

Technická univerzita v Liberci  
**FAKULTA PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ A PEDAGOGICKÁ**

**Katedra:** Chemie  
**Studijní program:** Chemie  
**Studijní obor:** Matematika - Chemie

Vliv půdního sorpčního komplexu a pH na stanovení nepolárních  
extrahovatelných látek (NEL) metodou IR.

Effect of soil sorption complex and pH on the  
determination of non-polar extractives (NEL) by IR.

**Bakalářská práce:** 12-FP-KCH-0004

**Autor:**  
Daniel VACATA

**Podpis:**

---

**Vedoucí práce:** Ing. Jana Müllerová, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Martin Stuchlík

**Počet**

stran	grafů	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
100	4	12	16	30	49

V Liberci dne: 18. 4. 2012

zadání BP – originál

## Čestné prohlášení

**Název práce:** Vliv půdního sorpčního komplexu a pH na stanovení nepolárních extrahovatelných látek (NEL) metodou IR.  
**Jméno a příjmení autora:** Daniel Vacata  
**Osobní číslo:** P09001104

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že má bakalářská práce je ve smyslu autorského zákona výhradně mým autorským dílem.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Prohlašuji, že jsem do informačního systému STAG vložil/a elektronickou verzi mé bakalářské práce, která je identická s tištěnou verzí předkládanou k obhajobě a uvedl/a jsem všechny systémem požadované informace pravdivě.

V Liberci dne: 18. 04. 2012

---

Daniel Vacata

**Poděkování:** Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janě Müllerové, Ph.D. a Ing. Martinu Stuchlíkovi za jejich pomoc a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce.

## **Anotace**

Cílem této bakalářské práce je seznámit s principy stanovení sorpčních kapacit půdy a stanovení nepochárných extrahovatelných látek a odzkoušet postupy pro nalezení souvislosti půdního sorpčního komplexu s výtěžností extrakce při stanovení nepochárně extrahovatelných látek metodou IR.

## **Klíčová slova**

sorpční komplex, kationtová výměnná kapacita (KVK), nepochárně extrahovatelné látky (NEL), infračervená spektroskopie, tetrachlorethylen

## **Annotation**

The goal of this bachelor thesis is to introduce principles of determination of soil sorption capacity and non-polar extractives and to test these procedures to find the connection between soil sorption complex and the rate of recovery of non-polar extractives rated by IR-spectroscopy.

## **Key words**

soil sorption complex, cation exchange capacity (CEC), non-polar extractives, infrared spectroscopy, tetrachlorethylene

# Obsah

Úvod.....	8
Teoretická část.....	9
1.Půda.....	9
2.Sorpční komplex.....	9
2.1.Druhy sorpčního komplexu.....	10
2.1.1.Komplex sorpčně nenasycený.....	10
2.1.2.Komplex nasycený dvojmocnými kationty.....	10
2.1.3.Komplex sorpčně nasycený jednomocnými kationty.....	10
2.2.Maximální sorpční kapacita.....	10
2.2.1.Stanovení KVK podle Mehlicha.....	11
2.2.2.Stanovení KVK podle Bowera.....	12
2.2.3.Stanovení KVK po nasycení zeminy amonnými ionty při pH=7.....	12
2.2.4.Stanovení KVK podle Sandhofa.....	12
2.3.Význam sorpčního komplexu půd.....	13
3.Huminové látky.....	13
4.Nepolární extrahovatelné látky.....	14
4.1.Metody extrakce.....	15
4.1.1.Soxletova extrakce.....	15
4.1.2.Superkritická fluidní extrakce.....	15
4.1.3.Extrakce třepáním do halogenového rozpouštědla.....	16
4.1.4.Extrakce za pomoci mikrovln.....	16
4.1.5.Akcelerovaná extrakce do rozpouštědla.....	16
4.2.Metody stanovení.....	16
4.2.1.Gravimetrické stanovení.....	17
4.2.2.Spektrální stanovení.....	17
4.2.2.a)Infračervená spektrometrie.....	17
4.2.2.b)Ultrafialová spektrometrie.....	20
4.2.3.Plynová chromatografie.....	20
4.2.4.Imunoassay-analýza.....	20
Praktická část.....	21
1.Stanovení sorpční kapacity půdy.....	21
1.1.Postup.....	21
1.2.Příprava roztoků.....	21
1.3.Měření.....	24
1.4.Měření se zředěnými roztoky.....	28
2.Stanovení NEL.....	33
2.1.První stanovení.....	33
2.2.Druhé měření.....	34
2.3.Stanovení NEL ve vzorcích bez přidání nafty.....	35
3.Objektivní zhodnocení zbarvení.....	37
4.Vliv zbarvení vzorků na extrahovatelnost.....	38
Závěr a diskuse.....	42
Seznam použitých zdrojů.....	46

## Seznam grafů

Graf 1: Půda číslo 1.....	27
Graf 2: Půda číslo 7.....	27
Graf 3: Půda 1, vzorek 1.....	31
Graf 4: Závislost stanoveného množství NEL na sorpční kapacitě.....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Velikost půdních částic.....	9
Tabulka 2: Klasifikace hodnot maximální sorpční kapacity .....	11
Tabulka 3: Hodnocení půd podle výměnné sorpční kapacity .....	12
Tabulka 4: Charakteristické kmitočty C-H skupin pro stanovení NEL .....	19
Tabulka 5: Vodivost půd.....	26
Tabulka 6: Vodivost půd.....	26
Tabulka 7: Půda 1, vzorek 1.....	30
Tabulka 8: Maximální sorpční kapacity půd.....	32
Tabulka 9: Navážka na stanovení NEL.....	33
Tabulka 10: Navážka půd a nafty na stanovení NEL.....	34
Tabulka 11: Koncentrace NEL.....	35
Tabulka 12: Navážky na stanovení NEL bez nafty.....	36
Tabulka 13: Hodnoty NEL půd.....	37
Tabulka 14: Absorbance v VIS oblasti při vlnové délce.....	38
Tabulka 15: Zabarvení.....	38
Tabulka 16: Poměr stanovené a navážené koncentrace a sorpční kapacity.....	44

## Seznam fotografií

Fotografie 1: Půda 1.....	39
Fotografie 2: Půda 2.....	39
Fotografie 3: Půda 3.....	39
Fotografie 4: Půda 4.....	39
Fotografie 5: Půda 5.....	40
Fotografie 6: Půda 6.....	40
Fotografie 7: Půda 7.....	40
Fotografie 8: Půda 8.....	40
Fotografie 9: Půda 9.....	41
Fotografie 10: Půda 10.....	41
Fotografie 11: Půda 11.....	41
Fotografie 12: Půda 12.....	41

## Úvod

Ochrana a zlepšení životního prostředí, a zachování tohoto pro budoucí generace, se stala jedním z klíčových globálních úkolů, ke kterému se samozřejmě připojuje i Česká republika.

Přesto se i v současné době stále se rozvíjejícím průmyslem a stále se zvyšujícím počtem motorových vozidel zvyšuje i zátěž, která je na něj kladena. Antropogenní činnost a její následky prakticky neustále zvyšuje znečištění přírodních zdrojů a půd.

Jedno z nejčastějších znečištění zemin vzniklé činností člověka je znečištění ropnými produkty ať už z netěsnících palivových nádrží, motorů, nedokonalým spalováním ropných produktů nebo dalšími.

Ačkoliv je celá řada kontaminujících látek postupně přeměňována mikroorganismy, jejichž potenciálem pro zlepšení životního prostředí se zabývá mikrobiologie, je dlouhodobé stanovování těchto kontaminantů stále jedním z nejdůležitějších hledisek pro posuzování činnosti člověka, které zejména vypovídá o změnách v kontaminaci, ať už pozitivních nebo negativních. O škodlivosti těchto látek totiž - mimo jiné - vypovídají mnohé vědecké výzkumy ekotoxikologů a ekologů.

Základní operací, která je součástí všech metod na stanovení obsahu nepolárních extrahovatelných látek v půdách je vždy extrakce těchto látek do organického rozpouštědla. V mnoha případech ale bývá obtížné stanovení výtěžnosti této extrakce.

Tato bakalářská práce se tedy zabývá některými možnostmi jak tuto výtěžnost co nejlépe stanovit v případech, že není k dispozici vzorek stejného typu půdy jako je půda s obsahem NEL, stejně tak, jako se zabývá obecným vymezením pojmů pro stanovení nepolárních látek a půd. Shrnuje různé metody stanovení nepolárních extrahovatelných látek z půd a z vody, stejně tak jako shrnuje různé možnosti stanovení maximální sorpční kapacity, kterážto je jednou z důležitých vlastností reprezentujících vlastností půd.

Cílem této mé bakalářské práce je zjistit, zda existuje vztah mezi maximální sorpční kapacitou půdy a výtěžností extrakce nepolárních extrahovatelných látek z půd.



# Teoretická část

## 1. Půda

Půda se vyvíjí na rozhraní litosféry, atmosféry, biosféry a hydrosféry. Skládá se tedy ze složky minerální (anorganické), mezi níž patří kameny, štěrk, písek, jílové částice a další. Dále pak ze složky organické, vody, plynů a živých organismů – od bakterií až po vyšší živočichy. (SÁŇKA 2004, s. 5)

Minerální složky půdy lze rozdělit podle velikosti. Hrubá půda obsahuje částice větší než 2 mm, tedy kamínky, oblázky či štěrk. Půda s více než 75 % hrubého podílu se nazývá skelet.

Jemnozem je označení pro půdu, která obsahuje půdní částice menší než 2 mm, tedy písek, hlínu a jílové částice, jak shrnuje následující tabulka: (HOHENBERGER 1999, s. 9)

Částice	Velikost částic
kamínky	> 2 mm
písek	0,063 – 2 mm
hlína	0,002 – 0,063 mm
jílovité částice	< 2 mm

Tabulka 1: Velikost půdních částic

Mezi pevnou, kapalnou a plynnou složkou půdy existuje neustálá výměna molekul a iontů, a proto je nutno půdu chápat jako složitý otevřený systém, ale díky schopnosti autoregulace i systém samostatný.

Funkce půdy je všeobecně pojímána jako základní článek potravního řetězce a médium pro růst rostlin, nicméně je i životně důležitou zásobárnou vody s velkou filtrační schopností pro suchozemské rostliny a mikroorganismy. (SÁŇKA 2004, s. 6)

## 2. Sorpční komplex

Soubor půdních koloidů, které se podílejí na výměnných reakcích, nazýváme půdní sorpční komplex. U sorpčního komplexu rozlišujeme dvě části – aktivní a pasivní.

Aktivní částí je aniontová část, která působí na volné ionty v půdním roztoku a vyvolává sorpční procesy.

Pasivní částí jsou kationty sorbované aktivní částí sorpčního komplexu. Jednotlivé kationty jsou v sorpčním komplexu vázány různou silou v pořadí  $\text{Na} < \text{K} < \text{NH}_4 < \text{H} < \text{Ca} < \text{Mg} < \text{Al} < \text{Fe}$ . (POKORNÝ)

## 2.1. Druhy sorpčního komplexu

Podle převládajícího druhu sorbovaných kationtů a podle kvality aktivní části sorpčního komplexu můžeme rozlišit tři druhy sorpčního komplexu. (POKORNÝ)

### 2.1.1. Komplex sorpčně nenasycený

Tento komplex je charakterizován převahou sorbovaných vodíkových iontů. Humus je převážně ve formě kyselých, ve vodě pohyblivých sloučenin. Nedostatek dvojmocných kationtů podmiňuje vznik lehce rozrušitelné nestabilní struktury. (POKORNÝ)

### 2.1.2. Komplex nasycený dvojmocnými kationty

Pasivní část sorpčního komplexu je tvořena převahou iontů Ca a Mg. Tyto mají značnou pufrací schopnost, agregační schopnost a vodotěsnou strukturu. Humus je tvořen převážně vysoce kondenzovanými huminovými kyselinami a jejich vápenatými solemi. (POKORNÝ)

### 2.1.3. Komplex sorpčně nasycený jednomocnými kationty

Pasivní část sorpčního komplexu je tvořena převahou jednomocných kationtů, zejména sodíku. (POKORNÝ)

## 2.2. Maximální sorpční kapacita

Důležitým ukazatelem úrodnosti půdy, zejména z pohledu její schopnosti vázat dostatek živin přístupných pro rostliny, je hodnota maximální sorpční kapacity půdy. V převážné většině případů představuje maximální množství kationtů, které může poutat váhová jednotka zeminy. Označuje se buď tradičně symbolem „T“, nebo z angličtiny převzatou zkratkou „CEC“ (cation exchange capacity), respektive „KVK“ (kationtová výměnná kapacita). Na hodnotu CEC, respektive T je nutno pohlížet jako na hodnotu „vynucenou“ a experimentálně stanovenou za experimentálních podmínek. (FIALA 2009, s. 10)

Udává se v jednotkách  $\text{mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  nebo v jednotkách  $\text{mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ . Mezi těmito jednotkami funguje přepočítání podle vzorce:

$$[mval \cdot 100 g^{-1}] = [mmol \cdot 100 g^{-1}] \cdot \text{mocenství kationtu} \quad (\text{Conversion Factors})$$

Hodnota maximální sorpční kapacity se obvykle zvyšuje s vyšším podílem humusových koloidů. Písčité půdy mají sorpční kapacitu 2–10, hlinité 20–30, jílovité 40–50 a organické půdy až 150 mmol na 100 gramů půdy. Všechny údaje jsou uváděny v milimolech chemického ekvivalentu na 100 gramů půdy na vzduchu suché. Převod miligramů na mmol je vyjádřen poměrem:

$$mmol = \frac{\text{obsah kationtu v mg na 100 gramů zeminy} \cdot \text{mocenství kationtu}}{\text{atomová váha prvku}} \quad (\text{POKORNÝ})$$

Bylo doloženo, že kationtová výměnná kapacita (KVK) je důležitým předpokladem kvality půdy a potenciálu pro absorbování znečištění v přírodě. (LIAO 2011)

Z důvodu relativně náročnějšího analytického postupu se kationtová výměnná kapacita rutinně v hodnocení půd nepoužívá, některé zahraniční předpisy však mají tuto vlastnost zařazenu jako kritérium pro diferenciaci limitních hodnot obsahů prvků v půdě. (SÁŇKA 2004, s.29)

CEC [mmol · 100g <sup>-1</sup> ]	Hodnocení
< 80	velmi nízká
80–130	nízká
130–240	střední
240–300	vysoká
>300	velmi vysoká

*Tabulka 2: Klasifikace hodnot maximální sorpční kapacity  
(FIALA 2009, s. 11)*

### **2.2.1. Stanovení KVK podle Mehlicha**

Princip metody stanovení kationtové výměnné kapacity podle Mehlicha je, že výměnné kationty se vytěsňují roztokem chloridu barnatého, který je pufrován při pH 8,1. Ve výluhu se stanoví titrací kyselinou výměnný vodík. Po vymytí přebytku barnaté soli se sorbované barnaté ionty vytěsňují roztokem chloridu hořečnatého a ve výluhu se stanoví množství sorbovaných barnatých iontů plamenovým fotometrem. Kationtová výměnná kapacita v cmol · kg<sup>-1</sup> zeminy se odečte přímo z kalibračního grafu. (POKORNÝ)

### 2.2.2. Stanovení KVK podle Bowera

Metoda stanovení kationtové výměnné kapacity podle Bowera se řadí mezi metody indexového iontu. Zde je tímto indexovým iontem ion sodíku. V první fázi se nasatí sorpční komplex sodnými kationty, které vytěsní ostatní výměnné kationty do roztoku. Přebytek octanu sodného se spolu s uvolněnými kationty vymyje ethanolem. V třetí fázi se nasorbované sodné ionty vytěsní ionty amonnými do roztoku a stanoví se jejich množství, které odpovídá velikosti KVK. (ČESKÁ PEDOLOGICKÁ SPOLEČNOST)

### 2.2.3. Stanovení KVK po nasycení zeminy amonnými ionty při pH=7

Ze zeminy po vytěsnění výměnných kationtů roztokem octanu amonného se alkoholem vymyjí zadržené zbytky roztoku octanu a sorbované amonné ionty se vytěsní okyseleným roztokem chloridu sodného. Ve výluhu se stanoví amonné ionty po reakci s fenolem a chlornanem absorpční spektrofotometrií. Hodnocení půd podle ukazatelů jejich sorpčních vlastností uvádí tabulka. (POKORNÝ)

Výměnná sorpční kapacita	Hodnota T [mmol · 100 g <sup>-1</sup> ]
velmi vysoká	nad 40
vysoká	25–40
střední	12–25
nízká	8–12
velmi nízká	pod 8

Tabulka 3: Hodnocení půd podle výměnné sorpční kapacity  
(POKORNÝ)

### 2.2.4. Stanovení KVK podle Sandhofa

Půda převedena do tzv. H<sup>+</sup> cyklu (nahrazením výměnných bazických kationtů vodíkem) se titruje roztokem Ba(OH)<sub>2</sub>. Přitom Ba<sup>2+</sup> nahrazuje vodík v sorpčním půdním komplexu a vzniká málo disociovaná voda, takže vodivost systému se prakticky nemění. Před dosažením bodu ekvivalence (nasycení) vodivost již mírně stoupá, protože se na ni již začínají podílet ionty Ba<sup>2+</sup> slabě poutané v silně nasyceném sorpčním komplexu půdy. Po úplném nasycení (za bodem ekvivalence) se začínají uvolňovat volné ionty titračního roztoku a vodivost prudce a rovnoměrně stoupá úměrně dávkám činidla. (JIHOČESKÁ UNIVERZITA)

### **2.3. Význam sorpčního komplexu půd**

Sorpční komplex silně ovlivňuje dynamiku půdy, její fyzikální stav a uplatňuje se i při výživě rostlin. I když v chemismu půdy připadá důležitá úloha mikroorganismům, nelze vyloučit z dynamiky půdy pochody fyzikálně chemické, jejichž nositelem je právě sorpční komplex. V půdním komplexu se funkce životní činnosti mikroorganismů prolínají s procesy fyzikálně chemickými do té míry, že ostrá odlišování či vylučování sorpčního komplexu z řady aktivních půdních složek je neoprávněné.

Sorpční komplex přímo ovlivňuje maximální sorpční kapacitu půdy, pufovinnost půdy a také dynamiku chemických procesů. Nepřímo pak ovlivňuje obdělavitelnost půdy, vodní a vzdušný režim půdy, stejně tak jako biologickou aktivitu půdy. (POKORNÝ)

### **3. Huminové látky**

Huminové látky (huminy, huminové kyseliny a fulvokyseliny) jsou velmi komplexní sloučeniny obsahující četné funkční skupiny, zejména karboxylové a fenolické skupiny. (CONTRERAS 2006) Jsou tvořeny převážně uhlíkem, dále kyslíkem, vodíkem, dusíkem, ale také sírou. (PIVOKONSKÝ 2010) Huminy mají nejvyšší molekulovou hmotnost a obsah uhlíku z těchto tří huminových sloučenin. Navíc, huminy jsou odolné vůči mikrobiální degradaci a jsou považovány za finální produkt humusotvorných procesů. Analýzy huminových látek získaných z půd, sedimentů a rašeliny ukázaly, že huminy svědčí o parafinovém uhlíku. Jiné studie demonstrovaly, že parafinické skupiny přispívají k nerozpustnosti huminů. (CONTRERAS 2006)

Nicméně vznik huminových látek není stále zcela objasněn. Existuje několik teorií vzniku huminů, například degradační a syntetická teorie.

Degradační teorie popisuje vznik huminových látek mikrobiálnímu rozkladu odumřelého rostlinného materiálu, kdy vznikají huminy z těžko rozložitelných látek a následně jsou oxidovány přes huminové kyseliny a fulvokyseliny na menší molekuly. Při pokračujícím mechanismu degradace poté jsou huminy rozloženy až na oxid uhličitý a vodu.

Syntetická teorie vychází naopak z předpokladu, že odumřelé rostlinné tkáně jsou rozštěpeny na malé molekuly (karboxylové kyseliny, fenoly), ze kterých posléze následnou syntézou vznikají huminy.

Pravděpodobně však tyto dva procesy probíhají vedle sebe, kdy ve vodních ekosystémech převažuje degradační a v terestrických převažuje syntetický mechanismus. (PIVOKONSKÝ 2010)

Huminy jsou velmi porózní látka s velkým specifickým povrchem, kterážto vlastnost je velmi užitečná při adsorpci. Studie dokázaly, že huminy jsou schopny účinně adsorbovat těžké kovy v roztocích při pH = 5. (CONTRERAS 2006)

Huminové látky se klasifikují na tři složky – huminové kyseliny (nerozpustné v kyselinách, ale rozpustné v alkáliích), fulvokyseliny (rozpustné jak v kyselinách, tak v zásadách) a huminy (nerozpustné v alkáliích a v kyselinách). (OKABE 2011) Díky své vyšší rozpustnosti bývají fulvokyseliny v přírodních vodách v převaze. (PIVOKONSKÝ 2010)

Fulvokyseliny mají oproti huminovým kyselinám nižší molekulovou hmotnost, obsahují méně aromatických struktur a více alifatických postranních řetězců. Rozdílné je i elementární složení kyselin, kdy zatímco fulvokyseliny jsou tvořeny z 46–55 % uhlíkem, 37–50 % kyslíkem, 4–5 % vodíkem a nízkým obsahem dusíku a síry, tak huminové kyseliny jsou tvořeny 50–57 % uhlíku, 34–38 % kyslíku, 4–6 % vodíku a také dusíkem a sírou. Hranice stanovení mezi těmito typy je nicméně obtížně stanovitelná. (PIVOKONSKÝ 2010)

#### **4. *Nepolární extrahovatelné látky***

Stanovení extrahovatelných látek a nepolárních extrahovatelných látek je častý parametr používaný pro posouzení vzorků životního prostředí a různých typů vod. (UNIVERZITA PALACKÉHO) Zatímco polární extrahovatelné látky jsou především rostlinného původu (tuky, rostlinné oleje), nepolární extrahovatelné látky jsou především antropogenního původu (ropné látky). (VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE)

Půdní znečištění ropnými látkami je způsobeno kupříkladu těžbou půdy, tavnou různých rud, přepravou ropy, zavlažováním pomocí olejnatých odpadních vod, stejně tak jako nedokonalým spalováním ropných produktů. (TANG 2012)

Typický výskyt těchto látek je jak ve splaškových, tak v průmyslových odpadních vodách. Skupinové stanovení těchto látek využívá pro jejich izolaci a zkoncentrování extrakce do vhodného rozpouštědla. Výsledek stanovení jsou potom veškeré

extrahovatelné látky (EL), nebo po aplikaci sorbentu a odstranění polárních látek nepolární extrahovatelné látky (NEL).

Zejména tento ukazatel je obsažen v několika předpisech pro hodnocení kvality vod, frekventované je toto stanovení i v pevných maticích pro klasifikaci kalů a odpadů při jejich ukládání na skládky nebo hodnocení dekontaminace zemin. (KOLLER 2005)

## **4.1. Metody extrakce**

### **4.1.1. Soxletova extrakce**

Soxletova extrakce je nejtradičnější metodou extrakce nepolárních látek. Nicméně je velmi časově náročná a také zahrnuje potřebu velkého množství organických rozpouštědel. Z tohoto důvodu se v posledních letech hledaly nové metody extrakce, které by snížily nároky na čas a nároky na extrakční činidla. (WANG 2007)

Jako extrakční rozpouštědlo se nejčastěji používá směs n-hexanu a acetonu v poměru 1:1. (WANG 2007)

### **4.1.2. Superkritická fluidní extrakce**

Superkritická fluidní extrakce je extrakce za použití superkritické tekutiny, tedy tekutin, které se vyskytují při vyšší teplotě a tlaku, než je jejich kritická hodnota. Tyto tekutiny mají v porovnání s normálními tekutinami vyšší viskozitu, difuzitu a větší rozpouštěcí schopnosti. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

Jako superkritické rozpouštědlo se nejčastěji používá díky své netoxicitě, nehořlavosti a relativně nízké reaktivitě oxid uhličitý, ale je možné použít i oxid dusný, amoniak či freony. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

Tento typ extrakce je zkoumán už od konce devadesátých let jako náhrada za extrakci používající halogeny a freony a výzkumy, kupříkladu HARTONEN (2002) ukazují, že výsledky pořízené touto metodou jsou srovnatelné s tradičními metodami.

I jiné výzkumy se nicméně opírají o srovnatelnost těchto extrakčních metod, viz LIANG (2003), MORSELLI (1999), CURRENT (1997) a další

#### **4.1.3. Extrakce třepáním do halogenového rozpouštědla**

Extrakce za pomoci halogenového rozpouštědla je metoda, která byla zejména dříve masivně využívána. Jako extrakční činidlo se v minulosti používal především freon CFC-113, nicméně po prokázání vlivu freonů na ozonovou vrstvu a následnému zákazu jejich používání jsou hledány nové metody extrakce. (LUND 1999)

Princip metody spočívá v tom, že zemina se nechá minimálně 24 hodin třepat v halogenovém rozpouštědle. Extrakt se po upravení a vyčištění změří pomocí IR-spektrometrie, proto je podstatné, aby extrakční činidlo neobsahovalo C-H vazby, které by toto měření ovlivnily.

#### **4.1.4. Extrakce za pomoci mikrovln**

Principem extrakce je, že vzorek zeminy je spolu s extrakčním činidlem vystaven působení mikrovln, často za zvýšené teploty.

Extrakce za pomoci mikrovln má několik výhod – lze provádět několik extrakcí simultánně, nevyužívá se halogenové rozpouštědlo a také objem extrakčního činidla a čas nutný k extrakci je podstatně menší než například u Soxletovy extrakce.

Jako extrakční činidlo se nejčastěji, stejně jako u Soxletovy extrakce, používá směs acetonu a n-hexanu v poměru 1:1. (WANG 2007)

#### **4.1.5. Akcelerovaná extrakce do rozpouštědla**

Akcelerovaná extrakce probíhá za zvýšené teploty a za vysokého tlaku kolem 100 atm. Díky těmto podmínkám se čas extrakce snižuje na přibližně 30 minut. (WANG 2007)

Tato extrakce využívá jako extrakční činidlo například směs acetonu a dichlormethanu v poměru 1:1, hexanu a acetonu v poměru 1:1, heptanu a acetonu v poměru 1:1 případně i směs jiných rozpouštědel. (RICHTER 2000)

### **4.2. Metody stanovení**

Podstatou stanovení NEL je jejich extrakce ze vzorku (vody, půdy, sedimentů, kalů) organickým nepolárním rozpouštědlem s následujícím odstraněním koextrahovaných slabě polárních organických látek sorpcí na silikagel. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI) a odvodněním roztoku za použití sušidla, nejčastěji bezvodého síranu sodného. (RICHTER 2000)



V půdách se nepolární extrahovatelné látky stanovují jako jeden z ukazatelů zatížení půdy ropnými látkami. (UNIVERZITA PALACKÉHO)

Jaké extrakční činidlo použijeme pro izolaci nepolárních extrahovatelných látek záleží na analytické koncepci a vlastnostech stanovovaných látek. (KOLLER 2005)

#### **4.2.1. Gravimetrické stanovení**

Gravimetrické stanovení je nejjednodušší stanovení extrahovatelných látek a je vhodné zejména pro vyšší koncentrace tuků a olejů. Jako rozpouštědlo se v gravimetrickém stanovení používá petrolether, pentan nebo hexan. (KOLLER 2005)

Gravimetrické stanovení je založeno na extrakci nepolárních látek do rozpouštědla a následně je zjišťována hmotnost po oddestilování rozpouštědla. Výsledky při tomto stanovení jsou zatíženy značnou chybou, zejména z důvodu prchavosti některých uhlovodíků. (SAMEŠOVÁ 2006)

Metoda gravimetrického stanovení je již překonaná a v dnešní době se prakticky nepoužívá. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

#### **4.2.2. Spektrální stanovení**

Spektrální metody stanovení nepolárních extrahovatelných látek nahradily metody gravimetrické, ale lze je považovat za nedostačující, zejména pokud zkoumaný vzorek obsahuje látky biogenního původu. V tom případě je potřeba zvolit jinou metodu, která poskytuje více informací o kvalitativním složení nepolárních látek. (SAMEŠOVÁ 2006)

##### **4.2.2.a) Infračervená spektrometrie**

Stanovení nepolárních extrahovatelných látek infračervenou spektrometrií je definováno jako hmotnostní koncentrace organických látek, které je možno vyextrahovat ze vzorku a po odstranění polárních látek spektrometricky změřit v infračervené oblasti spektra. (UNIVERZITA PALACKÉHO) K odstranění polárních látek z vysušeného extraktu se používá aktivovaného silikagelu, Florisilu nebo oxidu hlinitého. Separace polárních látek se provádí na chromatografické koloně, tenkovrstvou chromatografií, nebo vsádkovým způsobem. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

Při separaci polárních látek na chromatografické koloně dochází ke zředování extraktu elučním činidlem, a zároveň je nevýhodou neúplná eluce aromatických uhlovodíků z kolony. Tento postup je také časově náročný.

Separací pomocí chromatografie na tenké vrstvě dochází zahušťováním extraktu ke ztrátám nížeuvracích ropných látek

Nejjednodušším způsobem odstraňování polárních látek je vsádkový způsob, kdy se pevný sorbent přidává přímo do bezvodého roztoku organického rozpouštědla s vyextrahovanými nepolárními látkami. Sorpce nasycených a aromatických uhlovodíků na sorbent je minimální a neovlivňuje stanovení NEL. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

Infračervené spektrum umožňuje stanovit zejména alifatické organické látky na základě absorpčních pásů skupin  $-CH_2$  a  $-CH_3$ . Pro skupiny  $=CH-$  je citlivost menší. (UNIVERZITA PALACKÉHO)

Metoda infračervené spektroskopie je neinvazivní, rychlá a snadná metoda, poskytující přesné výsledky (KHANMOHAMMADI 2012). Je také metodou univerzální a má dostatečnou citlivost. Jednou z nevýhod ale je, že extrakční činidla nesmí obsahovat C – H vazbu (VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE), která pohlcuje infračervené záření a této podmínce vyhovují zejména chlorované a fluorované uhlovodíky. (KOLLER 2005)

Na další nevýhody stanovení indikátoru možného znečištění ropnými látkami infračervenou spektrometrií poukazuje i metodický pokyn ministerstva životního prostředí, který stanovuje následující nevýhody:

1) Metoda stanovuje množství extrahovatelných nepolárních látek ropného i neropného původu bez omezení délky jejich řetězce,

2) Metodou se stanoví především alifatické uhlovodíky. Pro toxikologicky nejvýznamnější aromatické uhlovodíky je málo citlivá, protože tyto látky lze zachytit až ve vysokých koncentracích. K identifikaci znečištění je proto nutná doplňující chromatografická analýza.

3) Výsledek stanovení  $NEL_{IR}$  je závislý na zvoleném kalibračním referenčním materiálu. Kalibrační materiál vhodný pro všechny případy nebyl nalezen, proto se výpočet provádí podle empirických vztahů nebo se ke kalibraci používá reálná směs uhlovodíků. Není-li způsob kalibrace u výsledků uveden, může to vést k jejich chybné interpretaci.

4) Jako extrakční činidlo se nejčastěji používají karcinogenní látky (tetrachlorethen), nebo látky, které mají potenciál poškozování ozónové vrstvy (tetrachlorethen, hexafluorbutan a další chlorované nebo fluorované uhlovodíky),

5) je pravděpodobné, že používání těchto látek pro analytická stanovení bude v průběhu několika let zakázáno (freony, které se dříve běžně používaly, již byly v analytické praxi zakázány),

6) norma ČSN 75 7505 na stanovení NEL již byla zrušena v roce 2006. (Metodický pokyn 2008)

Postup stanovení nepolárních extrahovatelných látek z půdy má několik fází.

- 1) vysušení půdy v termostatu nebo sušárně
- 2) extrakce nepolárních extrahovatelných látek z navážky půdy vhodným rozpouštědlem
- 3) oddělení extraktu a půdy filtrací
- 4) vysušení bezvodým síranem sodným
- 5) adsorpce polárních látek v extraktu na sorbent (kupříkladu silikagel)
- 6) odfiltrování silikagelu při adsorpci vsádkovým způsobem
- 7) změření extraktu v infračerveném spektru.

Z následující tabulky lze vyčíst, při jakých vlnových délkách se stanovují jednotlivé maximální absorbance a čemu odpovídají.

Typ vibrací	Vlnočet
Aromatické a olefinické =CH–	$3055 \text{ cm}^{-1} \pm 25 \text{ cm}^{-1}$
Asymetrické –CH <sub>3</sub>	$2960 \text{ cm}^{-1} \pm 15 \text{ cm}^{-1}$
Asymetrické –CH <sub>2</sub> –	$2925 \text{ cm}^{-1} \pm 15 \text{ cm}^{-1}$

*Tabulka 4: Charakteristické kmitočty C-H skupin pro stanovení NEL*

*(UNIVERZITA PALACKÉHO)*

#### **4.2.2.b) Ultrafialová spektrometrie**

Stanovení látek v UV oblasti spektra je vhodné zejména pro látky s obsahem aromatických uhlovodíků. Pro analýzu mají význam chromofory  $-C=C-$ ,  $-CO-$ ,  $C_6H_5$ , které mají charakteristické valenční pásy. (SAMEŠOVÁ 2006)

Dobrych výsledků lze při užití UV spektrometrie dosáhnout pouze tehdy, použije-li se jako kalibrační standard totožná látka s látkou analyzovanou, což nicméně u vzorků s neznámým znečištěním je prakticky nemožné. (UNIVERZITA TOMÁŠE BATI)

#### **4.2.3. Plynová chromatografie**

Plynová chromatografie je analytická a separační metoda pro dělení směsi látek o rozdílném bodu varu. Nepochopitelně extrahovatelné látky stanovené metodou plynové chromatografie jsou brány jako suma koncentrací sloučenin extrahovatelných uhlovodíkovým rozpouštědlem bodu varu ležícího v rozsahu od  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a které se neadsorbují na Florosilu. Retenční časy těchto sloučenin leží mezi n-dekanem ( $C_{10}H_{22}$ ) a n-tetrakontanem ( $C_{40}H_{82}$ ). (VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ)

Výhodou tohoto stanovení uhlovodíků ležících mezi  $C_{10}$  a  $C_{40}$  je to, že rozpouštědlem může být jakýkoliv kapalný uhlovodík, který má dostatečně nízký bod varu, například hexan, heptan, cyklohexan nebo petrolether. (SAMEŠOVÁ 2007) Další výhodou je, že provedená analýza je snadná a rychlá a k analýze stačí i malé množství vzorku. (VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ)

Nevýhodou této metody je, že kvůli své náročnosti zejména na materiální podmínky je vázána na specializovaná pracoviště. (SAMEŠOVÁ 2007)

I přes drahé pořizovací nároky se v dnešní době přechází při stanovování nepolárních látek z ekologických důvodů na plynovou chromatografii.

#### **4.2.4. Imunoassay-analýza**

Imunoassay-analýza je metoda stanovení na principu vázání protilátek obsažených v reagentu, které je doprovázeno změnou intenzity zbarvení a následující fotometrickou detekcí.

Výhodou této metody je, že nevyžaduje extrakci spojenou s použitím freonů či halogenových uhlovodíků. (SAMEŠOVÁ 2006)

# Praktická část

## 1. Stanovení sorpční kapacity půdy

### 1.1. Postup

Pro stanovení maximální sorpční kapacity  $T$  jsme zvolili konduktometrické měření dle Sandhofa, naznačené už v teoretické části v kapitole 2.2.4.

Jak již bylo předesláno, metoda spočívá v tom, že aktivní část sorpčního komplexu se nasorbuje vodíkovými ionty, které se poté stanovují odměrným roztokem hydroxidu barnatého, kdy barnaté ionty nahradí vodíkové ionty. Toto nahrazování je pozorováno konduktometricky.

### 1.2. Příprava roztoků

Podle návodu (JIHOČESKÁ UNIVERZITA) jsem zjistil, že pro stanovení sorpční kapacity touto metodou se užívají následující roztoky:

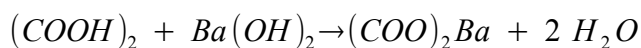
- $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztok kyseliny chlorovodíkové ( $\text{HCl}$ )
- $0,2 \text{ val} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztok hydroxidu barnatého ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ )
- roztok dusičnanu stříbrného ( $\text{AgNO}_3$ )

Normalita roztoku je počet chemických ekvivalentů látky v jednom litru roztoku, kde chemický ekvivalent je formální část molekuly, která při chemické reakci reaguje s jedním atomem vodíku, případně jej uvolní nebo nahradí. (KVASNICOVÁ) V tomto případě tedy  $0,2 \text{ val} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztok odpovídá  $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztoku hydroxidu, neboť hydroxid obsahuje dvě  $(\text{OH})^-$  skupiny

Stanovení přesné koncentrace roztoku kyseliny chlorovodíkové a zejména hydroxidu barnatého se provádí titrací vůči standardu, tedy látce, která má následující vlastnosti:

- je dokonale čistá
- je na vzduchu stálá
- má přesně definované složení (ČERMÁKOVÁ 1980)

Jako standard jsem v tomto případě zvolil kyselinu šťavelovou, kdy jsem si vypočítal potřebné množství kyseliny šťavelové k přípravě  $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  roztoku. Kyselina šťavelová s hydroxidem barnatým reagují podle následující rovnice:



Reakce tedy probíhá ve stechiometrickém poměru 1:1.

Nejprve jsem si vypočetl potřebná množství chemikálií pro přípravu roztoků.

Pro dva litry roztoku hydroxidu barnatého:

$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 315,48 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$V = 2 \text{ dm}^3$$

$$m = c \cdot V \cdot M = 0,1 \cdot 2 \cdot 315,48 = 63,096 \text{ g}$$

Pro kyselinu chlorovodíkovou:

$$M = 36,46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$V = 1 \text{ dm}^3$$

$$\rho = 1,18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$m = c \cdot V \cdot M = 0,1 \cdot 1 \cdot 36,46 = 3,646 \text{ g}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3,646}{1,18} = 3,09 \text{ ml}$$

$$100\% \dots\dots\dots 3,09 \text{ ml}$$

$$35\% \dots\dots\dots x \text{ ml}$$

$$x = 3,09 \cdot \frac{100}{35} = 8,83 \text{ ml}$$

Pro kyselinu šťavelovou:

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}) = 126,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c = 0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$V = 0,25 \text{ dm}^{-3}$$

$$m = c \cdot V \cdot M = 0,05 \cdot 0,25 \cdot 126,07 = 1,575875 \text{ g}$$

Krystalickou kyselinu šťavelovou jsem navážil na analytických vahách a kvantitativně převedl do odměrné baňky. Skutečná navážka kyseliny činila 1,5858 g. Pomocí trojčlenky jsem poté vypočetl skutečnou koncentraci kyseliny šťavelové.

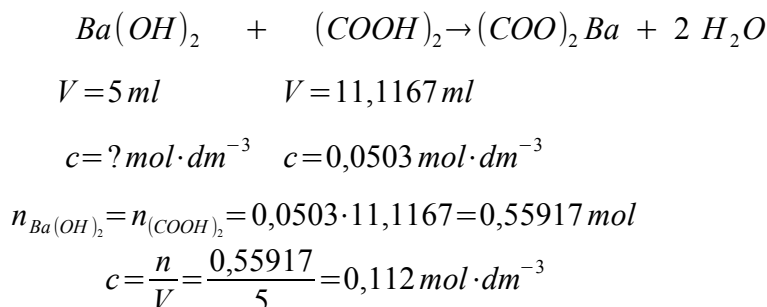
$$1,575875 \text{ g} \dots 0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$1,5858 \text{ g} \dots x \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$x = 0,05 \cdot \frac{1,5858}{1,575875} = 0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

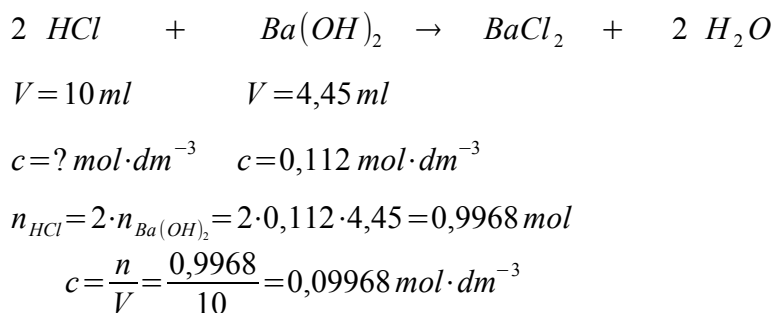
Při přípravě zásobního roztoku hydroxidu barnatého došlo v důsledku stáří chemikálie ke vzniku nerozpustné bílé sraženiny, pravděpodobně uhličitanu barnatého. Tento roztok jsem po zahřátí zfiltraval, ale stále se v roztoku nacházel nerozpuštěný uhličitan. Po ochlazení roztoku jsem hydroxid znovu přefiltroval a následně jej titračně ostandardizoval. Standardizace hydroxidu byla prováděna na fenolftalein, který přecházel z fialového zabarvení do bezbarvého, kyselinou šťavelovou, kdy bylo titrováno pět mililitrů hydroxidu.

Průměrná spotřeba  $0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  kyseliny šťavelové byla 11,167 ml (jednotlivé titrace měly spotřebu 11,05; 11,2 a 11,1 ml kyseliny)



Standardizace kyseliny chlorovodíkové probíhala na indikátor Tashiro, který přecházel z tmavě modré barvy na světle zelenou. Deset mililitrů kyseliny jsem standardizoval dříve stanoveným roztokem hydroxidu barnatého.

Průměrná spotřeba hydroxidu byla 4,45 ml (jednotlivé titrace měly spotřebu 4,4; 4,5 a 4,45 mililitru)



### 1.3. Měření

Samotné měření jsem začal tím, že jsem homogenizovanou půdu rozdrtil v třecí misce na prášek. Tento prášek jsem poté na analytických vahách navážil. Odvažoval jsem přibližně sedm gramů tohoto prášku z půdy a tento jsem poté převedl kvantitativně do vysoké kádinky o objemu 250 mililitrů. K této navážce jsem přidal přibližně 100 mililitrů připravené kyseliny chlorovodíkové a půl hodiny zahříval na vodní lázni přibližně 50 °C teplé.

Po půl hodině jsem obsah kádinky zfiltraval přes filtrační papír. Filtrační soustava sestávala z násypky namísto filtrační nálevky. V momentu, kdy jsem veškerou půdu z kádinky dostal na filtr, jsem určil, zda ve filtrátu jsou obsaženy ještě chloridy. Tuto zkoušku jsem prováděl tak, že jsem na hodinové sklíčko přenesl několik kapek dusičnanu stříbrného a kapku filtrátu. V přítomnosti chloridů ve filtrátu mi vznikala bílá sraženina chloridu stříbrného. V takovém případě bylo zapotřebí zeminu na filtru promývat destilovanou vodou.

V momentu, kdy už ve filtrátu nebyly žádné chloridy, jsem protrhl skleněnou tyčinkou filtrační papír a destilovanou vodou jsem zeminu z filtru spláchl zpět do vysoké kádinky. Zeminu v kádince jsem doplnil destilovanou vodou tak, aby konduktometrická elektroda byla ponořena.

Do této kádinky jsem přidal míchadélko a kádinku dal na elektromagnetickou míchačku. Nastavil jsem otáčky na cirká 400 otáček za minutu, tedy tak, aby se promíchávaná zemina řádně promíchávala v celém objemu roztoku.

Do 25 ml byrety jsem dal standardizovaný roztok hydroxidu barnatého, který jsem v minutovém intervalu přilával do roztoku. Vždy po minutě, před přidáním dalšího mililitru hydroxidu, jsem na konduktometru odečetl aktuální hodnotu vodivosti  $\gamma$  v  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (mikrosiemens na centimetr).

Výsledné vodivosti odečtené po minutách jsem zpracoval do grafu, kde na osu x se nanáší počet mililitrů hydroxidu a na osy y vodivost suspenze.

Ke zjištění bodu ekvivalence, tedy bodu, který odpovídá spotřebě při maximální sorpční kapacitě, se používají tečny, případně lineární regresní přímky, vedené ke dvěma větvím grafu – první k vodorovné a druhou k prudce stoupající větvi. Průsečík těchto dvou přímek odpovídá spotřebě hydroxidu barnatého v bodu ekvivalence.

Hodnota maximální sorpční kapacity se stanoví dle následujícího vztahu:



$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N} \quad [mval \cdot 100^{-1} g \text{ půdy}]$$

kde:

s ..... spotřeba hydroxidu barnatého v bodu ekvivalence [cm<sup>3</sup>]

n ..... normalita roztoku Ba(OH)<sub>2</sub> [val · dm<sup>-3</sup>]

f ..... faktor Ba(OH)<sub>2</sub>

N ..... navážka půdy [g]

Faktorem roztoku je číslo, kterým se násobí spotřeba odměrného roztoku přibližné normality a vypočítává se odpovídající objem činidla přesné normality. Faktor je tedy roven podílu objemu roztoku přesné normality a objemu roztoku přibližné normality. Pro příklad, pokud je faktor 0,1 N roztoku 1,0274, má tento roztok koncentraci 0,10274 N. (ČERMÁKOVÁ 1980)

Jelikož normalita v případě hydroxidu barnatého odpovídá dvojnásobku molarity, lze součin  $n \cdot f$  nahradit dvojnásobkem přesné koncentrace roztoku, čímž dostaneme vztah:

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{N} \quad [mval \cdot 100^{-1} g \text{ půdy}]$$

Postupně jsem provedl měření devíti půd, s tím, že u dvou půd, konkrétně u půdy číslo 1 a u půdy číslo 7 jsem provedl měření opakovaně, abych ověřil relevantnost výsledků. Výsledné hodnoty jsem zpracoval do tabulky (viz tabulka číslo 5 a číslo 6) a vygeneroval grafy.

Jak je z grafů patrné (viz graf číslo 1 a číslo 2), vodorovná větev grafu není dostatečně dlouhá, tedy nemá dostatečný počet naměřených hodnot, aby šlo objektivně určit regresní přímkou a maximální sorpční kapacita nešla určit.

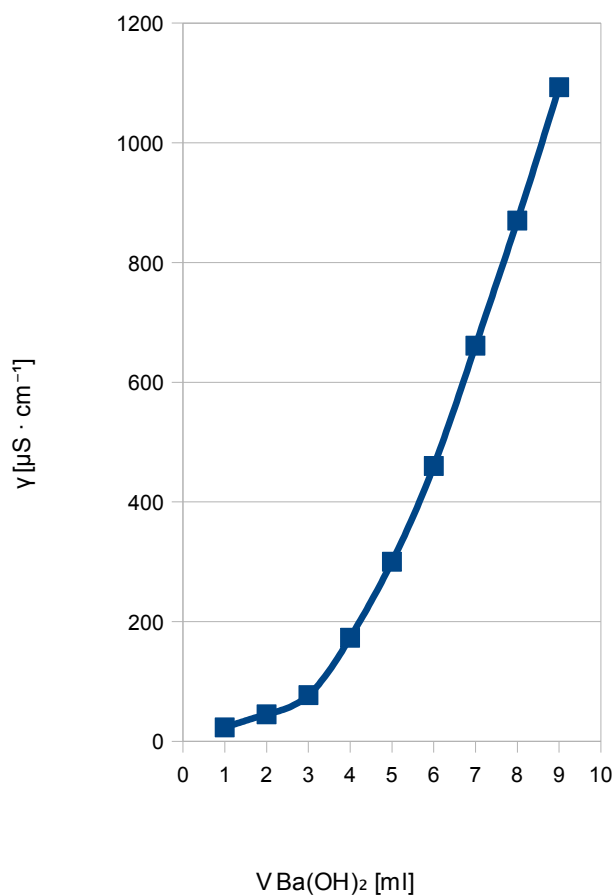
Proto bylo nutné veškerá měření provést znovu se zředněnějšími roztoky.

m půdy [g]	7,1320	5,0155	4,9965	5,3234	7,3286	6,1396	7,1532
c Ba(OH) <sub>2</sub> [mol·dm <sup>-3</sup> ]	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ Půda č.	1-1	1-2	1-3	1-4	2	3	4
1	18	19	23	16	25	18	11
2	27	28	45	28	26	30	15
3	36	36	77	40	35	42	21
4	46	56	173	74	52	58	29
5	60	88	300	126	79	79	46
6	78	144	460		143	113	74
7	102	233	661	314	200	156	119
8	140	359	870	480	251	198	183
9	192	502	1093	657	384	291	275
10	216	675		864	548	358	378
11	298	924		1110	719	426	514
12	350	1173			902	533	686
13	442				1079	646	800
14	566				1291	749	1002
15	684					884	1199
16	817					1020	
17	972					1162	
18	1123						
19	1316						
20	1511						
21	1713						
22	1920						

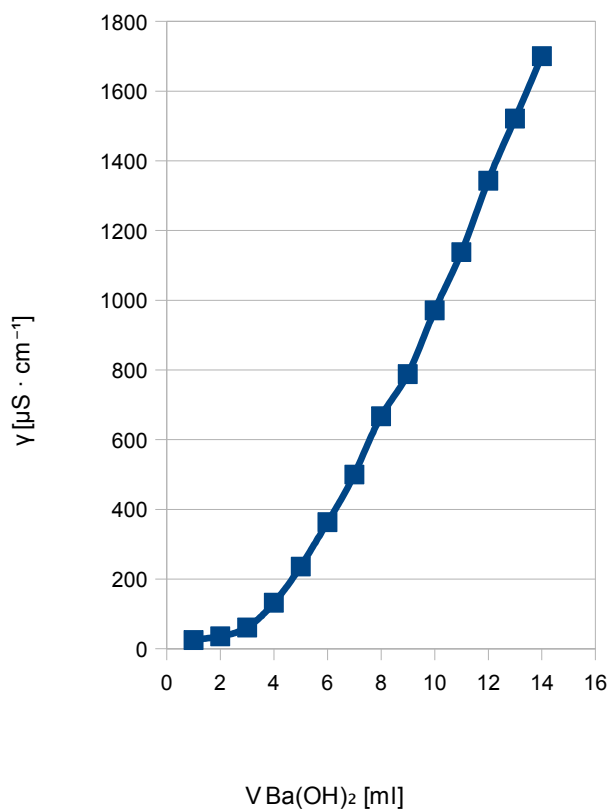
Tabulka 5: Vodivost půd

m půdy [g]	7,1815	5,2310	6,3282	6,0107	6,1445	6,0459	7,1346	6,7547
c Ba(OH) <sub>2</sub> [mol·dm <sup>-3</sup> ]	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ Půda č.	5	6	7-1	7-2	7-3	7-4	8	9
1	17	14	29	25	28	23	20	13
2	31	19	37	36	37	34	20	22
3	39	25	49	61	47	44	27	28
4	52	31	71	132	73	57	33	41
5	99	38	116	236	118	100	45	77
6	141	51	182	363	185	167	67	122
7	198	72	256	500	271	224	115	214
8	294	104	354	667	364	262	185	333
9	416	146	467	788	460	375	294	503
10	565	184	570	971	564	496	441	687
11	726	260	701	1138	696	606	608	893
12	883	340	841	1343	820	709	790	1096
13	1075	430	961	1521	932	841	992	
14	1266	536	1075	1700	1088	938	1207	
15	1440	658	1193		1212	1049	1428	
16		793	1349		1347	1159		
17		917			1468	1335		
18		1063				1457		
19		1230						
20		1392						

Tabulka 6: Vodivost půd



Graf 1: Půda číslo 1



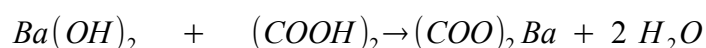
Graf 2: Půda číslo 7

#### 1.4. Měření se zředěnými roztoky

Ze zásobního roztoku hydroxidu barnatého o koncentraci  $c = 0,112 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  jsem si připravil zředěné roztoky.

Jeden z roztoků jsem připravil tak, že jsem přibližně do poloviny odměrné baňky ze zásobního roztoku odlil hydroxid a doplnil jsem destilovanou vodou. Vzniklý roztok jsem poté standardizoval titrací na fenolftalein pomocí kyseliny šťavelové o koncentraci  $c = 0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ , která mi zbyla z předchozí standardizace.

Průměrná spotřeba hydroxidu barnatého byla 10,3 ml (jednotlivé titrace měly spotřebu 10,3; 10,35 a 10,25 ml kyseliny)



$$V = 10,3 \text{ ml} \quad V = 10 \text{ ml}$$

$$c = ? \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \quad c = 0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$n_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = n_{(\text{COOH})_2} = 0,0503 \cdot 10 = 0,503 \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,503}{10,3} = 0,0488 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Další roztok se připravil napipetováním 25 ml hydroxidu barnatého, který se doplnil v odměrné baňce na 250 ml. Výsledná koncentrace roztoku je tedy desetkrát menší, tedy  $0,0112 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Hydroxid barnatý jsem posléze připravoval ještě dvakrát, kdy jsem si vypočítal potřebné množství hydroxidu, které jsem navážil a odfiltroval jsem ve vodě nerozpustné látky.

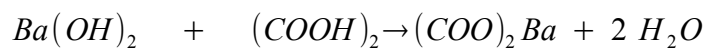
$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 315,48 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c = 0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$V = 1 \text{ dm}^3$$

$$m = c \cdot V \cdot M = 0,05 \cdot 1 \cdot 315,48 = 15,774 \text{ g}$$

Vzniklý roztok jsem titroval  $0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  kyselinou šťavelovou na fenolftalein. Průměrná spotřeba roztoku hydroxidu barnatého je 7,3833 ml (jednotlivé titrace měly spotřebu 7,3; 7,4 a 7,45 ml)



$$V = 10 \text{ ml} \quad V = 7,3833 \text{ ml}$$

$$c = ? \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \quad c = 0,0503 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$n_{Ba(OH)_2} = n_{(COOH)_2} = 0,0503 \cdot 7,3833 = 0,3714 \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,3714}{10} = 0,0371 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

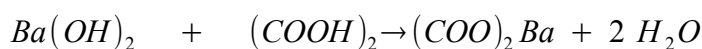
Při další přípravě hydroxidu barnatého jsem si nejprve musel opět připravit kyselinu šťavelovou. Jelikož je kyselina šťavelová standardem, její koncentraci jsem určil pomocí navážky krystalické kyseliny na analytických vahách.

$$1,575875 \text{ g} \dots\dots 0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$1,5721 \text{ g} \dots\dots\dots x \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$x = 0,05 \cdot \frac{1,5721}{1,575875} = 0,04988 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Přefiltrovaný roztok hydroxidu barnatého jsem opět standardizoval titrací na kyselinu šťavelovou. Indikátorem opět byl fenolftalein. Průměrná spotřeba hydroxidu barnatého byla 19,5 ml (jednotlivé titrace měly spotřebu 19,55; 19,45 a 19,5 ml).



$$V = 19,5 \text{ ml} \quad V = 10 \text{ ml}$$

$$c = ? \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \quad c = 0,04988 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$n_{Ba(OH)_2} = n_{(COOH)_2} = 0,04988 \cdot 10 = 0,4988 \text{ mol}$$

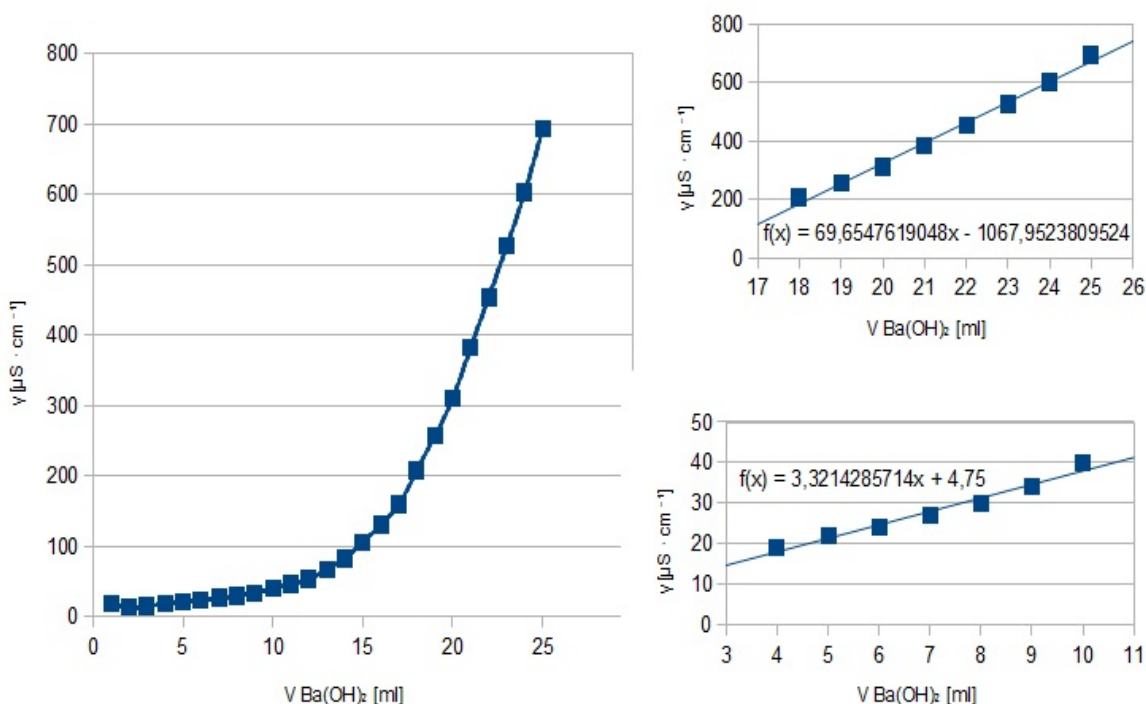
$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,4988}{19,5} = 0,0256 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Samotné měření maximální sorpční kapacity půdy jsem prováděl stejně jako v předcházejícím případě, s jedinou výjimkou v koncentracích odměrných roztoků hydroxidu barnatého.

Naměřené hodnoty a výsledky dvanácti vzorků půd jsou zobrazeny v následujících grafech a tabulkách. Seřazeny jsou postupně, nikoliv podle pořadí, v jakém byly naměřeny.

půda	1
vzorek	1
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0488
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,4625
1	19
2	14
3	15
4	19
5	22
6	24
7	27
8	30
9	34
10	40
11	47
12	54
13	67
14	83
15	106
16	131
17	160
18	208
19	257
20	311
21	383
22	454
23	527
24	603
25	694
spotřeba	16,1714
kapacita	28,89

*Tabulka 7: Půda 1, vzorek 1*



Graf 3: Půda 1, vzorek 1

Spotřebu roztoku hydroxidu barnatého jsem spočítal nalezením průsečíku regresních přímek, v tomto případě přímky p:  $69,6547619048x - 1067,9523809524$  a přímky q:  $3,3214285714x + 4,75$ .

Průsečík těchto přímek se nachází v bodu, kde se obě rovnice přímek rovnají.

$$69,6547619048 \cdot x - 1067,9523809524 = 3,3214285714 \cdot x + 4,75$$

$$66,3332333334x = 1072,7023809524$$

$$x = 16,1714$$

V tomto případě to tedy jest v bodu  $x = 16,1714$ .

Tuto spotřebu jsem dosadil do rovnice pro výpočet maximální sorpční kapacity.

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{16,1714 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,4625} = 28,89 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

Grafy ostatních měření a výpočty spotřeby jsou přiloženy v přílohách.

Zprůměrováním jednotlivých maximálních sorpčních kapacit u měření půd získáme hodnotu maximální sorpční kapacity pro jednotlivé půdy. Tyto hodnoty jsou shrnuty v následující tabulce.

půda	vzorek	kapacita [mval·100g <sup>-1</sup> ]	průměr [mval·100g <sup>-1</sup> ]
1	1	28,89	<b>27,67</b>
	2	27,86	
	3	26,25	
2	1	21,02	<b>21,48</b>
	2	20,51	
	3	16,07	
	4	28,33	
3	1	37,36	<b>36,96</b>
	2	37,47	
	3	36,05	
4	1	32,63	<b>31,35</b>
	2	31,74	
	3	29,69	
5	1	29,17	<b>28,04</b>
	2	29,30	
	3	25,64	
6	1	41,00	<b>41,18</b>
	2	39,58	
	3	42,96	
7	1	21,46	<b>22,20</b>
	2	22,97	
	3	22,18	
8	1	28,56	<b>27,30</b>
	2	25,76	
	3	27,60	
9	1	26,68	<b>23,35</b>
	2	20,83	
	3	19,98	
	4	25,92	
10	1	28,24	<b>28,71</b>
	2	29,19	
	3	28,70	
11	1	102,37	<b>110,85</b>
	2	96,25	
	3	133,92	
12	1	4,16	<b>4,12</b>
	2	3,73	
	3	4,47	

*Tabulka 8: Maximální sorpční kapacity půd*



## 2. Stanovení NEL

### 2.1. První stanovení

Na analytických vahách jsem odvážil přibližně desetigramová množství vysušených nadrcených půd, které jsem diferenčně převedl do Erlenmayerových baněk. Navážené hmotnosti půdy v Erlenayerových baňkách jsou zobrazeny v následující tabulce.

Půda číslo	hmotnost [g]
1	10,2949
2	10,1360
3	10,1393
4	10,3288
5	10,1030
6	10,1104
7	10,0619
8	10,0358
9	10,2556

*Tabulka 9: Navážka na stanovení NEL*

Po přidání 40  $\mu$ l nafty, kteréžto množství odpovídá 60 miligramům, jsem umístil Erlenmayerovy baňky na třepačku. Na té se třepaly, aby se nafta do půdy vstřebala.

Následující den jsem do Erlenmayerových baněk odpipetoval 30 mililitrů tetrachloethylenu, který slouží jako extrakční činidlo. Baňky jsem opět vrátil na třepačku, kde vytřepáváním probíhala extrakce nepolárních extrahovatelných látek.

Následující den jsem zfiltraval roztoky z Erlenmayerových baněk. Prvních pár jsem filtroval přes vatu, nicméně vata zadržovala velké množství roztoku tetrachlorethylenu. Proto jsem pro ostatní filtrace použil filtrační papír s velkou porézností.

K těmto filtrátům v odměrných baňkách jsem přidal bezvodý síran sodný a silikagel, čímž jsem vsádkovým způsobem odstranil polární látky extrahované do tetrachlorethylenu při vytřepávání a vlhkost. Tyto sorbenty zároveň částečně odnímají i huminové látky.

Těchto přidaných sorbentů jsem se následně zbavil opět filtrací. Tyto filtráty, které mi vznikly, jsem naředil desetkrát, některé patnáctkrát. Ředění probíhalo tak, že jsem injekční stříkačkou do desetimililitrové odměrné baňky odměřil jeden mililitr filtrátu a doplnil jsem odměrnou baňku po rysku tetrachlorethylenem.

Jak se nicméně později ukázalo, tetrachlorethylen, který jsem použil k doplnění tohoto zředěného roztoku, byl znečištěn, a proto výsledky, které jsem v následném měření na IR-spektrometru změřil, jsou nepoužitelné.

## 2.2. Druhé měření

Při druhém stanovování výtěžnosti extrakce nepolárních extrahovatelných látek z půdy jsem postupoval vesměs obdobně jako v prvním případě.

Nejprve jsem si diferenčně odvážil do Erlenmayerových baněk přibližně deset gramů zeminy. Přesné hmotnosti zobrazuje následující tabulka, stejně tak jako hmotnost do zeminy navážené nafty.

půda číslo	navážka [g]	hmotnost nafty [g]
1	10,5805	0,0316
2	10,3673	0,0338
3	10,5255	0,0327
4	10,4036	0,0321
5	10,6315	0,0321
6	10,5893	0,0321
7	10,1073	0,0322
8	10,4823	0,0313
9	10,1651	0,0323
10	10,2157	0,0325
11	10,4464	0,0328
12	10,1282	0,0328

*Tabulka 10: Navážka půd a nafty na stanovení NEL*

Naftou naadovaná zemina se nechala třepat na třepačce, aby se nafta nasorbovala do zeminy. Poté jsem přidal do každé baňky 50 mililitrů tetrachlorethylenu. Následně jsem nechal baňky opět třepat na třepačce.

Po vytřepání jsem obsah baňky zfiltraval přes filtrační papír a do filtrátu jsem stejně jako při prvním stanovení přidal bezvodý síran sodný jako sušidlo a silikagel, abych se zbavil vlhkosti a polárních látek koextrahovaných ze zeminy.

Tento roztok jsem posléze opět zfiltraval přes filtrační papír. Do desetimililitrových odměrných baněk jsem odměřil injekční stříkačkou jeden mililitr tohoto filtrátu a doplnil jsem po rysku tetrachlorethylenem. Tímto jsem získal odměrné roztoky pro stanovení nepolárně extrahovatelných látek v infračerveném spektru.

Ředění roztoků se provádělo proto, že jsem zjistil, že absorpance v IR-spektru byla při stanovování původních vzorků řádově kolem tří. Naředěním se získala nižší absorpance, čímž se zpřesnily výsledky.

Samotné stanovení na spektrometru probíhalo tak, že jsem si nejprve nastavil pozadí (Background). Jako pozadí byl zvolen čistý tetrachlorethylen. Pozadí jsem změřil tak, že jsem do křemenné kyvety nalil tetrachlorethylen a změřil jsem na spektrometru jeho spektrum. Pro měření jsem používal rozsah od  $4000\text{ cm}^{-1}$  do  $2500\text{ cm}^{-1}$  a 8 skenů na vzorek.

Následně jsem přešel ke vzorkům, kdy každé měření vzorku probíhalo tak, že nejprve jsem kyvetu vypláchl odměrným vzorkem, a následně jsem tento vzorek do kyvety nalil a vložil jsem kyvetu do IR-spektrometru. Tento vzorek jsem poté změřil ve výše dané části spektra a při daném množství skenů.

U vzniklých spekter jsem softwarově stanovil množství nepolárně extrahovatelných látek a jejich koncentraci ve roztoku. Výsledné koncentrace jsou zobrazeny v následující tabulce, kde jsou porovnány s hodnotami koncentrací, které se spočetly na základě navážky půdy a navážky naadované nafty.

půda číslo	Vypočítaná koncentrace [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	softwarová koncentrace [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]
1	2986,63	3281,78
2	3260,25	3442,18
3	3106,74	4395,1
4	3085,47	3463,58
5	3019,33	3355,26
6	3031,36	3763,84
7	3185,82	4758,6
8	2985,99	3283,77
9	3177,54	3413,94
10	3181,38	3693,65
11	3139,84	7980,3
12	3238,48	3193,61

Tabulka 11: Koncentrace NEL

### 2.3. Stanovení NEL ve vzorcích bez přidání nafty

Dalším zkoumáním bylo, kolik nepolárně extrahovatelných látek je obsaženo v samotných půdách bez přidání nafty.

Do Erlenmeyerových baněk jsem opět odvážil zeminu v cirka desetigramových množstvích. Přesné navážky ukazuje následující tabulka.

půda číslo	Navážka [g]
1	10,1807
2	10,5848
3	9,6591
4	9,9793
5	10,4464
6	10,0370
7	9,9032
8	10,6305
9	10,0374
10	9,9014
11	7,0471
12	10,6540

*Tabulka 12: Navážky na stanovení NEL bez nafty*

K navážkám zemin jsem přidal 50 mililitrů tetrachlorethylenu a nechal jsem baňky třepat na třepače.

Roztok jsem po vytřepání zfiltraval přes filtrační papír a do filtrátu jsem opět přidal bezvodý síran sodný a silikagel, kteréžto látky odvedly vlhkost a polární koextrahované látky.

Tyto sorbenty jsem opět odstranil filtrací přes filtrační papír. Tyto vzniklé filtráty jsem naředil desetkrát pomocí injekční stříkačky.

Takto vzniklé roztoky jsem změřil na IR-spektrometru, stejně jako při měření u naftou naadovaných zemin. Výsledek mi však vyšel jen u některých zemin, u jiných nevyšla žádná spektra, respektive spektra neměla žádné vrcholy pro stanovení nepolárních látek. Proto jsem u roztoků, u kterých mi žádné výsledky nevyšly, použil ke stanovení koncentrované filtráty.

Výsledná spektra jsem softwarově vyhodnotil a výsledné koncentrace nepolárních látek jsou shrnuty v následující tabulce.

půda číslo	softwarová koncentrace [mg · kg <sup>-1</sup> ]
1	0
2	0
3	871,11
4	0
5	331,08
6	1946,14
7	2076,29
8	0
9	0
10	0
11	7445,71
12	0

*Tabulka 13: Hodnoty NEL půd*

### **3. Objektivní zhodnocení zbarvení**

Roztoky, které jsem použil ke stanovení nepolárně extrahovatelných látek pomocí IR-spektrometrie, jsem použil znovu. Pro toto zhodnocení jsem použil UV-VIS spektrometrii. Pokud jsou extrakty zbarveny, tak se jedná o barvu žlutou až hnědou, a proto jsem zvolil vlnovou délku 430 nm.

Stanovení na UV-VIS spektrometru probíhá tak, že se simultánně provádí dvě měření, kdy ve dvou křemenných kyvetách jsou roztoky. Do jedné z kyvet se dává standard, vůči kterému se stanovuje. V tomto případě jsem do zadní kyvety dal tetrachlorethylen.

Následně jsem do přední kyvety dal postupně všech dvacet čtyři vzorků, obdobně jako je popsáno při měření spektra v infračervené oblasti, a změřil jsem jejich absorbanci v oblasti viditelného spektra při vlnové délce 430 nm..

Výsledné absorbance jednotlivých vzorků jsou uvedeny v následující tabulce.

s naftou		bez nafty	
půda číslo	absorbance VIS	půda číslo	absorbance VIS
1	0,055	1	0,035
2	0,01	2	0
3	0,18	3	0,3
4	0	4	0
5	0,3	5	0,49
6	0,42	6	0,8
7	0,16	7	0,17
8	0,01	8	0
9	0,03	9	0,02
10	0	10	0
11	1,02	11	0,6
12	0	12	0

Tabulka 14: Absorbance v VIS oblasti při vlnové délce

#### 4. Vliv zbarvení vzorků na extrahovatelnost

Při filtrování roztoků s nepolárně extrahovatelnými látkami, ještě než byly přidány sorbenty, jsme si všimli, že některé roztoky mají sytější zbarvení než jiné.

Určité informace o zbarvení roztoků nám dala už UV-spektrometrie, nicméně je možné posoudit zbarvení jen přibližně pomocí zraku. Toto hodnocení je samozřejmě velmi subjektivní a proto nelze takto vzniklé hodnoty brát jako podložené, nicméně mohou být přibližným ukazatelem účinnosti extrakce.

Následující tabulka ukazuje mé hodnocení zbarvení roztoků.

půda	míra zbarvení
1	4
2	0
3	7
4	0
5	5
6	6
7	5
8	0
9	1
10	0
11	10
12	0

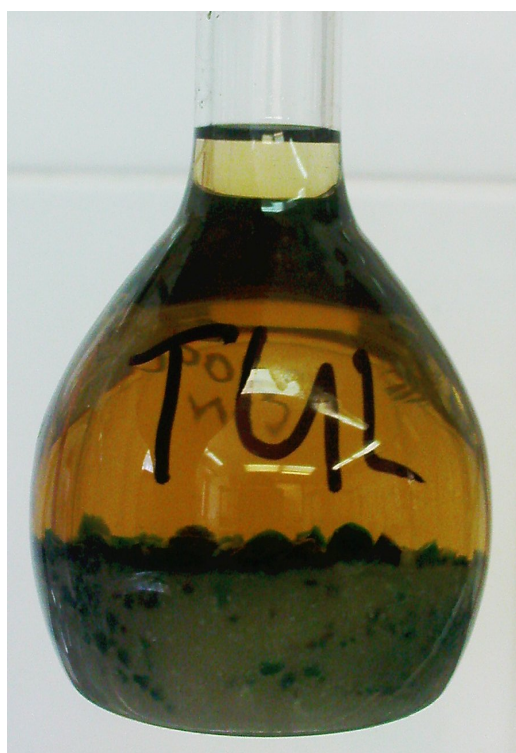
Tabulka 15: Zbarvení



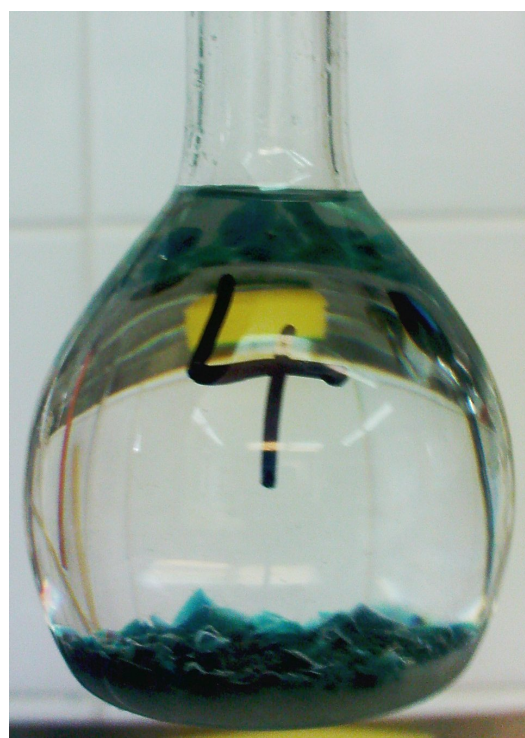
*Fotografie 1: Püda 1*



*Fotografie 2: Püda 2*



*Fotografie 3: Püda 3*



*Fotografie 4: Püda 4*



*Fotografie 5: Püda 5*



*Fotografie 6: Püda 6*



*Fotografie 7: Püda 7*



*Fotografie 8: Püda 8*





*Fotografie 9: Půda 9*



*Fotografie 10: Půda 10*



*Fotografie 11: Půda 11*



*Fotografie 12: Půda 12*

## Závěr a diskuse

V této bakalářské práci jsem se snažil najít souvislost mezi výtěžností extrakce nepolárních extrahovatelných látek při posuzování ropného znečištění metodou stanovení NEL (FTIR) a nějakým dalším ukazatelem charakteristickým pro typ půdy. Určení účinnosti extrakce NEL pro případ znečištění ropnými látkami není složité, pokud je k dispozici vzorek stejné půdy, který s jistotou ropné látky neobsahuje – to platí jak pro stanovení metodou FTIR, která používá jako extrakční činidlo především tetrachlorethylen, tak pro chromatografické stanovení, kde se nejčastěji používá k extrakci hexan.

Tento vzorek půdy však často není k dispozici, a proto je poté nutné odhadnout účinnost extrakce na základě vzhledu půdy a lokality, odkud vzorek pochází.

Tato situace se někdy řeší stanovením huminových látek, které je nicméně náročné na čas i techniku, a pak se toto množství odečte od stanovených NEL.

Výtěžnost extrakce, jako údaj pro výpočet obsahu NEL, může být číslo vyšší i nižší než 100 %.

1. Menší než 100 % je u půd, které dobře zadržují NEL, ale neobsahují velké množství organických látek (kupříkladu humusu, hnojiv apod.), které by se rozpouštědlem vyextrahovaly.
2. Větší než 100 % je u půd, které obsahují velké množství organických sloučenin, které se rozpouštědlem extrahují spolu s ropnými látkami. V tomto případě ale často dochází k dvojímu efektu – na jednu stranu jsou látky pocházející z ropné zátěže zadržovány přítomnými organickými látkami, které jsou pro daný typ půdy typické a rozpouštědlem se neextrahují a na druhou stranu se rozpouštědlem extrahují i některé látky neropného původu.
3. Velmi blízko 100 % jsou půdy, které ropné látky nezadržují a ani neobsahují organické látky, které by zvyšovaly výtěžnost extrakce.

Jako relativně jednoduchý parametr charakterizující půdu a ve velké míře určující její vlastnosti jsem navrhl takzvaný sorpční komplex. Přestože se jedná o „anorganický“ parametr, jeho hodnota spolu s množstvím organického materiálu roste. Vysoké hodnoty u tohoto parametru vykazují půdy bohaté na anorganické i organické živiny, stejně tak

jako nízké hodnoty poukazují na půdy chudé na živiny. Proto je sorpční komplex parametrem, který se uplatňuje v zemědělských laboratořích při posuzování kvality půdy z hlediska živin, stejně tak jako při posuzování schopnosti půdy tyto živiny zadržet.

Pro stanovení sorpčního komplexu existuje více metod, které poskytují rozdílné výsledky, nicméně jejich interpretace zůstává stejná.

Vzhledem k vybavení laboratoře jsem zvolil metodu konduktometrické titrace, která splňuje požadavky na jednoduchost, rychlost a cenu stanovení.

Kromě sorpčního komplexu se ukázal jako nadějný i parametr zbarvení roztoku po extrakci do rozpouštědla, respektive hodnota absorbance při vhodně zvolené vlnové délce v oblasti viditelného záření, v mém případě při vlnové délce 430 nm.

Tato práce rozsahem dovoluje pouze zmapování situace, odzkoušení metod v podmínkách této laboratoře a ověření, zda je předpoklad, že účinnost extrakce nepolárně extrahovatelných látek z půd závisí na výše uvedených parametrech. Výsledky, které prezentuji v této práci jsou proto jen předběžné, pro přesnější určení by bylo potřeba větší množství stanovení.

Některá zkrácení výsledků jsou nejspíše způsobena zjednodušeními při stanovení, která byla dána omezenými možnostmi laboratoře a časovým harmonogramem bakalářské práce.

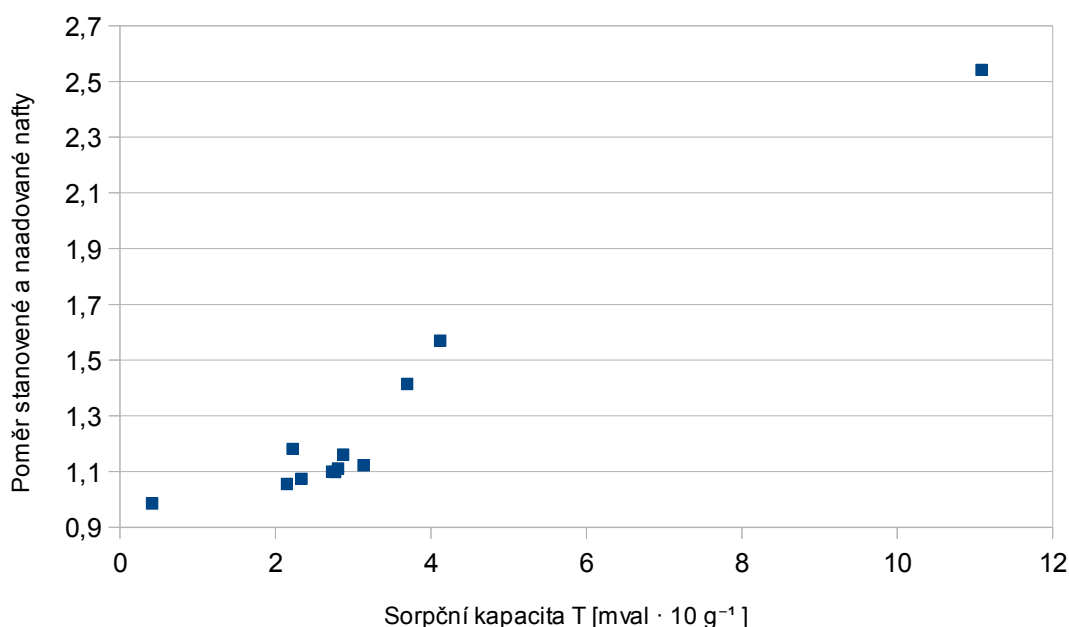
Velkou slabinou je nejspíše homogenizace a mletí vzorku půd. K této operaci je vhodný elektrický mixér s dostatečnou kapacitou a výkonem. Protože ale výsledek práce nebyl jednoznačný, upustilo se před ověřením správnosti hypotézy od nákupu. Homogenizace půd byla provedena ruční kvartací a vzorek byl poté rozetřen ve třecí misce, což v závislosti na typu půdy nemusí být zcela ideální postup.

Také některá stanovení na FTIR byla z časových důvodů uskutečněna až po vícedenním stání extraktů.

Pro další měření také doporučuji ověřit, zda-li na hodnotu konduktometricky stanovené sorpční kapacity nemá vliv přítomnost NEL v půdě. V mém případě jsem kapacitu stanovoval před přidáním nafty do vzorku půdy.

sorpční kapacita [mval · 10 g <sup>-1</sup> ]	naváženo [g · kg <sup>-1</sup> ]	stanoveno [g · kg <sup>-1</sup> ]	poměr
2,767	2,9866	3,2818	1,0988
2,148	3,2603	3,4422	1,0558
3,696	3,1067	4,3951	1,4147
3,135	3,0855	3,4636	1,1225
2,804	3,0193	3,3553	1,1113
4,118	3,0314	4,7586	1,5698
2,220	3,1858	3,7638	1,1814
2,730	2,9860	3,2838	1,0997
2,335	3,1775	3,4139	1,0744
2,871	3,1814	3,6937	1,1610
11,085	3,1398	7,9803	2,5416
0,412	3,2385	3,1936	0,9861

Tabulka 16: Poměr stanovené a navážené koncentrace a sorpční kapacity



Graf 4: Závislost stanoveného množství NEL na sorpční kapacitě

V tomto grafu je zobrazena závislost stanoveného množství NEL na maximální sorpční kapacitě jednotlivých půd. Množství NEL je určeno jako poměr mezi stanovenou hodnotou koncentrace NEL a naváženou hodnotou NEL.

Z grafu je patrná určitá závislost ve smyslu, že se vzrůstající maximální sorpční kapacitou vzrůstá stanovená hodnota NEL. Pro přesvědčivější závěr nicméně těchto dvanáct vzorků nepostačuje a bylo by potřeba shromáždit více dat, ať už co se vzorků týče, nebo co se týče opakování jednotlivých měření. Také by bylo potřeba upřesnit výsledky lepší homogenizací půd, jak již bylo naznačeno výše.

Závislost také komplikuje výše naznačený fakt, kdy proti sobě působí dva vlivy. První je, že ve vysoce humózní půdě jsou ropné látky zadržovány, a zároveň působí druhý vliv, tedy že se do organického rozpouštědla vyextrahuje i část huminových látek. To ostatně potvrzuje i srovnání slepého vzorku a vzorku s podílem nafty.

Z tohoto důvodu není ani příliš vhodné hledání matematického modelu k proložení těchto bodů, stejně tak jako se nastoluje otázka, zda bod [2,220 ; 1,181] není odlehlý. Stejně tak o bodu [11,085 ; 2,542] nelze kvůli jeho vzdálenosti říci, zda by do případného matematického modelu zapadl. K tomuto určení by bylo zapotřebí většího množství vzorků, které by měly hodnoty maximální sorpční kapacity mezi tímto bodem a nejbližším nižším bodem.

Závislost výtěžnosti extrakce na absorbanci se v této fázi neprokázala, ačkoliv se při pohledu na vzorky nabízela. Otázkou je, zdali by se závislost prokázala při zlepšené homogenizaci vzorků, či při případné jiné vlnové délce měření.

Závěrem lze tedy říci, že směr určení výtěžnosti extrakce za pomoci stanovení kapacit je nadějný, nicméně pro potvrzení závislosti jsou potřeba další měření a jejich případné zpřesnění. Tato bakalářská práce nicméně napomohla k vypracování metodiky pro další zkoumání ve smyslu odzkoušení metod.

## Seznam použitých zdrojů

CONTRERAS, C, G DE LA ROSA, J PERALTAVIDEA, J GARDEATORRESDEY, Masahide SASAKI, Shigeki FUKUCHI a Tsutomu SATO. 2006. *Lead adsorption by silica-immobilized humin under flow and batch conditions: Assessment of flow rate and calcium and magnesium interference*. *Journal of Hazardous Materials* [online]. roč. 133, s. 79-84 [cit. 2012-03-15]. ISSN 03043894. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.09.059. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389405006291>

*Conversion Factors*. Karrasch & Eckert: Gesellschaft für Wassertechnologie [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: [http://www.karrasch-eckert.de/wissen/umrechnung\\_en.html](http://www.karrasch-eckert.de/wissen/umrechnung_en.html)

CURRENT, Robert W a David C. TILOTTA. 1997. *Determination of total petroleum hydrocarbons in soil by on-line supercritical fluid extraction-infrared spectroscopy using a fiberoptic transmission cell and a simple filter spectrometer*, *Journal of chromatography* [online]. s. 269-277 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0021-9673. PII S0021-9673(97)00466-4. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967397004664>

ČERMÁKOVÁ, Ludmila et al. 1980. *Analytická chemie I*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 320 s.

ČESKÁ PEDOLOGICKÁ SPOLEČNOST. *Stanovení sorpčních charakteristik půdy*. [online] [cit. 2011-04-21] Dostupné z: [http://www.pedologie.cz/postupy/rozbory/sorpcni\\_charakteristiky.pdf](http://www.pedologie.cz/postupy/rozbory/sorpcni_charakteristiky.pdf)

FIALA, Karel a Jana KRHOVJÁKOVÁ. 2009. *Metodické postupy a zásady vyhodnocování chemických parametrů půd pod trvalými travními porosty*. Rapotín: Agrovýzkum Rapotín, 56 s. ISBN 978-80-260-0707-4.

HARTONEN, Kari, Soren BOWADT, Hans Peter DYBDAHL, Kerstin NYLUND, Sune SPORRING, Hanne LUND a Froydis ORELD. 2002. *Nordic laboratory intercomparison of supercritical fluid extraction for the determination of total petroleum hydrocarbon, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil*. *Journal of chromatography* [online]. s. 239-248 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0021-9673. PII: S0021-9673(02)00401-6. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967302004016>

HOHENBERGER, Eleonore. 1999. *Půda, kompost, hnojení: klíčem k prospívající zahradě je správná péče o půdu*. Vyd. 1. Praha: Balios, 80 s. Praktická knihovnička pro zahrádkáře. ISBN 80-242-0032-5.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. *Stanovení maximální sorpční kapacity T konduktometricky dle Sandhofa*. [online] [cit. 2011-04-21] dostupné z: [http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/pu/skripta\\_geologie/web\\_cviceni/ls/cvic-03-04\\_ls.pdf](http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/pu/skripta_geologie/web_cviceni/ls/cvic-03-04_ls.pdf)

KHANMOHAMMADI, Mohammadreza, Amir Bagheri GARMARUDI, Amir Bagheri GARMARUDI a Miguel DE LA GUARDIA. 2012. *Characterization of petroleum-based products by infrared spectroscopy and chemometrics. TrAC Trends in Analytical Chemistry* [online]. s. - [cit. 2012-03-27]. ISSN 01659936. DOI: 10.1016/j.trac.2011.12.006. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993612000581>

KOLLER J., J. BINDZAR, J. BÍŽOVÁ a V. JANDA, 2005. In: *Sborník 1, konference HYDROANALYTIKA 2005*. [online] Praha: CSLab, s. 97-107 [cit. 2012-03-20] ISBN 80-239-5479-2. Dostupné z: <http://www.hydroanalytika.cz/Download/Sbornik-Hydroanalytika-2005.pdf>

KVASNICOVÁ, Vladimíra. *Chemické výpočty*. Univerzita Karlova - 3. lékařská fakulta. [online] Dostupné z: [old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/kruhy/1\\_rocnik/kruh\\_8/vypocty\\_web1.ppt](http://old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/kruhy/1_rocnik/kruh_8/vypocty_web1.ppt)

LIANG, Shijiang a David C. TILOTTA. 2003. *Determination of total petroleum hydrocarbons in soil by dynamic on-line supercritical fluid extraction with infrared photometric detection Journal of chromatography* [online]. s. 319-325 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0021-9673. PII: S0021-9673(02)01917-9. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967302019179>

LIAO, Kai-hua, Shao-hui XU, Ji-chun WU, Shu-hua JI a Qing LIN. 2011. *Cokriging of Soil Cation Exchange Capacity Using the First Principal Component Derived from Soil Physico-Chemical Properties. Agricultural Sciences in China* [online]. roč. 10, č. 8, s. 1246-1253 [cit. 2012-03-14]. ISSN 16712927. DOI: 10.1016/S1671-2927(11)60116-8. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1671292711601168>

LUND, H.S., B. BERG, E. DE PAUW, G. EPPE a M CHTAĪB. 1999. *DEVELOPMENT OF A NEW HYDROCARBON INDEX FOR OIL-IN-WATER*. *Chemosphere* [online]. č. 15, s. 2702-2722 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0045-6535. PII: S0045-6535(99)00205-2. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653599002052>

*Metodický pokyn odboru ekologických škod MŽP k řešení problematiky stanovení indikátoru možného znečištění ropnými látkami při sanacích kontaminovaných míst*. 2008. [online] [cit.2012-03-10]Dostupné z: [http://www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky\\_ekologicke\\_zateze/\\$FILE/vestnik\\_3-2008\\_3%20metod%20pokyn.pdf](http://www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/vestnik_3-2008_3%20metod%20pokyn.pdf).

MORSELLI, L., L. SETTI, A. IANNUCILLI, S. MALY, G. DINELLI a G. QUATTRONI. 1999. *Supercritical fluid extraction for the determination of petroleum hydrocarbons in soil*. *Journal of chromatography* [online]. s. 357-363 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0021-9673. PII: S0021-9673(99)00326-X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002196739900326X>

OKABE, Ryo, Akitaka MIURA, Masami FUKUSHIMA, Motoki TERASHIMA, Masahide SASAKI, Shigeki FUKUCHI a Tsutomu SATO. 2011, *Characterization of an adsorbed humin-like substance on an allophanic soil formed via catalytic polycondensation between catechol and glycine, and its adsorption capability to pentachlorophenol*. *Chemosphere* [online]. roč. 83, č. 11, s. 1502-1506 [cit. 2012-03-15]. ISSN 00456535. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.01.053. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511000932>

PIVOKONSKÝ, Martin et al. 2010. *ÚPRAVA VODY S OBSAHEM HUMINOVÝCH LÁTEK*. *Chemické listy* [online]. Praha: Česká společnost chemická, roč. 104, č. 11 [cit. 2012-01-15]. ISSN 0009-2770. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_11\\_1015-1022.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_11_1015-1022.pdf)

POKORNÝ, Eduard et al. *Půdní sorpční komplex a jeho vlastnosti: vybrané kapitoly z metodiky*. [online]. [cit. 2011-04-21]. Dostupné z: [http://www.agrokrom.cz/texty/Obilnarske\\_listy/Pokorny\\_Pudni\\_sorpcni\\_komplex\\_20026.pdf](http://www.agrokrom.cz/texty/Obilnarske_listy/Pokorny_Pudni_sorpcni_komplex_20026.pdf)

RICHTER, Bruce E. 2000. *Extraction of hydrocarbon contamination from soils using accelerated solvent extraction*, *Journal of chromatography* [online]. s. 217-224 [cit. 2012-03-27]. ISSN 0021-9673. PII: S0021-9673(00)00073-X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002196730000073X>



SAMEŠOVÁ, Dagmar a Juraj LADOMERSKÝ. 2006. *Výskyt a stanovenie ropných látok v povrchových vodách. Životné prostredie : revue pre teóriu a tvorbu životného prostredia*. Bratislava : Ústav krajinnej ekológie SAV, ISSN 0044-4863. Roč. 40, č. 2 (2006), s. 84-87.

SAMEŠOVÁ, Dagmar. 2007. *Spektrálne stanovenia NEL, skúsenosti s využitím rôznych rozpúšťadiel*. VEGA 1/2418/05. Ekológia a environmentalistika 2007 : medzinárodná vedecká konferencia k 15. výročiu založenia Fakulty ekológie a environmentalistiky TU vo Zvolene a 55. výročiu vzniku Technickej univerzity vo Zvolene. Partner. ISBN 978-80-89183-33-3. s. 341-348.

SÁŇKA, Milan a Jan MATERNA. 2004. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, XII, Planeta 11/2004. ISSN 1213-3393.

TANG, Jingchun, Xueqiang LU, Qing SUN a Wenyong ZHU. 2012. *Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation conditions*. *Agriculture, Ecosystems* [online]. roč. 149, s. 109-117 [cit. 2012-03-27]. ISSN 01678809. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.020. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880912000047>

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. *Stanovení nepolárních extrahovatelných látek (NEL) v půdě po extrakci*. [online] [cit. 2012-03-10] Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/files/achzp-6.pdf>

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI. *Stanovení nepolárních extrahovatelných látek (NEL)*. [online] [cit. 2012-01-15] Dostupné z: [http://uiozp.ft.utb.cz/studmat/2010210144740/Stanoven%C3%AD\\_NEL\\_n%C3%A1vod.pdf](http://uiozp.ft.utb.cz/studmat/2010210144740/Stanoven%C3%AD_NEL_n%C3%A1vod.pdf)

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. *Stanovení NEL ve vodném prostředí na plynovém chromatografu s detekcí plamenově-ionizačním detektorem*. [online] [cit. 2012-01-15] Dostupné z: [http://www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/instituty-a-pracoviste/cs/okruhy/546/studijni-materialy/Navody\\_k\\_praktiku.pdf](http://www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/instituty-a-pracoviste/cs/okruhy/546/studijni-materialy/Navody_k_praktiku.pdf)

VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *EL, NEL, C10-C40*. [online] [cit. 2012-03-10] Dostupné z: <http://www.primat.cz/vscht/predmety/specialni-metody-v-analytice-vody-q37006/el-nel-c10-c40-m116502/nelzestahnout/#primat>

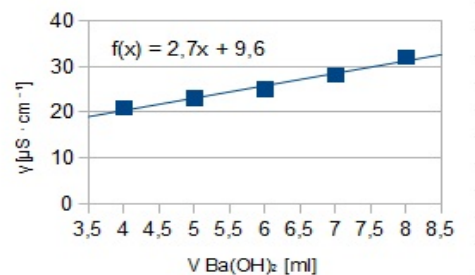
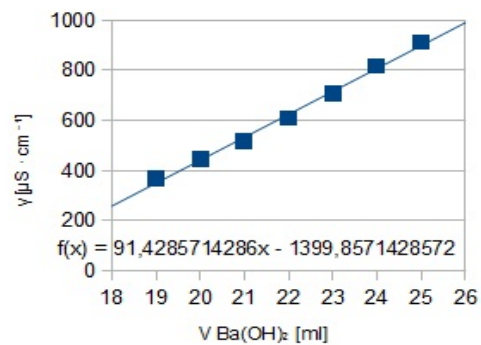
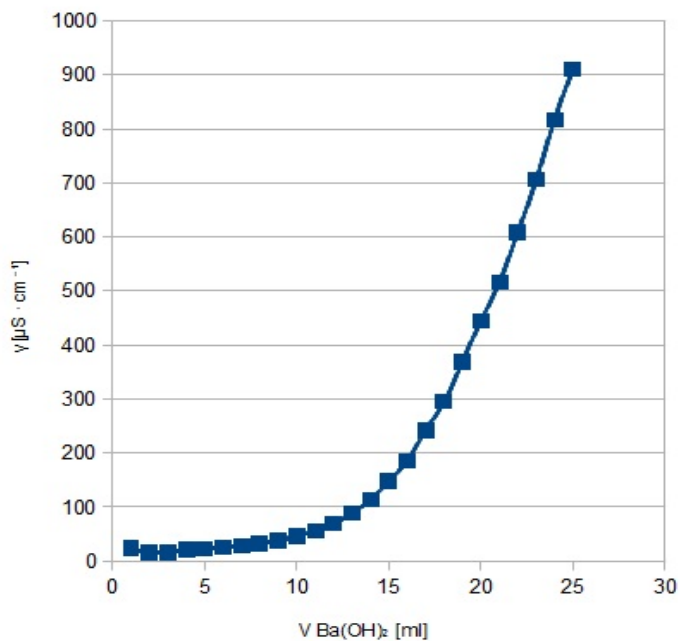
WANG, Wentao, Bingjun MENG, Xiaoxia LU, Yu LIU a Shu TAO. 2007. *Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides from soils: A comparison between Soxhlet extraction, microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction techniques*. *Analytica Chimica Acta* [online]. roč. 602, č. 2, s. 211-222 [cit. 2012-03-29]. ISSN 00032670. DOI: 10.1016/j.aca.2007.09.023. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267007015607>

## Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka - Půda 1.....	52
Příloha 2: Graf – půda 1, vzorek 2.....	53
Příloha 3: Graf – půda 1, vzorek 3.....	54
Příloha 4: Tabulka – Půda 2.....	55
Příloha 5: Graf – půda 2, vzorek 1.....	56
Příloha 6: Graf – půda 2, vzorek 2.....	57
Příloha 7: Graf – půda 2, vzorek 3.....	58
Příloha 8: Graf – půda 2, vzorek 4.....	59
Příloha 9: Tabulka – Půda 3.....	60
Příloha 10: Graf – půda 3, vzorek 1.....	61
Příloha 11: Graf – půda 3, vzorek 2.....	62
Příloha 12: Graf – půda 3, vzorek 3.....	63
Příloha 13: Tabulka – Půda 4.....	64
Příloha 14: Graf – půda 4, vzorek 1.....	65
Příloha 15: Graf – půda 4, vzorek 2.....	66
Příloha 16: Graf – půda 4, vzorek 3.....	67
Příloha 17: Tabulka – Půda 5.....	68
Příloha 18: Graf – půda 5, vzorek 1.....	69
Příloha 19: Graf – půda 5, vzorek 2.....	70
Příloha 20: Graf – půda 5, vzorek 3.....	71
Příloha 21: Tabulka – Půda 6.....	72
Příloha 22: Graf – půda 6, vzorek 1.....	73
Příloha 23: Graf – půda 6, vzorek 2.....	74
Příloha 24: Graf – půda 6, vzorek 3.....	75
Příloha 25: Tabulka – Půda 7.....	76
Příloha 26: Graf – půda 7, vzorek 1.....	77
Příloha 27: Graf – půda 7, vzorek 2.....	78
Příloha 28: Graf – půda 7, vzorek 3.....	79
Příloha 29: Tabulka – Půda 8.....	80
Příloha 30: Graf – půda 8, vzorek 1.....	81
Příloha 31: Graf – půda 8, vzorek 2.....	82
Příloha 32: Graf – půda 8, vzorek 3.....	83
Příloha 33: Tabulka – Půda 9.....	84
Příloha 34: Graf – půda 9, vzorek 1.....	85
Příloha 35: Graf – půda 9, vzorek 2.....	86
Příloha 36: Graf – půda 9, vzorek 3.....	87
Příloha 37: Graf – půda 9, vzorek 4.....	88
Příloha 38: Tabulka – Půda 10.....	89
Příloha 39: Graf – půda 10, vzorek 1.....	90
Příloha 40: Graf – půda 10, vzorek 2.....	91
Příloha 41: Graf – půda 10, vzorek 3.....	92
Příloha 42: Tabulka – Půda 11.....	93
Příloha 43: Graf – půda 11, vzorek 1.....	94
Příloha 44: Graf – půda 11, vzorek 2.....	95
Příloha 45: Graf – půda 11, vzorek 3.....	96
Příloha 46: Tabulka – Půda 12.....	97
Příloha 47: Graf – půda 12, vzorek 1.....	98
Příloha 48: Graf – půda 12, vzorek 2.....	99
Příloha 49: Graf – půda 12, vzorek 3.....	100

půda vzorek	1		
	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0488	0,0488	0,0488
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,4625	5,5647	5,407
1	19	24	21
2	14	16	15
3	15	16	18
4	19	21	21
5	22	23	23
6	24	25	25
7	27	28	30
8	30	32	36
9	34	38	45
10	40	46	55
11	47	56	69
12	54	69	88
13	67	89	118
14	83	113	146
15	106	148	188
16	131	186	238
17	160	242	283
18	208	295	346
19	257	369	422
20	311	445	497
21	383	516	581
22	454	608	664
23	527	706	757
24	603	817	856
25	694	911	957
spotřeba	16,171	15,885	14,542
kapacita	28,89	27,86	26,25

*Příloha 1: Tabulka - Půda 1*



Příloha 2: Graf – půda 1, vzorek 2

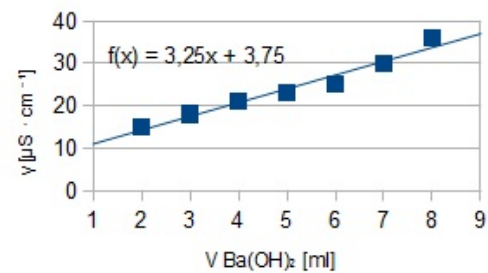
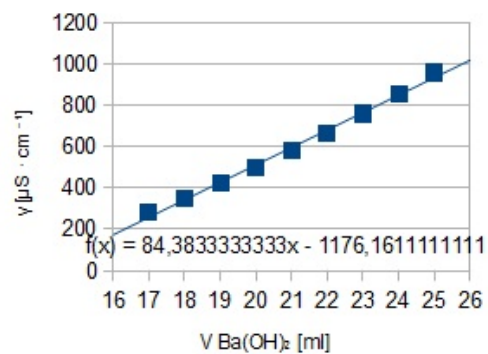
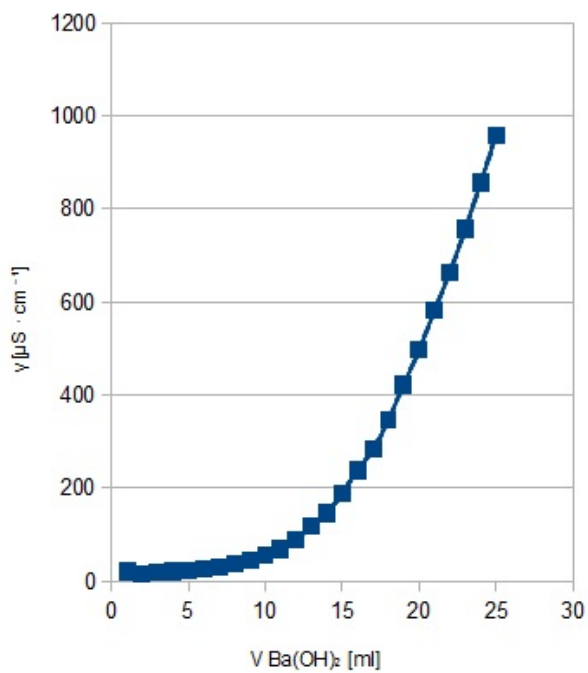
Stejně jako v prvním případě jsem postupoval i u ostatních půd.

$$p = 91,4285714286 x - 1399,8571428572$$

$$q = 2,7 x + 9,6$$

$$x = 15,885$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{15,885 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,5647} = 27,86 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 3: Graf – půda 1, vzorek 3

$$p = 84,3833333333 x - 1176,1611111111$$

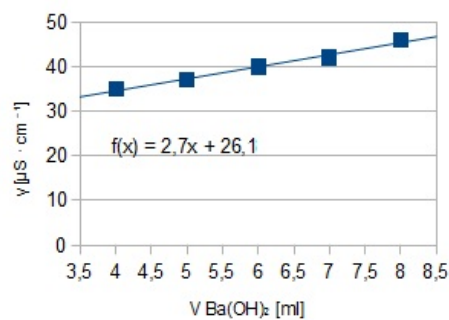
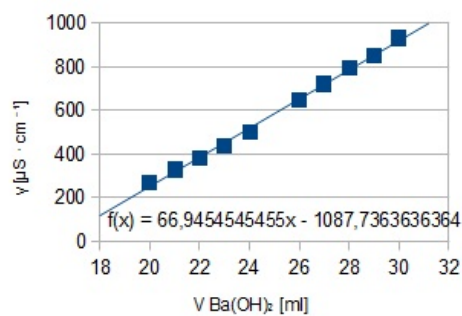
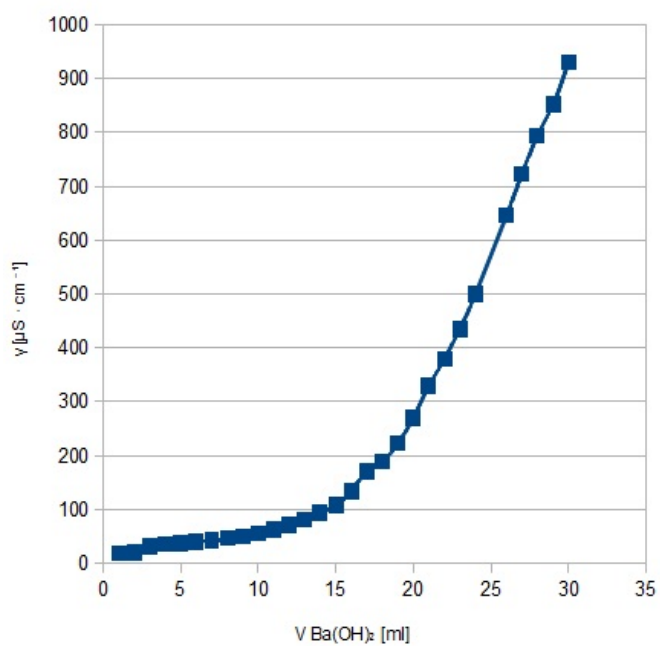
$$q = 3,25 x + 3,75$$

$$x = 14,542$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{14,542 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,407} = 26,25 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	2			
vzorek	1	2	3	4
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0371	0,0371	0,0371	0,0256
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	6,1192	5,9918	6,0179	6,0298
1	19	19	32	25
2	20	22	28	19
3	31	31	38	19
4	35	35	44	20
5	37	38	47	23
6	40	41	51	26
7	42	44	55	30
8	46	48	62	31
9	50	53	74	33
10	55	59	85	34
11	62	67	102	36
12	71	77	123	37
13	81	91	164	39
14	94	105	182	41
15	108	123	218	43
16	134	139	255	45
17	170	169	307	48
18	189	203	353	50
19	223	250	419	53
20	270	301	474	57
21	329	348	517	60
22	379	403	558	64
23	435	457	610	69
24	500	511	660	72
25		568	720	75
26	646	648	781	81
27	723	721	848	87
28	794	766	915	93
29	852	822	999	101
30	931	881	1045	108
31				118
32				127
33				140
34				151
35				163
36				181
37				198
38				216
39				236
40				253
41				
42				286
43				312
44				336
45				362
46				388
47				417
49				448
50				477
spotřeba	17,337	16,564	13,032	33,36
kapacita	21,02	20,51	16,07	28,33

Příloha 4: Tabulka – Půda 2



Příloha 5: Graf – půda 2, vzorek 1

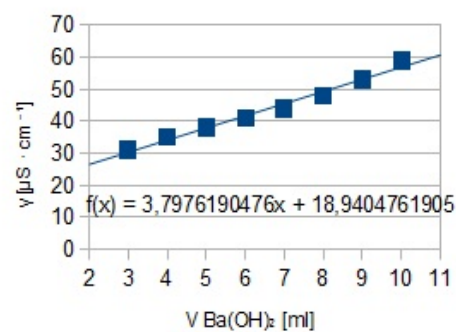
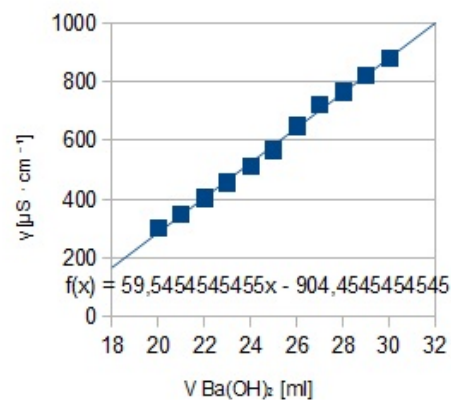
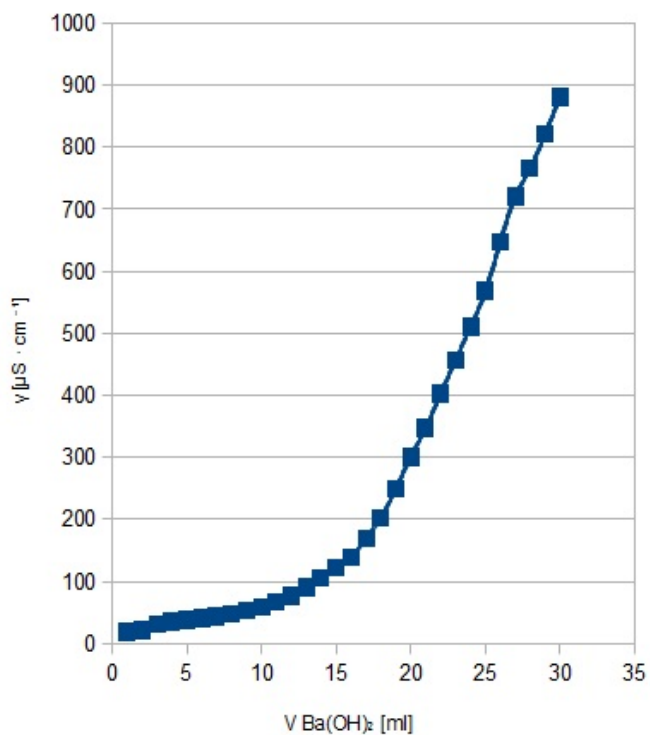
$$p = 66,9454545455 x - 1087,7363636364$$

$$q = 2,7 x + 26,1$$

$$x = 17,337$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{17,337 \cdot 0,0371 \cdot 200}{6,1192} = 21,02 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$





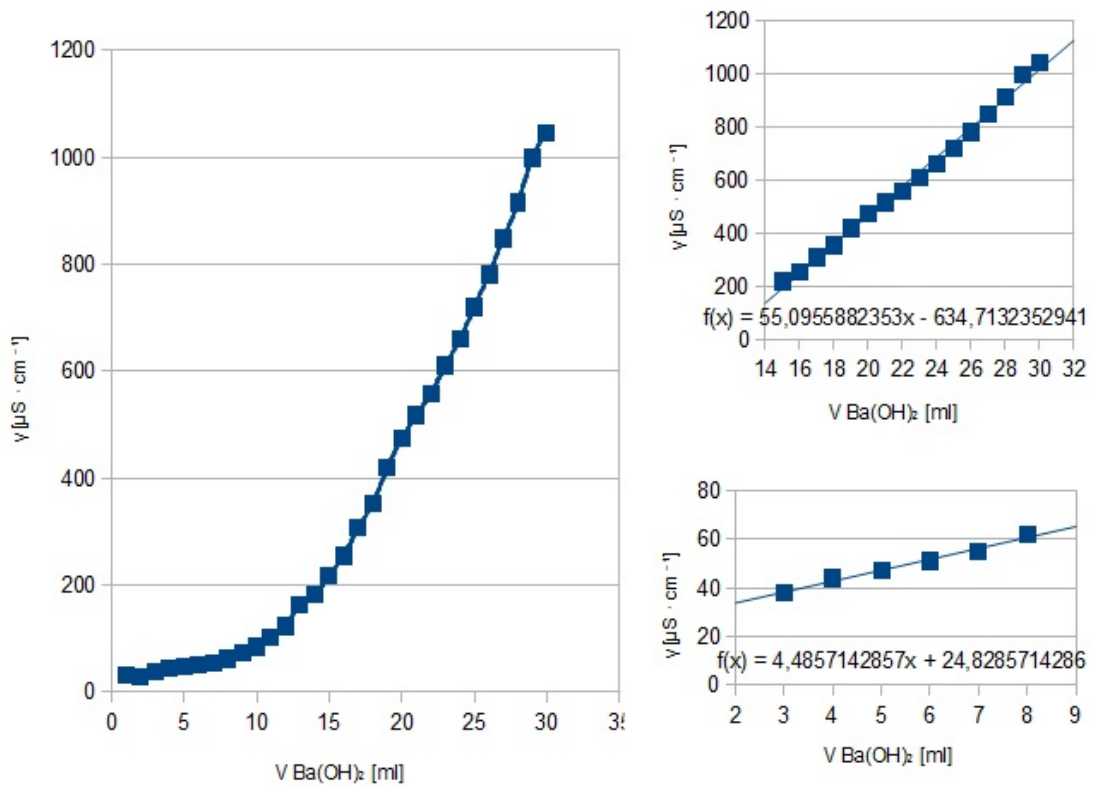
Příloha 6: Graf – půda 2, vzorek 2

$$p = 59,5454545455 x - 904,4545454545$$

$$q = 3,7976190476 x + 18,9404761905$$

$$x = 16,564$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{16,564 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,9918} = 20,51 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



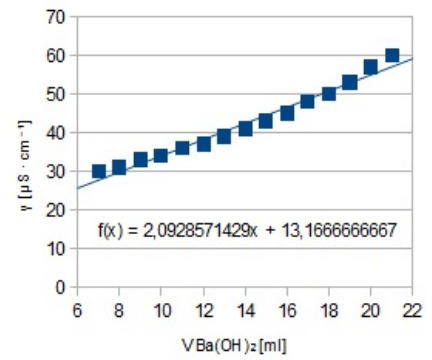
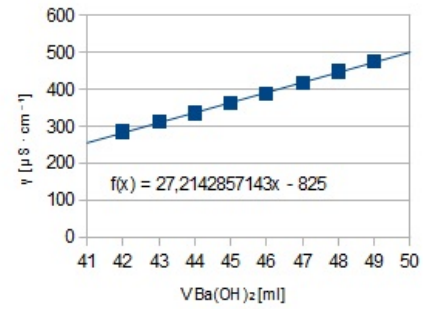
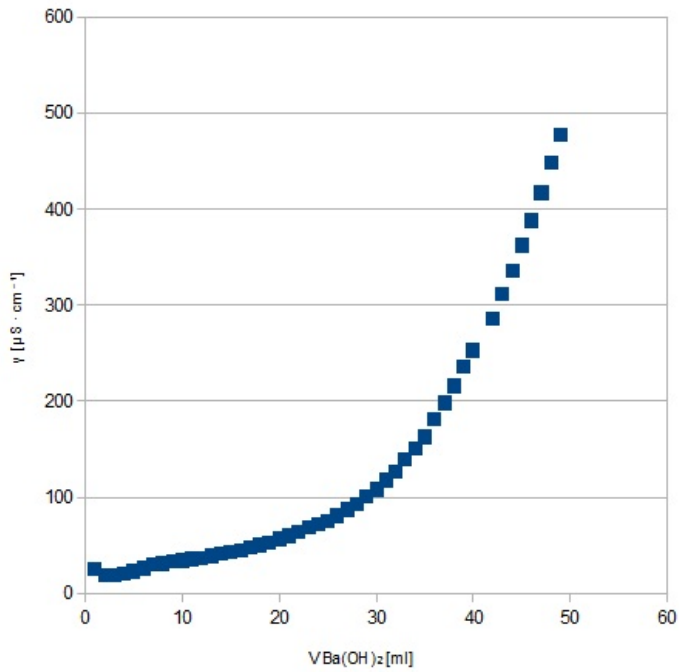
Příloha 7: Graf – půda 2, vzorek 3

$$p = 55,0955882353 x - 634,7132352941$$

$$q = 4,4857142857 x + 24,8285714286$$

$$x = 13,032$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{13,032 \cdot 0,0371 \cdot 200}{6,0179} = 16,07 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 8: Graf – půda 2, vzorek 4

$$p = 27,2142857143x - 825$$

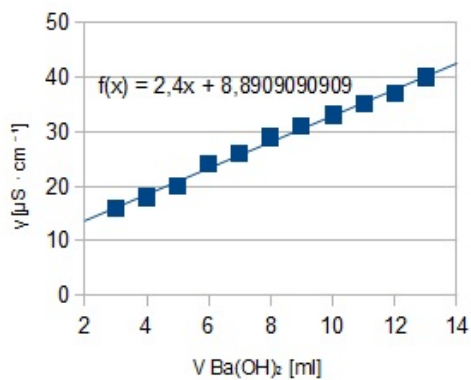
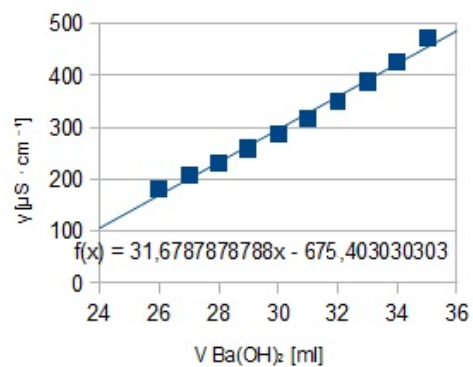
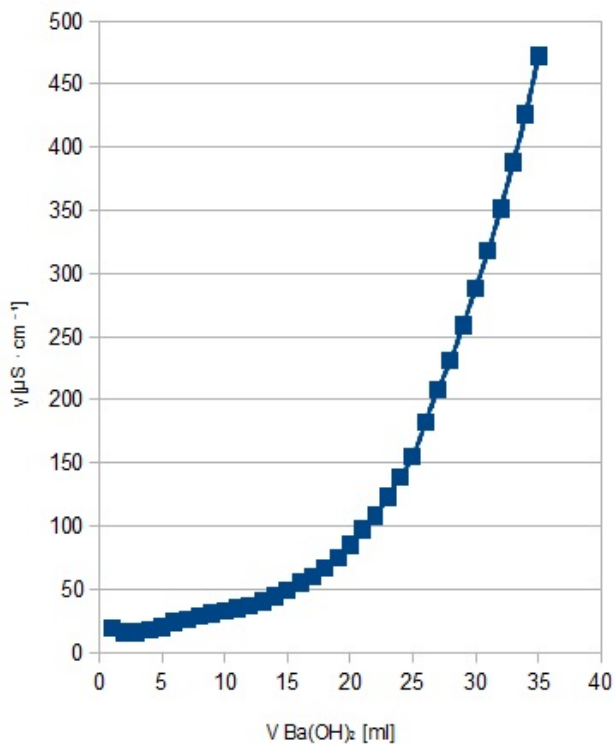
$$q = 2,0928571429x + 13,1666666667$$

$$x = 33,36$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{33,36 \cdot 0,0256 \cdot 200}{6,0298} = 28,33 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	3		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0371	0,0371	0,0371
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	4,6412	4,7006	4,6871
1	19	22	22
2	16	16	16
3	16	15	16
4	18	15	18
5	20	17	20
6	24	20	23
7	26	23	25
8	29	26	28
9	31	29	29
10	33	30	31
11	35	32	32
12	37	34	34
13	40	37	38
14	44	41	40
15	49	47	45
16	55	53	48
17	60	59	54
18	67	64	60
19	75	72	68
20	85	84	78
21	97	95	91
22	108	109	97
23	123	124	108
24	139	142	122
25	155	160	
26	182	187	157
27	208	212	175
28	231	236	197
29	259	266	224
30	288	300	245
31	318	340	271
32	351	383	300
33	388	418	327
34	426	459	364
35	472	504	398
spotřeba	23,37	23,74	22,77
kapacita	37,36	37,47	36,05

*Příloha 9: Tabulka – Půda 3*



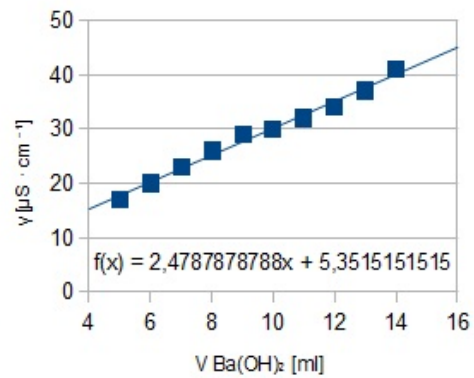
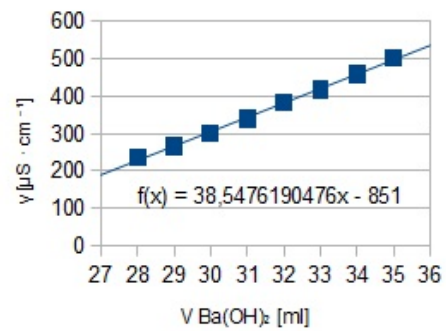
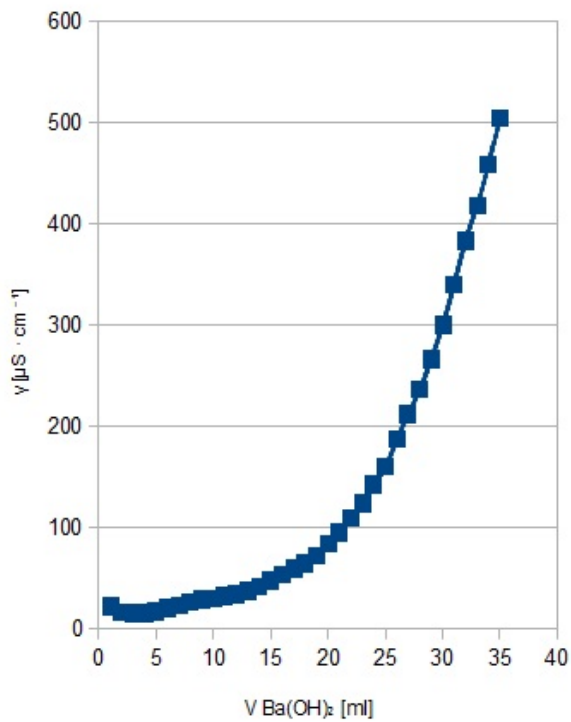
*Příloha 10: Graf – půda 3, vzorek 1*

$$p = 31,6787878788x - 675,403030303$$

$$q = 2,4x + 8,8909090909$$

$$x = 23,37$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{23,37 \cdot 0,0371 \cdot 200}{4,6412} = 37,36 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



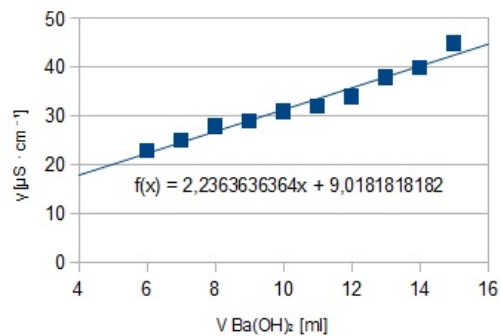
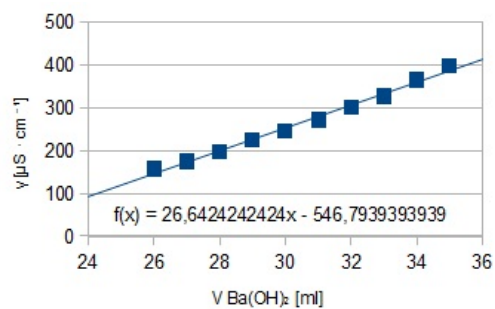
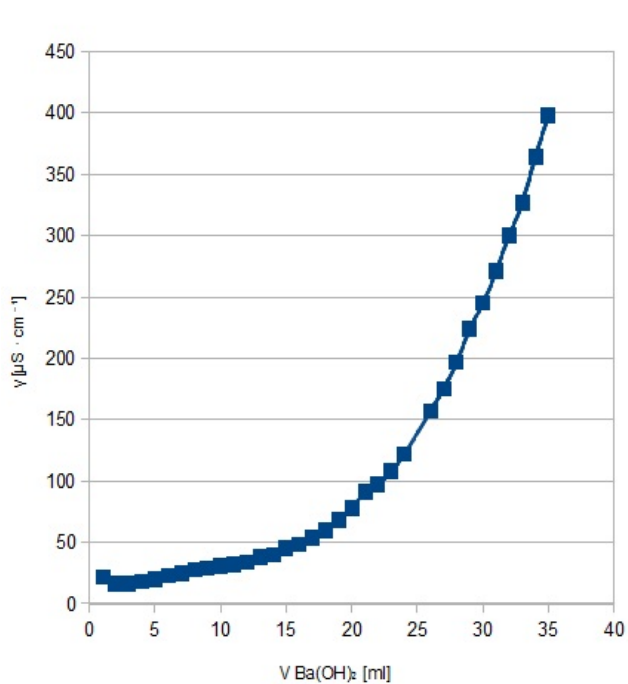
Příloha 11: Graf – půda 3, vzorek 2

$$p = 38,5476190476x - 851$$

$$q = 2,4787878788x + 5,3515151515$$

$$x = 23,74$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{23,74 \cdot 0,0371 \cdot 200}{4,7006} = 37,47 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 12: Graf – půda 3, vzorek 3

$$p = 26,6424242424x - 546,7939393939$$

$$q = 2,2363636364x + 9,0181818182$$

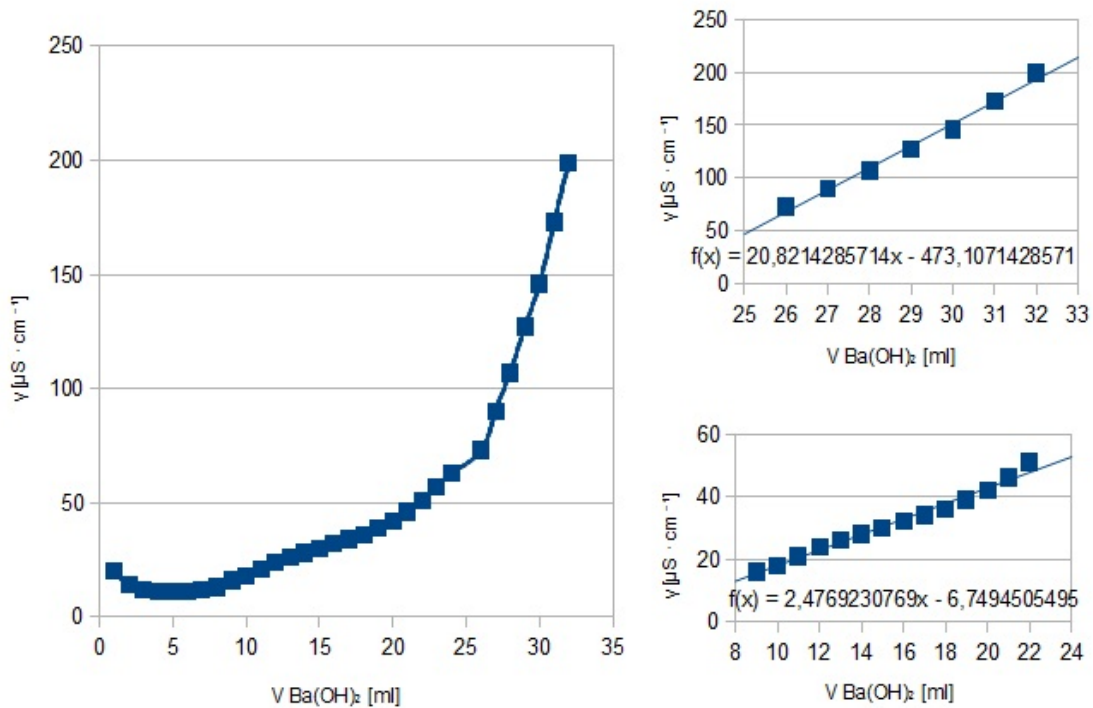
$$x = 22,77$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{22,77 \cdot 0,0371 \cdot 200}{4,6871} = 36,05 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	4		
	1	2	3
vzorek			
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0488	0,112	0,112
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	7,6048	7,9258	7,7621
1	20	13	14
2	14	12	18
3	12	18	24
4	11	24	31
5	11	28	38
6	11	34	50
7	12	45	76
8	13	59	105
9	16	81	145
10	18	118	211
11	21	173	284
12	24	251	377
13	26	343	504
14	28	441	662
15	30	605	812
16	32	768	978
17	34		
18	36		
19	39		
20	42		
21	46		
22	51		
23	57		
24	63		
25			
26	73		
27	90		
28	107		
29	127		
30	146		
31	173		
32	199		
spotřeba	25,422	11,229	10,289
kapacita	32,63	31,74	29,69

*Príloha 13: Tabulka – Půda 4*





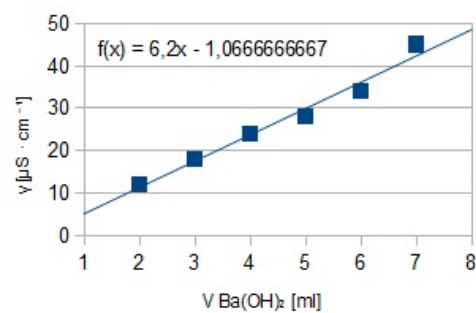
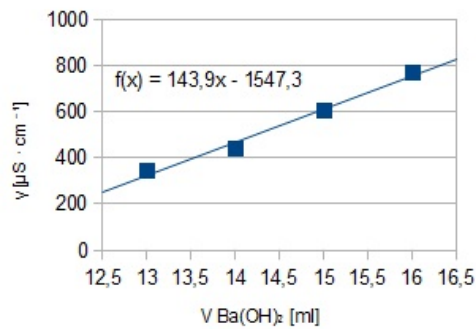
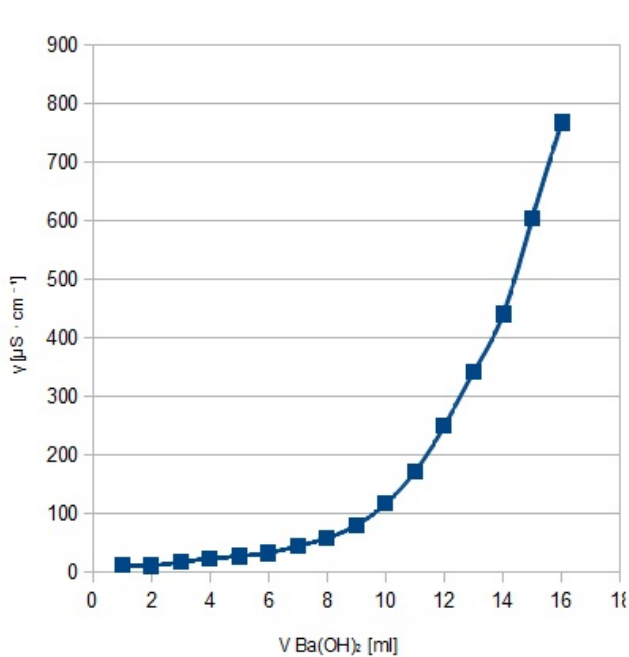
Příloha 14: Graf – půda 4, vzorek 1

$$p = 20,8214285714x - 473,1071428571$$

$$q = 2,4769230769x - 6,7494505495$$

$$x = 25,422$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{23,37 \cdot 0,0488 \cdot 200}{7,6048} = 32,63 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



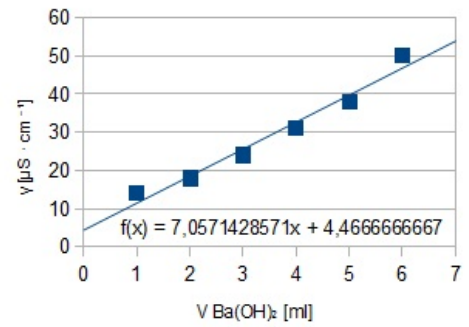
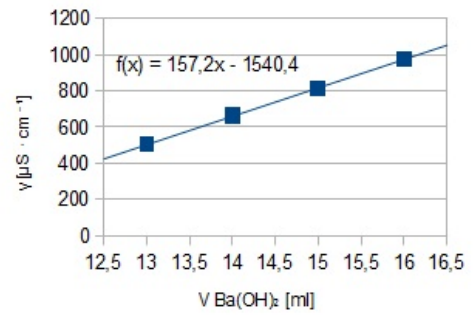
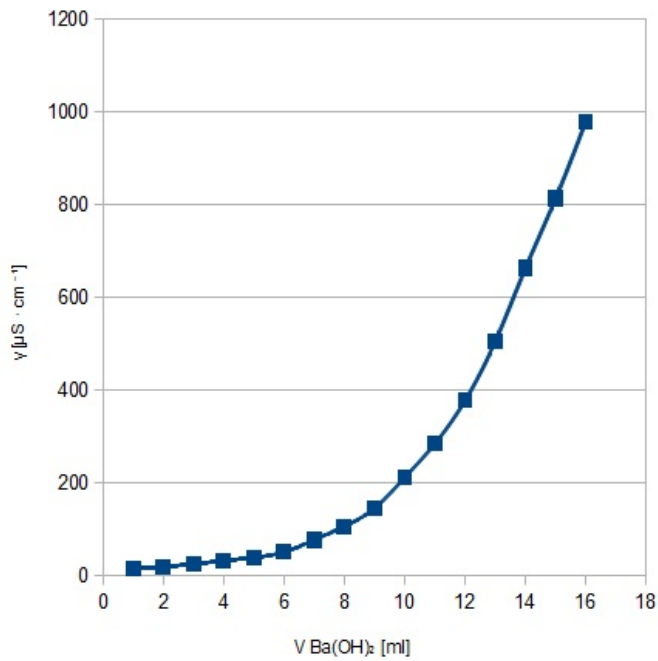
Příloha 15: Graf – půda 4, vzorek 2

$$p = 143,9x - 1547,3$$

$$q = 6,2x - 1,066666667$$

$$x = 11,229$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{11,229 \cdot 0,112 \cdot 200}{7,9258} = 31,74 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 16: Graf – půda 4, vzorek 3

$$p = 157,2x - 1540,4$$

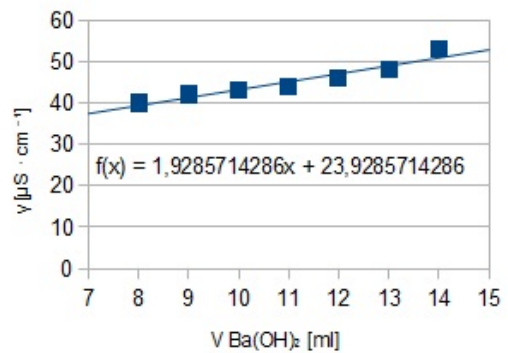
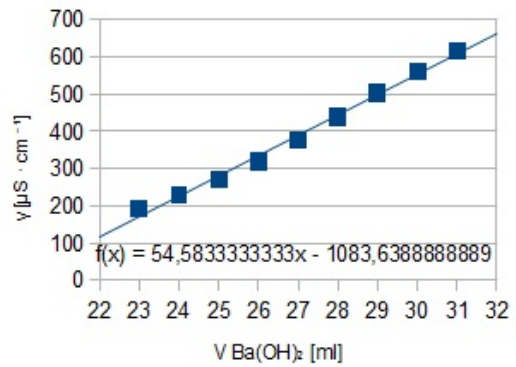
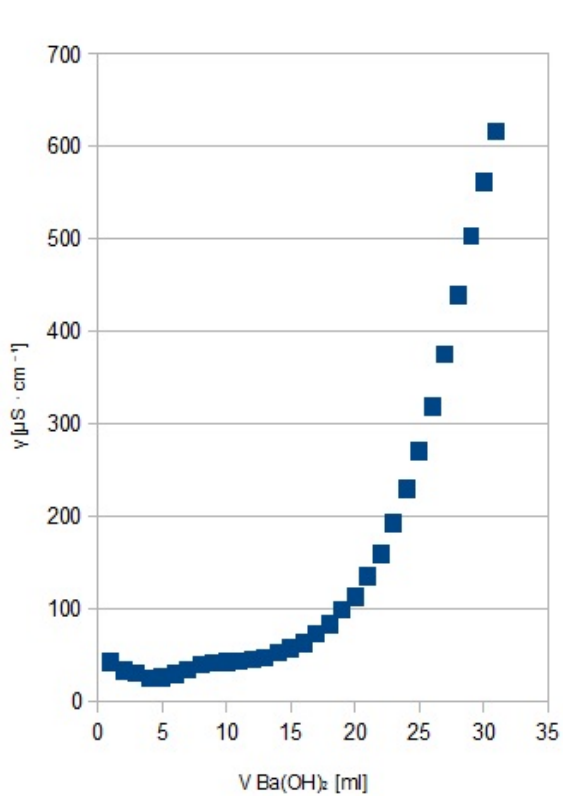
$$q = 7,0571428571x + 4,4666666667$$

$$x = 10,289$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{10,289 \cdot 0,112 \cdot 200}{7,7621} = 29,69 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	5		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0371	0,0371	0,0371
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,3487	5,5997	5,4875
1	43	36	45
2	34	29	33
3	31	27	31
4	26	29	34
5	27	34	40
6	30	41	47
7	35	46	50
8	40	49	52
9	42	50	53
10	43	51	56
11	44	53	60
12	46	55	65
13	48	61	73
14	53	63	86
15	58	71	96
16	64	79	107
17	74	75	123
18	84	83	144
19	100	92	171
20	114	105	192
21	136	116	218
22	160	133	251
23	193	150	297
24	230		336
25	271	216	384
26	319	249	448
27	376	282	490
28	440	330	547
29	504	368	607
30	562	423	677
31	616	473	750
spotřeba	21,03	22,113	18,96
kapacita	29,17	29,30	25,64

*Příloha 17: Tabulka – Půda 5*



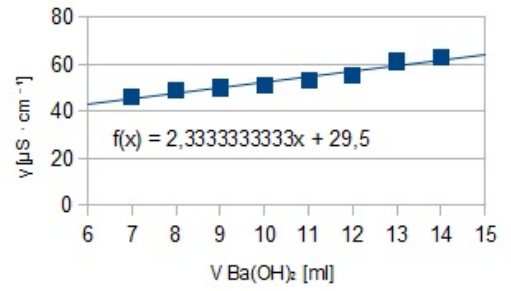
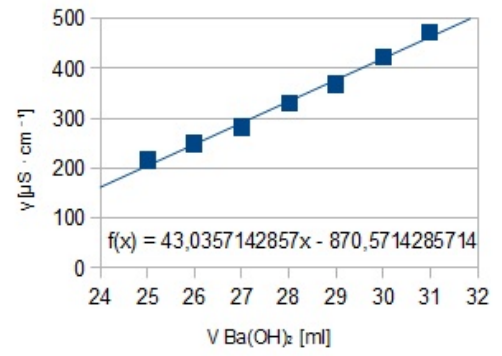
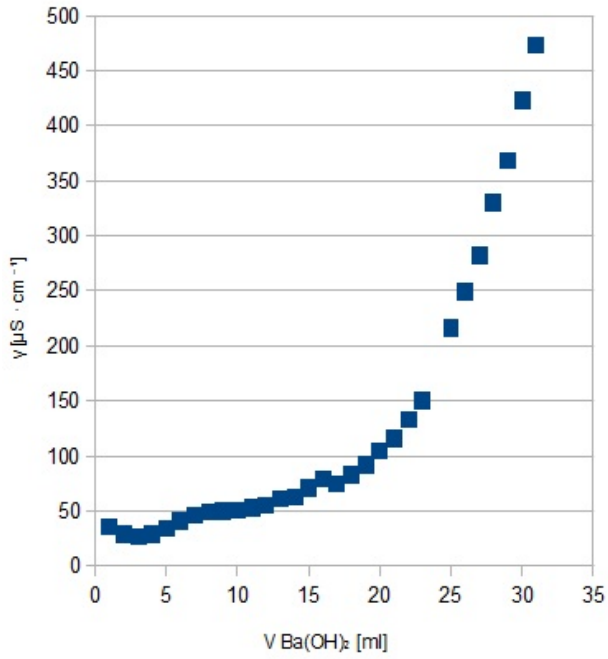
Příloha 18: Graf – pŮda 5, vzorek 1

$$p = 54,5833333333x - 1083,6388888889$$

$$q = 1,9285714286x + 23,9285714286$$

$$x = 21,03$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{21,03 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,3487} = 29,17 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



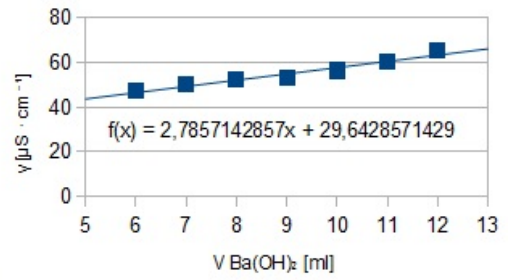
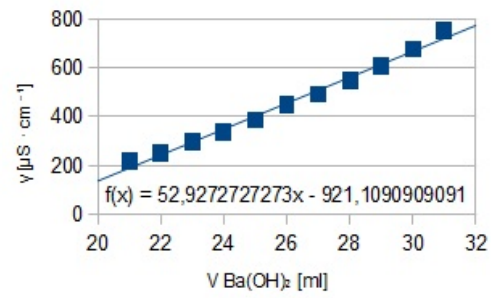
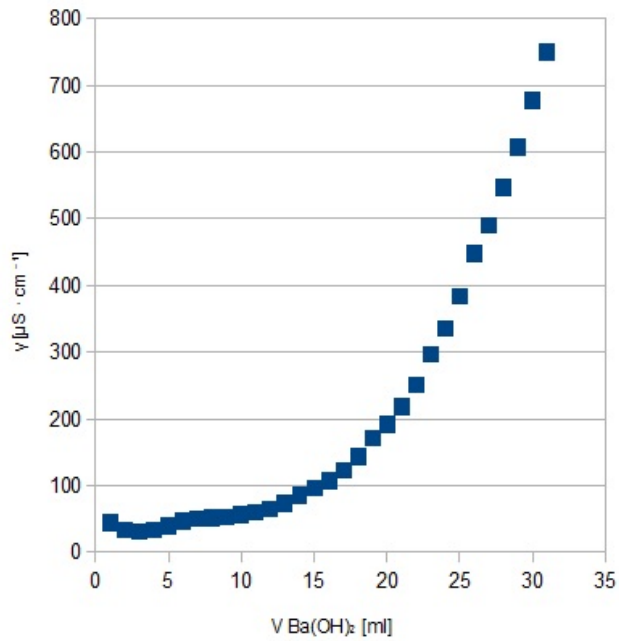
Příloha 19: Graf – půda 5, vzorek 2

$$p = 43,0357142857x - 870,5714285714$$

$$q = 2,3333333333x + 29,5$$

$$x = 22,113$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{22,113 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,5997} = 29,30 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 20: Graf – půda 5, vzorek 3

$$p = 52,9272727273x - 921,1090909091$$

$$q = 2,7857142857x + 29,6428571429$$

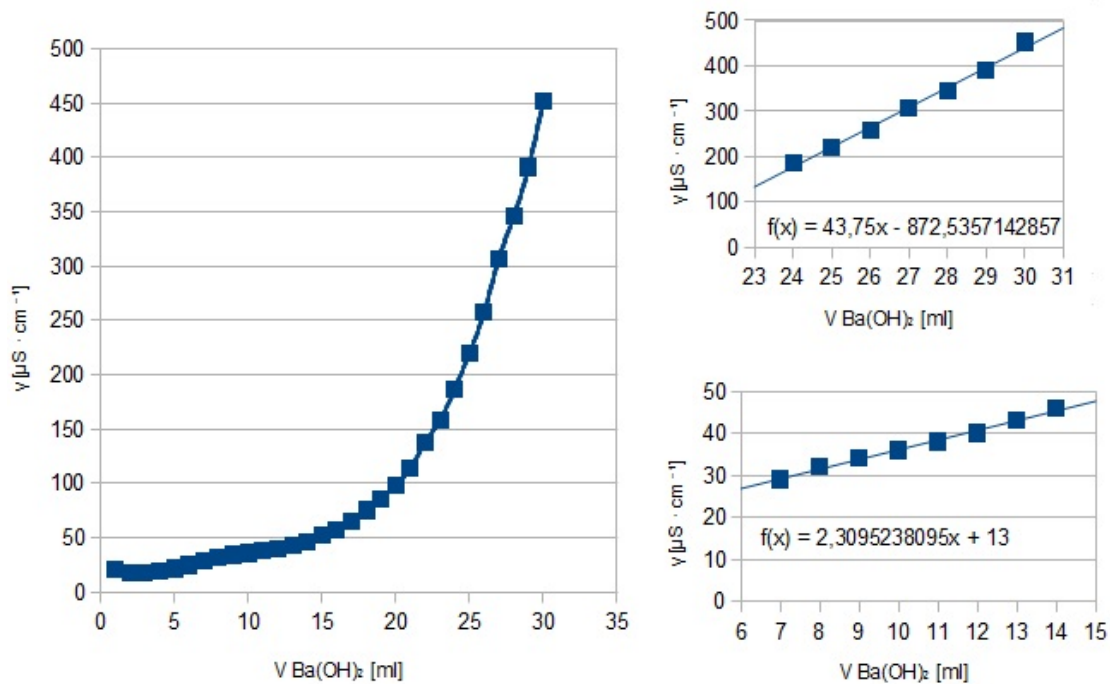
$$x = 18,96$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{18,96 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,4875} = 25,64 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	6		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0488	0,0488	0,0488
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,0866	5,2697	5,1314
1	21	20	37
2	18	17	28
3	18	19	25
4	19	23	24
5	22	26	25
6	25	30	27
7	29	32	33
8	32	34	36
9	34	36	39
10	36	37	42
11	38	39	43
12	40	42	44
13	43	45	46
14	46	51	49
15	52	57	53
16	57	63	56
17	65	70	63
18	75	78	68
19	86	90	77
20	98	103	85
21	114	115	98
22	138	133	109
23	158	150	124
24	187	174	139
25	220	198	
26	258	230	187
27	307	262	208
28	346	297	229
29	391	340	252
30	452	383	293
31			334
32			364
spotřeba	21,37	21,372	22,584
kapacita	41,00	39,58	42,96

*Příloha 21: Tabulka – Půda 6*





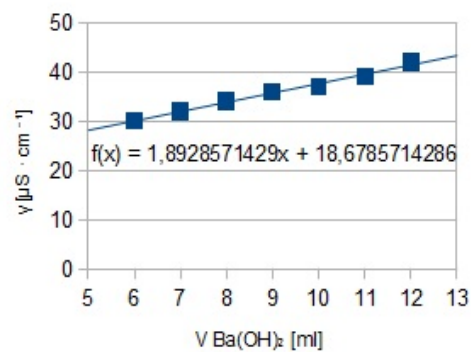
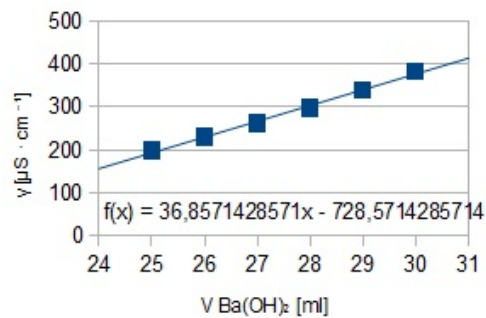
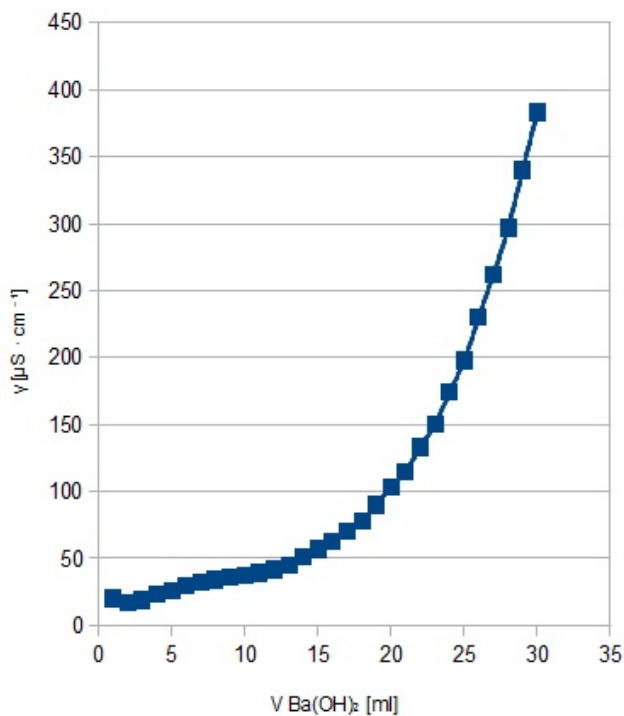
Příloha 22: Graf – půda 6, vzorek 1

$$p = 43,75x - 872,5357142857$$

$$q = 2,3095238095x + 13$$

$$x = 21,37$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{21,37 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,0866} = 41,00 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



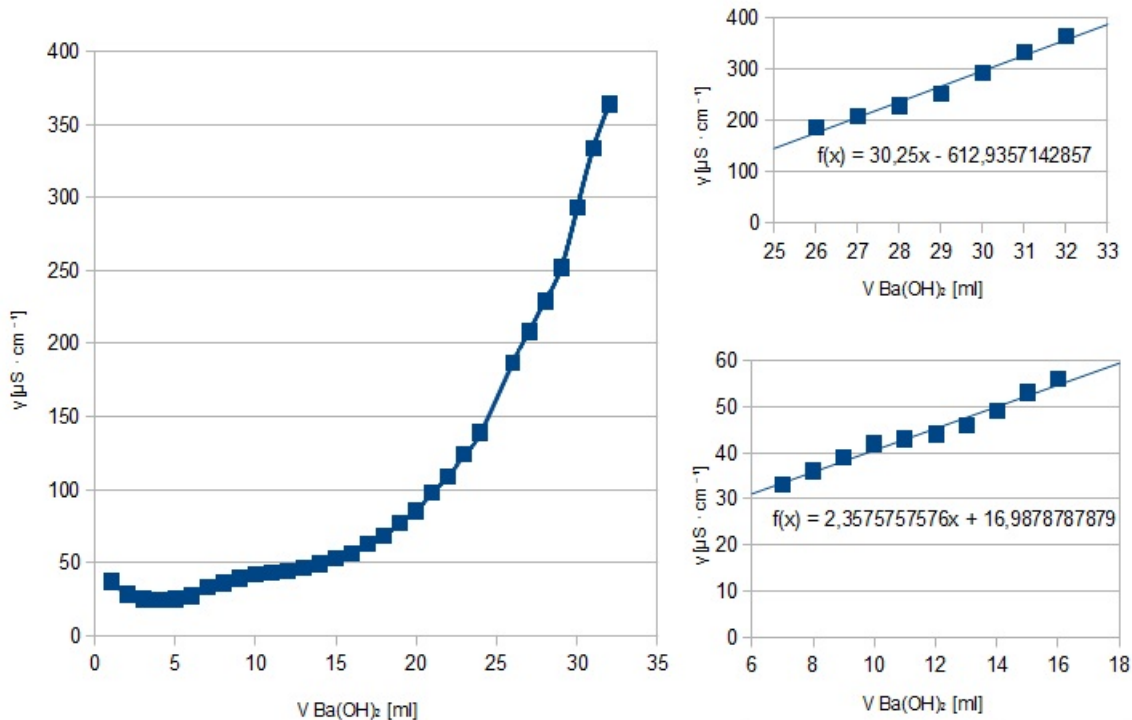
Příloha 23: Graf – půda 6, vzorek 2

$$p = 36,8571428571x - 728,5714285714$$

$$q = 1,8928571429x + 18,6785714286$$

$$x = 21,372$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{21,372 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,2697} = 39,58 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 24: Graf – půda 6, vzorek 3

$$p = 30,25x - 612,9357142857$$

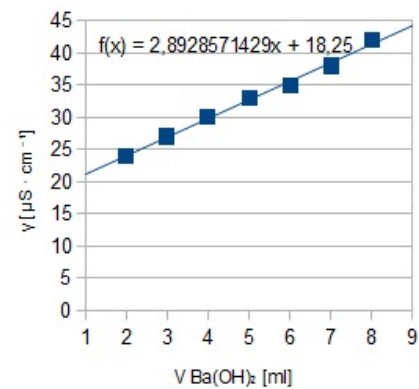
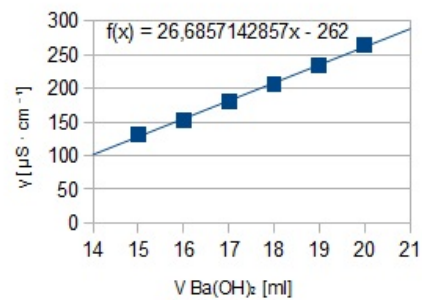
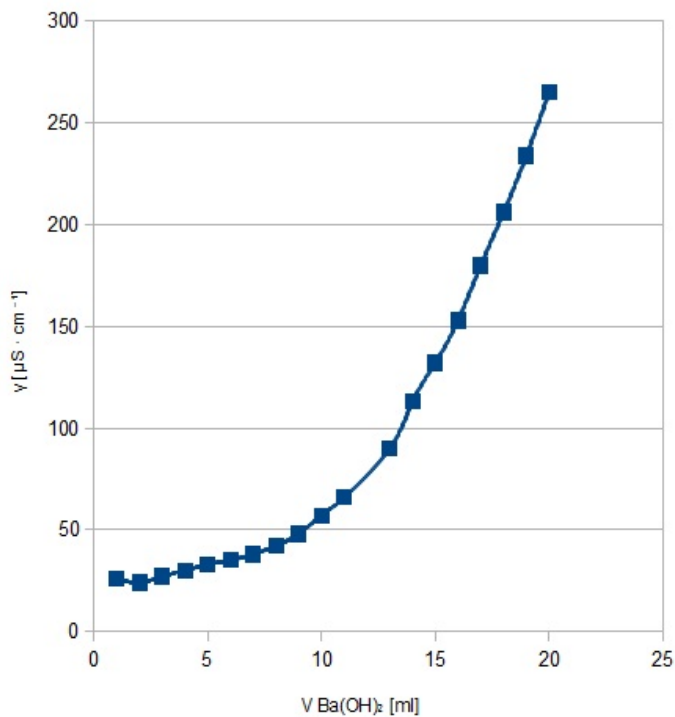
$$q = 2,3575757576x + 16,9878787879$$

$$x = 22,584$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{22,584 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,1314} = 42,96 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	7		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0488	0,0488	0,0488
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,3576	5,348	5,2178
1	26	36	23
2	24	30	21
3	27	33	25
4	30	38	29
5	33	41	31
6	35	43	34
7	38	46	38
8	42	50	44
9	48	56	52
10	57	62	66
11	66	71	80
12		81	95
13	90	95	117
14	113	114	147
15	132	134	173
16	153	160	200
17	180	183	230
18	206	207	272
19	234	239	312
20	265	270	351
21		302	
spotřeba	11,779	12,584	11,859
kapacita	21,46	22,97	22,18

*Příloha 25: Tabulka – Půda 7*



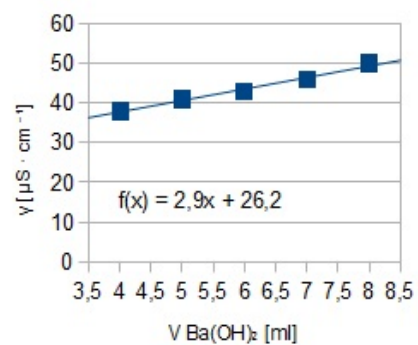
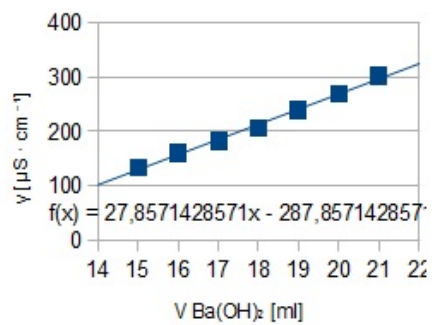
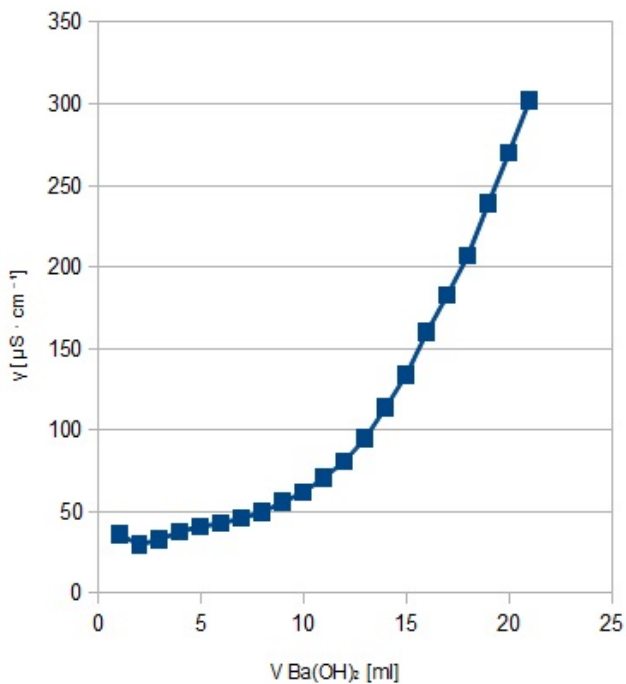
Příloha 26: Graf – půda 7, vzorek 1

$$p = 26,6857142857x - 262$$

$$q = 2,8928571429x + 18,25$$

$$x = 11,779$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{11,779 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,3576} = 21,46 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



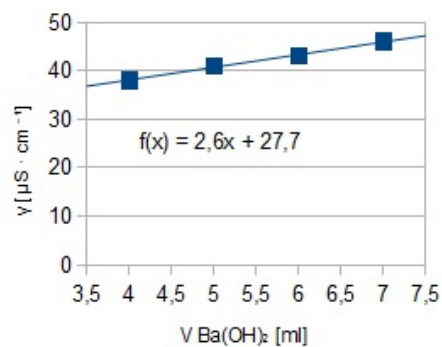
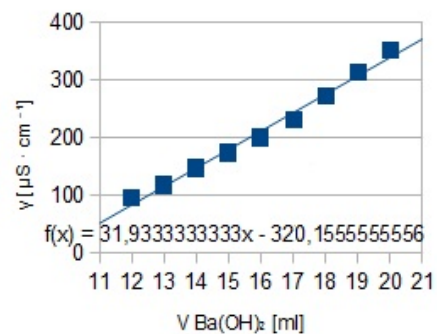
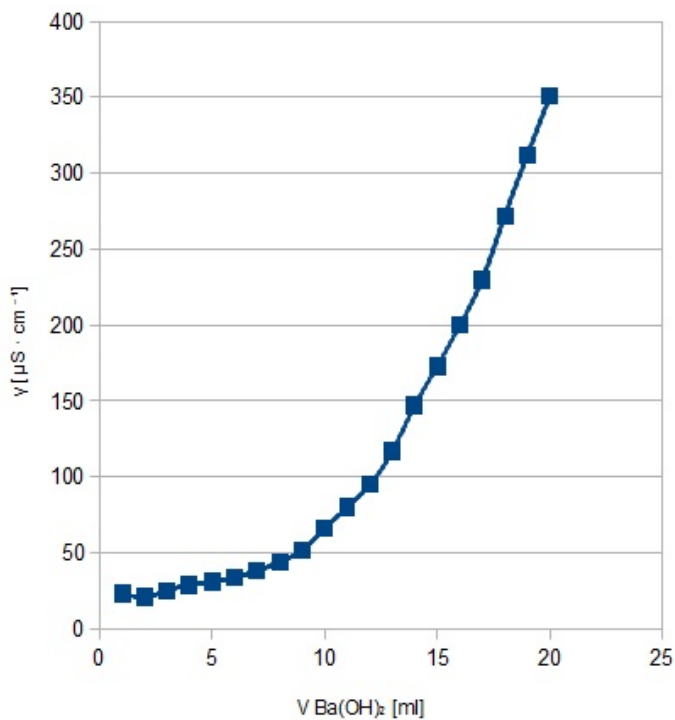
Příloha 27: Graf – půda 7, vzorek 2

$$p = 27,8571428571x - 287,857142857$$

$$q = 2,9x + 26,2$$

$$x = 12,584$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{12,584 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,3480} = 22,97 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 28: Graf – půda 7, vzorek 3

$$p = 31,933333333333x - 320,15555555556$$

$$q = 2,6x + 27,7$$

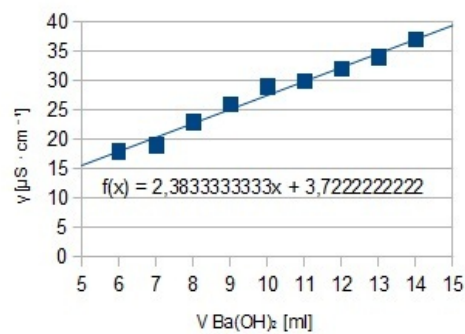
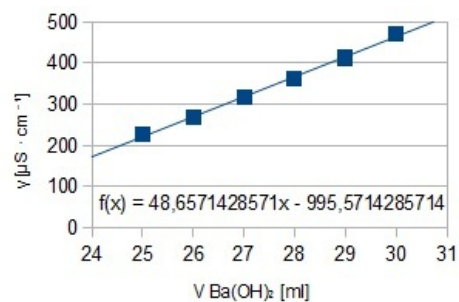
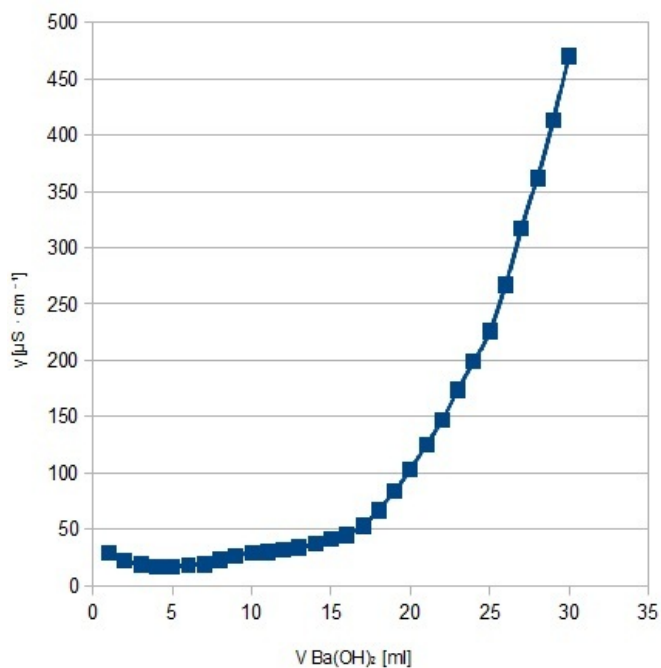
$$x = 11,859$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{11,859 \cdot 0,0488 \cdot 200}{5,2178} = 22,18 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	8		
	1	2	3
vzorek			
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0371	0,0371	0,0256
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,6109	5,7358	6,0726
1	29	32	32
2	22	22	26
3	19	17	22
4	17	15	19
5	17	15	16
6	18	15	15
7	19	19	13
8	23	23	13
9	26	26	12
10	29	27	12
11	30	30	12
12	32	32	13
13	34	37	15
14	37	44	17
15	41	50	19
16	45	62	21
17	53	75	22
18	67	92	23
19	84	113	24
20	103	142	25
21	125	175	26
22	147	216	28
23	174	262	30
24	199	312	31
25	226	363	35
26	267	422	38
27	317	490	41
28	362	545	46
29	413	625	52
30	470	694	60
31			70
32			79
33			91
34			104
35			119
36			137
37			161
38			184
39			205
40			232
41			259
42			290
43			323
44			355
spotřeba	21,595	19,91	32,73
kapacita	28,56	25,76	27,60

Příloha 29: Tabulka – Půda 8





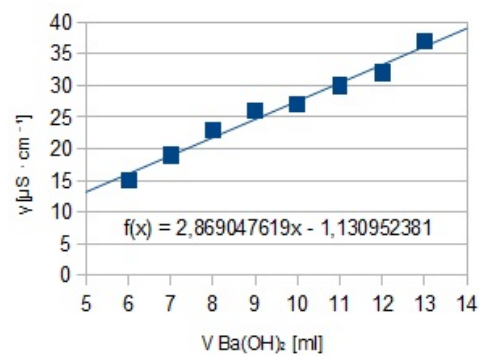
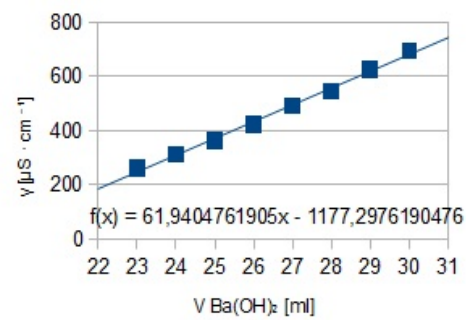
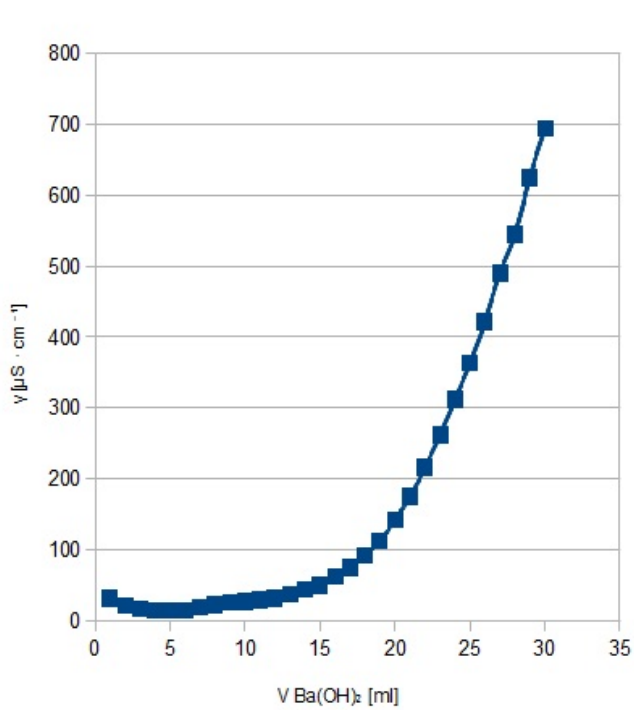
Příloha 30: Graf – půda 8, vzorek 1

$$p = 48,6571428571x - 995,5714285714$$

$$q = 2,38333333333x + 3,7222222222$$

$$x = 21,595$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{21,595 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,6109} = 28,56 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



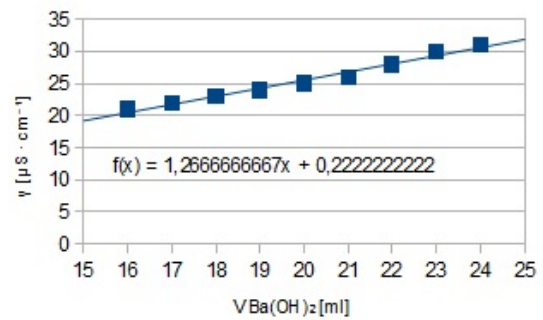
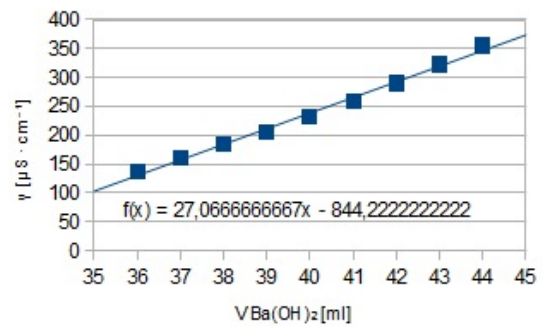
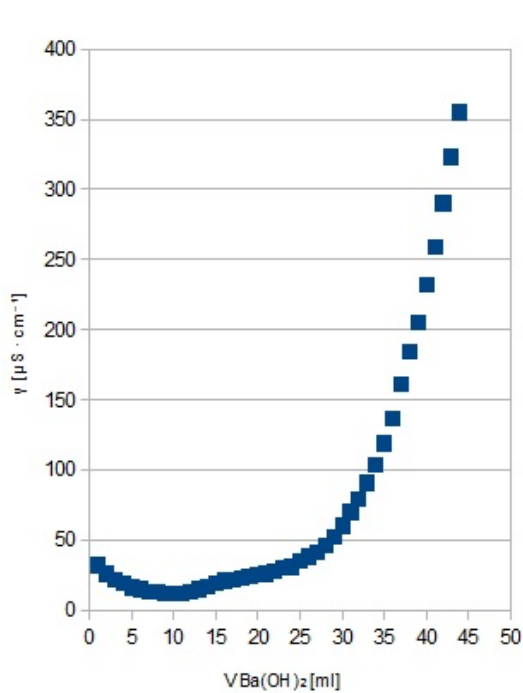
Příloha 31: Graf – půda 8, vzorek 2

$$p = 61,9404761905x - 1177,2976190476$$

$$q = 2,869047619x - 1,130952381$$

$$x = 19,91$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{19,91 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,7358} = 25,76 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 32: Graf – půda 8, vzorek 3

$$p = 27,0666666667x - 844,2222222222$$

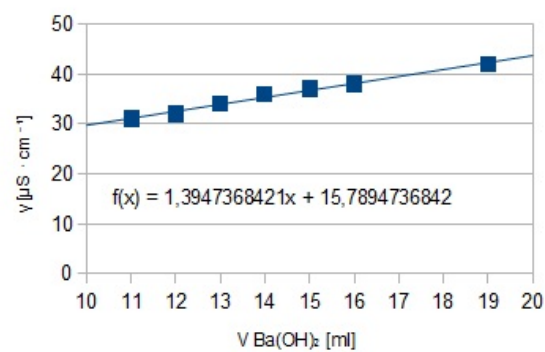
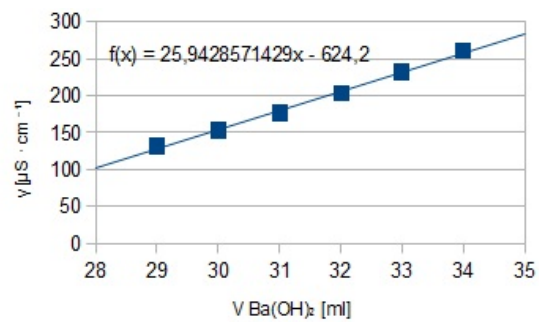
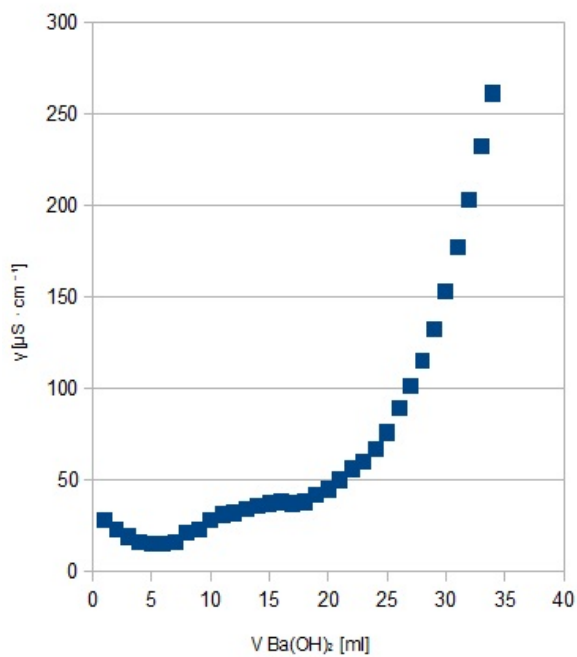
$$q = 1,26666666667x + 0,22222222222$$

$$x = 32,73$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{32,73 \cdot 0,0256 \cdot 200}{6,0726} = 27,60 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda	9			
vzorek	1	2	3	4
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0256	0,0256	0,0256	0,0256
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,0031	4,9462	5,0568	5,7342
1	28	45	41	58
2	23	32	29	45
3	19	25	23	37
4	16	22	20	31
5	15	22	21	28
6	15	24	25	27
7	16	29	29	27
8	21	32	32	27
9	23	35	34	27
10	28	36	35	28
11	31	37	36	31
12	32	39	39	33
13	34	42	43	35
14	36	46	48	36
15	37	52	54	37
16	38	60	64	38
17	37	66	74	39
18	38	83	89	41
19	42	98	104	44
20	45	119	126	46
21	50	144	152	50
22	56	173	183	55
23	60	206	217	61
24	67	238	255	65
25	76	282	298	72
26	89	327	350	80
27	101	373	407	93
28	115	421	455	108
29	132	472	503	125
30	153	523	557	145
31	177	571	610	168
32	203			192
33	232			216
34	261			244
35				276
36				310
37				343
38				382
39				421
40				462
spotřeba	26,07	20,12	19,729	29,03
kapacita	26,679	20,827	19,976	25,921

Příloha 33: Tabulka – Půda 9



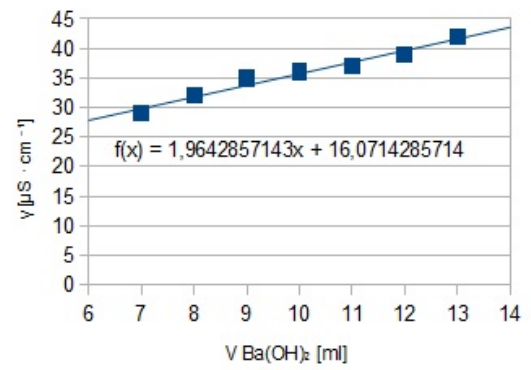
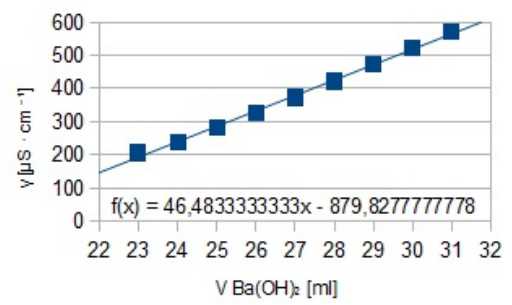
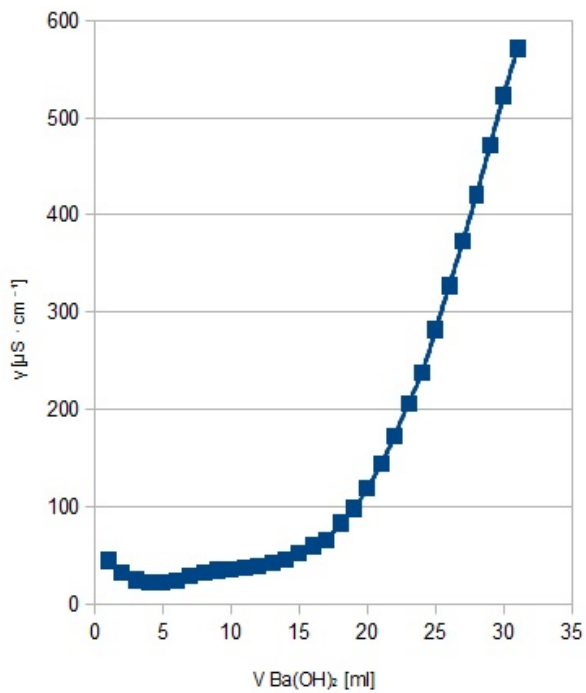
Příloha 34: Graf – půda 9, vzorek 1

$$p = 25,9428571429x - 624,2$$

$$q = 1,3947368421x + 15,7894736842$$

$$x = 26,07$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{26,07 \cdot 0,0256 \cdot 200}{5,0031} = 26,68 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



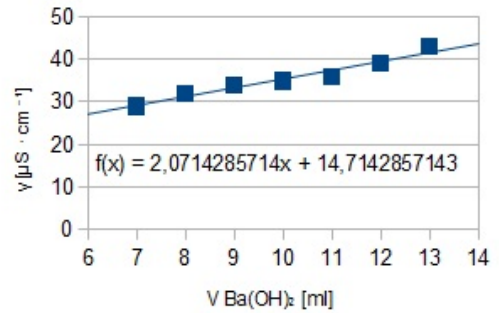
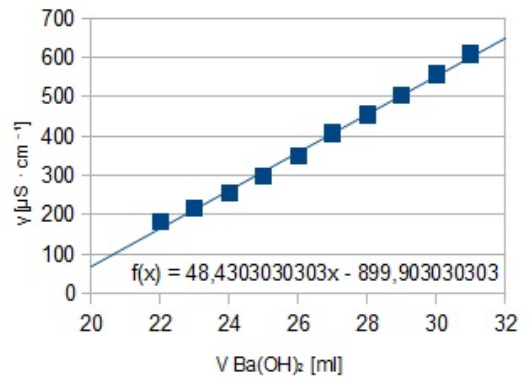
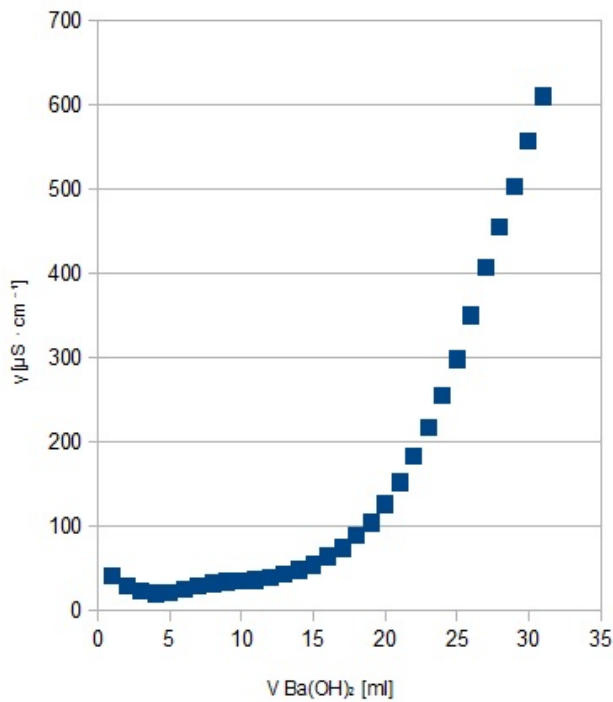
Příloha 35: Graf – půda 9, vzorek 2

$$p = 46,4833333333x - 879,8277777778$$

$$q = 1,9642857143x + 16,0714285714$$

$$x = 20,12$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{20,12 \cdot 0,0256 \cdot 200}{4,9462} = 20,83 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



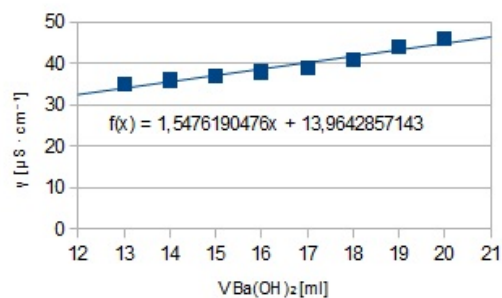
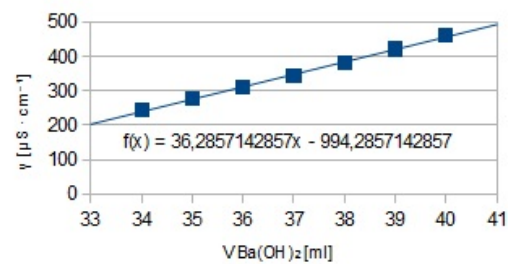
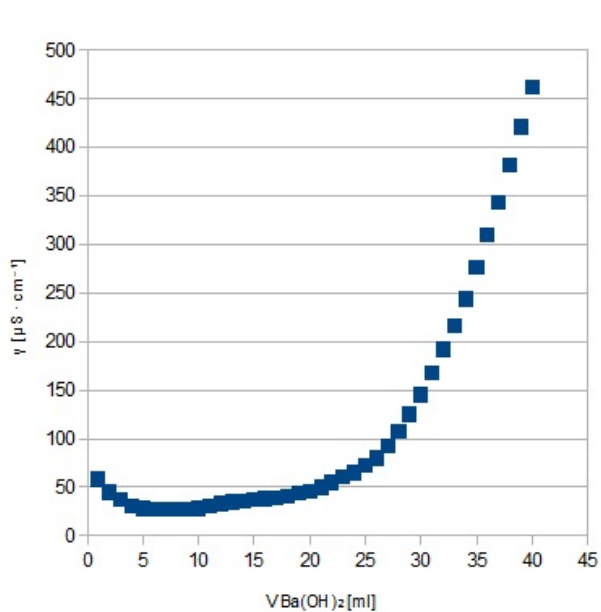
Příloha 36: Graf – půda 9, vzorek 3

$$p = 48,4303030303x - 899,903030303$$

$$q = 2,0714285714x + 14,7142857143$$

$$x = 19,729$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{19,729 \cdot 0,0256 \cdot 200}{5,0568} = 19,98 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 37: Graf – půda 9, vzorek 4

$$p = 36,2857142857x - 994,2857142857$$

$$q = 1,5476190476x + 13,9642857143$$

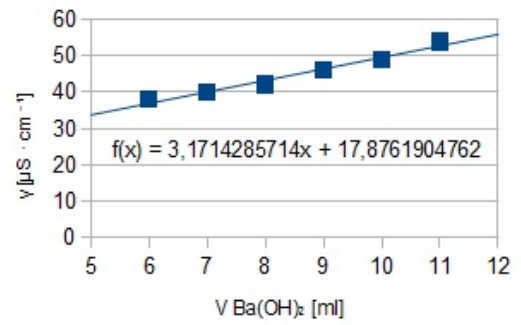
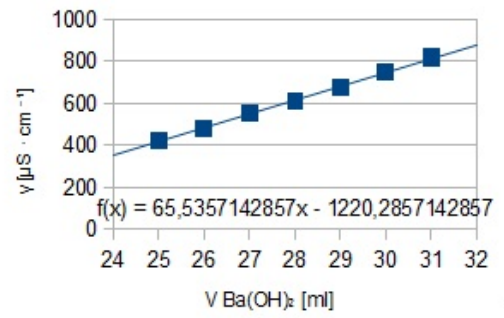
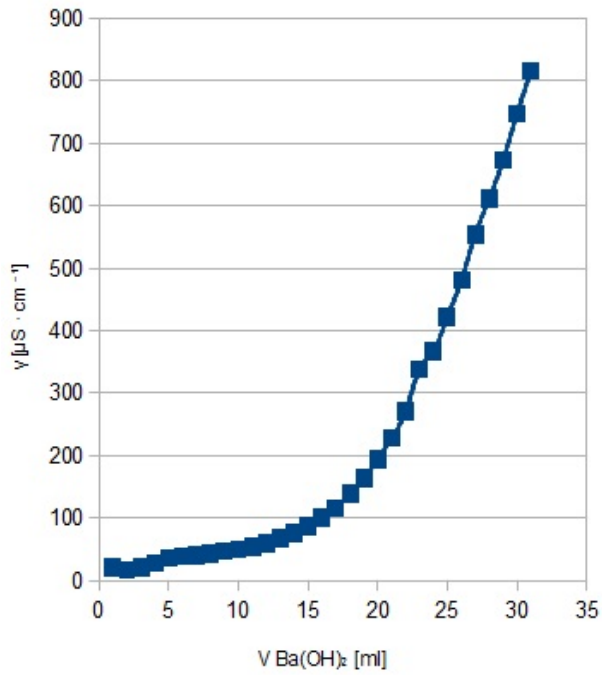
$$x = 29,03$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{29,03 \cdot 0,0256 \cdot 200}{5,7342} = 25,92 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



půda	10		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0371	0,0371	0,0371
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	5,2162	5,0629	5,2448
1	21	33	34
2	17	23	26
3	21	24	26
4	28	29	32
5	35	37	37
6	38	42	41
7	40	44	43
8	42	46	45
9	46	48	48
10	49	51	51
11	54	54	54
12	59	57	58
13	67	62	64
14	76	67	70
15	87	75	79
16	100	83	88
17	116	97	102
18	139	111	116
19	163	130	136
20	194	154	163
21	228	181	193
22	271	218	222
23	338	261	263
24	367	305	318
25	422	355	373
26	480	418	431
27	554	481	490
28	611	547	541
29	673	609	620
30	747	677	695
31	816		
spotřeba	19,854	19,915	20,285
kapacita	28,242	29,187	28,698

*Příloha 38: Tabulka – Půda 10*



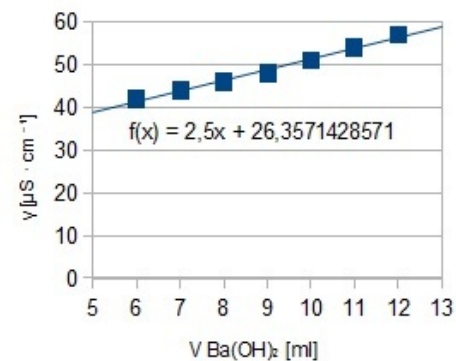
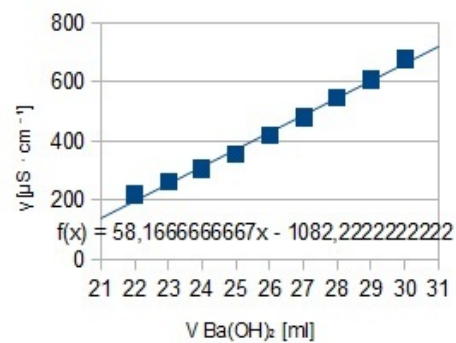
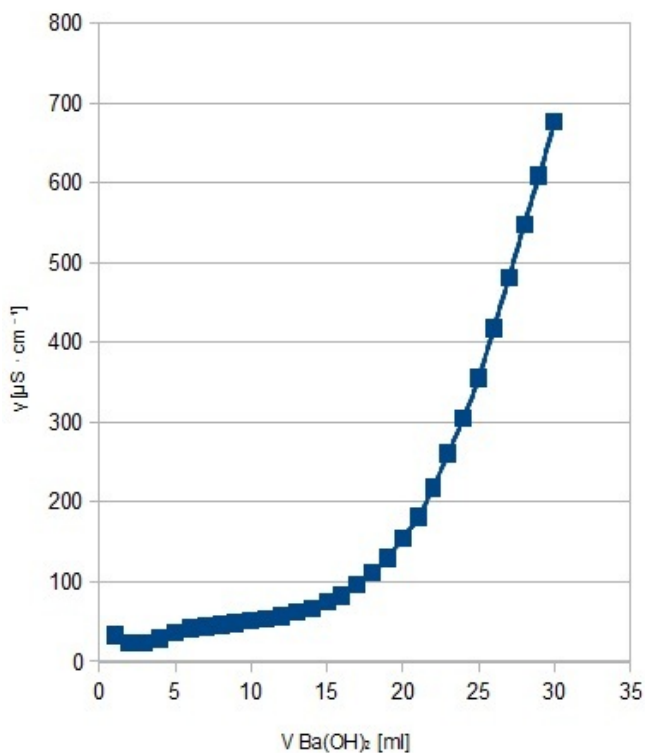
Příloha 39: Graf – pŕda 10, vzorek 1

$$p = 65,5357142857x - 1220,2857142857$$

$$q = 3,1714285714x + 17,8761904762$$

$$x = 19,854$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{19,854 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,2162} = 28,24 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



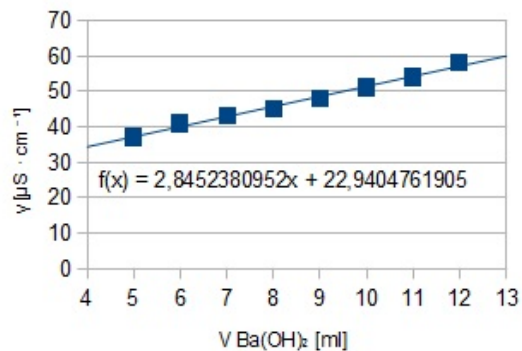
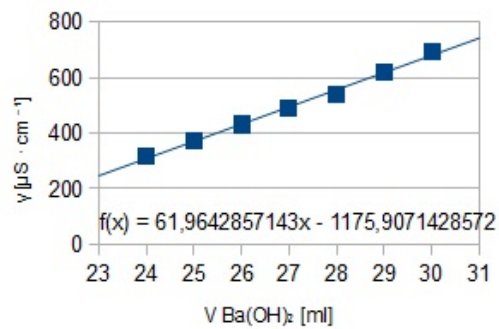
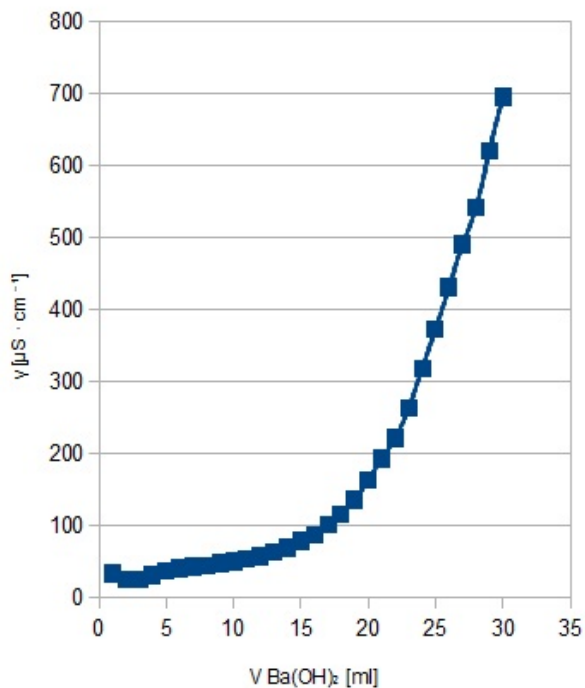
Příloha 40: Graf – půda 10, vzorek 2

$$p = 58,1666666667x - 1082,2222222222$$

$$q = 2,5x + 26,3571428571$$

$$x = 19,915$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{19,915 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,0629} = 29,19 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 41: Graf – půda 10, vzorek 3

$$p = 61,9642857143x - 1175,9071428572$$

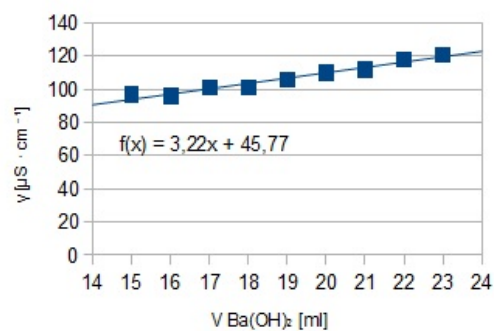
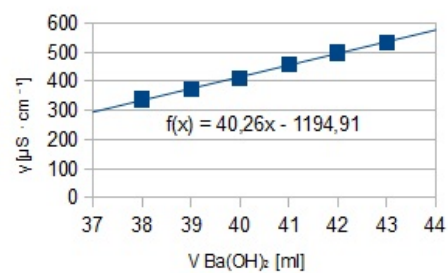
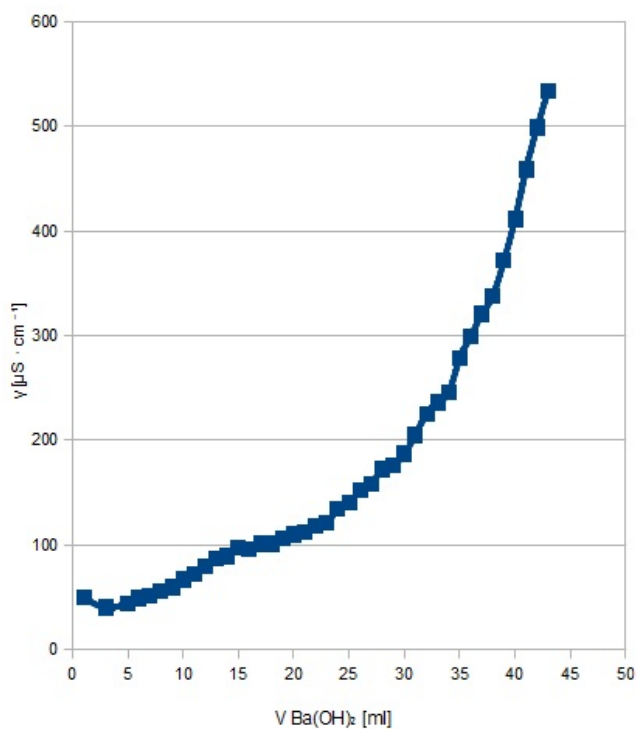
$$q = 2,8452380952x + 22,9404761905$$

$$x = 20,285$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{20,285 \cdot 0,0371 \cdot 200}{5,2448} = 28,70 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$

půda vzorek	11		
	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,112	0,0488	0,112
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	7,3303	7,2189	3,6539
1	50	96	54
2		86	43
3	40	82	37
4		79	42
5	44	78	45
6	49	74	49
7	51	72	54
8	56	70	58
9	59	68	61
10	67	68	66
11	72	68	71
12	79	69	79
13	87	65	86
14	89	57	97
15	97	59	108
16	96	62	129
17	101	67	140
18	101	69	159
19	106	67	180
20	110	65	204
21	112	65	227
22	118	65	271
23	121	66	298
24	134	68	333
25	140	67	
26	152	66	462
27	158	69	534
28	172	70	606
29	176	71	696
30	187	72	791
31	205	73	861
32	225	75	941
33	236	76	1010
34	246	77	1065
35	278	78	1149
36	299	80	1235
37	321	80	1341
38	338	80	1422
39	372	82	
40	411	83	
41	459	83	
42	499	83	
43	534	84	
44		85	
45		85	
46		86	
47		86	
49		87	
50		81	
52		85	
54		88	
56		90	
58		91	
60		93	
63		95	
66		102	
68		105	
70		108	
73		113	
75		114	
78		123	
81		132	
84		144	
87		155	
90		164	
spotřeba	33,5	71,19	21,845
kapacita	102,37	96,25	133,92

*Příloha 42: Tabulka – Půda 11*



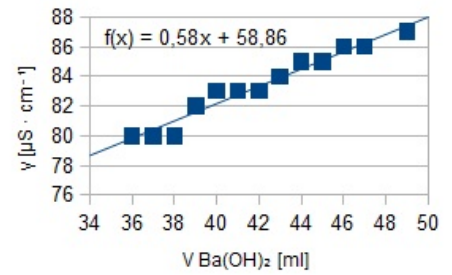
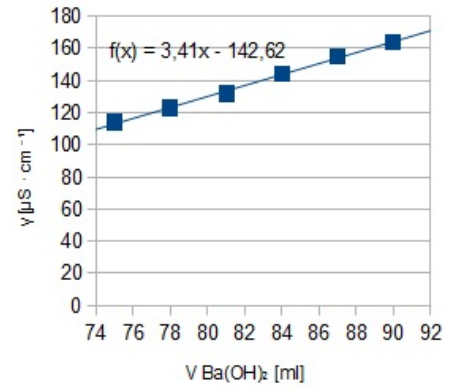
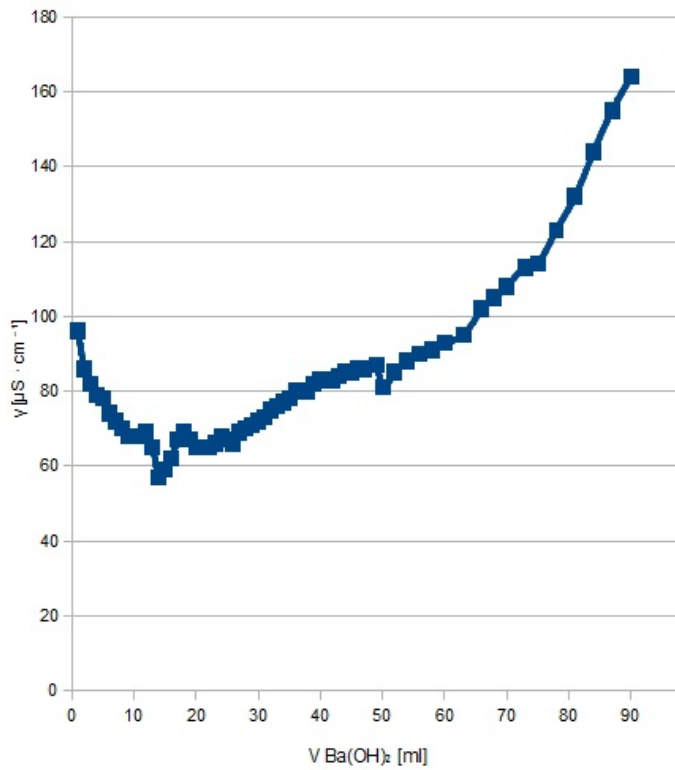
Příloha 43: Graf – půda 11, vzorek 1

$$p = 40,26x - 1194,91$$

$$q = 3,22x + 45,77$$

$$x = 33,50$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{33,50 \cdot 0,112 \cdot 200}{7,3303} = 102,37 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



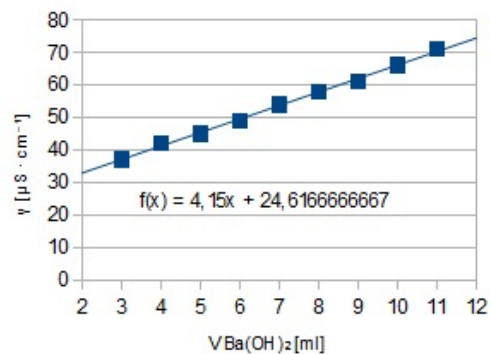
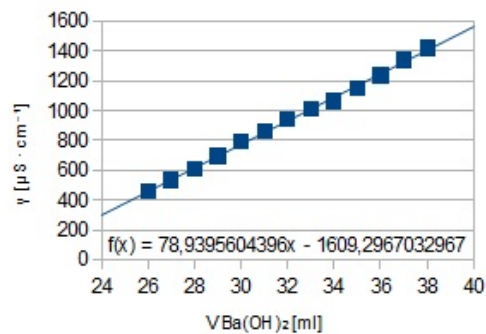
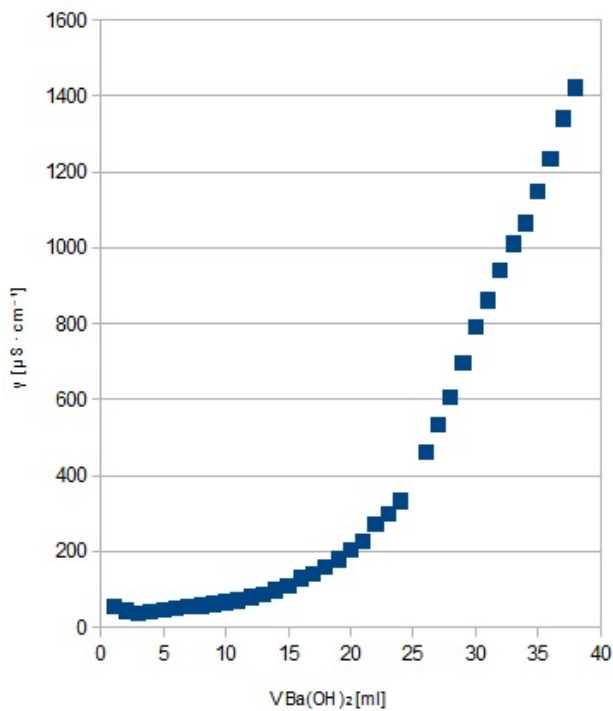
Příloha 44: Graf – půda 11, vzorek 2

$$p = 3,41x - 142,62$$

$$q = 0,58x + 58,86$$

$$x = 71,19$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{71,19 \cdot 0,0488 \cdot 200}{7,2189} = 96,25 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 45: Graf – půda 11, vzorek 3

$$p = 78,9395604396x - 1609,2967032967$$

$$q = 4,15x + 24,6166666667$$

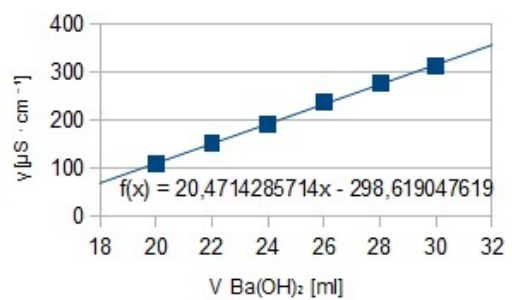
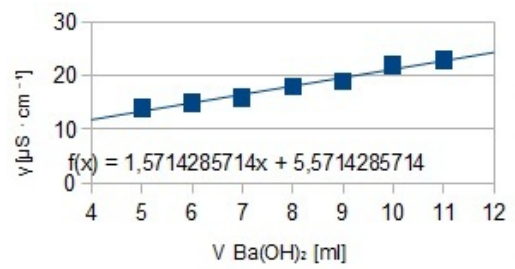
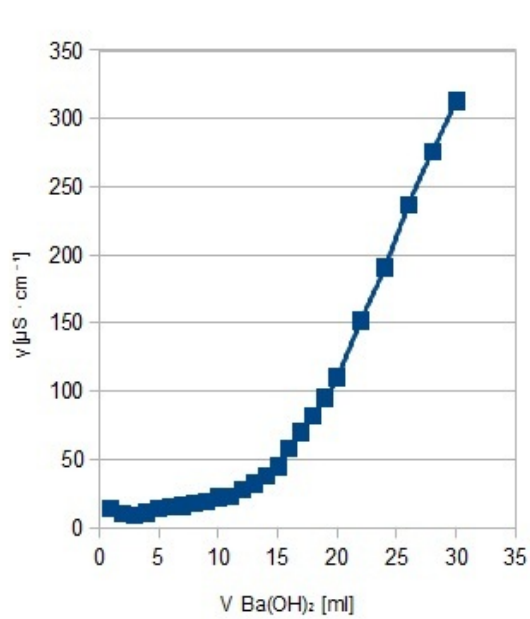
$$x = 21,845$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{21,845 \cdot 0,112 \cdot 200}{3,6539} = 133,92 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



půda	12		
vzorek	1	2	3
koncentrace Ba(OH) <sub>2</sub>	0,0112	0,0112	0,0488
ml Ba(OH) <sub>2</sub> \ navážka	8,6614	8,6617	8,7915
1	14	8	25
2	10	8	40
3	9		67
4	11	14	128
5	14		206
6	15	15	303
7	16	16	393
8	18	19	508
9	19	22	611
10	22	26	743
11	23	28	845
12	28	35	950
13	32	44	
14	38	55	
15	45	66	
16	58		
17	70	103	
18	82		
19	95	116	
20	110		
21		151	
22	152	164	
23		182	
24	191	200	
25		219	
26	237		
27			
28	276		
29			
30	313		
spotřeba	16,095	14,411	4,024
kapacita	4,16	3,73	4,47

*Příloha 46: Tabulka – Půda 12*



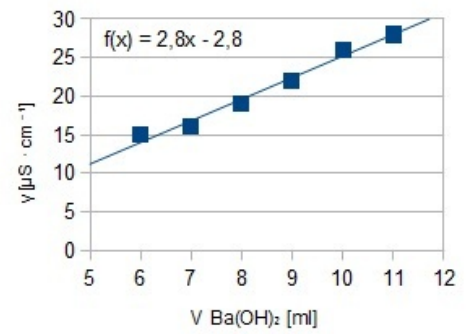
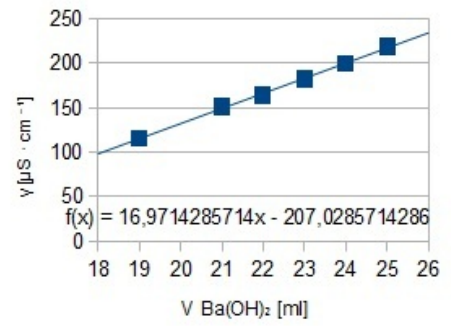
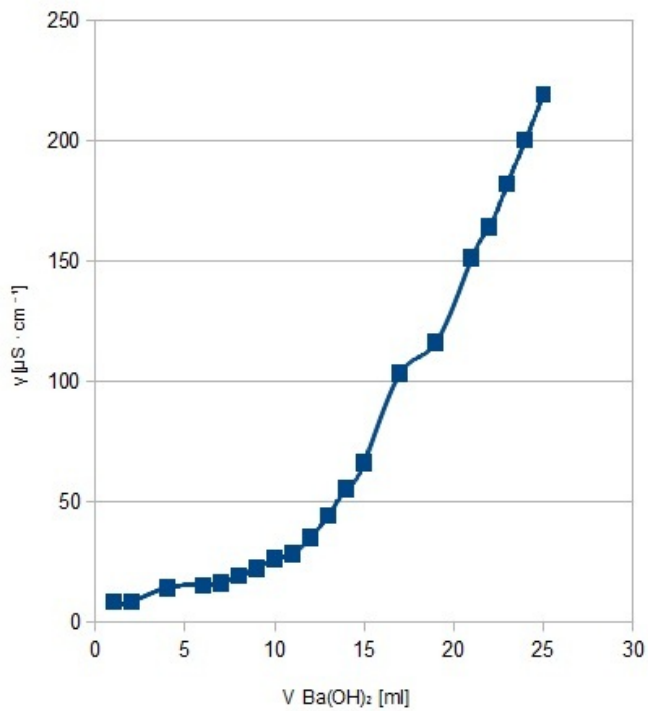
Příloha 47: Graf – půda 12, vzorek 1

$$p = 1,5714285714x + 5,5714285714$$

$$q = 20,4714285714x - 298,619047619$$

$$x = 16,095$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{16,095 \cdot 0,0112 \cdot 200}{8,6614} = 4,16 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



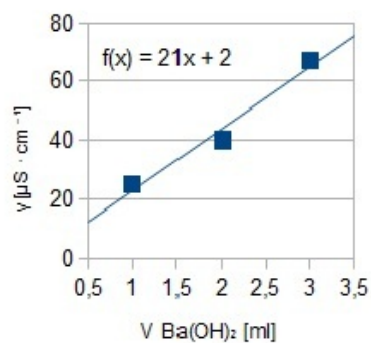
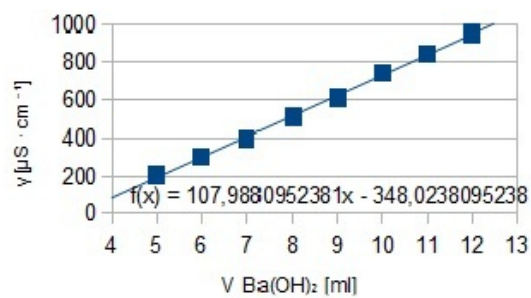
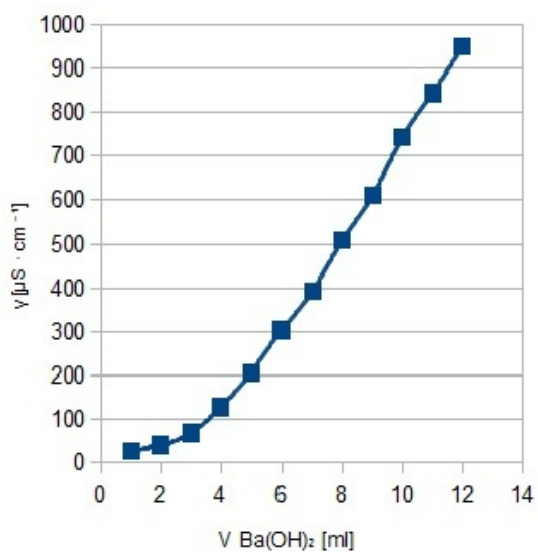
Příloha 48: Graf – půda 12, vzorek 2

$$p = 16,9714285714x - 207,0285714286$$

$$q = 2,8x - 2,8$$

$$x = 14,411$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{14,411 \cdot 0,0112 \cdot 200}{8,6617} = 3,73 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$



Příloha 49: Graf – půda 12, vzorek 3

$$p = 107,9880952381x - 348,0238095238$$

$$q = 21x + 2$$

$$x = 4,024$$

$$T = \frac{s \cdot c \cdot 200}{n} = \frac{4,024 \cdot 0,0488 \cdot 200}{8,7915} = 4,47 \text{ mval} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$$