	**40-60 stran**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:	

Hraško J. (1962): Rozbory pôd. Edicia Rostlinná výroba, svazek 105, s. 335.
ISO/DIS 14 235 (1995): Soil Quality - Determination of organic carbon in soil by sulfochronic oxidation. International Organization for Standardization.
ISO/DIS 10 390 (1993): Soil Quality - Determination of pH.
ISO/DIS 11 265 (1994): Soil Quality - Determination of the specific electric conductivity.
Kolář L., Ledvina R., Kužel S., Klimeš F., Štindl S. (2006): Soil organic matter and its stability in aerobic and anaerobic condition. Soil & Water Research, 1, 2: 57-64.
Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Batt J., Peterka J. (2009): Labile fractions of soil organic matter, its quantity and quality. Plant, Soil and Environment, 55, 181-186.
Kolář L., Vaněk V., Peterka J., Batt J., Pezlarová J. (2011): Relationship between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after limit during a 5-years period. Plant, Soil and Environment, 57, 193-200.
Kolář L., Horáček J., Váchalová R., Váchal J. (2013): A method for measuring the quantity and quality of soil organic matter. Czech patent number 304 265, Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Praha (In Czech: Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty).
Pospíšil F. (1980): The content and composition of humus in soils in the Czech Republic. Academia, Praha (In Czech: Obsah a složení humusu v půdách v českých zemích).
Sandhoff H. (1954) Konduktometrische bestimmung der Sorptionkapazität der Organischen Substanz im Boden. Bodenkunde und Pflanzmernährung, 21/22, 1940-1941.

Vedoucí diplomové práce:	**Ing. Radka Váchalová, Ph.D.** Katedra agroekosystémů
Datum zadání diplomové práce:	**13. února 2015**
Termín odevzdání diplomové práce:	**24. dubna 2016**

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum ….....…..…. ……..….....

Bc. Jiří Novák

Poděkování:

Rád bych poděkoval paní Ing. Radce Váchalové, Ph.D za vedení diplomové práce a za odbornou pomoc při jejím zpracování. Dále bych chtěl poděkovat zemědělské fakultě a všem členům profesorského sboru za vedení při studiu a za možnost studovat na této fakultě. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za pomoc při studiu.

Abstrakt

Byla zpracována literární rešerše, kde byly obecně popsány pojmy týkající se půdy komplexně, ale i jednotlivých půdních druhů, se zaměřením na kambizemě jihočeského kraje. Dále byly obecně vysvětleny pojmy týkající se acidifikace a iontově-výměnného komplexu půd. V praktické části práce bylo stanoveno měření výměnné půdní kyselosti. Na základě tohoto měření byly půdy ohodnoceny jako slabě kyselé. Byla také vypočítána potřeba na ozdravné vápnění lokality. Byla také stanovena maximální sorpční kapacita. Půda na odebrané lokalitě byla zařazena do kategorie půd se středně velkou kapacitou iontově-výměnného sorpčního komplexu.

Klíčová slova: výměnná kyselost, sorpční kapacita, iontově-výměnná kapacita, kambizemě, půdy jihočeského kraje

Abstract

Literature search was processed , which were generally described concepts relating to soil complex, but also various soil types, with a focus on cambisol South Bohemia. Additionally the general explained concepts regarding acidification and ion-exchange complex soils. In the practical part of the work was determined by measurement of exchangeable soil acidity. Based on this measurement Soils were evaluated as slightly acidic. It was also calculated the need for healing liming locations. It was also determined the maximum sorption capacity. Soil collected on site has been categorized soils with moderate capacity ion-exchange sorption complex.

Keywords: exchangeable acidity, the absorption capacity, ion-exchange capacity, cambisols, soil South Bohemia

Obsah:

1. Úvod 8

2. Vznik půdy 10
2. 1 Zvětrávání 11

3. Složení půdy 13
3.1 Fázové složení půdy 13
3.2 Zrnitostní (granulometrické) složení půdy 15
3.3 Chemické složení půdy 17

4. Taxonomický klasifikační systém půd ČR 18
4.1 kategorie klasifikačního systému 18

5. Diagnostické horizonty 19

6. Taxonomické rozdělení půd 23
6.1 Kambisoly 30
6.1.1 Kambizem 30
6.1.2 Hlavní subtypy kambizemí 31

7. Ochrana půdy 32
7.1 Hlavní degradační procesy v ČR 32

8. Acidifikace 35
8.1 Důsledky nadměrné acidifikace 37
8.2 Půdní reakce 39

9. Sorpční schopnost půdy 41
9.1 Pufrovitost půdy 43

10. Cíle práce 44

11. Materiály a metody 45

12. Výsledky…… 50

13. Diskuse 65

14. Závěr 66

15. Použitá literatura 67

15. Seznam obrázků a tabulek 70

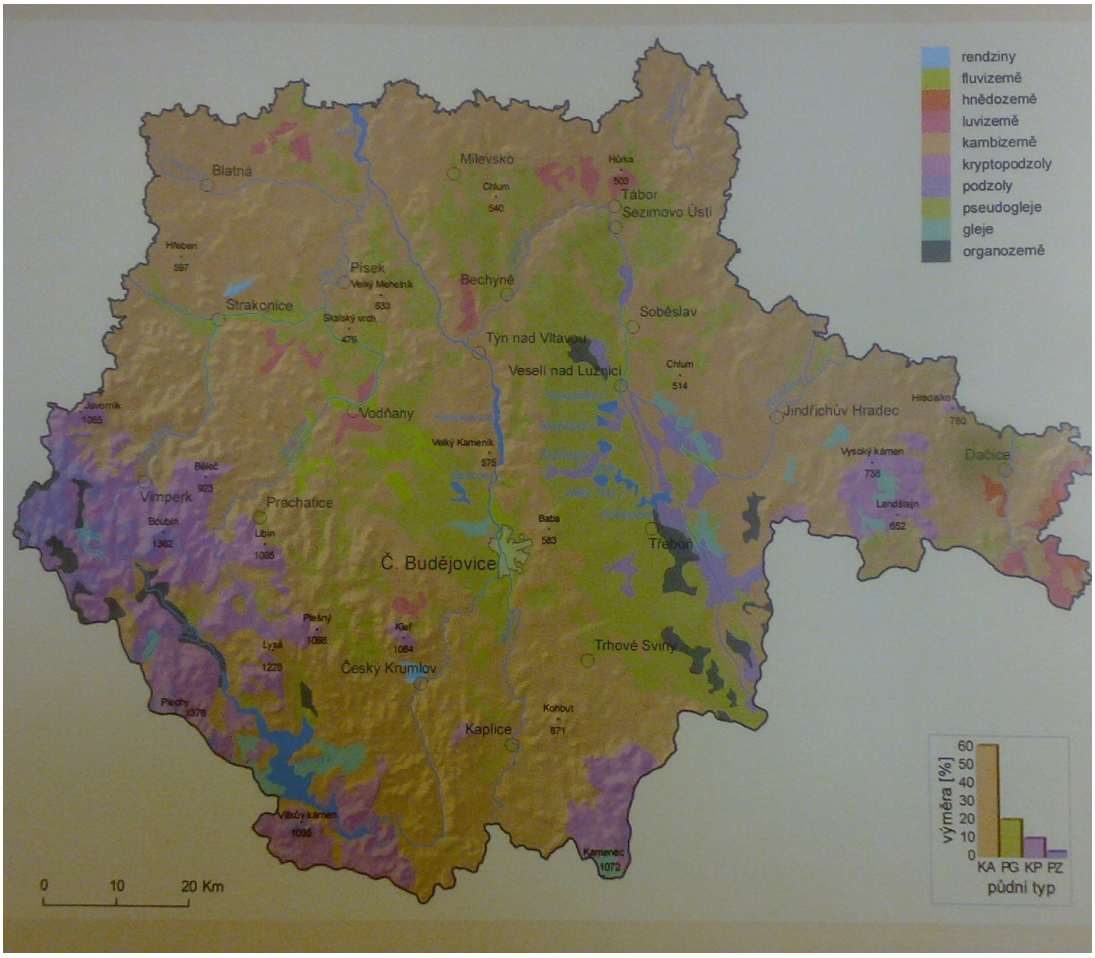
1. Úvod

Člověk je odpradávna spojen s půdou. Je to jeho životní prostor a hlavně půda je živitelka člověka. Ještě v dobách ne tak dávných si lidé moc dobře uvědomovali, že bez půdy nepřežijí a byli s ní spjatí. Proto se o půdy starali a ta se jim za to odvděčovala potravou. V dnešní době díky urbanizaci, supermarketům přeplněných jídlem a rychlému životnímu stylu si snad už ani neuvědomujeme jak je půda důležitá. Dnes již lidé žijící ve městech, v panelových domech nemají k půdě vztah, neznají, co to dá za práci obdělávat půdu, aby vydala své plody, a nevědí jak ji ochraňovat. Přičemž půda je to nejvzácnější co máme – vše z ní pochází.

Definice půdy:
„Půda je nejsvrchnější částí zemské kůry, tvořená směsicí minerálních součástí, odumřelé organické hmoty a živých organismů. Je vertikálně členěná, propojená se svým podložím a vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických sedimentů.“ (Kubík, 2009).

Půda je základ. Je to živé, multifunkční prostředí, které má mnoho nezastupitelných funkcí. Z hlediska zemědělství slouží půda jako medium pro růst rostlin a pro jejich výživu minerálními prvky, které se v půdě přeměňují a vytvářejí. Půda ovšem slouží i jako uložiště a zásobárna těchto živin. Z hlediska vodohospodářského působí voda jako zdroj akumulace vody v krajině, je filtračním činidlem pro povrchové a podzemní vody, je to zdroj pitné a minerální vody. Z ekologického hlediska je půda životním prostředím pro suchozemské organismy, je stabilizátorem globálních ekosystémů. Z pohledu člověka je půda prostor pro lidské aktivity, je to zdroj neobnovitelných surovin, je archivem dějin přírody i lidské činnost (Amundson R., 2006).

Jihočeský kraj tvoří zhruba 13% rozlohy České Republiky, jeho rozloha činí 10 057km^2. Geologické podloží jižních Čech tvoří z převážné části přeměněné horniny a to žuly, ruly, magmatity. Najdeme zde ovšem i pozůstatky opakovaného zatopení v minulosti země. Vyskytují se zde křídové – druhohorní usazeniny a terciální – třetihorní usazeniny. Kvarterní – čtvrtohorní usazeniny jsou povodňového typu. Jedná se především o šterkopískové nánosy. V členitém reliéfu jižních Čech je typická půda kambizem. Spolu s kambizeměmi, které tvoří 60% území se zde ještě vyskytují pseudogleje (hlavně v místech na vodu bohaté třeboňské pánvi), kryptopodzoly a podzoly viz. obrázek č. 1. (Hladík, 2015).



Obr. č. 1.: Půdní mapa jižních Čech (Tomášek M. (2007)).

2. Vznik půdy

Jak vlastně půda vzniká? A z čeho vzniká? Odpověď na tyto otázky je poměrně jednoduchá. Půda vzniká ze skály, z pevných hornin. Tyto horniny jsou postupně narušovány a rozpadají se na čím dál tím menší částice. A to až na tak jemné že nejsou pouhým okem viditelné. Vrstvu těchto částic různé velikosti, nad pevnou horninou, nazýváme půdou. Rozpad horniny, rychlost tohoto rozpadu a složení půdy závisí na několika faktorech, které nazýváme tzv. půdotvornými faktory. Musíme si uvědomit, že tyto faktory nikdy nepůsobí jednotlivě, ale společně.

Půdotvorné faktory:

- matečná hornina – svým složením ovlivňuje rychlost rozpadu a rychlost tvorby půdy, ovlivňuje budoucí vlastnosti půdy, jak chemické tak fyzikální – sypké sedimenty, vápence, ruly
- klima – čím větší změny teplot, tím rychlejší rozpad horniny, vyšší srážky - promývání
- živé organismy – svou činností narušují, promíchávají a provzdušňují profil, tzv. pionýrské organismy přímo narušují horninu, intenzita závisí na úživnosti klimatu
- reliéf - nadmořská výška – obnaženost skály, větší teplotní změny, svažitost, expozice
- čas – čím déle půdotvorné faktory působí, tím více půdy vznikne
- člověk – svojí činností výrazně ovlivňuje ostatní půdotvorné faktory (Paul et Clark, 1996).

2. 1 Zvětrávání

Je proces, při němž se pevná hornina vlivem půdotvorných faktorů mění nejprve na půdotvorný substrát a posléze na půdu. Rozlišujeme 3 základní typy zvětrávání.

Fyzikální zvětrávání

Při fyzikálním zvětrávání hornin nedochází ke změně jejich chemického složení. Při tomto typu zvětrávání se z půdotvorných procesů uplatňuje nejvíce klima. Jedná se především o to jaké je kolísání teplot v průběhu, dne či roku. Každý minerál obsažený v hornině má svojí charakteristickou rozpínavost, a jelikož jsou horniny složené z několika různých minerálů, vznikají vlivem teploty tepelná a objemová pnutí. To má za následek popraskání horniny. Ve velké míře se zde uplatňuje i srážková voda. A to hlavně v oblastech kde teplota vystupuje nad 0°C a zároveň klesá pod bod mrazu. Srážková voda snadno vnikne do malých prasklin v hornině. Díky té vlastnosti vody, že led má větší objem než voda, zde svým opakovaných zamrzáním a rozmrzáním praskliny zvětšuje, až dochází k dalšímu pukání až trhání skalního masivu. Fyzikální zvětrávání se nejvíce projevuje v pouštích a ve vysokých nadmořských výškách.

Chemické zvětrávání

Při tomto typu zvětrávání dochází k rozkládání a následné přeměně horninových minerálů. Tím se narušuje celistvost skalního masivu. Chemické zvětrávání je závislé na teplotě a na vlhkosti. Čím jsou obě veličiny vetší, tím je rychlejší zvětrávání. Reakcí vzdušných kyselinotvorných plynů (SO_x, NO_x, CO_2) s vodou vzniká roztok slabých kyselin, které depozicí dopadají na povrch půdotvorného substrátu. Tento kyselý roztok rozpouští určité minerály - vápenec $CaCO_3$ a tím mění chemické vlastnosti půdy. Dalším typickou změnou chemického složení budoucí půdy je reakce horniny obsahující železo se vzdušným kyslíkem za vzniku oxidu železitého Fe_2O_3.

Biologické zvětrávání

Neméně důležitým faktorem při zvětrávání je působení živých organismů. Při obnažení horniny při horotvorném procesu dochází k osidlování organismů na jejím povrchu. Jako první se zde usídlí mikroorganismy a tzv. pionýrské organismy. Jedná se především o lišejníky. Ty uvolňují kyselinu, která narušuje horninu. Postupným narušením horniny a vznikem první organické hmoty se zde časem mohou usídlit stále vyšší a vyšší rostliny. Ty se na rozrušování hornin podílejí svým kořenovým systémem, který proniká do malých prasklin a svou silou je zvětšuje (English wikipedia, 2016).

Organismus, který nejvíce mění tvář Země je ovšem člověk, který mění rozsáhlá území svojí povrchovou a podpovrchovou, převážně důlní činností.

3. Složení půdy

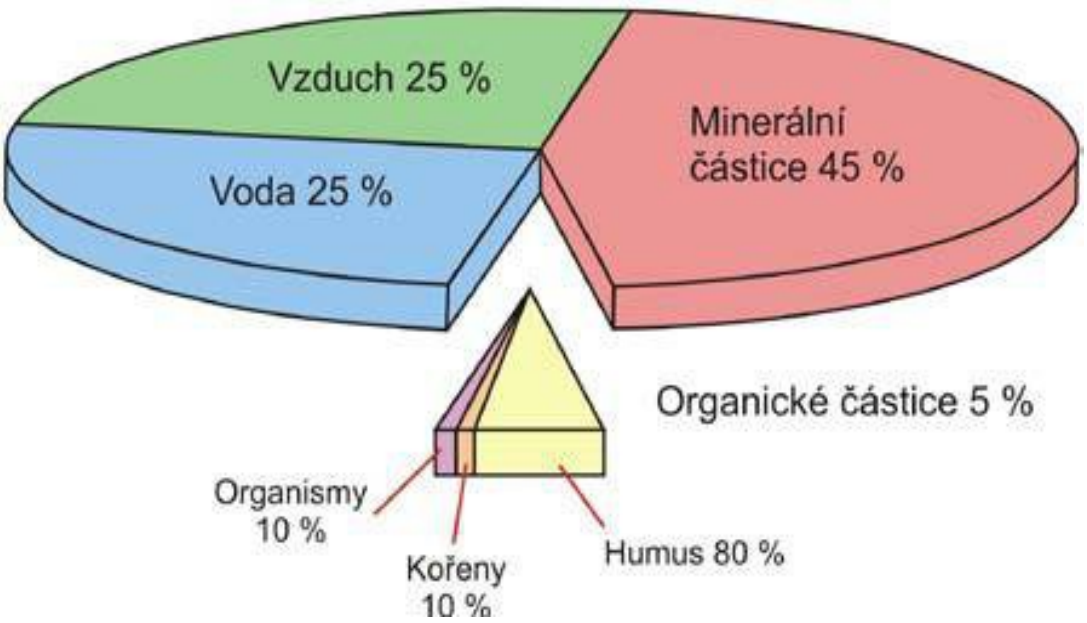
Na složení půdy závisí její vlastnosti. Podle konkrétního složení půdy, můžeme tyto vlastnosti odvodit a můžeme tak předpokládat jaký má půda stupeň vhodnosti pro pěstování plodin. Na základě tohoto předpokladu a případného chemického rozboru můžeme snadno zhotovit plán melioračního opatření (agrotechnické zásahy zlepšující kvalitu půdy) a vhodný osevní postup pro danou lokalitu.

Půdu můžeme rozdělovat z několika hledisek:

- Fázové složení půdy
- Zrnitostní složení půdy
- Chemické složení půdy

3. 1 Fázové složení půdy

Půda obsahuje sloučeniny ve třech různých fázích – v tuhé, kapalné a plynné formě. Jejich vzájemný poměr je zobrazen na obrázku č. 2 (Bedrna, 1989).



Obr. č. 2.: Podíl jednotlivých fází na složení půdy (Vrtíšková, 2013).

Z obrázku č. 2 je patrné že největší podíl na objemu půdy zabírá pevná minerální složka. Organická složka v půdě zaujímá pouhých 5% objemu. Voda a vzduch obsažené v půdních pórech se navzájem ovlivňují a nemají stálý objem ani procentické zastoupení.

Tuhá fáze anorganická

Tvoří necelých 50% z objemu půdy a 90% objemu tuhé složky půdy. Je to základní stavební složka půdy, tvoří její kostru a umožňuje zachycení vody a vzduchu v pórech. Je zdrojem anorganických minerálních látek pro rostliny.

Tuhá fáze organická

Tuto složku půdy můžeme dále rozdělovat na nehumifikované organické látky. Tedy látky, které jsou nerozložené (sem můžeme zařadit i živé organismy a kořeny rostlin) nebo podléhající mineralizaci. Na jejich obsah v organické fázi připadá 10 - 15 %. Další jsou organické látky humifikované. Zatímco mineralizace je děj rozkladný (výsledné produkty jsou CO_2, H_2O, NH_3, atd.), humifikace je děj skladný a produktem jsou tzv. humusové látky neboli humus.

Rozdělení humusových látek:

- fulvoniové kyseliny – nejsnadněji podléhají rozkladu, jsou typické pro kyselejší půdy
- humínové kyseliny – nejkvalitnější složka humusových látek
- humíny – velmi těžce rozložitelné organické sloučeniny, podílejí se na půdní struktuře a sorpčních vlastnostech půdy

Obsah humusových látek v půdě tvoří 85 – 90% tuhé organické fáze (Bedrna, 1989).

Kapalná fáze

Jedná se o vodu, která je obsažena v pórech. Rozlišujeme vodu:

- gravitační - obsažena ve velkých pórech a do 24 hodin odteče z půdního profilu
- kapilární - voda obsažená v kapilárách, vzlínající i proti přitažlivosti, zdroj vláhy pro rostliny

- vázaná – voda vázaná na pevné půdní sloučeniny, rostlinám nepřístupná.

Rozmezí objemu v půdě se pohybuje okolo 25%. Voda a v ní rozpuštěné látky tvoří tzv. půdní roztok. Ten se uplatňuje ve výživě rostlin, protože skrze něj rostliny přijímají z půdy minerální a organické látky.

Plynná fáze

Je tvořena půdním vzduchem, kterým jsou vyplněny póry v půdě. Objem, který zabírá se, pohybuje okolo 25% v závislosti na stupni zamokření půdy. Půdní vzduch má stejně složení jako atmosférický, je zde ovšem rozdíl v koncentraci některých plynů. Např. půdní vzduch obsahuje více oxidu uhličitého CO_2 a méně kyslíku – O_2 (Richter, 1997).

3. 2 Zrnitostní (granulometrické) složení půdy

Je rozdělení půdy na základě velikosti částic. Rozlišujeme 2 základní skupiny:

- Jemnozem (částice jílu <0,001mm – písek 2,00mm), viz tabulka 1.
- Skelet (drobný štěrk 2,00 mm - balvany >256mm), viz tabulka 2.

V tabulce 1 je rozepsáno jednotlivé složení jemnozemě, podle jejího zrnitostního složení.

Tabulka č. 1: Velikostní rozdělení částic jemnozemě (Sáňka a Materna, 2004).

Název částic	**Velikost částic v mm**
Jíl	<0,001
Jemný prach	0,001 – 0,01
Hrubý prach	0,01 – 0,05
Jemný písek	0,05 – 0,25
Písek	0,25 – 2,00

V tabulce 2 je rozepsáno jednotlivé složení skeletu, podle jeho zrnitostního složení.

Tabulka č. 2: Velikostní rozdělení částic skeletu (ČSN 72 1001).

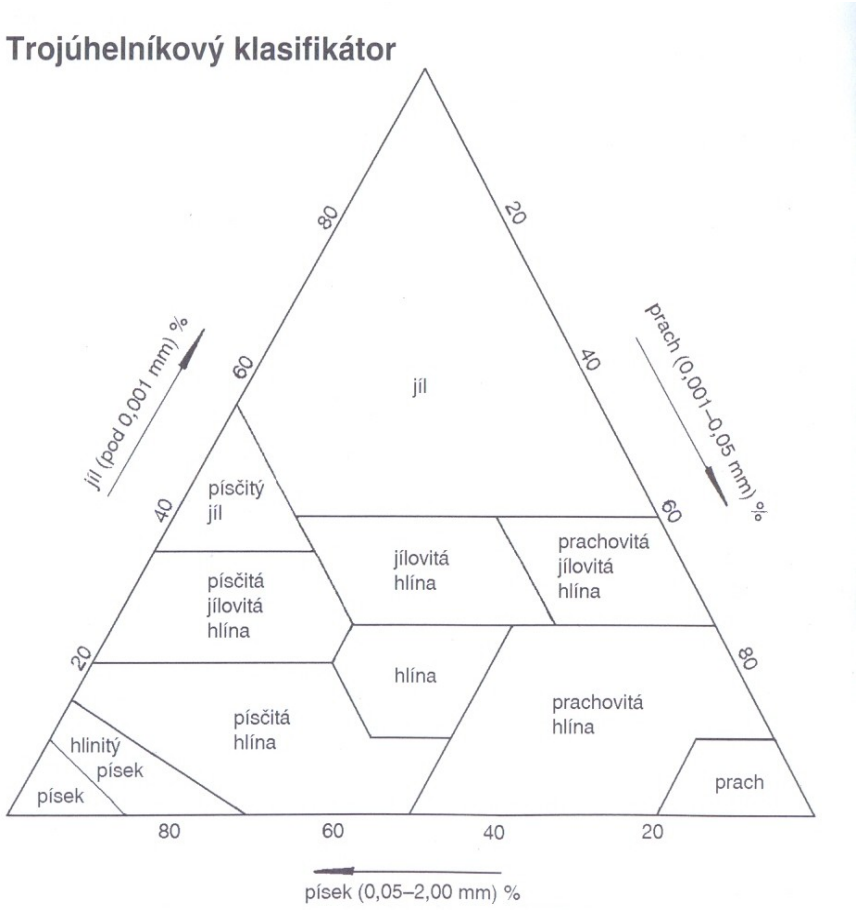
Název částic	**Velikost částic v mm**
Drobný štěrk	2 - 8
Střední štěrk	8 - 32
Hrubý štěrk	32 - 128
Kameny	128 - 256
Balvany	nad 256

V tabulce 3 je rozdělení typů půd podle obsahu jílových částic v půdním profilu. Pokud má půda méně než 50% skeletu určuje se půdní typ podle Novákovy klasifikační stupnice (příloha č. 8 k vyhlášce č. 275/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů).

Tabulka č. 3.: Rozdělení půd na základě obsahu jílových částic.

Název půdního druhu	**Obsah jílových částic v %**	**Typ půdy**
Písčitá	0 - 10	Lehká
Hlinitopísčitá	10 - 20	
Písčitohlinitá	20 - 30	Střední
Hlinitá	30 - 45	
Jílovitohlinitá	45 - 60	Těžká
Jílovitá	60 - 75	
Jíl	nad 75	

Dalším způsobem určování typu půdy podle zrnitostního složení je jeho určení podle trojúhelníkovitého klasifikátoru – viz obrázek č. 3.



Obr. č. 3.: Trojúhelníkový klasifikátor pro klasifikaci půdních druhů (Slavík a Julinová, 2010).

Na obrázku 3 můžeme vidět, že se typ půdy neodvozuje jenom podle obsahu jílu jako u Novákovy klasifikační stupnice, ale i podle obsahu písku a prachu v půdním profilu. V trojúhelníkovém klasifikátoru je také o 4 půdní typy více.

3. 3 Chemické složení půdy

Je dáno především matečnou horninou a půdotvorným substrátem. Půda vzniklá na vápencích bude mít vysoký obsah vápence $CaCO_3$, půda vzniklá na žule bude mít vysoký obsah křemičitanů SiO_2 (Šarapatka, 1996).

4. Taxonomický klasifikační systém půd ČR

Klasifikační systém České Republiky představuje základní taxonomickou klasifikaci půd. Je založen na základě vlastností půdních profilů a na vymezení a definování diagnostických horizontů. Navazuje na předchozí klasifikační systémy, zejména na Morfogenetický klasifikační systém půd. Klasifikační systém půd je reprezentován hierarchickou multikategorickou taxonomickou klasifikací, která je založena na čtyřech hlavních skupinách a dalších podskupinách (Němeček a kol., 2001).

4. 1 Kategorie klasifikačního systému

Referenční třída – zařazují se sem jednotlivé půdy, které mají stejné hlavní rysy vývoje. Názvy mají koncovku -sol.
Půdní typ – jsou opěrné jednotky klasifikačního systému. Zde se půdy spadající pod stejnou třídu rozdělují na základě různých diagnostických horizontů či znaků.
Subtypy – představují modifikace půdních typů – půdy mají sice stejný vývoj a stejný horizont, ale liší se zrnitostním složením, antropogenními vlivy atd.
Variety – vyjadřují méně výrazné znaky např. okyselení, zasolení, apod.

Další kategorie klasifikačního systému:
Půdní subvariety – charakterizují půdy podle trofismu, složení vegetace, nasycenosti sorpčního komplexu. Hlavně u kambizemí.
Ekologická fáze – charakterizují lesní půdy na základě formy nadložního humusu.
Degradační a akumulační fáze – rozdělují půdy podle eroze, akumulace a kontaminace.

Hlavní substrátové formy – charakterizují typ substrátu a jeho vlastnosti – zrnitost, vrstevnatost, pedogenezi. Nejedná se o samostatnou kategorii, ale o kategorii přípojnou, která se pojí s některou z hlavních klasifikačních skupin.
Lokální půdní formy – vyjadřují podrobnější modifikace substrátu (Němeček a kol., 2001).

5. Diagnostické horizonty

Hlavní půdní horizonty se označují velkými arabskými písmeny. Jednotlivé subhorizonty, které specifikují vlastnosti daného horizontu, se označují malými arabskými písmeny a připojují se k hlavnímu horizontu.

Horizont nadložního humusu (anhydrogenní) – O – sumární označení pro horizonty L, F, H

Horizont opadanky – L

Je tvořen čerstvě opadanou rostlinnou hmotou. Hmota je bez známek rozkladu.

Subhorizonty - **Ln** – horizont nové opadanky

Lv – horizont změněné opadanky

Fermentační horizont (horizont drti) – F

Tento horizont tvoří již částečně rozložená organická hmota. Zatím jsou rozeznatelné její jednotlivé složky.

Subhorizonty – **Fm** - mykogenní

Fz - zoogenní

Fa – amfigenní- tvoří přechoz mezi Fm a Fz

Humifikační horizont (horizont měli) – H

humifikační horizont je tvořen rozloženými rostlinnými zbytky. Má homogenní strukturu. Převládá podíl humifikovaného materiálu.

Subhorizonty – **Hh** – humusový horizont měli

Hz – zoogenní horizont měli

Hr – reziduální horizont měli

Horizont nadložního humusu (hydrogenní) – O

Vzniká na částečně zavlhčených půdách. Obsahuje organický materiál v různém stupni rozkladu. Tvorba humusu je ovlivněna vysokou vlhkostí po značnou část roku.

Subhorizonty – **Of** – fibrický hydrogenní horizont
Om – mesický hydrogenní horizont
Oh – humusový hydrogenní horizont

Rašelinný horizont – T

Je zvláštním horizontem nadložního humusu. Vzniká v podmínkách vysokého zamokření a následného rašelinění organických zbytků.

Subhorizonty – **Tf** – fibrický horizont
Tm – mesický horizont
Ts – saprický horizont
Th – humolitový horizont

Humusový horizont (epipedony) - A

Tento horizont je charakteristický akumulací organických látek. Vlastnosti tohoto horizontu ovlivňují sorpční schopnost půd.

Subhorizonty – **Ai** – iniciální
Ah – humózní lesní
Ad – humózní drnový
Am – melanický
Ac – černický
Aa – andický
Az – antropický
As - tirsový
Au - umbrický
Ao - ochrický
At - zrašelinělý
Ap - orniční
Ad – drnový

Eluviální (ochuzený) horizont – E

Je charakterizován ochuzením (vyplavením) organických látek.

Subhorizonty – **Ep** – eluviální podzolový horizont

Eh – vybělený horizont s infiltrací humusu

El – luvický ochuzený horizont

Es – soloncový ochuzený horizont

Eg – ochuzený glejový horizont

Metamorfický horizont (iluviální) – B

V tomto horizontu probíhá vnitropůdní zvětrávání. Horizontů B je velké množství a jsou charakteristické vždy pro určitý typ půdy.

Subhorizonty – **Bv** – hnědy kambický

Br – rubifikovaný kambický

Bg – oglejený kambický

Bp - pelický

Ba – andický

Existuje velké množství dalších horizontů např. skupina luvických, jílem obohacených horizontů, dále skupina mramorovaných redoximorfních horizontů, spodických horizontů ….

Půdotvorný substrát – C

Jedná se o rozpadlou horninu. Je to surovina pro vznik půdy.

Matečná hornina – R

Je souvislá nenarušená hornina sedimentárního, magmatického či metamorfovaného původu nacházející se pod půdou. Dává, vzniknou půdě, jejíž vlastnosti závisí na dané hornině.

Podložní hornina – D

Hornina nacházející se pod půdou, která se liší od substrátu. Podložní hornina nemusí být matečná hornina, pokud došlo k transportu zeminy.

Doplňující hlavní horizonty:

Glejový horizont – G – horizont vznikající v dlouhodobě zamokřené půdě.
Kalcický horizont – K - horizont vznikající v zasolených půdách.
Salický horizont – S – horizont vznikající v zasolených půdách.

Známe také mnoho přechodných horizontů, především v podloží mezi horninou a půdotvorných substrátem či mezi iluviálním horizontem a půdotvorným substrátem (Němeček a kol., 2001), (English wikipedia, 2016).

6. Taxonomické rozdělení půd

Půdní třída - **Leptosol**

Leptosoly, dříve nazývány jako půdy nevyvinuté. Charakteristikou této půdní třídy je nevyvinutost hloubky půdního profilu, k litickému kontaktu s mateční horninou dochází v hloubce do 30 cm. Tyto půdy se také vyznačují vysokou skeletovitostí a absencí horizontu B. Tyto půdy vznikají na pevných a odolných substrátech.

Půdní typy:

Litozem (LI) – velmi mělké a nepříznivé půdy s hloubkou do 10cm. Pod touto vrstvičkou půdy je pevná nebo jenom částečně narušená hornina. Vyskytují se ve vysokohorských podmínkách, mají malou zásobu živin a mohou mít nedostatek vody. Typickým pokryvem těchto půd jsou prvotní stadia lesních společenstev – zakrslé dřeviny a kosodřeviny.

Ranker (RN) – vnikají zvětráváním odolných silikátových hornin – žula, rula křemenec (kvarcit). Tyto půdy obsahují více než 50% skeletu. Rankery se vyskytují v horských oblastech, díky velké skeletovitosti jsou značně provzdušněné a mohou trpět nedostatkem vody. Mají kyselou reakci a nenasycený sorpční komplex. Rostlinný pokryv těchto půd tvoří suťová společenstva dřevin.

Rendzina (RA) – vznikají zvětráváním karbonátových hornin – vápence, dolomity a magnezity. Tyto půdy jsou značně variabilní, díky rozdílným půdotvorných substrátů např. na dolomitických usazeninách vznikají mělčí a písčité rendziny, zatímco na vápencích vznikají až jílovitohlinité půdy. Sorpční komplex mají tyto půdy nenasycený a reakce je neutrální až slabě alkalická. Půdy jsou vzdušné a dobře propustné. Vyskytují se především v krasových oblastech (Sotáková, 1982), (Šarapatka, 2014).

Pararendzina (PR) – jsou velmi podobné rendzinám. Vznikají z karbonátosilikátových hornin a kvalita humusu je podobná jako u rendzin, ale mají vyrovnanější chemismus. Jejich úrodnost je ovšem pořád nízká. Pararendziny mají lokální výskyt na křídových sedimentech, na nezpevněných vápnitých sedimentech. Ve vyšších polohách podléhají odvápnění – přechod ke kambizemím.

Půdní třída - **Regosol**

Jsou slabě vyvinuté půdy vzniklé na sypkých, nezpevněných sedimentech. Tyto půdy na svazích snadno podléhají vodní erozi, v nižších polohách je nutné zavlažování.

Půdní typy:

Regozem (RG) – půdy velmi vysychavé, s různou zrnitostí. Regozemě vznikly na nezpevněných sedimentech, mají kyselé pH a bývají často pokryty lesem.

Půdní třída - **Fluvisol**

Fluvisoly se vytvářejí na sedimentech a naplaveninách v říčních nivách. Pro tyto půdy je typické značné kolísání hladiny podzemní vody v průběhu roku, stejně jako kolísá voda v korytě řeky.

Půdní typy:

Fluvizem (FL) – nacházejí se v nivách toků a vznikají z povodňových sedimentů. Rozložení organických látek a zrnitostní složení závisí na rychlosti toku a vzdálenosti od koryta. Tyto půdy mají příznivé fyzikální vlastnosti a bývají i úrodné

Koluvizem (KO) – vzniká ve spodních částech svahu a konkávních propadlinách a v terénních propadech akumulací erozních sedimentů. Mocnost profilu nepřekračuje 0,5 m. Tyto půdy zatím v ČR nebyly mapovány.

Půdní třída - **Vertisol**

Jsou tmavé a těžké půdy, vyznačují se, v závislosti na množství vody, zvětšováním či zmenšováním svého objemu.

Půdní typy:

Smonice (SM) – je půda vzniklá z třetihorních jílů v rovinatém reliéfu se suchým podnebím. Vyskytuje se zejména do 300 m. n. n. a je pro ně typický značně mocný humusový horizont. Nejtěžší půdy v České Republice, obsahují více jak 50% jílu. V období mokra jsou značně podmáčené a nepropustné, v období sucha se objevují v půdním profilu trhliny.

Půdní třída - **Černosol**

Jsou půdy vzniklé na nezpevněných karbonátových substrátech, např. na spraších. Vyznačují se mocných humusovým horizontem s drobtovitou strukturou. Jedná se o velmi úrodné půdy.

Půdní typy:

Černozem (CE) – vznikly v nížinách na karbonátových sedimentech pod stepní až lesostepní vegetací. Vyznačují se hlubokým humusovým horizontem sahajícím až do hloubky přes půl metru. Tyto půdy mají nedostatek skeletu. Reakce těchto půd je mírně zásaditá nebo maximálně neutrální. Jsou to nejkvalitnější půdy. V České republice jsou černozemě reliktní jako v celé střední Evropě. Vznikly v sušších podmínkách, než jsou dnes. Nacházejí se v úrodných nížinách – Polabí, Povltaví.

Černice (ČC) – vznikají v nížinných polohách a propadlinách černozemních oblastí. Nemají tak hluboký humusový horizont jako černozemě, ale přesto jsou velmi úrodné. Hladina podzemní vody se nachází v hloubce 1 – 2 m. Dostatek humusu a živin u těchto půd z nich dělá nejúrodnější půdy v České Republice.

Půdní třída - **Luvisol**

navazují na černozemě, vznikly na těžších čtvrtohorních sedimentech. Nacházejí se převážně v dolinách a kotlinách. Obsahují horizont eluviace jílu.

Půdní typy:

Šedozem (SE) – navazují na rozšíření černozemí, kde se začíná vyskytovat vlhčí podnebí. Obsahují hluboký šedý melanický horizont a luvický horizont s argilany. Mají lehce kyselé pH a jsou velmi úrodné.

Hnědozem (HN) – vznikají v mírně zvlněném reliéfu na spraších nebo sprašových hlínách. Vyznačují se světlejším eluviálním horizontem. Půdy jsou to středně těžké se střední zrnitostí a mají příznivé složení humusu. Díky lepší vodní bilanci mohou v sušších letech dávat lepší výnosy než špatně vláhou zásobené černozemě.

Luvizem (LU) – vznikají ve značně vlhčím prostředí, obsahují vybělený eluviální horizont, který bývá často oglejen. Jedná se spíše o těžší půdy s malým provzdušněním a s méně kvalitním humusem.

Půdní třída - **Kambisol**

Vznikají v členitějším reliéfu ze souvrství přemístěných hornin. Dochází ke zvětrávání primárních minerálů – zajílení. Tyto půdy mají celou škálu zrnitostního složení a mohou obsahovat různé formy nadložního humusu.

Půdní typy:

Kambizem (KM) – dříve hnědá lesní půda. Vyskytují se v mírném pásu v členitém reliéfu. Matečná hornina kambizemí poměrně snadno podléhá zvětrávání. Vyznačují se hnědým kambickým horizontem. Kambizemě jsou velmi rozmanité půdy, a to jak v zrnitostním složení, tak v obsahu živin. Jedná se o hluboké půdy, vývojové mladé, které vznikly nejčastěji z rankerů a pararendzin.

Pelozem (PE) – slínovatka. Vzniká z jílů a slínů. Tato půda je pro velký obsah jílových částic velmi těžká a má tendenci k častému oglejení.

Půdní třída - **Andosol**

Vznikají v tropickém a subtropickém podnebí z vulkanických, kyprých a dobře propustných substrátů. Mají hluboký tmavošedý humusový horizont Půdním typem, který náleží do této třídy, je andozem.

Půdní typy:

Andozem (AD) – Vyvinuly se na kyselých vulkanických půdotvorných substrátech, mají značné množství volného Al – díky čemuž jsou to půdy kyselé. Tento půdní typ nebyl zatím v ČR popsán (Šarapatka, 2014).

Půdní řída - **Podzosol**

Mají nenasycený sorpční komplex, který obsahuje značné množství Al^{3+}.

Půdní typy:

Kryptopodzol (KP) – tyto půdy se vyskytují ve vysokých nadmořských výškách v chladném a vlhkém klimatu. Mají rezavý spodický horizont s velmi malou objemovou hmotností. Jsou to půdy velmi kyselé s volnými oxidy Fe a Al.

Podzol (PZ) – podzoly se vyskytují ve vyšších nadmořských výškách. Mají dobrý obsah humusu, který je ovšem velmi málo kvalitní a velmi kyselý. Mají extrémně kyselý vybělený eluviální horizont. Půdy jsou to kyselé sorpčně vysoce nenasycené (Sotáková, 1982).

Půdní třída - **Stagnosol**

Tyto půdy vznikají v důsledku povrchového převlhčení. Typický je pro ně mramorovaný horizont.

Půdní typy:

Pseudoglej (PG) – je charakterizován střídáním povrchového zamokření a vysušení – které převládá. Vyskytují se zejména v rovinatých oblastech. Je pro ně typický mramorovaný horizont, který vzniká z luvického, braunifikovaného či pelického horizontu. Mramorování je dáno střídáním vrstev, které jsou obohacené o mangan a železo, s vrstvami ochuzenými.

Stagnoglej (SG) – tyto půdy jsou velmi podobné pseudoglejům. Liší se od nich v tom, že zde převládá povrchové zamokření s dlouhou periodou nad vysušení (Šarapatka, 2014).

Půdní třída - Glejosol

Na vzniku těchto půd se podílí vysoká hladina podzemní vody – do 0,6m pod povrchem, a vzniká tzv. glejový horizont.

Půdní typy:

Glej (GL) – specifickou barvu glejového horizontu u tohoto druhu půd, zelenomodrá nebo okrová, způsobuje redukce Fe^{3+} na Fe^{2+}. Tuto reakci způsobuje vysoká hladina podzemní vody a tudíž špatné prokysličení. Tyto půdy se nacházejí v terénních propadlinách a jsou mírně kyselé až kyselé (Sotáková, 1982).

Půdní třída - Salisol

Jedná se o zasolení půdy. Obsahují salický horizont.

Půdní typy:

Solončak (SK) – někdy také slanisko. Jsou to výrazně alkalické půdy, které obsahují soli v celém profilu. Tyto soli vytvářejí na povrchu půdy krustu a vznikají tzv. zasolením.

Půdní třída - **Natrisol**

Obsahují natrický horizont, obsah sodíku Na^+ v sorpčním komplexu je větší než 15%.

Půdní typy:

Slanec (SC) – jde o degradovaný solončak. Díky vysoké srážkové vodě probíhá odsolení a soli se nehromadí na povrchu, ale v hlubších zónách. V České Republice se tento druh půd nevyskytuje.

Půdní třída - **Organosol**

Vznikají z organických substrátů – z rašeliny. Mocnost tohoto horizontu přesahuje 50 cm.

Půdní typy:

Organozem (OR) – jinak také rašeliništní půda. Mají holorganický horizont s mocností přesahující 0,5 m. Vyskytují se ve vyšších výškách v humidním klimatu. Typické je silně kyselé pH a prosycení vodou.

Půdní třída - **Antroposol**

Jedná se o půdy, které byly člověkem značně přeměněny (promíchání všech horizontů …).

Půdní typy:

Kultizem (KU) – vzniká při kultivaci půdy a přesahuje běžné zlepšovací zásahy do půdy. Jedná se o meliorační zásahy – extrémně hluboká orba, rigolování (při zakládání sadů, vinic a chmelnic).

Antropozem (AN) – vzniká z nakupených substrátů při těžební činnost (Šarapatka, 2014).

6. 1 Kambisoly

Dříve také zvané jako hnědé lesní půdy, jsou půdy typické svým hnědým kambickým horizontem. Je to velmi rozmanitá půdní třída, půdy této kategorie se vyznačují značnou variabilitou. A to jak v barvě, struktuře tak i textuře. Je to dáno tím, že kambisoly vznikají z celé řady půdotvorných substrátů. Jsou to půdy vzniklé na svahových souvrstvích ze zpevněných sedimentárních, metamorfovaných nebo vyvřelých hornin. Jejich společný diagnostický znak je hnědý kambický horizont. V horní části horizontu dochází k uvolňování železa a hliníku (Šarapatka, 2014).

Výskyt – areál výskytu kambisolí se koncentruje především ve vlhkém mírném pásu – teplota nejchladnějšího měsíce v roce je nižší než 3°C a teplota nejteplejšího, je více než 10°C. Areál je ovšem širší. V tropech se kambisoly vyskytují ve vyšších polohách hor, kde se teplotní režim blíží mírnému pásu (Němeček, Smolíková, Kutílek, 1990).

6. 1. 1 Kambizem

Tento půdní typ se vyznačuje výskytem typického kambického hnědého – braunifikovaného horizontu Bv. V půdním profilu je tento horizont umístěný pod lesním či orničním humózním horizontem A. Pod tímto horizontem se již nachází půdotvorný substrát C, případně přechodný horizont B/C. Stratigrafie kambizemí je O – Ah - C (horizont opadanky - kambický horizont - půdotvorný substrát) nebo Ap – Bv – C (orniční horizont - kambický horizont - půdotvorný substrát).

Vznik kambického horizontu - při hnědnutí, nebo též braunifikaci, dochází k zabarvování horizontu oxidy a hydroxidy železa, případně chaláty. Ty se uvolňují zvětráváním a následnou hydrolýzou ze silikátů v kyselých půdách. Uvolňují se zde také primární minerály a dochází ke vzniku jílu.

Kambizemě jsou nejrozšířenějším půdním typem v ČR. Nacházejí se v různých nadmořských výškách, podle toho se také rozdělují na kambizemě vyšších poloh a nižších poloh (nad a pod 600 m. n. m.). U kambizemí nižších poloh bývá méně humusu v důsledku mineralizace, je ale kvalitnější, sorpční komplex je nasycenější. Půdní reakce u těchto půd je slabě kyselá až kyselá (Šarapatka, 2014)

6. 1. 2 Hlavní subtypy kambizemí

Hnědá půda eutrofní – vyskytuje se na bazických horninách a má tudíž lepší půdní reakci a lepší sorpční komplex, má také vysoký obsah humusu.
Hnědá půda typická – vyskytuje se převážně do 400 m. n. m., má nižší obsah humusu a zhoršené sorpční i pH vlastnosti oproti předchozímu typu.
Hnědá půda kyselá – nejčastěji je rozšířená mezi 400 – 600 m. n. m., je shodná s předešlým typem, pouze má nižší půdní reakci a zhoršené sorpční vlastnosti.
Hnědá půda silně kyselá – vyskytuje se v nejvyšších polohách areálu rozšíření kambizemí – nad 600 m. n. m., má velmi silnou kyselou reakci a extrémně nenasycený sorpční komplex.
Hnědá půda oglejená a glejová – výskyt převážně v nižších polohách a v terénních depresích s vysoký zamokřením, nese znaky glejového procesu, nebo částečného oglejení (Tomášek, 2007).

Další subtypy kambizemí –	modální – m	andická - b
	luvická – l	oglejená - g
	melanická – n	fluvická - f
	umbrická – u	pelická – p
	rankerová – s	atd.
Variety kambizemí –	eubazická – e'	podzolovaná - z'
	mesobazická – a'	hořečnatá – x'
	slabě oglejená – g'	atd.
Subvariety kambizemí –	oligotrofní – d'	mesotrofní – m'

(Němeček a kol., 2001)

V souhrnu se dá říci, že kambizemě jsou málo až středně kvalitní a úrodné půdy. Hlavními nevýhodami jsou, že se vyskytují ve členitějším reliéfu, často mívají větší skeletovitost, nemají příliš mocný půdní profil a jsou náchylné k acidifikaci (mají nižší pufrovitost) a často mají nenasycený sorpční komplex. Z hlediska pěstovaných plodin jsou vhodné pro méně náročné plodiny, jako jsou brambory a len, případně se na nich dají pěstovat méně náročné obiloviny – žito a oves.

7. Ochrana půdy

Vznik půdy probíhá rychlostí zhruba 1t/ha za rok – to odpovídá asi 1mm vrstvě půdy. Proces je to tedy velmi pomalý a je tedy nutné současnou, již vytvořenou půdu chránit. Degradace může být proces naopak velmi rychlý, může postihnout a narušit jednu či více skupin přirozených půdních funkcí. Některé procesy ohrožují a znehodnocují fyzikální vlastnosti půdy – eroze, úbytek organické hmoty, utužení půdy, jiné poškozují biologické vlastnosti – úbytek půdní biodiverzity a menší půdní aktivita, a jiné ničí chemické vlastnosti půd – zasolení, acidifikace, kontaminace, a problémem je zábor půd. Proti tomu všemu musíme půdu ochraňovat a předcházet jejímu poškození těmito procesy.

Ochrana půdy v České Republice

Ochrana půdy v ČR je zakotvena v zákoně č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů (Šarapatka, 2014).

7.1 Hlavní degradační procesy v ČR

Zábor půdy pro zástavbu

V České Republice je nejvíce rozšířena degradace půdy pomocí záboru půdy způsobená rozšiřováním lidských sídel. S tím souvisí a zástavba průmyslovou činností. Často se zabírají i půdy úrodné a z hlediska zemědělství cenné. Tento proces se výrazně urychlil v posledních 15 – 20 letech moderním způsobem života. V současnosti je denně odjímáno 15 ha ze zemědělského půdního fondu. Zastavěním půdy mizí její produkční i mimoprodukční vlastnosti.

Vodní a větrná eroze

Další závažná degradace je odnos půdy vodou – vodní eroze. Vodní eroze v ČR postihuje zhruba 42% plochy půdy a okolo 10% je již nevratně poškozeno. Větrná eroze není tak rozšířená jako vodní – ohroženo je 10% zemědělských ploch a nevratně poškozeno je jen zanedbatelné množství. Obě tyto eroze působí na nejdůležitější část půdního profilu – na ornici.

Důsledky vodní a větrné eroze

Z ornice je unášena:

- jemnozem - zvyšuje se skeletovitost,
- humus - snižuje se sorpční komplex půd a půda je tak náchylnější k další degradaci – k acidifikaci,
- jsou vyplavovány živiny - menší úrodnost půd, v případě vyplavování hnojiv a jejich splav do vodních ploch se jedná o kontaminaci podzemních vod dusičnany, v povrchových vodách potom sloučeniny fosforu – vznik eutrofizace.

Utužení

Rozeznáváme dva různé způsoby utužení. Prvním je náchylnost daného půdního druhu ke slehávání a samovolnému utužování. V ČR je takto ohroženo cca 30% převážně těžkých a těžších půd. Druhým způsobem je technologická utuženost – slehávání půdního profilu v důsledku pojezdu těžkou mechanizací. Tento způsob je ještě umocněn, pokud se tak děje za nevhodných vlhkostních podmínek. Takto ohrožených půd je okolo 70%. V důsledku utužení se zmenšují póry v půdě, snižuje se jejich počet. To neblaze působí na růst kořenů rostlin, a to jak na růst, tak na látkovou výměnu. Díky utužení je také snížen však vody do půdy, snadněji se vyskytne povrchový odtok při deštích – zvýšení ohrožení půdy vodní erozí (Vopravil a kol., 2010).

Acidifikace

Okyselování půdy je pomalý degradační proces, který má ovšem velký dopad na zemědělskou výrobu. Nebezpečí acidifikace spočívá v tom, že vyšší míra kyselosti v půdě způsobuje mnoho problémů. Mezi největší problémy spojené s acidifikací je vyplavování bazických iontu – Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, a tyto ionty pak chybí ve výživě rostlin. Naopak při určité vyšší kyselosti je uvolňován Al^{3+}, který působí na rostliny jako jed. Dále kyselosti působí přímo na růst rostlin, které potřebují půdu spíše neutrální a v kyselé půdě hůře prokořeňují. Je zpomalena humifikace, kyselost půdy snižuje i její biologickou aktivitu. V kyselém prostředí se

lépe daří patogenům a plísním, které mohou, naopak kyselostí oslabené rostliny, snadněji napadnout (Paul, Clark, 1996).

Úbytek organické hmoty

Jedná se vlastně o výsledek výše uvedených erozí, tak i o erozi samotnou. Půda bez organické hmoty je půda mrtvá a k tomuto bodu spěje každá degradace. Ovšem ubývání organické hmoty není zapříčiněno jenom jednou či druhou erozí, kde je úbytek organické hmoty konečným výsledkem, ale existují i procesy, které organickou hmotu snižují přímo. Jedná se především o špatná agrotechnická opatření. Organická hmota je pro půdu velmi důležitá a v tomto případě platí „čím více, tím lépe“. Součást organické hmoty - humus se podílí na sorpčním komplexu půd, na poutání živin a minerálů. Příznivě ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy – těžké půdy nadlehčuje, u lehkých půd se podílí na lepším zadržení vody.

Ztráta biologické diverzity

Půda je živý organismus. Rozmanité společenství organismů v půdě ovlivňuje cyklus života na Zemi. Podílí se na cyklu přeměny a koloběhu látek. Na zemědělské půdě ovlivňuje výši biologické aktivity půdy zejména systém hospodaření – agrotechnika, osevní postupy a hlavně chemické vstupy.

Kontaminace půd

V České Republice se jedná o lokální problém. Jedná se o místa kontaminovaná průmyslovou činností, případně havárií a v neposlední řadě o černé skládky nebezpečných odpadů (Vopravil a kol., 2010).

8. Acidifikace

Acidifikace neboli okyselování je proces, při němž vrůstá v prostředí, ať už půdním, nebo vodním, koncentrace vodíkových, či jinak oxoniových iontů H^+. Je to nikdy nekončící proces, protože chemické reakce, jenž přispívají ke zvyšování koncentrace iontů H^+, probíhají neustále. Acidifikace půd je přirozený proces, který je vývojem a dlouhým časovým obdobím ustálený na určité míře. Existují půdy přirozeně kyselé, tak i přirozeně alkalické. Těmto podmínkám jsou přizpůsobeny i ekosystémy. Problém ovšem nastává, když do tohoto procesu vstoupí člověk. Lidská činnost narušuje rovnováhu mezi acidifikací a její neutralizací, a to ve prospěch okyselování (Hédl, 2005).

Přirozené procesy podporující acidifikaci:

- rozpad kyselé matečné horniny
- vznik CO_2 dýcháním živé složky půdy
- vznik organických kyselin v půdě
- vymývání bazických iontů
- oxidačně-redukční procesy dusíkatých a sirných látek

Antropogenní procesy:

- kyselá depozice vzniklá imisemi z dopravy a průmyslu
- používání kyselých hnojiv
- odběr bazických iontů sklízením plodin
- pěstování nevhodných kultur

Všechny tyto procesy mají jeden nebo druhý důsledek, kterým přispívají ke kyselosti půdy. Prvním z nich je samotné vnášení vodíkového kationtu H^+ do prostředí. Druhým pak odebírání iontů, které acidifikaci potlačují (Batysta, 2011).

Zdroj vodíku je především z disociace kyselin, které se dostávají do půdy a zde pak reagují. Jedná se o kyseliny organické i anorganické. Přičemž platí, že silnější anorganické kyseliny mají větší disociační schopnost a tedy jsou schopny do půdního roztoku uvolnit větší množství iontů H^+.

Obecná rovnice disociace organické kyseliny a disociace kyseliny sírové.

$R\text{-}COOH \rightarrow R\text{-}COO^- + H^+$

$H_2SO_4 \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$

Půdy ovšem obsahují i prvky, které acidifikaci potlačují. Tyto prvky se nazývají bazické ionty. Jsou v půdě přítomny v minerální formě a to jako součást půdotvorného substrátu nebo jsou obsaženy v sorpčním výměnném komplexu půd. Patří mezi ně kationt vápníku – Ca^{2+}, kationt hořčíku – Mg^{2+}, kationt sodíku - Na^+ a kationt draslíku – K^+. Tyto ionty se do půd přirozeně dostávají ze zvětrávání podložních hornin. Pokud má půda dostatečně hluboký profil s dostatečným sorpčním komplexem, pak se tyto ionty, po neutralizaci vodíkových iontů, do tohoto komplexu adsorbují. Zde zůstanou uchovány do doby, než se do prostředí dostanou další vodíkové ionty. Tyto ionty se pak v sorpčním komplexu vymění a tím dojde k neutralizaci kyselosti (Hruška J., Cienciala E., Navrátil T., Hofmeister J., 2006).

<u>Průběh neutralizace vodíkových iontů H^+ v půdě</u>:

Vápenec vpravený do půdního prostředí reaguje s vlhkostí a disociuje:

$CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$

Uhličitanový aniont zneutralizuje volné ionty H^+:

$CO_3^{2-} + H^+ \rightarrow HCO_3^-$

Vzniklý hydrogenuhličitanový aniont zneutralizuje další volné ionty H^+:

$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3$

Výsledná slabá kyselina uhličitá se rozpadá:

$H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$

Výměna iontů v iontově-výměnném komplexu:

Při vápnění kationt Ca2+ vytěsní ionty H+, které jsou zneutralizovány uhličitanovým zbytkem a následný rozpad kyseliny uhličité:

$[IVK]2H^+ + Ca_2CO_3 \rightarrow [IVK]Ca^{2+} + H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$

Neutralizace H^+ výměnou za iont z iontově výměnného komplexu:

$[IVK]Ca + 2H^+ \text{---> } [IVK]2H^+ + Ca^{2+}$

Pokud má půda dostatečně velký iontově výměnný sorpční komplex, bude pH stálé a bez náhlých změn (Tan, 1994).

8. 1 Důsledky nadměrné acidifikace

Okyselení půdního prostředí má mnoho negativních vlivů. Přímá depozice ve srážkové vodě může poškozovat asimilační orgány rostlin. Tento problém byl v České Republice rozšířen od 60 let minulého století. Hlavně na pomezí ČR, Polska a Německa v tzv. „černém trojúhelníku“ dosahovaly emise oxidů síry SO_x značné míry díky koncentraci průmyslu a elektráren spalující uhlí. Tyto plyny v atmosféře reagují s vlhkostí a vznikají kyseliny, které se depozicí dostávají zpět na zemský povrch. Toto trvalo až do 90 let minulého století, kdy byly elektrárny odsířeny. Následky ovšem pozorujeme dodnes – rozsáhlá území jehličnatých lesů byla „spálena“ přímou depozicí tzv. kyselými dešti (Hruška a Kopáček, 2009).

Depozice kyselin dalšího prvku – dusíku, který se dostává do atmosféry, jako NO_x, mohou způsobit disproporce ve výživě rostlin. Tento nadbytek dusíku a nedostatek dalších živin způsobuje, že stromy mají nekvalitní dřevo a jsou náchylné k polámání.

Masivní zvýšení kyselosti půdního prostředí ovšem s sebou přináší i další druhotné jevy. Jedním z nich je mobilizace toxických sloučenin hliníku. Pokud se tyto toxické sloučeniny dostanou do kořenů rostlin, vytlačují ostatní kationty (Ca^{2+}, K^+), čímž narušují iontovou rovnováhu. Takto postižené orgány hynou. Vzhledem k tomu, že se jedná o jemné kořeny, zhorší se celkový příjem živin rostlinou, a vede to, až k následnému uhynu. Vyšší kyselost tedy zvyšuje zatížení ekosystému tímto rizikovým prvkem. (Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I., 2009).

Zvýšená kyselost má celou řadu dalších důsledků:

- rozvoj patogenních organismů a hub a následné choroby rostlin
- je snížena nitrifikační schopnost půdy
- omezení aktivity hlízkových bakterií
- zpomaluje se uvolňování dusíku
- rostliny přijímají méně fosforu a bóru
- aktivizace toxických sloučenin hliníku
- zhoršení kvality humusu
- snížení výnosu
- nedostatek některých živin ve výživě rostlin, atd. (Šarapatka, Dlaba, Bedrna, 2002).

Okyselování se ovšem netýká pouze půdy, ale i vody. Mobilizovaný hliník zde působí ještě toxičtěji než v půdním prostředí. Tento prvek působí na jikry nakladené na dně jezer a potoků jako buněčný jed a jikry hynou. Na dospělé ryby působí především tak, že se hliník sráží na žábrách ryb na nerozpustný hydroxid hlinitý – $Al(OH)_3$. Ryby se následně zadusí (Hruška a kol., 2009).

8. 2 Půdní reakce

Neboli půdní kyselost. Kyselost prostředí ať už půdního nebo vodního způsobují vodíkové kationty H+. Naopak proti iontům H+ působí hydroxylové ionty OH-, které způsobují zásaditost či alkalitu prostředí. Reakci prostředí, zda a jak moc je kyselé, určuje koncentrace iontů H+ a vyjadřuje se pH stupnicí. Jedná se záporný dekadický logaritmus této koncentrace.

$pH= -\log_{10}(H^+)$

pH stupnice má rozsah od 1 do 14. Přičemž pro kyselé prostředí je stupnice od 1 do 7. Čím nižší je hodnota pH, tím vyšší je koncentrace vodíkových iontů H^+. Při hodnotě 7 je pH neutrální. Vodíkové ionty H^+ a hydroxylové ionty jsou přítomny v prostředí ve stejné koncentraci a reagují spolu za vzniku vody.

$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

Hodnoty na pH stupnici od 7 do 14 připadají na alkalitu prostředí. Ta je určena koncentrací hydroxylových iontů OH^- . Výpočtem získáme hodnotu pOH, pokud chceme zjistit pH, musíme tuto hodnotu odečíst od 14 (Paul, Clark, 1996).

$pH= 14 - \log_{10} (OH^-)$

Druhy půdní kyselosti

Vzhledem k půdnímu iontově výměnnému sorpčnímu komplexu půd rozeznáváme 3 půdní kyselosti.

Aktivní kyselost – tuto kyselost způsobují ionty H^+, které jsou volné. Jsou přítomny v půdním roztoku a přímo ovlivňují pH půdy.

Výměnná kyselost – na této kyselosti se již podílí iontově-výměnný sorpční komplex půd. Tedy respektive na jejím neutralizování. Je způsobena vodíkovými ionty, které jsou v sorpčním komplexu adsorbovány. Jedná se o difúzní vrstvu kompenzujících iontů – viz obrázek 3. Tyto ionty mohou být snadno vytěsněny a zneutralizovány. Kapacita této vnější vrstvy určuje sorpční kapacitu půd a úroveň její pufrační kapacity.

Hydrolytická půdní kyselost – je způsobena silně vázanými vodíkovými ionty ve vnitřní vrstvě koloidní micely. Tyto ionty se nedají snadno vytěsnit a zneutralizovat

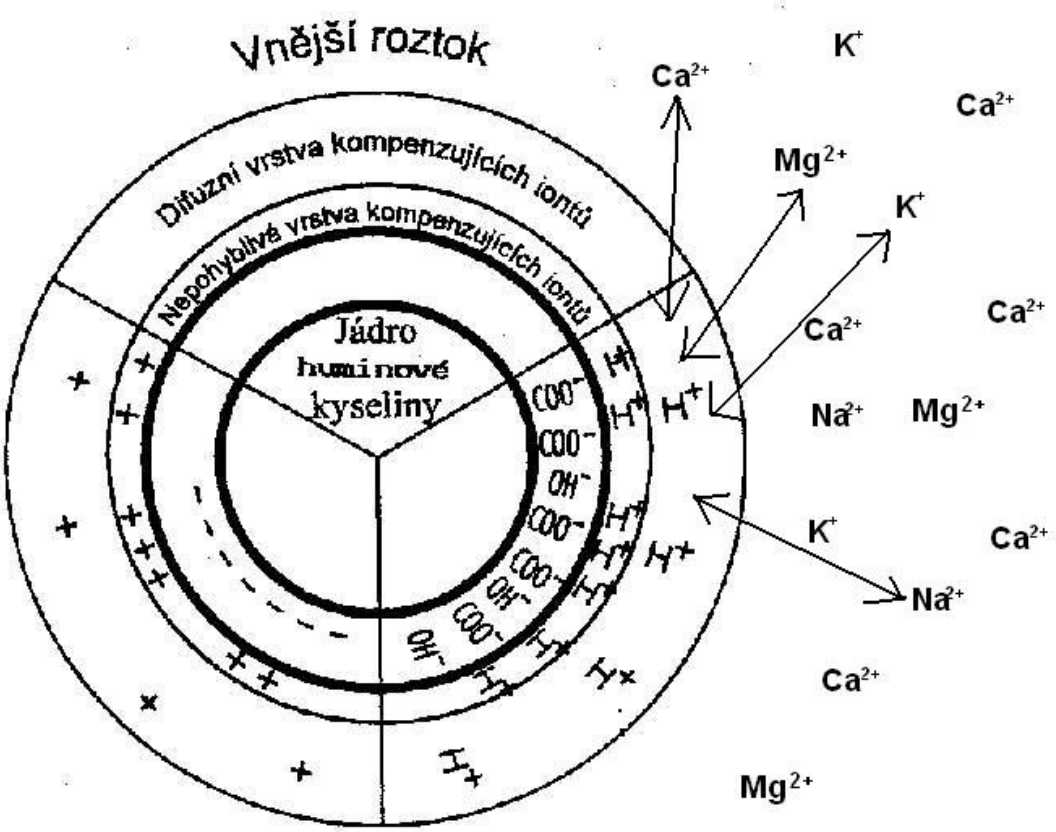
vápněním a mají tedy při neutralizaci půdní kyselosti menší vliv. Ovšem hodnota hydrolytické půdní kyselosti určuje celkový maximální sorpční komplex půd (Matula, 2007).

9. Sorpční schopnost půdy

Má značný význam pro výživu rostlin. Sorpční schopnost půdy je v podstatě schopnost určitých látek, sorpčně aktivních (jílové minerály, humus), zadržovat a poutat ionty a molekuly z půdního roztoku.

Druhy sorpce:

- mechanická - při tomto druhu sorpce jsou ionty a molekuly vázány ve slepých pórech
- fyzikální – jde o přitahování částic k pevným půdním částicím na základě polárnosti/nepolárnosti látky přitahované
- chemická – jedná se o půdní chemické reakce, jejichž výsledkem je vytvoření sraženiny
- biologická – látky jsou poutány v tělech půdních mikroorganismů
- fyzikálně chemická – je nejdůležitějším druhem sorpce. Její podstatou je neutralizace elektrostatických nábojů na pevných částech půdy. Fyzikálně chemicky aktivní látky jsou jílové minerály a organické koloidy. V půdě se udržuje mezi adsorbovanými živinami a živinami v roztoku rovnováha. Při odčerpání živin jsou doplněny ze sorpčního komplexu, při mineralizaci je naopak komplex dosycen. Schéma koloidní micely sorpčního komplexu půd zobrazuje obrázek 4, včetně znázornění výměny kationtů (Richter, 1997).



Obr. č. 4: Znázornění koloidní micely a výměny iontů (Richter, 2004), dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/sorpce_vymenna.htm, upraveno.

Jak je na obrázku vidět, procesu výměny iontů se zúčastňuje vnější vrstva micely. Vnitřní vrstva se tohoto procesu neúčastní, protože ionty jsou zde vázány mnohem pevněji.

Fyzikálně-chemická sorpce se uplatňuje i při acidifikaci půd. Díky této sorpci totiž můžeme uchovávat v půdě ionty vápníku Ca^{2+}, které se podle potřeby samovolně uvolňují a neutralizují ionty vodíku H^{+}, v tom případě mluvíme o pufrovitosti, či také o ústojčivé schopnosti půd.

9. 1 Pufrovitost půdy

Jinak také ústojčivá schopnost půd. V průběhu vegetačního období probíhá v půdě řada chemických a biologických procesů, které mohou mít za následek rychlou změnu pH. Schopnost odolávat těmto změnám se nazývá pufrovitostí půdy. Velikost této schopnosti podmiňuje obsah ústojných systémů v půdě. Nejvíce se na této schopnosti podílí jílové minerály a humusové molekuly.

Největší schopnost odolávat změně pH mají přirozeně všechny půdy vzniklé z uhličitanových půdních substrátů, které dobře neutralizují kyselé vstupy. Středně odolné půdy jsou ty, které mají velkou sorpční kapacitu organických a minerálních koloidů a tuto kapacitu mají nasycenou bazickými ionty. Patří k nim i půdy, ve kterých probíhá vnitropůdní zvětrávání, kde se z primárních jílových minerálu uvolňují bazické ionty. Jsou to hlavně kambizemě. Nízkou schopnost odolávat kyselým vstupům mají půdy bez uhličitanů a s malým sorpčním komplexem (Šarapatka, Dlaba, Bedrna, 2002).

10. Cíle práce

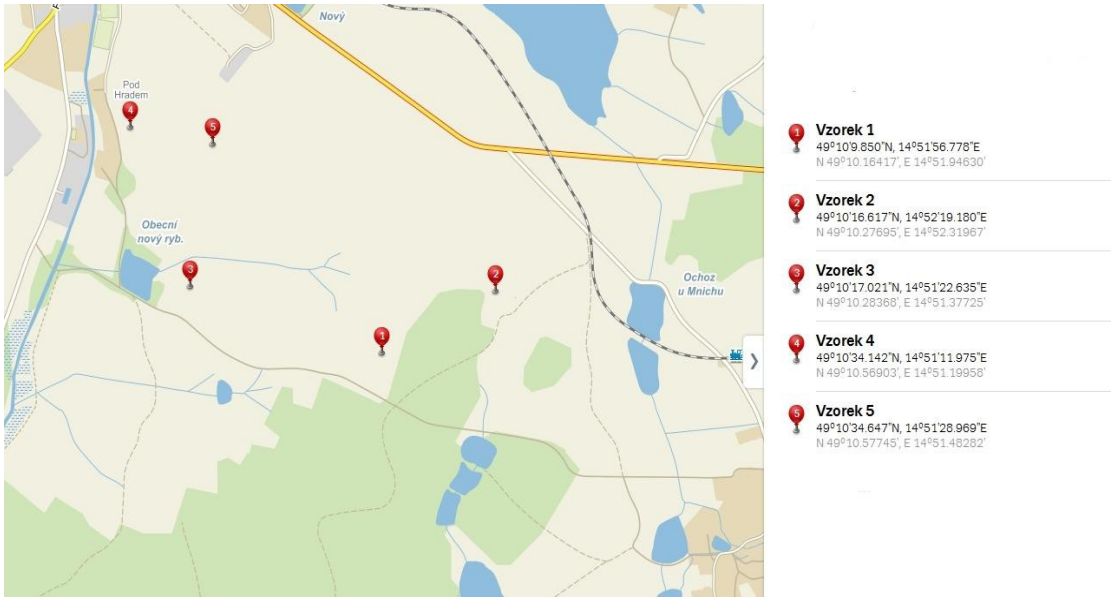
Cílem mé práce bylo rozšířit poznatky o výměnné aciditě, především v kambizemích Jihočeského kraje. V praktické části potom určit ve vybrané oblasti, pomocí odebraných vzorků, výměnnou aciditu. Tuto zjištěnou hodnotu porovnat s výsledky ÚKZUZ a na základě tohoto zjištění potom navrhnout opatření a vypočítat odpovídající množství CaO potřebného ke zvýšení pH. Dále bylo mým cílem zjistit z průběhu konduktometrických křivek maximální sorpční kapacitu daných vzorků.

11. Materiály a metody

Popis lokality

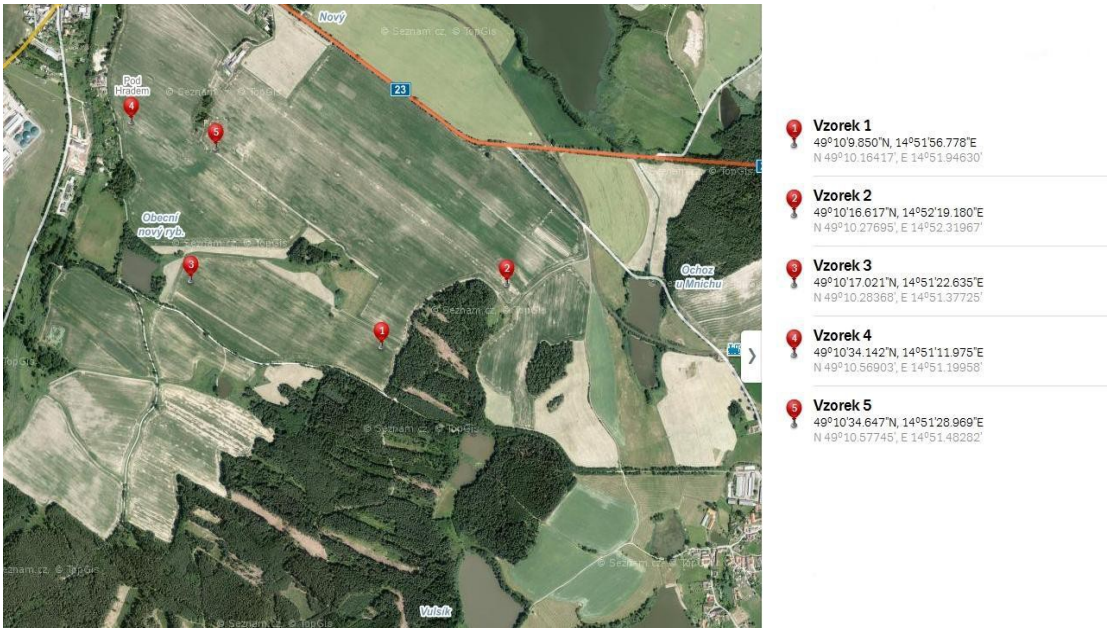
Pro odběr vzorků byl vybrán typický pozemek v oblasti pahorkatin. Podloží celého pozemku je tvořeno magmatickou horninou – žulou, která i na jednom místě vystupuje až nad povrch půdy. To dává předpoklad méně mocnému půdnímu profilu s vyšší skeletovitostí a s vyšší potřebou vápnění. Celý pozemek je svažitý. V nejsvrchnější části svahu, nad samotnou ornou půdou, se nachází zalesněná část. Od této části se pozemek svažuje směrem na západ. Několik desítek metrů pod ukončením svahu, kde je rovněž ukončena orná půda se v jižní části nachází rybník, v západní části pak potok. Zde se svažitost pozemku vyrovnává.

Základní mapu oblasti zobrazuje obrázek 5. Na mapě jsou označená i místa odběru vzorků.



Obr. č. 5: Základní mapa lokality s vyznačením míst odběru vzorků.

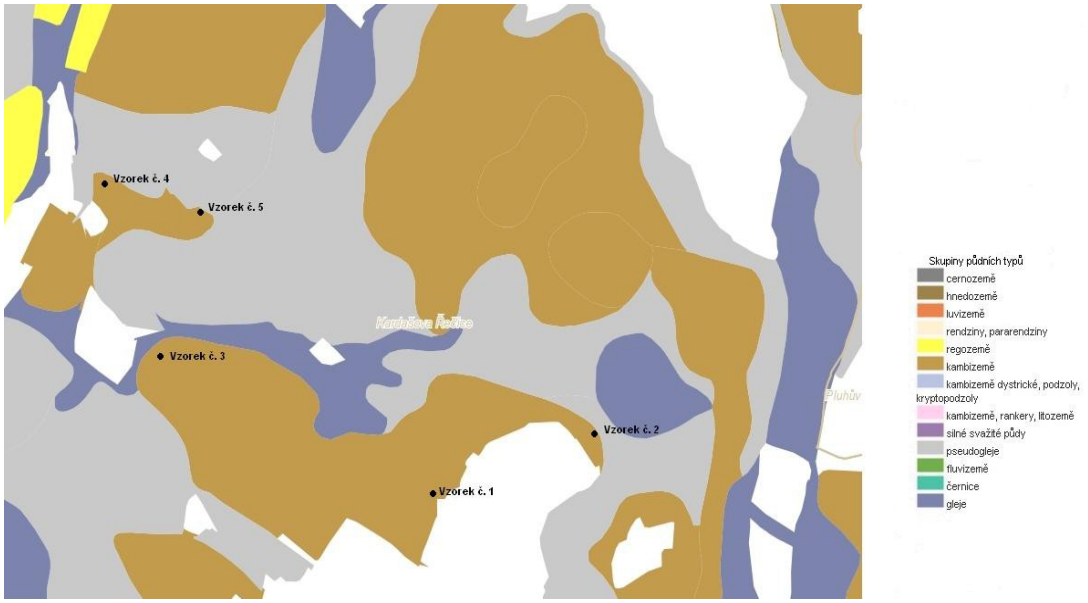
Fotografický pohled na lokalitu zobrazuje obrázek 6. Opět jsou i na této letecké fotografii vyznačena místa odběru vzorků.



Obr. č. 6: Letecká mapa lokality s označením míst odběru vzorků.

Jak je vidět na obrázku 5 i 6 místa odběru byla vybrána tak, aby dohromady tvořila reprezentativní vzorek půdy a mohla tak být co nejlépe určena průměrná hodnota měření. První dva vzorky byly odebrány ve svrchní části pozemku, v nejvyšší nadmořské výšce. Jeden byl odebrán v oblasti vyšší zamokřenosti – přítomnost vodní nádrže. Čtvrtý vzorek byl odebrán na konci lokality v nejnižší nadmořské výšce a pátý vzorek byl odebrán uprostřed lokality u magmatické vyvřeliny vystupující nad povrch půdy.

Mapu půdních druhů v dané lokalitě zobrazuje obrázek 7.



Obr. č. 7: Půdní mapa lokality s označením míst odběru vzorků. (Geoportál SOWAC GIS,dostupné na :http://geoportal.vumop.cz/index.phpprojekt=zchbpej&s=mapa)

Jak je z obrázku patrné na dané lokalitě se vedle kambizemí vyskytují v hojné míře ještě gleje a districké kambizemě, případně podzoly či kryptopodzoly. Na okraji obrázku zasahují svým rozšířením do lokality ještě regozemě.

Popis odběrných míst

Vzorky byly odebírány tak, aby reprezentovaly různou kyselost na celém pozemku a aby dohromady vyjadřovaly průměrnou kyselost vztaženou na jakoukoli část pozemku.

Vzorek č. 1 byl odebírán ve svrchní části pozemku pár desítek metrů od lesa, který se nachází po mírném svahu výše. Blízkost lesa u vzorku č. 1 dává předpoklad nejvyšší naměřené kyselosti ze všech vzorků. A to díky možnému vyplavování bazických iontů pryč ve směru spádu svahu a také díky možnému okyselování vodíkovými ionty H^+, splavovanými sem z blízkého lesa.

Vzorek č. 2 byl rovněž odebírán pár desítek metrů od lesa, ovšem ve stejné vrstevnici. Dává předpoklad naměření vyšší kyselosti v důsledku vyplavování bazických iontů níže po svahu a možné eluviaci iontů H^+ z lesní půdy.

Vzorek č. 3 byl odebrán v dolní části svahu (trvalá a nepřerušená svažitost od vzorku č. 1). Předpokládaná hodnota kyselosti nižší než u obou předchozích vzorků. Svah prakticky dále nepokračuje, proto by mělo být omezené vyplavování bazických iontů, naopak je předpokládaná eluviace bazických iontů ze svrchnějších částí svahu.

Vzorek č. 4 byl odebírán v nejnižším bodě celého území (svažitost od vzorků č. 1 a částečně i od vzorku č. 3., od vzorku č. 2 svah přerušen terénní vyvýšeninou – místo odběru vzorku č. 5). Předpokládaná hodnota kyselosti je nejnižší ze všech odebraných vzorků – eluviace bazických iontů z celého pozemku.

Vzorek č. 5 byl odebrán na terénní vyvýšenině v dolní třetině svahu. Terénní vyvýšeninu tvoří žulová vyvřelina vystupující až nad povrch. Vzorek byl odebírán pár metrů od hrany vyvřeliny. Předpokládaná kyselost bude vyšší v důsledku rozpadu kyselé horniny žuly a mírné svažitosti do všech světových stan a iluviací bazických iontů.

Předpokládané hodnoty naměřené kyselosti – vzestupně od nejnižšího pH:

Vzorek č. 1 – vzorek č. 2 – vzorek č. 5 – vzorek č. 3 – vzorek č. 4.

Stanovení výměnné půdní reakce a potřeby vápnění

Princip:

Provede se elektometrická titrace vzorku hydroxidem sodným – NaOH. Zjistí se tak výměnné pH vzorku a výpočtem se zjistí potřeba vápnění.

Postup:

Krok 1. Stanovení výměnné půdní reakce

Přesná navážka asi 10 g jemnozemě se naváží do kádinky. Přidá se 50 ml chloridu draselného - KCl o koncentraci 0,1 mol/l. Nechá se 20minut míchat na míchačce a poté se změří pH. Toto pH odpovídá hodnotě výměnné půdní aciditě.

Krok 2.: Stanovení potřeby vápnění

Po zjištění hodnoty výměnné půdní kyselosti provedeme titraci za stálého měření pH. Do suspenze se přidává po 0,1 ml hydroxid sodný – NaOH. Dalších 0,1 ml se přidává až vždy po ustálení pH. Tento postup se opakuje dokud pH nedosáhne hodnoty 6,5. Po odečtení spotřeby NaOH stanovíme potřebu vápnění výpočtem.

Pomůcky: kádinky – 100ml, odměrný válec, mikropipeta, míchačka, pH metr, střička s destilovanou H_2O, analytické váhy, sestava na elektrometrickou titraci.

Činidla: KCl o c=0,1mol/l, NaOH o c=0,1mol/l

Stanovení maximální sorpční kapacity podle Sandhofa

Princip:

Půda, ze které se vytěsní ionty H^+ se titruje hydroxidem barnatým $Ba(OH)_2$. Barium Ba^{2+} nahrazuje vodík H^+ v sorpčním komplexu půdy. Vodivost roztoku se nemění, až do doby kdy se na ní začnou podílet ionty Ba^{2+}. Po úplném nasycení vodivost rychle a rovnoměrně stoupá.

Postup:

Naváží se 6 – 8 g jemnozemě. K půdě se přidá 100 ml kyseliny chlorovodíkové – HCl o koncentraci 0,1 mol/l. Výsledná suspenze se na varné desce nechá 30 minut odstát při 50°C. Poté se obsah baňky zfiltruje přes filtrační papír. Zemina na papíru se promývá destilovanou vodou do doby, dokud již filtrát neobsahuje chlór – Cl^- (zhruba 5x až 6x). Zemina se potí protržením filtru e jejím spláchnutím přemístí do 250 ml kádinky. Kádinka se doplní destilovanou vodou na 150 – 200ml. Tento výsledný roztok se titruje faktorizovaným hydroxidem barnatým $Ba(OH)_2$ o koncentraci 0,2 mol/l, ten se přidává po 0,1 ml a po každém přídavku se měří vodivost roztoku.

Pomůcky: kádinky – 200ml, filtrační papír, nálevky, odměrný válec, mikropipeta, míchačka, pH metr, střička s destilovanou H_2O, analytické váhy, sestava na konduktometrickou titraci.

Činidla: HCl o c=0,1mol/l, $Ba(OH)_2$ o c=0,2mol/l.

12. Výsledky

Stanovení výměnné půdní reakce a potřeby vápnění

Výsledky

Krok 1.

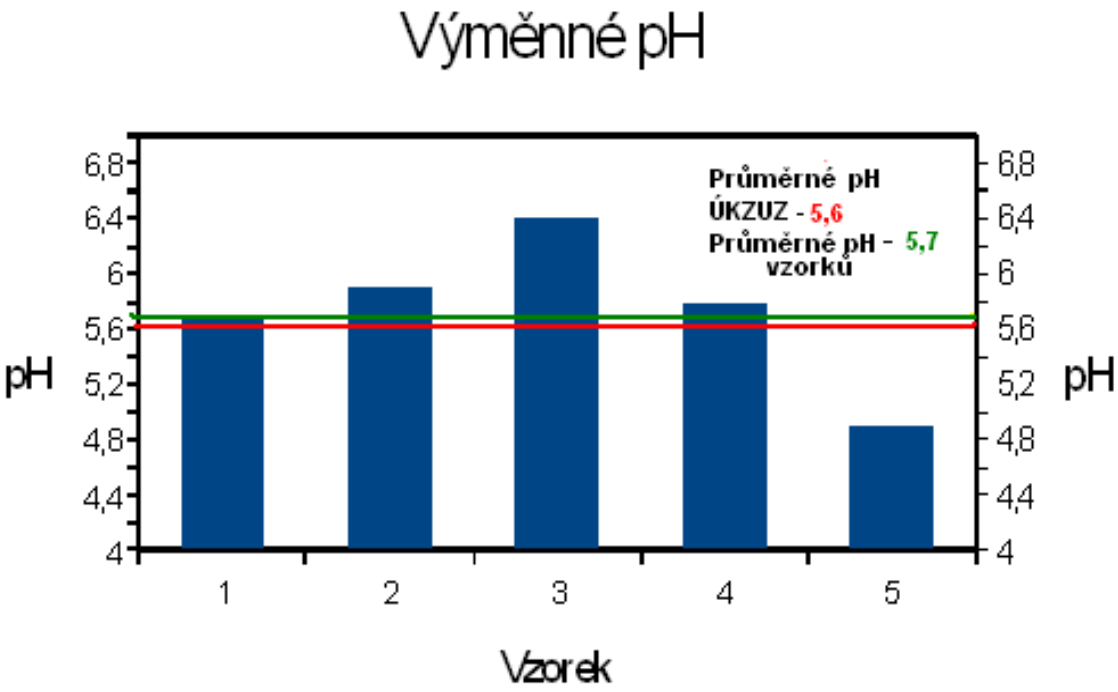
Na analytických vahách bylo odváženo požadované množství jemnozemě od každého z 5 vzorků. K jemnozemi byl přidán chlorid draselný - KCl o koncentraci 0,1 mol/l. Výsledná suspenze se nechala 20 minut míchat na míchačce a poté bylo změřeno pH – viz. tabulka č. 4.

Tabulka č. 4: Navážky vzorků a výměnné pH.

Číslo vzorku	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Navážka (g)	10,03	9,94	10,03	10,08	10,04
Výměnné pH	5,7	5,9	6,4	5,8	4,9

Jak je vidět v tabulce výměnné pH se dosti liší, největší rozdíl je mezi vzorkem 2 a 5. Tyto vzorky se liší o celou jednotku pH stupnice.
Průměrné pH všech vzorků je **5,7**. Spadá tedy do kategorie **slabě kyselých** půd.
Průměrné pH zjištěné ÚKZUZ je **5,6** (Smatanová a Sušil, 2015).

Všechny výsledky jsou vyneseny na graf a vyobrazeny na obrázku 8.



Obr. č. 8: Zobrazení výměnného pH u jednotlivých vzorků a porovnání s průměrným pH vzorku a průměrným pH ÚKZUZ.

Z obrázku je patrné, že průměrné pH zjištěné u vzorků a pH zjištěné ÚKZUZ se od sebe příliš neliší. Této hodnotě i odpovídají vzorky 1, 2 a 4. Vzorek č. 3 se odlišuje vyšší hodnotou pH, vzorek č. 3 je tedy méně kyselý. Vzorek č. 5 se naopak odlišuje nižší hodnotou pH, tento vzorek má tedy kyselost vyšší.

Krok 2.

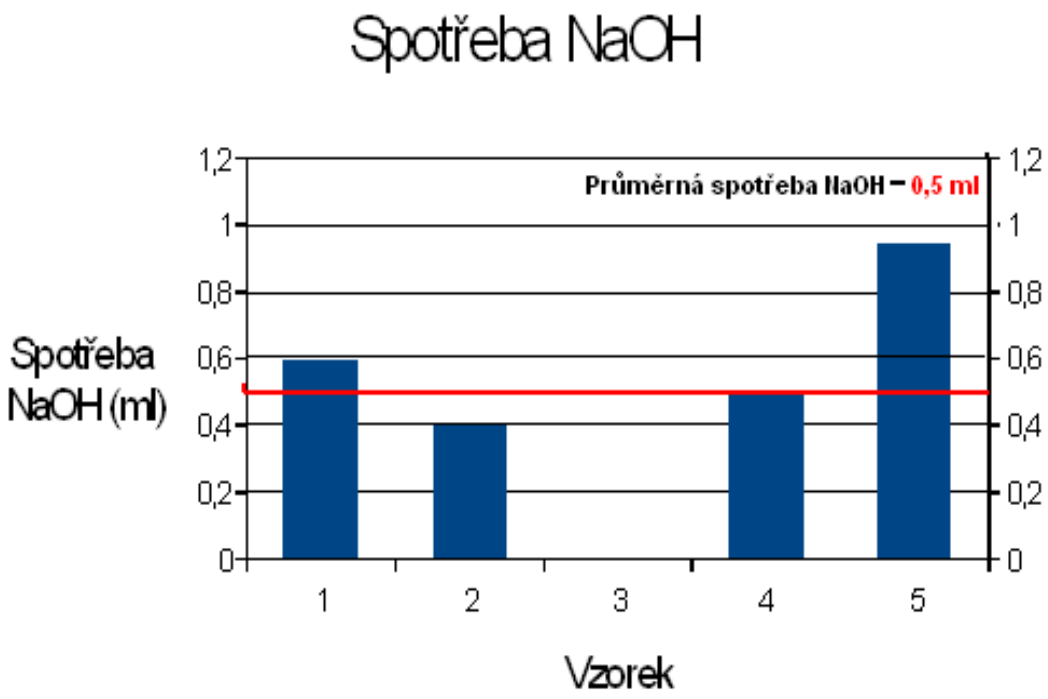
Suspenze použitá v kroku 1 se použila i v kroku 2. Do suspenze se po 0,1 ml přidával hydroxid sodný NaOH o koncentraci 0,1mol/l až do hodnoty pH 6,5. Výše spotřeby je uvedena v tabulce 5.

Tabulka č. 5: Spotřeba NaOH i s uvedením výměnné acidity.

Číslo vzorku	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Výměnné pH	5,7	5,9	6,4	5,8	4,9
Spotřeba NaOH (ml)	0,6	0,4	0,0	0,5	1,0

Průměrná spotřeba NaOH – **0,5 ml**.

Jak je z tabulky patrné se vrůstající hodnotou výměnného pH roste úměrně i spotřeba NaOH k neutralizaci suspenze. To je patrné i z obrázku č. 9, na kterém jsou data vynesena.



Obr. č. 9: Zobrazení spotřeby NaOH u jednotlivých vzorků a vynesení průměrného pH.

Průměrné hodnotě spotřeby NaOH – 0,5 ml přibližně odpovídají vzorky č. 1, 2 a 4. Vzorek č. 3 se odlišuje nižší spotřebou NaOH, vzorek č. 3 je tedy méně kyselý. Vzorek č. 5 se naopak odlišuje vyšší spotřebou NaOH, tento vzorek má tedy kyselost vyšší.

Výpočet potřeby vápnění:

Vychází z předpokladu, že spotřeba 1 ml 0,1 mol/l se rovná spotřebě 0,0028g CaO. Dále, že množství půdy na 1 ha, při hloubce ornice 30 cm a objemové hmotnosti 1,5g/cm^3, je rovno 4500t.

Tabulka č. 6: Navážky a spotřeba NaOH u jednotlivých vzorků.

Číslo vzorku	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Navážka (g)	10,03	9,94	10,03	10,08	10,04
Spotřeba NaOH (ml)	0,6	0,4	0	0,5	1

Výpočet pro vzorek č.1: (450000/0,01003) * (0,6+0,0028) = 753,74kg CaO
Výpočet pro vzorek č.2: (450000/0,00994) * (0,4+0,0028) = 507,04kg CaO
Výpočet pro vzorek č.3: nulová spotřeba NaOH = 0,00kg CaO
Výpočet pro vzorek č.4: (450000/0,01008) * (0,5+0,0028) = 625,00kg CaO
Výpočet pro vzorek č.5: (450000/0,01004) * (1,0+0,0028) = 1254,98kg CaO
Průměrná potřeba vápnění - **628,15kg CaO**.

Od průměru se odlišují vzorky č. 3 a 5. Vzorek č. 3 se odlišuje tím, že hodnota pH je zde na požadované hodnotě – 6,5. Není zde tedy potřeba vápnění. Vzorek č. 5 se naopak odlišuje vysokou kyselostí a tedy zdaleka nejvyšší potřebou vápnění, která činí 1254,98kg CaO.

Stanovení maximální sorpční kapacity podle Sandhofa

Výsledky

Na analytických vahách bylo odváženo požadované množství jemnozemě od každého z 5 vzorků viz. tabulka č. 7.

Tabulka č. 7: Navážky vzorků.

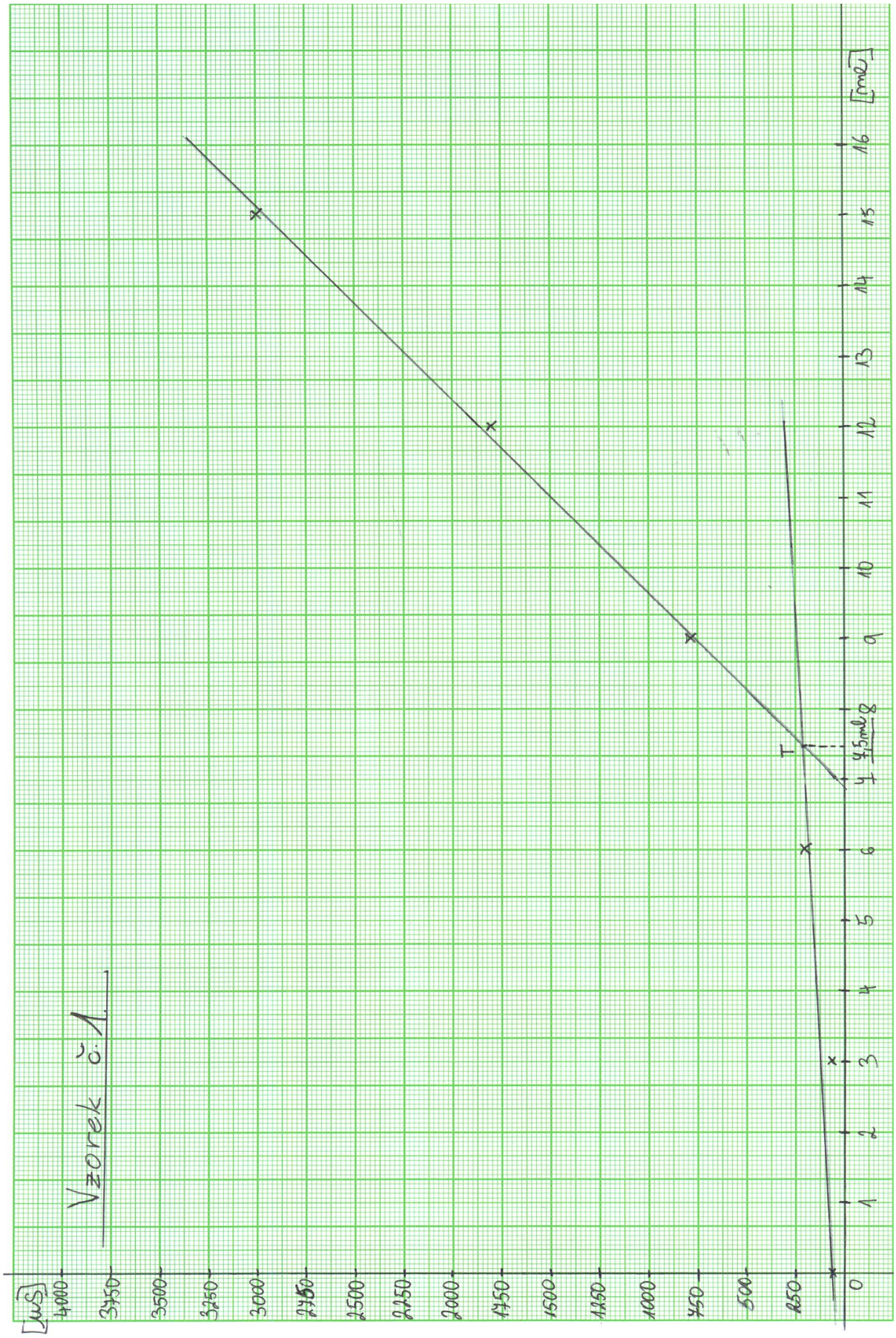
Číslo vzorku	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Navážka (g)	7,57	7,04	7,37	7,26	7,14

K jemnozemi bylo přidáno 100ml kyseliny chlorovodíkové - KCl o koncentraci 0,1 mol/l. Výsledná suspenze se nechala 30 minut na topně desce při 50°C. Poté se suspenze zfiltrovala přes filtrační papír. Vzorek byl promýván destilovanou vodou, dokud ve filtrátu nebyl prokazatelný Cl^- (jako indikátor působí dusičnan stříbrný – $AgNO_3$). Poté se zemina spláchla zpět do původní kádinky a objem byl doplněn na 200ml destilovanou vodou. Jednotlivé vzorky byly podrobeny konduktometrické titraci hydroxidem barnatým Ba(OH)2 o koncentraci 0,2mol/l a faktoru 0,9524. Hydroxid byl přidávám po jedné minutě, vždy v objemu 3 ml. Těsně před přidáním dalších 3 ml byla odečtena hodnota vodivosti roztoku a zaznamenána. Naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulce 9, 10, 11, 12 a 13. Hodnoty naměřené při konduktometrické titraci vzorku č. 1 jsou v tabulce 8.

Tabulka č. 8: Naměřená vodivost u vzorku č. 1.

ml $Ba(OH)_2$	0	3	6	9	12	15
Vodivost (µS)	65	80	200	780	1800	3000

Hodnoty z tabulky č. 8 jsou vyneseny na graf viz. obrázek č. 10.



Obr. č. 10: Konduktometrický graf vzorku č. 1.

Jak je z obrázku patrné spotřeba hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$ byla 7,5 ml.

Výpočet maximální sorpční kapacity u vzorku č. 1:

Vzorek č. 1: navážka 7,57g, spotřeba Ba(OH)2 7,5 ml

$$T = \frac{(\text{spotřeba } Ba(OH)_2) * (\text{koncentrace } Ba(OH)_2)) * (\text{faktor } Ba(OH)_2)) * 1000}{\text{navážka zeminy}}$$

$$T = \frac{(7{,}5 \text{ ml}) * (0{,}2 \text{ mol/l}) * (0{,}9524) * 1000}{7{,}57\text{g}}$$

$T = \mathbf{188{,}72}$ mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$

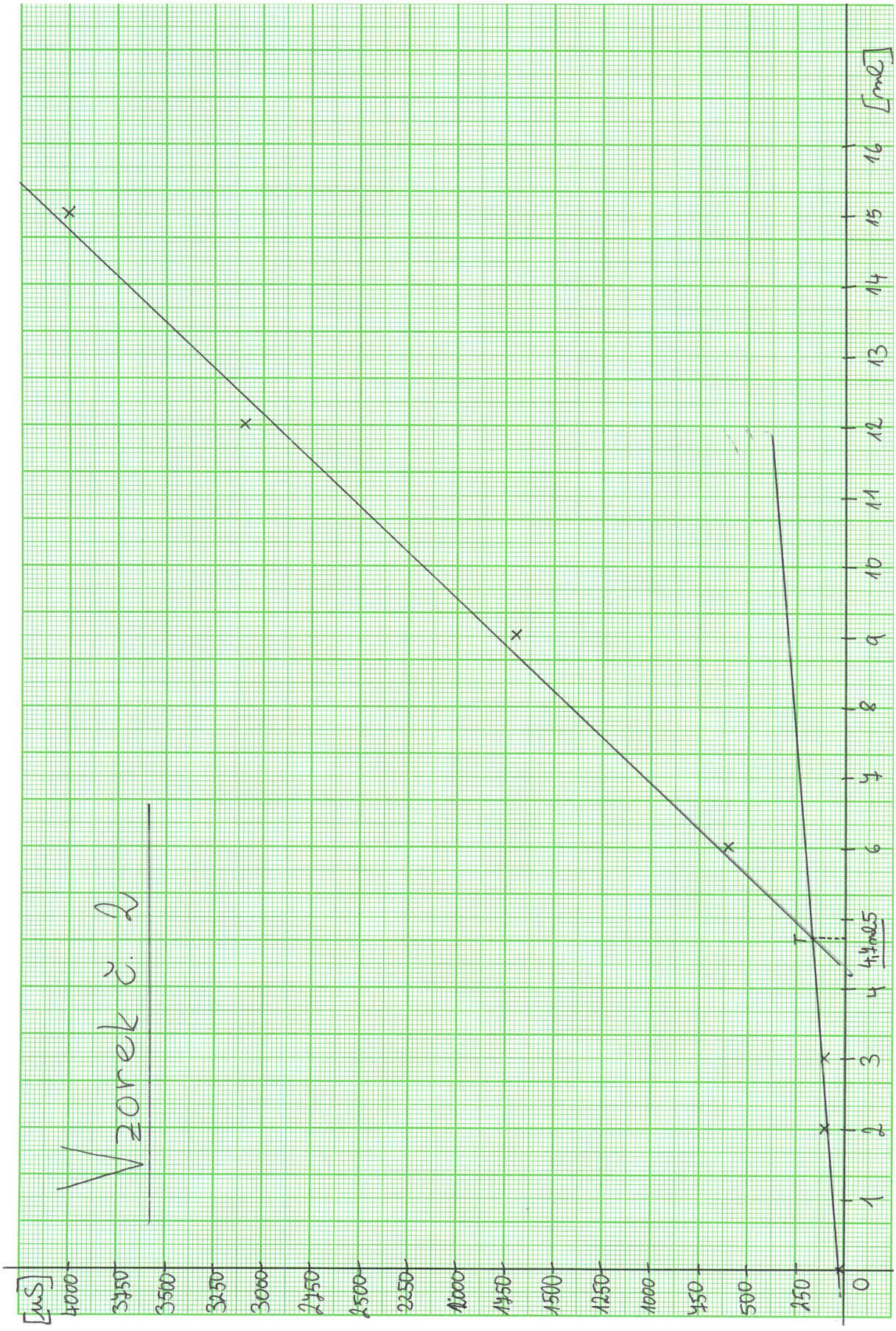
Maximální sorpční kapacita u vzorku č. 1 je **188,72** mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$.

Hodnoty naměřené při konduktometrické titraci vzorku č. 2 jsou v tabulce 9.

Tabulka č. 9: Naměřená vodivost u vzorku č. 2.

ml $Ba(OH)_2$	0	3	6	9	12	15
Vodivost (µS)	24	100	600	1700	3100	4000

Hodnoty z tabulky jsou zaneseny do grafu - viz. obrázek č. 11.



Obr. č. 11: Konduktometrický graf vzorku č. 2.

Jak je z obrázku patrné spotřeba hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$ byla 4,7 ml.

Výpočet maximální sorpční kapacity u vzorku č. 2:

Vzorek č. 2: navážka 7,04g, spotřeba $Ba(OH)_2$ 4,7 ml

$$T = \frac{(\text{spotřeba } Ba(OH)_2) * (\text{koncentrace } Ba(OH)_2)) * (\text{faktor } Ba(OH)_2)) * 1000}{\text{navážka zeminy}}$$

$$T = \frac{(4{,}7 \text{ ml}) * (0{,}2 \text{ mol/l}) * (0{,}9524) * 1000}{7{,}04\text{g}}$$

$T = \mathbf{124{,}17}$ mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$

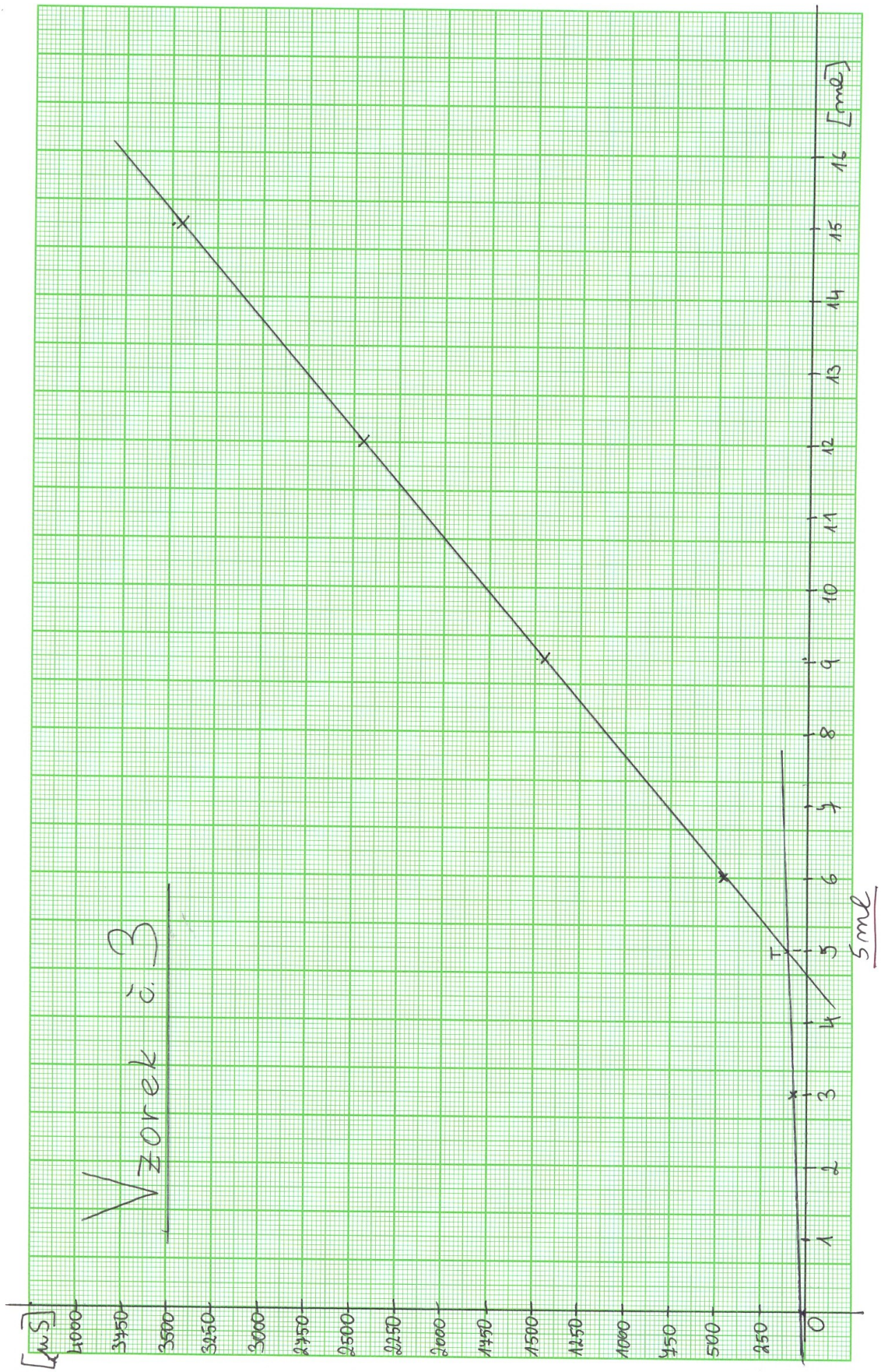
Maximální sorpční kapacita u vzorku č. 2 je **127,17** mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$.

Hodnoty naměřené při konduktometrické titraci vzorku č. 3 jsou v tabulce 10.

Tabulka č. 10: Naměřená vodivost u vzorku č. 3.

ml $Ba(OH)_2$	0	3	6	9	12	15
Vodivost (µS)	19	70	470	1450	2400	3400

Hodnoty z tabulky jsou zaneseny do grafu - viz. obrázek č. 12.



Obr. č. 12: Konduktometrický graf vzorku č. 3.

Jak je z obrázku patrné spotřeba hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$ byla 5,0 ml.

Výpočet maximální sorpční kapacity u vzorku č. 3:

Vzorek č. 3: navážka 7,37g, spotřeba $Ba(OH)_2$ 5,0 ml

$$T = \frac{(\text{spotřeba } Ba(OH)_2) * (\text{koncentrace } Ba(OH)_2)) * (\text{faktor } Ba(OH)_2)) * 1000}{\text{navážka zeminy}}$$

$$T = \frac{(5{,}0 \text{ ml}) * (0{,}2 \text{ mol/l}) * (0{,}9524) * 1000}{7{,}37\text{g}}$$

$T = \mathbf{129{,}23}$ mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$

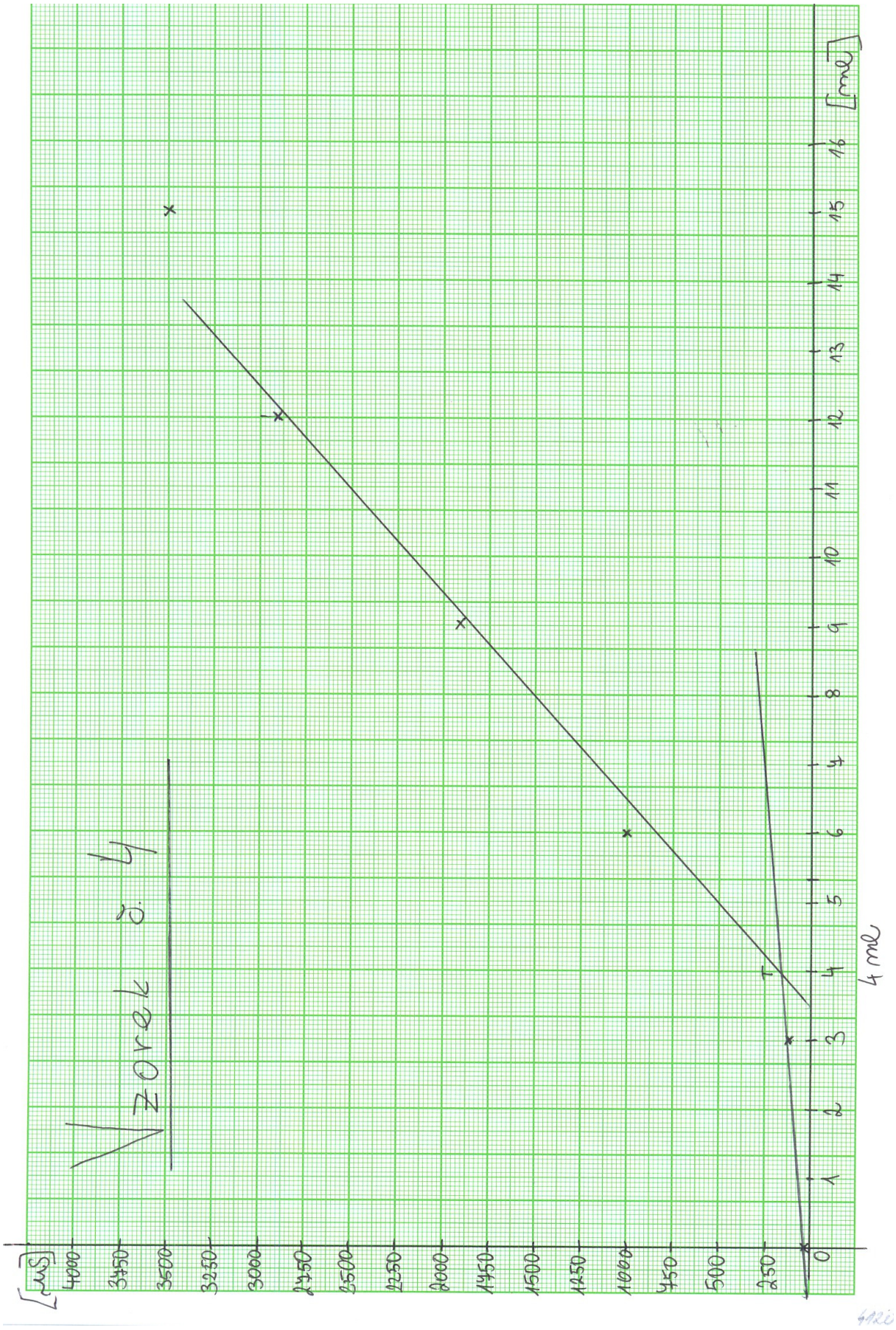
Maximální sorpční kapacita u vzorku č. 2 je **129,23** mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$.

Hodnoty naměřené při konduktometrické titraci vzorku č. 4 jsou v tabulce 11.

Tabulka č. 11: Naměřená vodivost u vzorku č. 4.

ml $Ba(OH)_2$	0	3	6	9	12	15
Vodivost (µS)	27	115	1050	1900	2900	3500

Hodnoty z tabulky jsou zaneseny do grafu - viz. obrázek č. 13.



Obr. č. 13: Konduktometrický graf vzorku č. 4.

Jak je z obrázku patrné spotřeba hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$ byla 4,0 ml.

Výpočet maximální sorpční kapacity u vzorku č. 4:

Vzorek č. 4: navážka 7,26g, spotřeba $Ba(OH)_2$ 4,0 ml

$$T = \frac{(\text{spotřeba } Ba(OH)_2) * (\text{koncentrace } Ba(OH)_2)) * (\text{faktor } Ba(OH)_2)) * 1000}{\text{navážka zeminy}}$$

$$T = \frac{(4{,}0 \text{ ml}) * (0{,}2 \text{ mol/l}) * (0{,}9524) * 1000}{7{,}26\text{g}}$$

$T = \mathbf{104{,}95}$ mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$

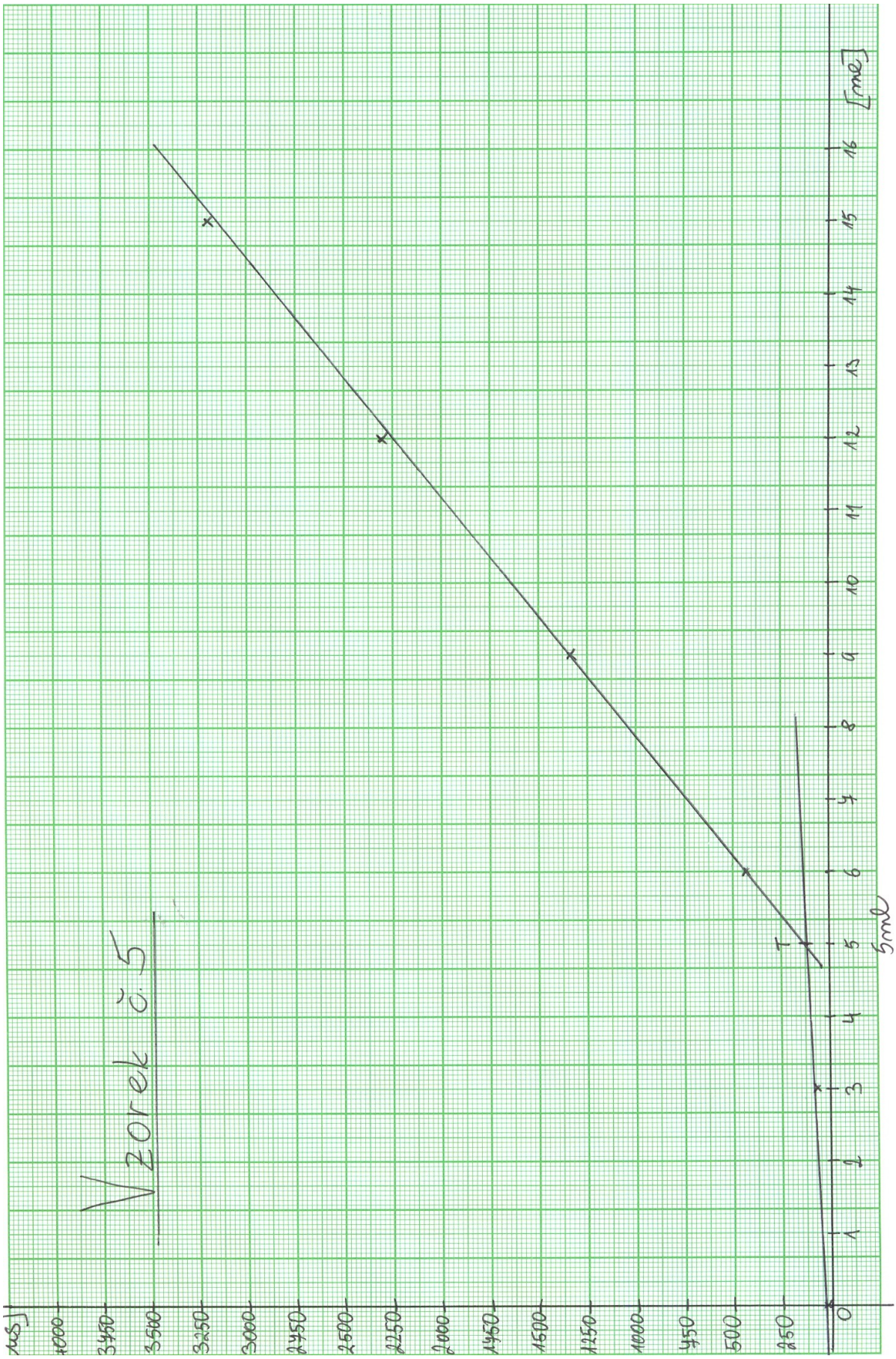
Maximální sorpční kapacita u vzorku č. 2 je **104,95** mmol*chem. $ek^{-1} * 1000g^{-1}$.

Hodnoty naměřené při konduktometrické titraci vzorku č. 5 jsou v tabulce 12.

Tabulka č. 12: Naměřená vodivost u vzorku č. 5.

ml $Ba(OH)_2$	0	3	6	9	12	15
Vodivost (µS)	23	55	450	1350	2300	3200

Hodnoty z tabulky jsou zaneseny do grafu - viz. obrázek č. 14.



Obr. č. 14: Konduktometrický graf vzorku č. 5.

Jak je z obrázku patrné spotřeba hydroxidu barnatého $Ba(OH)_2$ byla 5,0 ml.

Výpočet maximální sorpční kapacity u vzorku č. 5:

Vzorek č. 5: navážka 7,14g, spotřeba $Ba(OH)_2$ 5,0 ml

$$T = \frac{(\text{spotřeba } Ba(OH)_2) * (\text{koncentrace } Ba(OH)_2)) * (\text{faktor } Ba(OH)_2)) * 1000}{\text{navážka zeminy}}$$

$$T = \frac{(5{,}0 \text{ ml}) * (0{,}2 \text{ mol/l}) * (0{,}9524) * 1000}{7{,}14\text{g}}$$

$T =$ **133,39** mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$

Maximální sorpční kapacita u vzorku č. 2 je **133,39** mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$.

Tabulka č. 13: Výsledky vypočtené hodnoty maximální sorpční kapacity.

Číslo vzorku	**Navážka (g)**	**Spotřeba $Ba(OH)_2$ (ml)**	**Sorpční kapacita (mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$)**
1	7,57	7,5	188,72
2	7,04	4,7	127,17
3	7,37	5,0	129,23
4	7,26	4,0	104,95
5	7,14	5,0	133,39

Průměrná sorpční kapacita je **136,69** mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$. Půda tedy spadá do kategorie se středně velkou kapacitou sorpčního komplexu.

Jak je v tabulce vidět nejvyšší sorpční kapacitu měl vzorek č. 1. Vzorky č. 2, 3 a 4 jsou poměrně vyrovnané. U vzorku č. 5 je vyšší sorpční kapacita, přestože by měla být nejnižší, způsobena vyšším obsahem jílových částic.

13. Diskuse

Jak uvádí (Tomášek, 2007) kambizem je typická půda jihočeského kraje. Podle půdních map získaných na Geoportálu SOWAC-GIS se i v zájmové lokalitě kambizemě vyskytují ve značné míře. Ovšem svou rozlohou zaujímá menší plochu, než oněch uváděných 60%.

Průměrná hodnota výměnné půdní kyselosti naměřená v dané lokalitě činila 5,7. To odpovídá i výsledkům naměřených Ústředním kontrolních a zkušebním ústavem zemědělských ÚKZUZ (Smatanová a Sušil, 2015), u kterých byla naměřená hodnota 5,6. Na základě této hodnoty půda v dané lokalitě tedy spadá do kategorie slabě kyselých půd. Kambizemě jsou typické slabě kyselé až kyselé půdy (Šarapatka, 2014). Doporučené množství použití CaO činí 628,15kg.

Naměřená průměrná sorpční kapacita půdy v zájmové lokalitě činí 136,69 mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$. Půda je tedy zařazena do kategorie půd se středně velkou kapacitou sorpčního komplexu. Toto tvrzení potvrzuje i (Šarapatka, Dlaba a Bedrna, 2002), který tuto vlastnost přičítá vyššímu obsahu organických a minerálních koloidů a také vnitropůdnímu zvětrávání jílových minerálů.

14. Závěr

K vyhodnocování měření bylo odebráno 5 reprezentativních vzorků kambizemě. Vzorky byly odebrány na pozemku s malou svažitostí, s typickou podobou pahorkatinového charakteru. Vršek pozemku je zalesněný, zatímco spodek pozemku již podmáčený. Vzorky byly odebrány tak, aby reprezentovaly měnící se podmínky na celém pozemku a v konečném průměrném výsledku měly patřičnou vypovídací hodnotu.

Během prvního měření se měřila hodnota výměnné acidity. Bylo zjištěno, že průměrná hodnota naměřená u vzorků činila 5,7. Lišila se tedy jen nepatrně od průměrné acidity zjištěné Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským – ÚKZUZ, která má hodnotu 5,6. Tento pozemek tedy svou mírou výměnné acidity spadá do kategorie slabě kyselých půd. Absolutně nejnižší pH bylo naměřeno o vzorku č. 5. Zde byla hodnota pH 4,9. Vysoká kyselost v této oblasti pozemku je způsobena tím, že vzorek byl odebírán v blízkosti povrchové vyvřeliny – žuly. Ta je fyziologicky kyselá a značně snižuje kyselost půdy ve svém okolí.

Také se hodnotila potřeba vápnění na tomto pozemku. Aby hodnota pH na pozemku vzrostla na hodnotu 6,5, tedy na hodnotu, kterou vyžaduje většina pěstovaných plodin, je potřeba zapravit v průměru 628,15 kg oxidu vápenatého – CaO na hektar plochy. Potřebná maximální dávka na vápnění byla naměřena a vypočítána opět u vzorku č. 5. Zde byla dávka CaO stanovena na 1254,98 kg/ha.

Druhým měřením se měla určit maximální sorpční kapacita půdy. Byla použita konduktometrická titrace podle Sandhofa. Výsledkem bylo, že průměrná sorpční kapacita na pozemku činí 136,69 mmol*chem. ek^{-1} * $1000g^{-1}$. Jedná se tedy o pozemek s půdou, která spadá do kategorie se středně velkým iontově výměnným komplexem. U tohoto měření se opět vyjímá vzorek č. 5. Ačkoli by, vzhledem k výměnné půdní kyselosti a tudíž i potřebě vápnění, měla být sorpční kapacita nejnižší, je druhá nejvyšší. Je způsobena vyšším obsahem jílových částic.

15. Použitá literatura

Batysta M.(2011): Interakce půda-rostlina z hlediska transportu prvků v prostředí lesních půd ovlivněných acidifikací, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Bedrna Z. a kol. (1989): Pôdne režimy, str. 107 – 109.

Geoportál SOWAC-GIS, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Dostupné na :http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=zchbpej&s=mapa).

Hédl R.(2005): Okyselování lesních půd a srovnání měření z let 1941–1942 a 2003–2004 v Jeseníkách, Botanický ústav AV ČR, oddělení ekologie, Brno.

Hladík J. (2015): Půda jako dar obživy, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

Hruška J., Cienciala E., Navrátil T., Hofmeister J. (2006): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd, Lesnická práce - časopis pro lesnickou vědu a praxi. Dostupné na: http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-12-01/dlouhodoba-acidifikace-a-nutricni-degradace-lesnich-pud.

Hruška J., Kopáček J. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I, Emise a depozice okyselujících sloučenin, časopis Živa 2/2009, str. 93 – 96.

Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy II, Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy, časopis Živa 3/2009, str. 141 – 144.

Hruška J. a kol. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy III, Okyselení potoků a jezer, časopis Živa 4/2009, str. 189 – 192.

Kubík L. (2009): Pedologická charakteristika jihočeského kraje, Půda v České Republice, Praha, str. 104-105.

Matula J. (2007): Půdní kyselost a potřeba vápnění - optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF, Výzkumný ústav rostlinné výroby.
Dostupné na: http://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN978-80-87011-16-4.pdf. Strana 15-20.

Němeček J. a kol. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České Republiky, Praha, str. 7 – 8, 9 – 16, 37 – 38, 55 – 57.

Němeček J., Smolíková L., Kutílek M. (1990): Pedologie a paleopedologie, Praha, str. 263.

Richter R. (1997): Půdní úrodnost, Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR v Praze, str 4 – 20.

Richter R. (2004): Sorpční schopnost půdy, Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, Brno.

Sáňka M., Materna J. (2004): Indikátory kvality lesních a zemědělských půd ČR, PLANETA č. 11/2004, Ministerstvo zemědělství, Praha.
Dostupné na : http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/$file/indikatory_el.pdf.

Slavík R., Julinová M. (2010): Učebnice remediačních technologií, Ústav inženýrství ochrany životního prostředí, technologická fakulta Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné na: http://ucebnice.remediace.cz/default.asp?OID=03010000000.

Smatanová M., Sušil A. (2015): Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2009 – 2014, ÚKZUZ, Brno.

Sotáková S. (1982): Organická hmota a úrodnosť pôdy, Bratislava, str. 166 – 188.

Šarapatka B. (1996): Pedologie, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Šarapatka B. (2014): Pedologie a ochrana půdy, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, str. 143 – 174.

Šarapatka B., Dlapa P., Bedrna Z. (2002): Kvalita a degradace půdy, Olomouc, str. 71 - 88.

Tomášek M. (2007): Půdy České Republiky, Česká geologická služba, Praha, str. 53 - 54, 106 – 108.

Vopravil J. a kol. (2010): Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu, Voda v krajině, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, Praha.

Vrtišková E. (2013): Vnější geologické děje.

<u>Cizojazyčná literatura</u>

Amundson R. (2006): Soil Preservation and the Future of Pedology, Division of Ecosystem Sciences, University of California, Berkeley.

Brady N. C., Well R. R. (2002): The Nature and Properties of Soils, 13 th. Edition, Printice Hall, New Jersey, str. 363 – 411.

English wikipedia (2016): Soil horizon. Dostupné na:https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_horizon.

English wikipedia (2016): Erosion.
Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/Erosion.

Killham K., Foster R. (1994): Soil ecology, University Press, Cambridge, str 24 – 28.

Paul E. A., Clark F. E. (1996): Soil microbiology and biochemistry, San Diego, str. 12 – 13.

Tan K. H. (1994): Enviromental Soil Science, The University of Georgia, Georgia, str. 144.

16. Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. č. 1.: Půdní mapa jižních Čech (Tomášek M. (2007)).

Obr. č. 2.: Podíl jednotlivých fází na složení půdy (Vrtíšková (2013)).

Obr. č. 3.: Trojúhelníkový klasifikátor pro klasifikaci půdních druhů (Slavík a Julinová, 2010).

Obr. č. 4: Znázornění koloidní micely a výměny iontů (Richter (2004)), dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/sorpce_vymenna.htm, upraveno.

Obr. č. 5: Základní mapa lokality s vyznačením míst odběru vzorků.

Obr. č. 6: Letecká mapa lokality s označením míst odběru vzorků.

Obr. č. 7: Půdní mapa lokality s označením míst odběru vzorků. (Geoportál, dostupné na :http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=zchbpej&s=mapa).

Obr. č. 8: Zobrazení výměnného pH u jednotlivých vzorků a porovnání s průměrným pH vzorku a průměrným pH ÚKZUZ.

Obr. č. 9: Zobrazení spotřeby NaOH u jednotlivých vzorků a vynesení průměrného pH.

Obr. č. 10: Konduktometrický graf vzorku č. 1.

Obr. č. 11: Konduktometrický graf vzorku č. 2.

Obr. č. 12: Konduktometrický graf vzorku č. 3.

Obr. č. 13: Konduktometrický graf vzorku č. 4.

Obr. č. 14: Konduktometrický graf vzorku č. 5.

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Velikostní rozdělení částic jemnozemě (Sáňka, Materna (2004)).

Tabulka č. 2: Velikostní rozdělení částic skeletu (ČSN 72 1001).

Tabulka č. 3: Rozdělení půd na základě obsahu jílových částic.

Tabulka č. 4: Navážky vzorků a výměnné pH.

Tabulka č. 5: Spotřeba NaOH i s uvedením výměnné acidity.

Tabulka č. 6: Navážky a spotřeba NaOH u jednotlivých vzorků.

Tabulka č. 7: Navážky vzorků.

Tabulka č. 8: Naměřená vodivost u vzorku č. 1.

Tabulka č. 9: Naměřená vodivost u vzorku č. 2.

Tabulka č. 10: Naměřená vodivost u vzorku č. 3.

Tabulka č. 11: Naměřená vodivost u vzorku č. 4.

Tabulka č. 12: Naměřená vodivost u vzorku č. 5.

Tabulka č. 13: Výsledky vypočtené hodnoty maximální sorpční kapacity.