

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních**  
**zdrojů**  
**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Alžběta Randusová**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. dubna 2015

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Antonínu Nikodemovi Ph.D. za vstřícné chování a ochotu při vedení diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Ondřejovi Jakšíkovi Ph.D, panu Lubomíru Rákosovi a panu RNDr. Františku Novákovi CSc. za poskytnutí cenných a odborných rad. Ráda bych také poděkovala mému manželovi za psychickou podporu po dobu psaní diplomové práce.

## Souhrn

V současné době, se snižující se živočišnou výrobou (zejména stavem skotu) a se změnami v osevních postupech (např. nahrazování víceletých pícnin kukuřicí), je stále obtížnější udržovat rovnovážnou bilanci půdního humusu, která je základním faktorem k zachování kvality půdy. Nedostatek organických hnojiv a posklizňových zbytků zvýšil zájem o využívání jiných netradičních zdrojů organických uhlíkatých látek, které by se daly použít pro zemědělské účely. Jedním z nich jsou lignohumáty získávané z odpadního materiálu při výrobě papíru. Lignohumát patří do tzv. třetí generace huminových preparátů, který mimo jiné zvyšuje výnos plodin, způsobuje vyšší odolnost plodin vůči suchu a změnám teploty, především díky posílení kořenového systému rostlin a také zvyšuje účinnost minerálních hnojiv. Cílem této práce bylo zjistit možný vliv aplikace lignohumátu na vybrané půdní vlastnosti (obsah a kvalita humusu, půdní reakce, stabilita půdních agregátů). Vědeckou hypotézou této práce je, že aplikace lignohumátu má vliv na půdní vlastnosti. Na základě vědecké literatury uvedené v rešeršní části práce předpokládáme, že dlouhodobá aplikace lignohumátu způsobí zvýšení obsahu humusu, zlepšení kvality humusu, zvýšení pH půdy a zvýšení stability půdních agregátů. V pokusné části bylo cílem posoudit vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti u vybraných polí z jedné lokality, u nichž se předpokládají stejné výchozí podmínky před začátkem deseti leté aplikace lignohumátu. Z každého pozemku se odebralo 40 půdních vzorků a v laboratoři byly naměřeny půdní charakteristiky: obsah humusu (Cox), kvalita humusu ( $Q_{4/6}$ ), půdní reakce  $pH_{KCl}$  a  $pH_{H_2O}$  a stabilita půdních agregátů (WSA index). Výsledky pokusu ukazují, že pozemek, kde docházelo k aplikaci lignohumátu – pozemek B, má lepší půdní vlastnosti. Tento pozemek má statisticky průkaznou vyšší aktivní půdní reakci  $pH_{H_2O}$  a vyšší stabilitu půdních agregátů. U pozemku B byl naměřen vyšší obsah humusu a rozdíly u výměnné půdní reakce  $pH_{KCl}$  a kvality humusu nebyly statisticky průkazné.

**Klíčová slova:** lignohumát, huminové látky, půdní organická hmota, půdní vlastnosti

## Summary

Currently, the decreasing livestock (especially cattle populations) and changes in crop rotations (eg. the replacement of perennial forage maize), it is increasingly difficult to maintain an equilibrium balance of soil humus, which is an essential factor in maintaining the quality and soil fertility. Lack of organic fertilizers and crop residues increased interest in the use of other non-traditional sources of organic carbon compounds that could be used for agricultural purposes. One lignohumate are derived from waste material in paper production. Lignohumate belongs to the so-called. Third generation of humic preparations which, among other things, increasing the yield of crops, causing higher crop resistance to drought and temperature changes, mainly due to the strengthening of plant root system and also increases the efficiency of mineral fertilizers. The aim of this study was to investigate the possible effect of the application lignohumate on selected soil properties (content and quality of humus, soil reaction, soil aggregate stability). Scientific hypothesis of this work is that the application lignohumate has an effect on soil properties. Based on the scientific literature referred to in the literature retrieval, we assume that the long-term application lignohumate causes an increase humus content, humus quality improvement, increased soil pH and increase the stability of soil aggregates. In the experimental part was to evaluate the effect lignohumate application on soil properties in selected fields from one location, assuming the same initial conditions before the start of the ten-year lignohumate applications. From each field was sampled 40 soil samples in the laboratory and measured soil characteristics: humus content (C<sub>ox</sub>), the quality of humus (Q<sub>4</sub> / 6), soil reaction pH<sub>KCl</sub> and pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> and stability of soil aggregates (WSA index). The results of the experiment show that the field, where there was an application lignohumate - field B has better soil properties. This field has a statistically significantly higher in active soil reaction pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> a higher stability of soil aggregates. The field B was measured at higher humus content and differences in exchangeable soil reaction pH<sub>KCl</sub> and quality of humus were not statistically significant.

**Keywords:** lignohumate, humic substances, soil organic matter, soil properties

# Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3. 1 Půda .....	11
3. 2 Indikátory kvality půdy .....	11
3. 3 Struktura půdy .....	13
3. 4 Půdní organická hmota.....	14
3. 4. 1 Význam půdní organické hmoty .....	16
3. 4. 3 Primární organická hmota .....	19
3. 5 Huminové látky.....	21
3. 5. 1 Funkce huminových látek .....	23
3. 5. 2 Teorie vzniku huminových látek .....	24
3. 5. 3. Frakcionace huminových látek .....	26
3. 5. 4 Mechanismy působení huminových látek na rostliny .....	28
3. 5. 5 Huminové látky v půdě .....	28
3. 6 Humusové preparáty .....	29
3. 6. 1 Historie.....	29
3. 6. 2 Rozdělení lignohumátu .....	33
3. 6. 3 Význam lignohumátu v zemědělství.....	34
3. 6. 4 Výroba buničiny a vznik lignohumátu .....	35
3. 6. 5 Vliv lignohumátu na obsah nitrátového dusíku v půdě.....	36
3. 6. 6 Vliv lignohumátu na dostupné formy uhlíku a dusíku .....	38
3. 6. 7 Chování lignohumátů v půdách s různou zrnitostí.....	39
4 Materiál a metody .....	41
4. 1 Lokalita .....	41
4. 2 Přírodní poměry .....	41
4. 4 Bonita zkoumaných pozemků .....	43
4. 4. 1. Informace vztahující se k bonitě pozemku A .....	44
4. 4. 2. Informace vztahující se k bonitě pozemku B .....	44
4. 5 Aplikace lignohumátu.....	44
4. 6 Příprava vzorků .....	45
4. 7 Vybrané půdní charakteristiky.....	46

4. 7. 1 Půdní reakce.....	46
4. 7. 2 Obsah humusu.....	47
4. 7. 3 Kvalita humusu .....	47
4. 7. 4 Stanovení stability půdních agregátů .....	48
4. 7. 5 Půdní zrnitost.....	49
4. 7. 6 Způsob zpracování výsledků.....	50
5 Výsledky .....	51
5. 1 Statistické šetření .....	51
4. 2 Geostatistické metody .....	58
4. 8. 1 Matoda inverzní vzdálenosti IDW.....	59
4. 8. 2 Kriging.....	63
6 Diskuze .....	71
7 Závěr.....	73
9 Samostatné přílohy .....	78

## 1 Úvod

Půda je jeden z našich nejvýznamnějších přírodních zdrojů, zdrojem naší obživy. Dnes však v České republice dochází k její značné degradaci a tím se půda stává méně úrodnou. Některé tyto negativní vlivy těsně souvisejí se zemědělstvím: odnos půdy způsobený vodní a větrnou erozí a obděláváním půdy, zhutnění půdy díky špatné mechanizaci, ztráta humusu, úbytek biodiverzity a v neposlední řadě kontaminace půdy (potenciálně rizikovými prvky, pesticidy nebo nadměrným množstvím průmyslových hnojiv).

Na území České Republiky je více než 50 % orné půdy ohroženo vodní erozí a téměř 14 % erozí větrnou. Eroze ochuzuje zemědělské půdy o tu neúrodnější část – ornici. Každoročně v ČR vodní eroze odplaví na 21 milionů tun ornice, což představuje 4,3 až desítky mld. Kč/rok. Dále se kvůli erozi zhoršují fyzikálně – chemické vlastnosti půd, zmenšuje se mocnost půdního profilu, zvyšuje se šterkovitost, snižuje se obsah živin a humusu, poškozují se plodiny a kultury, znesnadňuje se pohyb strojů po pozemcích a způsobují se ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin.

Obsah organické hmoty patří k faktorům, které ovlivňují biologické, fyzikální a chemické procesy, které se podílejí na kvalitě půdy a její trvalé udržitelnosti v systémech hospodaření. Organická hmota je významným činitelem k udržení půdní úrodnosti a její nízký obsah je další závažný problém, který se týká téměř 50 % evropské půdy. Ztráta organického uhlíku obsaženého v půdě může omezit schopnost půdy poskytovat živiny pro udržitelnou rostlinnou výrobu. Méně organického uhlíku znamená také méně potravy pro živé organismy vyskytující se v půdě a tedy pokles půdní biodiverzity. To vede k nižším výnosům a tudíž snížené hodnotě půdy. Náprava je sice možná, ale je to velmi nákladný a dlouhodobý proces.

Z těchto faktů vyplývá nutnost ochrany půdy a především doplnění do půdy toho, co je z ní postupně odčerpáváno. Používání huminových preparátů by mohlo být jednou z cest, jak zmíněné negativní projevy degradace půd zmírnit.



V souvislosti se zaváděním současných technologií pro zintenzivňování pěstování zemědělských kultur do rostlinné výroby, má otázka vývoje technologie, jak získat a využívat adaptované růstové regulátory stále větší význam, především v oblastech „rizikového“ zemědělství a zónách s intenzivním celoročním využíváním půdy. Často přitom vzniká nezbytnost stimulovat vývoj a zvyšovat potenciální možnosti odolnosti rostlin proti nepříznivým klimatickým podmínkám. Tyto okolnosti vyvolaly v posledních několika letech aktivní rozvoj trhu s nabídkami koncentrovaných huminových preparátů. Mezi tzv. třetí generaci huminových preparátů patří lignohumát, který mimo jiné zvyšuje výnos plodin, způsobuje vyšší odolnost plodin vůči suchu a změnám teploty, především díky posílení kořenového systému rostlin a také zvyšuje účinnost minerálních hnojiv, zejména využití dusíku rostlinami.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je v rešeršní části porovnat vědeckou literaturu zabývající se problematikou preparátů na bázi huminových sloučenin a podat přehled o vědeckých pokusech zabývající se lignohumáty. V pokusné části je cílem posoudit vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti u vybraných pozemků z jedné lokality, u nichž se předpokládají stejné výchozí podmínky před začátkem deseti leté aplikace lignohumátu.

Vědeckou hypotézou této práce je, že aplikace lignohumátu způsobí zvýšení obsahu humusu, zlepšení kvality humusu, zvýšení pH půdy a zvýšení stability půdních agregátů.

## **3 Literární rešerše**

### **3. 1 Půda**

Půda vzniká a vyvíjí se na rozhraní litosféry, atmosféry, biosféry a hydrosféry. Skládá se tedy ze složky minerální - anorganické (kameny, štěrk, písek, prach, jílové částice), organické hmoty, vody, plynů a živých organismů (červi, hmyz, háďátka, houby, řasy). Mezi pevnou, kapalnou a plynnou složkou existuje neustálá výměna molekul a iontů, ovlivňována fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Z tohoto hlediska tvoří půda složitý otevřený systém, ale svou schopností autoregulace vnitřních procesů i systém relativně samostatný. Je nutno ji chápat komplexně jako složku životního prostředí, tvořící spolu s atmosférou, hydrosférou a biocenózou funkční ekologický systém. Složitost systému je umocňována variabilitou v závislosti na lokalitě (vliv geologického podloží, reliéfu terénu, antropogenní činnosti). Tyto charakteristiky činí půdu velmi variabilní složku životního prostředí, což klade vysoké nároky na definování vlastností půdy a vztahů mezi těmito vlastnostmi a na jejich sledování a využití ve vědě a v praxi. Navíc půda plní mnoho různorodých funkcí a každá z těchto funkcí vyžaduje jinou charakteristiku a klasifikaci vlastností půdy tak, aby se dala určitým způsobem kvantifikovat. K tomu je možné využít systémů indikátorů vlastností půd, které je možno kvantifikovat, stanovit pro ně reálné odchylky v závislosti na podmínkách a některé i legislativně uchopit (Sáňka a Materna, 2004).

### **3. 2 Indikátory kvality půdy**

Ke kvantifikaci pojmu „kvalita půdy“ je snaha používat souborů indikátorů půdních vlastností, které lze měřit a číselně vyjadřovat. Takto bylo navrženo několik systémů různě pojatých, u všech je však nutno si uvědomit, že:

- a) výběr indikátorů je omezený, z části subjektivní, a pokud má být prakticky použitelný, nikdy nemůže zachytit celý rozsah půdních vlastností,

- b) pro specifické funkce je nutno použít specifické indikátory, ale i v rámci jedné definované funkce se mohou konkrétní hodnoty optimálního rozmezí indikátorů lišit (např. v rámci produkční funkce se liší vhodné agrochemické parametry pro jednotlivé plodiny),
- c) optimální rozsahy půdních indikátorů se liší nejen v závislosti na funkci, ale též na použité metodě ke stanovení, souboru podkladových dat, použité statistické metodě apod.

Aby mohl být systém hodnocení kvality kvantifikován, je nezbytné, aby vycházel z určitých údajů o půdních vlastnostech. Pro praktické použití v oblasti vědy, zemědělství, ekologie, ochrany prostředí a rozhodovacích procesů, by tento systém měl splňovat tato kritéria (Doran a Parkin, 1994):

1. zohlednit procesy mající návaznost na celý ekosystém,
2. zahrnout fyzikální, chemické a biologické vlastnosti a procesy,
3. být přístupný mnoha uživatelům a aplikovatelný v praktických podmínkách,
4. zohlednit klimatickou variabilitu a variabilitu způsobů hospodaření,
5. pokud možno vycházet z existujících databází o půdě.

Tab. 3. 2. 1 Minimální rozsah parametrů pro sledování kvality půdy

<b>parametr</b>	<b>metoda, poznámka</b>
přístupné živiny	analytické testy
celkový organický C	suché nebo mokré spalování
uvolnitelný organický C	NH <sub>4</sub> -N uvolňování v rozkladu KCl
textura	pipetovací metoda
objemová hmotnost, propustnost	polní testy
maximální hloubka prokořenění	specifické podle plodiny
půdní reakce	aktivní a výměnná

Zdroj: (Doran a Parkin, 1994)

### 3. 3 Struktura půdy

Půdní strukturou rozumíme uspořádání jednotlivých půdních částic např. písek, prach, jíl do přírodních agregátů, které se nazývají pedy (Schaetzl a Anderson, 2005). Pokud považujeme půdní agregáty za základ půdní struktury, potom se dá struktura zhruba definovat jako:

- uspořádání primárních částic do pedů
- velikost, tvar a uspořádání pedů a volných míst nebo pórů mezi nimi, které oddělují částice a jednotlivé pedy (White, 2006).

Struktura půdy je určována faktory fyzikálními (vysychání, zvlhčování, mrznutí, tání), chemickými (mineralogická skladba, chemické vazby, tvorby agregátů) a biologickými (působení kořenů, půdních živočichů, mikroorganismů). Struktura půdy není kvantifikována, vzhledem k jejímu subjektivnímu určování (Sáňka a Materna, 2004). Základní typy půdní struktury uvádí tab. 3. 3. 1.

Tab. 3. 3. 1 Základní typy půdní struktury

<b>kulovitá</b>	<b>polyedrická</b>	<b>prismatická</b>	<b>deskovitá</b>
hrudovitá	polyedrická	hrubě prismatická	deskovitá
hrudkovitá	drobně polyedrická	prismatická	destičkovitá
drobtovitá		drobně prismatická	lístkovitá
jemně drobtovitá			
práškovitá			

Zdroj: (Sáňka a Materna, 2004)

Tvorba půdních agregátů a jejich stabilizace jsou velmi důležité pro formování struktury půdy. Při posuzování struktury půdy se kromě velikosti a tvaru agregátů hodnotí jejich stabilita a zejména vodostálost (Šimek, 2005), o které pojednává následující kapitola.

### **3. 3. 1 Stanovení stability půdních agregátů**

Dlouhodobá stabilizace uhlíku a dusíku v mírných a tropických půdách je zprostředkována půdní biotou (např. houby, bakterie, kořeny a žížaly), půdní strukturou (např. agregace) a jejich vzájemnou interakcí a je ovlivněna zemědělským hospodařením. Jelikož bylo prokázáno, že agregace snižuje mineralizaci uhlíku a dusíku, je tvorba agregátů velice důležitá (Six, 2002). Agregáty jsou známy jako fyzikální ochrana uhlíku a dusíku. Agregáty fyzikálně chrání půdní organickou hmotu díky tomu, že za prvé tvoří fyzikální bariéru mezi mikroorganismy, mikrobiální enzymy a jejich substráty. Za druhé ovládají interakce potravního řetězce a za třetí ovlivňují mikrobiální koloběh (Six, 2002).

Vodostálost půdních agregátů je v poslední době často užívaný půdní parametr, označující relativní množství půdních agregátů odolných rozplavení. Půdní agregáty jsou stabilní ve vodě a tato jejich vodostálost je způsobena různými tmelícími látkami (jílové částice, huminové látky a sesquioxidy). Pevnost vazby agregátů určuje jejich stabilitu a tato vlastnost je velmi důležitá, protože nestabilní půdní struktura snadno podléhá negativním vlivům, rozpadá se a vznikají tak půdy bezstrukturní (Vopravil, 2009). Podle velikosti rozeznáváme dvě základní kategorie agregátů a to makroagregáty (velikost zrn > 0,25 mm) a mikroagregáty (velikost zrn < 0,25 mm).

### **3. 4 Půdní organická hmota**

Organický podíl v půdách mírného klimatu představuje 0,4 – 10 %. Zbytek tvoří anorganický podíl. Organický podíl půdy lze rozdělit na část živou a neživou. Neživá část, tj. půdní organická hmota, představuje dynamický systém složený z čerstvě nerozložených zbytků, částečně rozložených zbytků, produktů mikrobiálního rozkladu a humusu (Sotáková, 1982). Půdní organická hmota (POH) tak obecně představuje soubor organických látek nahromaděných v půdě a na půdě, pocházejících z odumřelých zbytků rostlin, živočichů a mikroorganismů v různém stupni přeměn a v různém stupni smíšení s minerálním podílem.

Rozlišují se čtyři frakce POH: rozpuštěná organická hmota (DOM < 45 µm), rozdrobená organická hmota (53 – 2000 µm), humus a inertní organická hmota (Smith, 2005).

Baldock a Skjemstad (2000) rozdělují hlavní složky organické hmoty v půdě na organické zbytky, půdní biomasu, humus, půdní organickou hmotu, huminové látky, nehuminové látky, humin, huminové kyseliny, fulvokyseliny a hymatomelanové kyseliny. V následující tabulce jsou uvedeny hlavní složky půdní organické hmoty a jejich definice podle Baldocka a Skjemstada (2000).

Tab. 3. 4. 1. Hlavní složky půdní organické hmoty

<b>Složka organické hmoty</b>	<b>Definice</b>
<b>Organické zbytky</b>	Nerolozžené části rostlinných a živočišných tkání a produkty jejich částečného rozkladu
<b>Půdní biomasa</b>	Organická hmota tvořená živými mikrobiálními tkáněmi
<b>Humus</b>	Všechny organické látky v půdě, kromě nerolozžených rostlinných a živočišných tkání, produktů jejich částečného rozkladu a půdní biomasy
<b>Půdní organická hmota</b>	Soubor všech neživých látek nacházejících se na povrchu půdy nebo v ní
<b>Huminové látky</b>	Řada vysokomolekulárních hnědě nebo černě zbarvených látek, které vznikly sekundárními syntetickými reakcemi
<b>Nehuminové látky</b>	Látky patřící do známých biochemických tříd, jako aminokyseliny, uhlovodíky, tuky, vosky, pryskyřice a organické kyseliny
<b>Humin</b>	Frakce humusu (půdní organické hmoty) nerozpustná v alkalickém roztoku
<b>Huminové kyseliny</b>	Tmavě zbarvený organický materiál nerozpustný ve zředěných kyselinách
<b>Fulvokyseliny</b>	Světleji zbarvený organický materiál, který zůstává v roztoku po vysrážení HK po okyselení

<b>Hymatomelanové kyseliny</b>	Část huminových kyselin rozpustná v alkoholu
------------------------------------	----------------------------------------------

Zdroj: Baldock a Skjemstad (2000)

### 3. 4. 1 Význam půdní organické hmoty

Význam půdní organické hmoty pro půdní úrodnost a obecně pro kvalitu půdy je dlouhodobě známý a oceňovaný. Není pochyb o tom, že příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, je základním faktorem půdní úrodnosti a v převážné míře je podmínkou existence velmi bohaté a diversifikované půdní bioty (Kubát, 2008). Půdní organická hmota pojí minerální částice a napomáhá tak vytváření drobtovité půdní struktury, přičemž její složkou, nejvíce účinnou ve stabilizaci agregátů, jsou tmelící látky, produkovány různými půdními organismy a kořeny rostlin. Dále zlepšuje schopnost rostlin zadržovat vodu a zvyšuje obsah vody přístupné pro rostliny (Brady a Weil, 2002). Toto všechno spolu se zvýšenou infiltrací díky POH a snížením evaporace díky rostlinným zbytkům na povrchu půdy přispívá k efektivnějšímu využití vody (Brady a Weil, 2002).

Dalším klíčovým faktorem půdní organické hmoty je vliv na snižování pedokompakce. (Soane, 1990) uvádí různé mechanismy, kterými mohou být pedokompakce redukována prostřednictvím zvýšeného obsahu POH:

1. zlepšení utváření půdních agregátů
2. zvýšení elasticity půdy
3. zeslabení účinku objemové hmotnosti v důsledku smíchání organických zbytků s půdou
4. dočasná nebo trvalá přítomnost kořenových sítí
5. lokalizovaná výměna elektrického náboje povrchu půdních částic
6. změna vnitřního napětí půdy.

Jednou z nejvýznamnějších funkcí půdy v koloběhu živin je adsorpce nebo výměna iontů. Organická hmota může zvyšovat ionto-výměnnou kapacitu půdy z 20 % na více než 70 % kapacity přítomných jílových minerálů a oxidů kovu (Reicosky, 2001). Humus, respektive jeho velmi malé částice napomáhají zvyšování kationtové výměnné kapacity



(KVK) půdy. Tento přirozený jev zlepšuje půdní úrodnost, neboť KVK zvyšuje schopnost půdy zadržovat kationty využitelné rostlinami k jejich výživě, např. vápník, hořčík, draslík, sodík a amonný kationt, čímž se snižuje nebezpečí ztráty jejich vyluhováním.

Adsorpce prostřednictvím jílových minerálů a půdní organické hmoty je důležitým prostředkem pro udržení živin v oblasti kořenové zóny. Půdní organická hmota je hlavním zdrojem fosforu a síry v půdě a také hlavním zdrojem dusíku pro většinu rostlin. Jejím rozkladem dochází k uvolňování živin z organických vazeb ve formě rozpustných iontů, které mohou být přijímány kořeny rostlin (Brady a Weil, 2002). Díky své schopnosti adsorbovat rozpustné chemikálie, může také půdní organická hmota snižovat toxicitu určitých prvků (Reicosky, 2001).

V neposlední řadě je POH také hlavním zdrojem potravy pro půdní mikroorganismy, dodávající jim uhlík a energii. Bez nich by se biochemická aktivita, nezbytná pro fungování ekosystému, téměř zastavila (Brady a Weil, 2002). Množství, diverzita a aktivita půdní fauny a mikroorganismů přímo souvisí s obsahem a kvalitou půdní organické hmoty (Reicosky, 2001).

### **3. 4. 2 Organický uhlík v půdě**

Půdní organická hmota představuje významnou část organického uhlíku v biosféře, která je nezbytnou podmínkou půdní úrodnosti a fungování ekosystému jako celku. Obecně jsou kvalita a zdraví půdy ovlivněny především množstvím a kvalitou půdní organické hmoty, což ji staví do pozice základního faktoru půdní úrodnosti a udržitelnosti hospodaření na půdě. Půdní organická hmota představuje rezervoár organického uhlíku a jeho akumulace patří k jejím nejdůležitějším funkcím půdy.

Jediným zdrojem organického uhlíku v půdě je fotosyntézou (mechanismem podle Calvina) akumulovaný uhlík. Ten je dále heterotrofními organismy přeměňován. Organický uhlík v půdě dělíme na volný (pyrogenní), stabilní (inertní) a aktivní (labilní).

Volný uhlík představuje tu část uhlíku, který není vázán na žádné minerály a není asociován s minerálními agregáty. Je to inertní uhlík, který nehydrolyzuje, nerozpouští se,

ani nereaguje s minerálním podílem půdy, a protože není nijak poután, uplatňuje se nejvíce v globálním koloběhu uhlíku. (Gregorich, 2001) a (Stevenson, 1982) uvádějí, že všechny huminové látky, které nebyly biologicky rozloženy, se postupně transformují na kerogen, nebo na uhlí podobné sloučeniny, v závislosti na podmínkách prostředí v sedimentech.

Stabilní uhlík je zastoupen uhlíkem tzv. specifických huminových látek (HL), uhlíkem huminových kyselin (HK) a uhlíkem fulvokyselin (FK). Huminové kyseliny a fulvokyseliny vzhledem k chemickému složení a struktuře přímo ovlivňují půdní chemismus. Charakteristická je pro ně vysoká odolnost vůči mineralizaci a biodegradaci, proto se označují jako uhlík stabilní (Zaujec, 2009). Časová perioda rozpadu jsou stovky až tisíce let. Důležitou roli zde plní podmínek stanoviště, tj. intenzita rozkladu závisí na hydrotermických podmínkách, vstupech a výstupech rostlinné či organické hmoty, na obsahu jílu a erozně akumulacních procesech v půdě. Přestože se stabilní uhlík příliš neúčastní mineralizačních procesů, plní tzv. půdotvornou funkci. Huminové látky mají biostimulační efekt na rostliny. Je to dáno jejich vysokou sorpční a komplexační schopností, což přímo ovlivňuje a reguluje příjem živin rostlinami, biopřístupnost polutantů a rizikových prvků. Obsah stabilního uhlíku v půdě závisí také na antropogenních faktorech (způsob hospodaření, osevní postupy, hnojení, vápnění), na biologických a fyzikálních parametrech půdy (Zaujec, 2009).

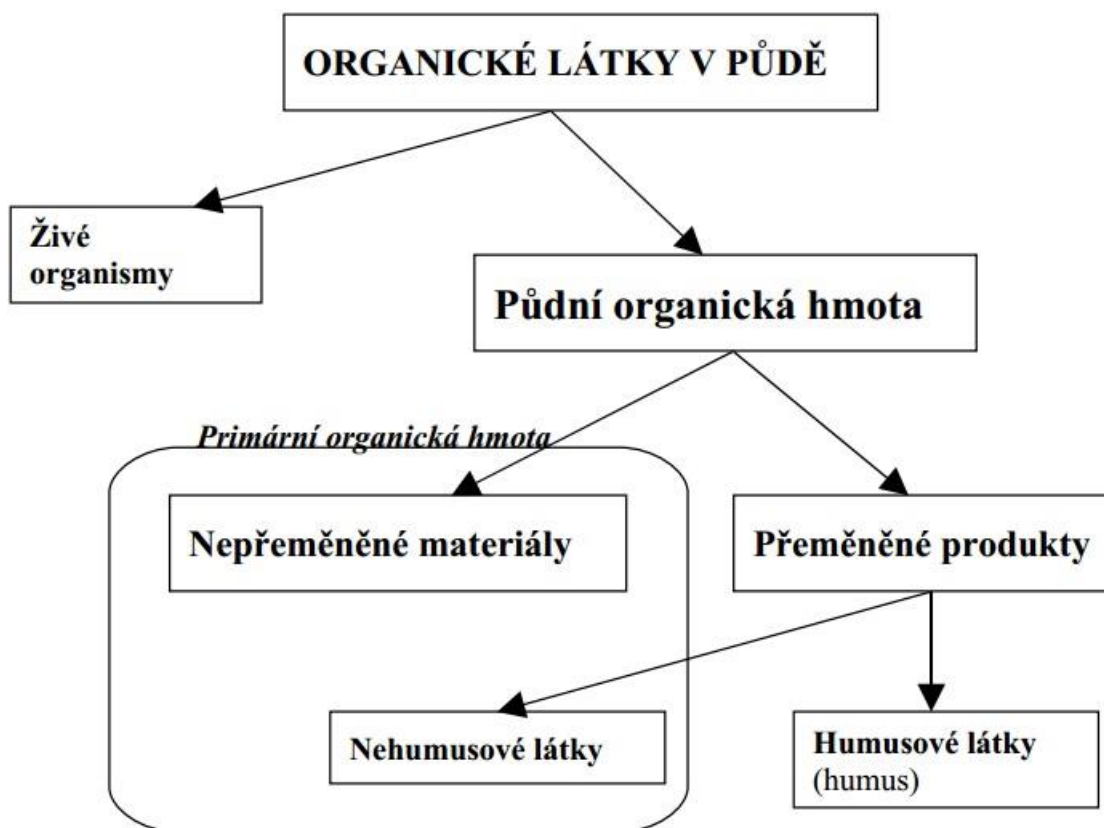
Aktivní uhlík je označován i pojmy nechráněný uhlík, labilní nebo lehce rozložitelný, či lehce metabolizovatelný uhlík. Jedná se o organický uhlík, který snadno podléhá oxidaci, což vede k úbytku celkového obsahu humusu v půdě. Má kratší časovou periodu koloběhu, většinou se jedná o desítky let. Protože snadno podléhá mikrobiálnímu rozkladu, má přímý vliv na uvolňování důležitých živin do půdy a odpovídá za tzv. časovou stabilitu humusu (John, 2003). Ovlivňuje rovněž transformační procesy v půdě, např. pohyb živin a polutantů. Je známá i jeho vysoká afinita k těžkým kovům a schopnost vázat hydrofobní polutanty (Berggren, 1990). Jeho vazby v prostředí nejsou doposud dobře prostudovány, ale je zjištěno, že se jedná o organické látky komplexní povahy, tzv. kovové komplexy (cheláty), na něž se vážou uhlovodíky, proteiny, amidy, hydroxylové a karboxylové skupiny (Johns a Skoglay, 1994). Dále bylo prokázáno, že jeho obsah úzce

souvisí s obhospodařováním půdy; veškeré změny obsahu humusu se týkají téměř výlučně této formy uhlíku.

### 3. 4. 3 Primární organická hmota

Z hlediska půdní úrodnosti můžeme říci, že půdní organická hmota má v podstatě dvě základní a odlišné složky primární organickou hmotu a huminové látky. Organické látky v půdě můžeme rozdělit a klasifikovat podle následujícího schématu vycházejícího z (Drozd, 1997):

Obr. 3. 4. 3 Schéma třídění organických látek v půdě



Zdroj: (Drozd, 1997)

Primární organická hmota se skládá z velkého množství nejrůznějších látek. V podstatě tam lze nalézt téměř všechny druhy organických sloučenin. Převážnou část této hmoty však tvoří celulóza a lignin, jakožto hlavní produkty rozkladu rostlinných zbytků. Primární organická hmota má zanedbatelnou ionto-výměnnou kapacitu, ale je mineralizovatelná a proto může být zdrojem energie pro půdní mikroedafon. Její význam je ve schopnosti udržovat v kondici mikrobiální život v půdě a tak nepřímo ovlivňovat i její oživení mikroorganismy, působit na mobilitu živin, působit rozklad organických polutantů v půdě (Kužel S., 2001). Primární organická hmota obsahuje jak nepřeměněné materiály tak i přeměněné avšak nezhumifikované látky.

#### **3. 4. 4 Nepřeměněné materiály**

Jsou to organické látky na různém stupni rozkladu od čerstvých a nezměněných části zbytků rostlin a živočichů, u nichž je patrná ještě i původní morfologická struktura až produkty jejich rozkladu.

#### **3. 4. 5 Nehuminové látky**

Jak už bylo uvedeno výše, nehuminové látky tvoří obrovské spektrum organických látek. Největší část však tvoří celulózy, hemicelulózy a lignin. Další významnou složkou jsou sacharidy, které slouží především jako energie pro půdní mikroorganismy. Kromě toho lze v půdě nalézt též proteiny, tuky, aminokyseliny, živce, vosky a další nízkomolekulární sloučeniny. Kvalita primární organické hmoty z velké míry určuje půdní úrodnost (Haynes, 2005). Pokud umožňuje dostatečnou aktivitu půdní mikroflóry, ta rozkladem této hmoty uvolňuje velké množství prvků, které mohou rostliny využít pro svou vegetaci. Tato kvalita je dána především labilitou organických látek, resp. jejich přístupností pro mikroorganismy. To znamená, že i když bude v primární organické hmotě dostatek zásobních prvků pro výživu rostlin, ale ta bude příliš stabilní vůči rozkladu, tyto látky se neuvolní a úrodnost půdy bude malá (Haynes, 2005).

Současná věda právě řeší problém, jak tuto kvalitu primární organické hmoty hodnotit. I když je možno z půdy extrahovat a identifikovat mnoho skupin organických látek, neříká to nic o jejich kvalitě. Je to dáno tím, že např. druhů molekul, které bychom podle organické chemie zařadili k celulózám, můžeme nalézt v půdě tisíce (Stevenson, 1982), přičemž je nemůžeme jednotlivě identifikovat a navíc by to nemělo ani příliš rozumné opodstatnění. Proto se snažíme přistupovat k půdní organické hmotě jako celku a nalézt způsob, jak hodnotit její kvalitu. Kvalita primární organické hmoty se většinou posuzuje jako míra odolnosti vůči mikrobiální nebo chemické oxidaci, přičemž jsou snahy o její rozdělení na frakce odstupňované podle lability.

### **3. 4. 6 Procesy transformace primární organické hmoty**

Výchozí (primární) organická hmota podléhá přeměnám (mineralizace, humifikace, ulmifikace) a část z ní přechází v sekundárně nově vytvořené vlastní huminové látky. Charakter těchto změn je závislý na původu opadu a na prostředí, v němž tyto procesy probíhají. Dochází jednak k rozkladu na výchozí anorganické složky s uvolňováním energie (mineralizace), jednak k vytváření složitějších a stabilnějších organických látek většinou aromatické povahy (humifikace) a konečně k produkci a hromadění energeticky bohatých sloučenin (ulmifikace, karbonizace). Rozlišují se čtyři frakce POH: rozpuštěná organická hmota (DOM < 45  $\mu\text{m}$ ), rozdrobená organická hmota (53 – 2000  $\mu\text{m}$ ), humus a inertní organická hmota (Smith, 2005).

### **3. 5 Huminové látky**

Huminové látky představují největší a z hlediska globální stability na Zemi nejvýznamnější zásobu organického uhlíku. Jen v půdních uhlíkatých sloučeninách je vázáno přibližně 3, 3 krát více uhlíku než v atmosféře a 4, 5 krát více než v živých organismech (Lal, 2004). Na organické sloučeniny připadají téměř dvě třetiny půdních zásob uhlíku, z toho nejméně polovinu tvoří chemicky relativně odolné huminové látky. Další zásoby huminových látek jsou rozpuštěny ve vodách nebo uloženy v sedimentech

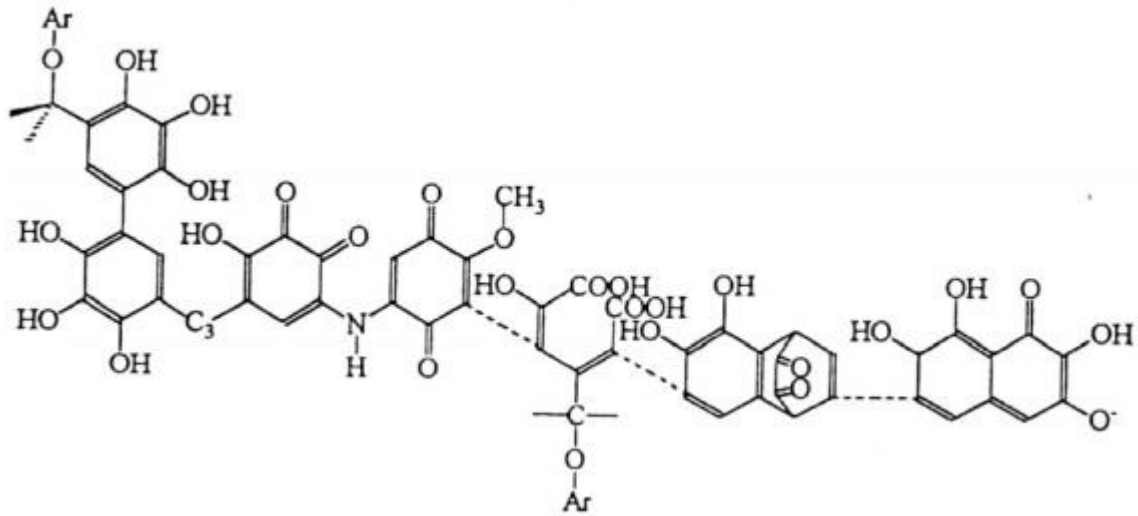
moří, jezer, vodních toků a v ložiscích rašeliny, lignitu a uhlí. Nepřekvapí proto, že huminové látky zásadním způsobem ovlivňují život na Zemi, určují kvalitu půd, vod a vázáním uhlíku v relativně stabilních sloučeninách také složení atmosféry (Lal, 2004).

Huminové látky jsou komplexní a heterogenní sloučeniny polydisperzních materiálů vytvořených v půdách, sedimentech a přírodních vodách pomocí biochemických a chemických reakcí, které vznikají při rozkladu a transformaci rostlinných a mikrobiálních zbytků, již zmíněný proces humifikace. Rostlinný lignin a jeho různé produkty transformace (polysacharidy, melanin, kutin, proteiny, lipidy, nukleové kyseliny, jemné částice uhlí atd.) jsou důležitou součástí tohoto procesu (Novák a Hrabal, 2011).

Huminové látky jsou zahrnuty do mnoha procesů v půdách a přírodních vodách. Jedná se zejména o zvětrávání půdy, výživu rostlin, vyrovnávání pH, mobilitu a toxicitu stopových prvků, biologickou dostupnost, degradaci a transport hydrofobních organických látek, tvorba vedlejších produktů desinfekci při čištění odpadních vod a heterotrofní produkci v ekosystémech „blackwater“ (Frimmel, 2006).

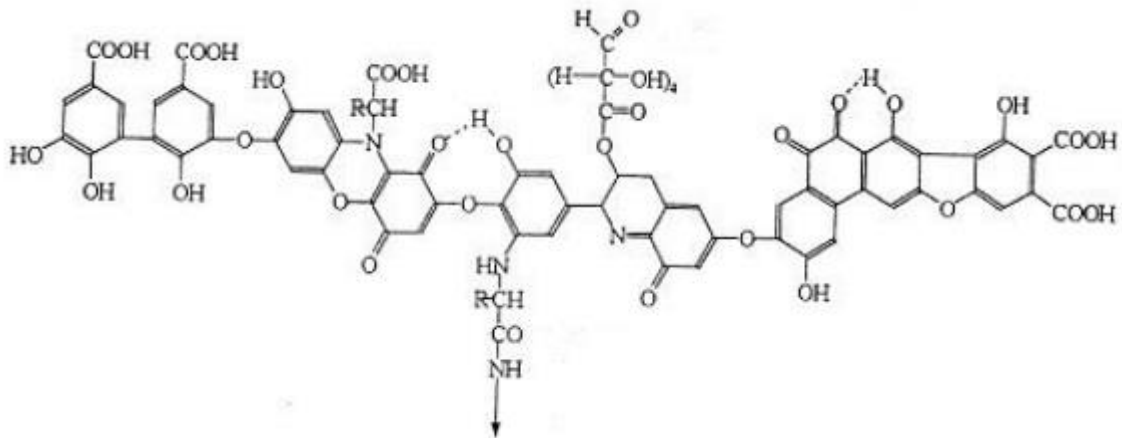
Huminové látky se nacházejí v přírodních surovinách. Jejich zdrojem jsou především kaustobiolity, tj. oxihumolit, leonardit, lignit a rašelina. Dále jsou obsaženy v rostlinných biopolymerech – ligninu, celulóze a hemicelulóze. V České republice jsou jedny z nejkvalitnějších oxihumolitů na světě. Oxihumolity se především zpracovávají na alkalické humáty, tj. humát sodný a humát draselný, v omezené míře pak i na jiné deriváty huminových látek – čisté huminové kyseliny, humáty kovů a speciálně upravené oxihumolity (Tyl, 2011).

Obr. 3. 5. 1 Hypotetická struktura huminových látek



Zdroj: (Flaig, 1960)

Obr. 3. 5. 2 Hypotetická struktura huminových látek



Zdroj: (Stevenson, 1982)

### 3. 5. 1 Funkce huminových látek

Potenciál huminových látek je vysoký a není dosud plně využit. Rovněž znalosti o chování komerčních preparátů v půdě jsou zatím nedostatečné a jejich výzkum je obtížný, mimo jiné pro labilitu těchto látek. Podle dostupných zdrojů se při jejich aplikaci snižuje náchylnost kulturních rostlin k onemocněním, zlepšuje se jejich metabolismus, působí

jako aktivátory růstu a celkově se zvyšují výnosy zemědělských plodin (Chen, 2004). Je to způsobeno zejména jejich komplexním vlivem na rostlinu a její prostředí. Nesporná je role huminových látek i jako fyziologicky aktivních látek, tzv. biostimulátorů. Jsou schopny měnit propustnost buněčných membrán, zvyšovat aktivitu enzymů, stimulovat procesy dýchání a syntézu bílkovin. Mezi jejich nejdůležitější funkce patří:

- **akumulační** – schopnost vázat všechny živiny potřebné pro výživu rostlin, aminokyseliny a vodu;
- **zásobovací** – tvorba komplexních organominerálních sloučenin s kovy a mikroelementy, které aktivně předávají buňkám;
- **ochranná** – sorpce a imobilizace toxických látek a radionuklidů (Chen, 2004).

Pro huminové látky je typické, že se vliv na metabolismus rostlin projeví již při jejich velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Zvýšení koncentrace huminových látek přinese zvýšený efekt na rostliny jen tehdy, zvýší-li se současně úroveň i dalších vnějších faktorů, například minerálních živin nebo slunečního svitu.

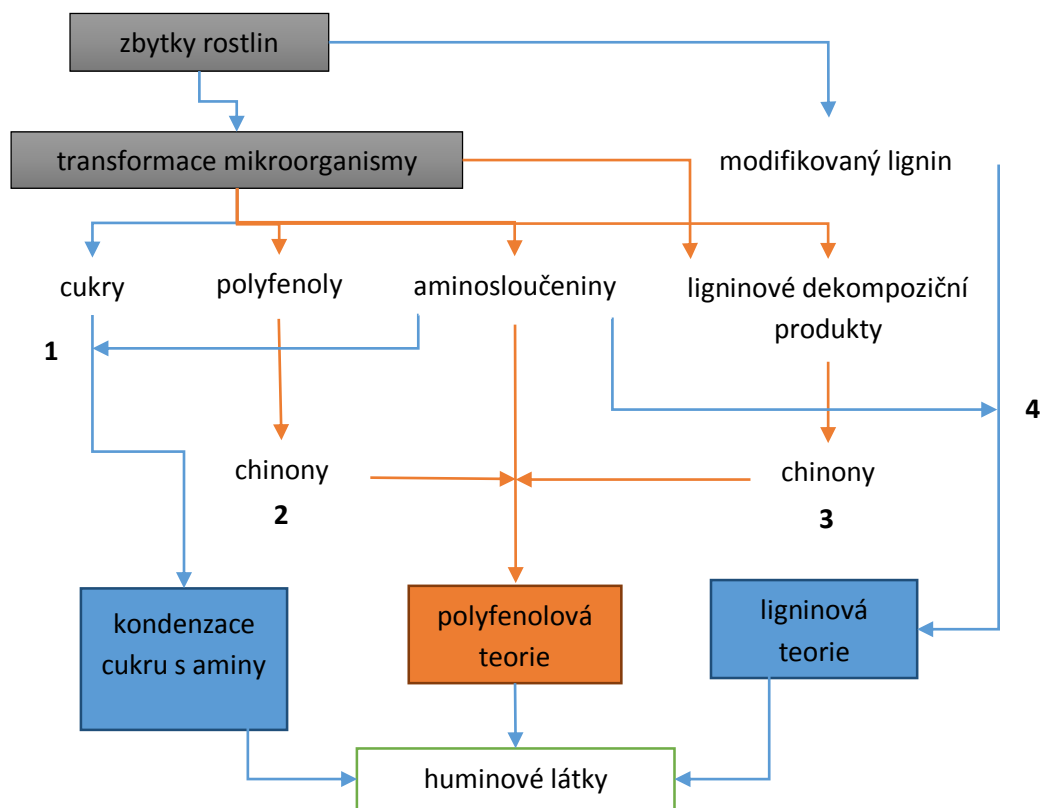
### 3. 5. 2 Teorie vzniku huminových látek

Huminové látky v půdě vznikají v procesu humifikace, který zahrnuje biochemické procesy transformace a rozkladu vstupujících organických zbytků a rostlinných biopolymerů, především ligninu, vosků a fenolových kyselin.

Lignin je po polysacharidech druhý nejrozšířenější biopolymer v přírodě (Kogel-Knabel, 2002). Je těžce odbouratelný a dovedou ho dobře rozkládat pouze houby (původci bílé hniloby) v lesních půdách nebo basidiomycety a některé aktinomycety. Rozklad ligninu je podmíněn přítomností dodatečného, lehce přístupného zdroje energie; jedná se tzv. kometabolický rozklad (Dec, 2001). Proto je první teorie vzniku huminových látek v půdě označována jako ligninová. Podle ní souvisí vznik huminových látek s lignifikovanými pletivy rostlinných zbytků. Další jsou tzv. polyfenolová a kondenzační teorie, které podrobně uvádí (Sotáková, 1982) – Obr. 3. 5. 2. 1.



Obr. 3. 5. 2. 1 Schéma teorie vzniku huminových látek



Zdroj: (Sotáková, 1982)

Huminové látky vznikají odštěpením z rostlinných biopolymerů, tj. kyseliny ferulové, syringové, kávové, protokatechové, z pyrogalolu a konyferylu, alkoholu, katecholu a jiných důležitých prekurzorů procesu humifikace (Aiken, 1985). První fáze humifikace představuje postupnou oxidaci a degradaci existujících rostlinných biopolymerů, zatímco druhá fáze zahrnuje tvorbu nových makromolekul, které jsou samy po čase oxidativně degradovány. Je pravděpodobné, že v půdě probíhají oba procesy souběžně. Kromě rozkladu složitých organických látek je nutné zdůraznit i tvorbu (syntézu) látek nových s odlišným chemickým složením od původního humusotvorného materiálu. Jedná se tedy o složité a několikafázové pochody, proto je současná kvalifikace a třídění huminových látek založeny na sledování jejich fyzikálních, chemických, fyzikálně-chemických a biochemických vlastností. Huminové látky (specifické) představují podle současných poznatků heterogenní organické látky, žluté až černé barvy, o vysoké molekulové hmotnosti (Stevenson, 1982).

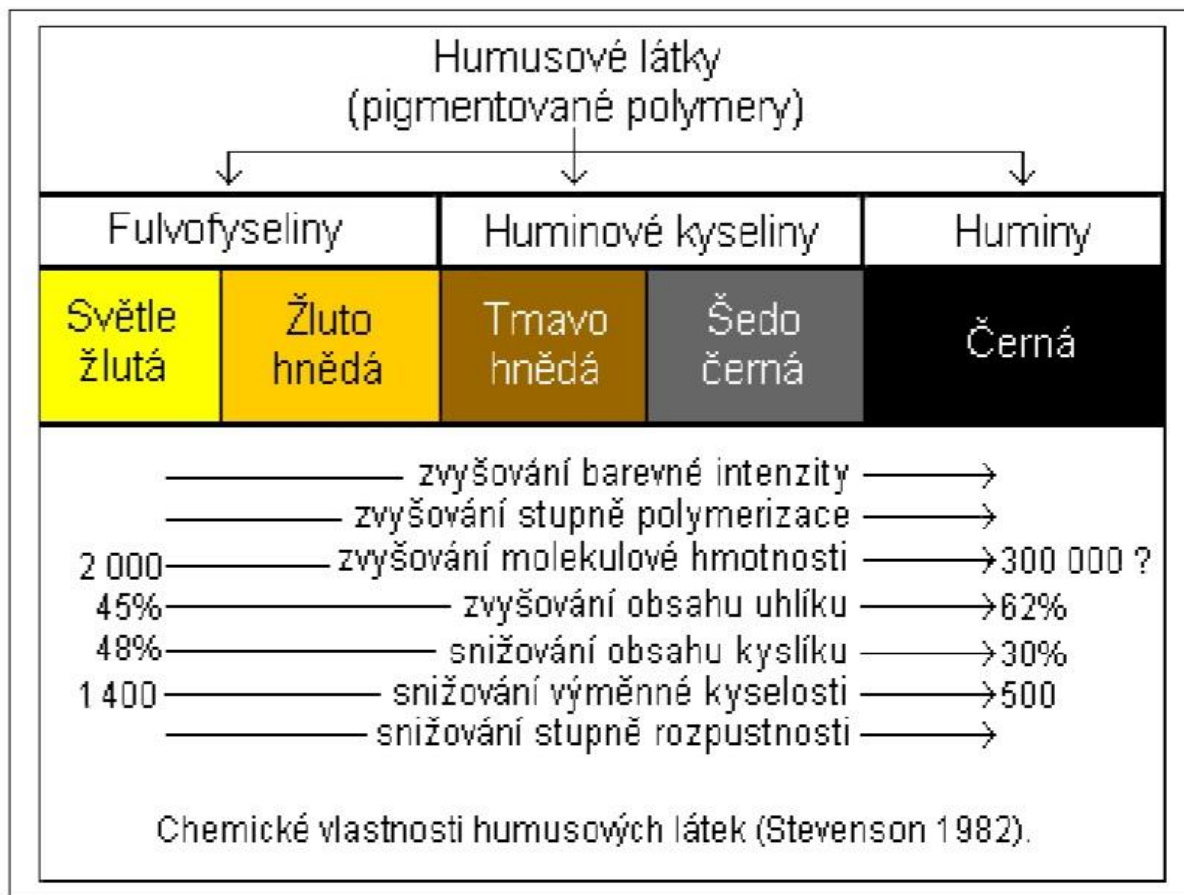
### 3. 5. 3. Frakcionace huminových látek

V literatuře se obvykle rozlišují dvě základní skupiny huminových látek, a sice fulvokyseliny a huminové kyseliny. Obě skupiny se však liší jen málo, pouze stupněm kondenzace a polymerace, molekulovou hmotností a barvou. Fulvokyseliny jsou látky nižší molekulové hmotnosti a žluté barvy, huminové kyseliny vykazují naproti tomu vyšší stupeň kondenzace i polymerace i vyšší molekulovou hmotnost a jejich barva se mění od hnědé po šedou. Fulvokyseliny i jejich soli fulváty jsou dobře rozpustné ve vodě a snadno vytvářejí rozpustné komplexy s vícemocnými kationty, snadno se též vymývají z půdního profilu.

Frakcionace huminových látek podle rozpustnosti v roztocích s různým pH je nejběžnější a nejvíce uznávanou metodou frakcionace huminových látek. Např. významné rozdělení podle (Aiken, 1985):

- Huminové kyseliny: látky, které nejsou rozpustné v kyselém prostředí ( $\text{pH} < 2$ ), ale jsou rozpustné ve vyšších hodnotách pH.
- Fulvokyseliny: látky, které jsou rozpustné v celé škále hodnot pH.
- Huminy: látky, které nejsou rozpustné vůbec.

Obr. 3. 5. 3. 1 Vlastnosti huminových látek



Zdroj: (Stevenson, 1982)

Prvková analýza těchto sloučenin ukazuje, že z 98 – 100% jsou to prvky C, H, O, N, S, P (neuvažujeme popel). Rozdělení těchto prvků je znázorněno v tab. 3. 4. 2.2. Obecně fosfor zaujímá 0,1 – 1,0 % fulvokyselin a huminových kyselin.

Tab. 3. 5. 3. 2 Obsah prvků ve fulvokyselinách a huminových kyselinách

	Vyjádřeno v % - popele zbavená sušina	
<b>Prvek</b>	<b>Fulvokyseliny</b>	<b>Huminové kyseliny</b>
<b>C</b>	40 - 50	50 - 60
<b>O</b>	44 - 50	30 - 35
<b>H</b>	4 - 6	4 - 6
<b>N</b>	< 1 - 3	2 - 6
<b>S</b>	0 - 2	0 - 2

Zdroj: (Stevenson, 1982)

### 3. 5. 4 Mechanismy působení huminových látek na rostliny

Jedna věc je popsat efekty rozpustných huminových látek na rostliny a druhá věc je pokusit se tyto efekty vysvětlit. Musíme přitom rozlišovat mezi přímým a nepřímým působením huminových látek na rostliny. Jednodušší je vysvětlit nepřímé působení, jehož základem jsou komplexotvorné a chelatizační vlastnosti huminových látek. V literatuře nacházíme řadu prací, které se touto problematikou zabývají. Například (Guminski, 1967) vysvětluje nepřímé působení regulačního vlivu huminových látek na příjem dvou a vícevalentních kationtů rostlinami. (Savoini, 1986) považuje komplexotvorné vlastnosti huminových látek za významné především z hlediska výživy rostlin železem a fosforem a to, že jsou fosfáty v půdě prostřednictvím kovu navázány na micely huminových látek. Tuto vazbu mohou narušit kořenové exudáty rostlin a tím se uvolňuje nejen fosfát, ale i příslušný kovový prvek a humusová micela, přičemž všechny tyto složky původního komplexu mají svou funkci ve výživě rostlin. Vztahy mezi půdními fosfáty a huminovými látkami podrobně studoval také (Kolář, 1985).

### 3. 5. 5 Huminové látky v půdě

Vliv huminových látek v půdě je mnohostranný a spočívá v kladném ovlivnění všech půdních vlastností působících rozhodující měrou na obsah živin v půdě i na půdní úrodnost. Jedná se především o následující půdní vlastnosti:

- vysoce poutají (sorbuje) živiny - kationtová výměnná kapacita může být vyšší než u jílových minerálů - u huminových kyselin se uvádí na úrovni 4 000 mmol/kg, u sekundárních jílových minerálů nepřekročí hodnotu 1 500 mmol/kg,
- jsou důležitým faktorem drobtovité struktury, jejímž důsledkem je příznivý vodní, vzdušný a tepelný režim půdy,
- kladně ovlivňují ústojčivou schopnost půd,
- detoxikují škodlivé sloučeniny a částečně poutají i těžké kovy,

- huminovým efektem omezují retrogradaci fosforečnanů (snížení rozpustnosti fosforu zejména v alkalických půdách) (Burns, 1986).

Obsah humusu bude v půdě vyrovnaný, pokud bude zajištěn pravidelný přísun organických látek. Zvýšenými dodávkami organických látek lze zvýšit obsah humusu v půdě za 50 let o cca 0,2 - 0,5 %. Naproti tomu zápornou bilancí organických látek lze v relativně kratší době výrazně snížit jeho obsah a tak i půdní úrodnost.

### **3. 6 Humusové preparáty**

Humusové látky lze podle původu rozdělit na látky přírodní humusové látky a syntetické humusové látky. Aplikují se do půdy přímo bez jakékoliv úpravy anebo jsou vhodným způsobem upraveny (např. prosety, podrceny, kompostovány nebo dosušeny). Využívány jsou především jako půdní kondicionéry a hnojiva. Registr hnojiv ČR nám umožňuje prohlížet výrobky uváděné v ČR do oběhu v několika režimech, registrovaná hnojiva a pomocné látky, ohlášená hnojiva, HNOJIVA ES a tzv. vzájemně uznané výrobky. Zveřejnění jednotlivých HNOJIV ES v Registru hnojiv je dobrovolné, na základě požadavku výrobce resp. dodavatele.

#### **3. 6. 1 Historie**

##### **3. 6. 1. 1 První generace**

První generace přírodních huminových látek je představena komerčně vyráběnými přípravky, které jsou získávány těžbou a následnou fyzikální a chemickou úpravou hnědého uhlí (lignitu) a suroviny blízké hnědému uhlí (leonarditu a oxihumolitu).

Lignit je geologicky nejmladší a nejméně karbonizované hnědé uhlí s relativně nízkou výhřevností. V původním těženém stavu obsahuje 50 % vody, což snižuje jeho

výhřevnost a omezuje využití v energetice, i když na současné moderní fluidní spalování obsah vody v uhlí nemá žádný vliv. Obsahuje kromě uhlíku, huminových kyselin i velké množství příměsí, síry, mikroprvků a vody (Pospíšilová, 2012). Jihomoravský lignit patří mezi tzv. ortolignity, a nízkým stupněm prouhelnění a vysokou schopností absorbovat vodu; tento proces je v cyklu hydratace-sušení vratný. Jedná se o cenný materiál pro chemický průmysl a zajímavý pro zemědělské aplikace. Využití v zemědělství je zatím málo prozkoumané a postrádá hlubší poznatky. Jednou z možností jeho neenergetického využití je remediace kontaminovaných půd. Často se huminové kyseliny izolované z lignitu aplikují jako půdní pomocná látka ve formě hydrogelů. Dodávají půdě výživné prvky, imobilizují toxické prvky, upravují mikrobiální klima a zlepšují zadržování vody v půdě. Díky vysokým sorpčním vlastnostem a vysokému obsahu stabilního uhlíku a huminových látek, které se postupně uvolňují, je lignit vhodný k uplatnění zejména na zrnitostně lehčích půdách (Gil-Sotres, 1995). Tyto kovy se vážou na lignit a dochází ke snižování koncentrace těžkých kovů v půdě a plodinách (Klučáková a Omelka, 2004). Huminové látky obsažené v lignitu mají odlišnou genezi od půdních huminových látek. Pojem huminové látky neoznačuje pouze chemické individuum, ale složitou směs látek různého původu se společnými vlastnostmi (Stevenson, 1994).

Oxihumolit je mladé, zrnité, nesoudržné hnědé uhlí. Lidově se označuje jako kapucín. Má tmavě hnědou až hnědošedou barvu a nízký stupeň prouhelnění. Stejně jako lignit, oxihumolit není vhodný k energetickému využití. V šedesátých a sedmdesátých letech minulého století zkoumali někteří vědci jeho zemědělské využití (Sladký a Tichý, 1959), (Prát, 1964), (Vrba, 1980). Prováděli pokusy s vodorozpustnými formami huminových látek a zjistili pozitivní vliv na metabolismus rostlin, růstové parametry a rovněž zkoumali jejich paramagnetické účinky. Naše oxihumolity patří k nejkvalitnějším na světě. Obsahují od 20 % (světější typy) po 70 % (tmavé typy) kvalitních huminových látek. Oxihumolity obdobné kvality nacházíme pouze v některých oblastech severní Ameriky a Austrálie, kde se označují jako leonardit. Nevýhodou oxihumolitů je, že je nelze aplikovat do půdy či kompostu přímo, protože nejsou rozpustné. Huminové látky se z oxihumolitů získávají oxidací kyselinou dusičnou, čímž se zvýší jejich extrakce a tím i podíl humusových látek v konečném produktu. V současné době jsou oxihumolity zpracovány na humát sodný draselný, v omezené míře na huminové kyseliny a humáty dalších kovů (Pospíšilová, 2012).

### **3. 6. 1. 2 Druhá generace**

Druhou generací přírodních huminových látek jsou ty, které se vyrábějí z rašeliny a jezerních sapropelů. Sapropel představuje organické bahno vzniklé rozkladem odumřelých vodních organismů v anaerobních podmínkách. Jedná se o výchozí látku pro vznik zemského plynu a ropy. Příměs sapropelu způsobuje tmavé zabarvení u sapropelitického jílu, vápence a dalších hornin. Hornina, jejíž hlavní složkou je sapropel, se označuje jako sapropelit, je hořlavá a patří ke kaustobiolitům. Výrobky z rašelin a sapropelů jsou poměrně kvalitní, slabě koncentrované roztoky, velmi drahé pro zemědělskou velkovýrobu a obsahují zpravidla do 8 % huminových látek (Pospíšilová, 2012). Ve Švédsku byl v roce 1986 uveden na trh italský práškový preparát huminových látek, který byl vyroben z norské rašeliny. Většinou jsou tyto výrobky přidávány do průmyslových hnojiv nebo se využívají jako biostimulátory. Objevily se i různé fosforečné suspenze huminových látek a speciální listová hnojiva na bázi huminových látek z rašeliny. Její zdroje jsou ovšem ve světě i u nás omezené. Většina rašelin je chráněna z důvodu zadržování vody v krajině a stability ekosystémů. Těžba rašelin pro výrobu huminových látek je tedy omezena. Nejvíce jsou rašeliny využívány pro lázeňské účely a postupně stále méně pro výrobu zahradnických substrátů.

Dalším potenciálním zdrojem huminových látek v přírodě jsou mořské sedimenty, které se těží zejména v Texasu (USA), mají význam především v přímořských státech. Uvádí se také vysoká kvalita huminových látek produkovaných činností „kalifornských“ žížal (*Eusenia foetida*) v umělém chovu (Pospíšilová, 2012).

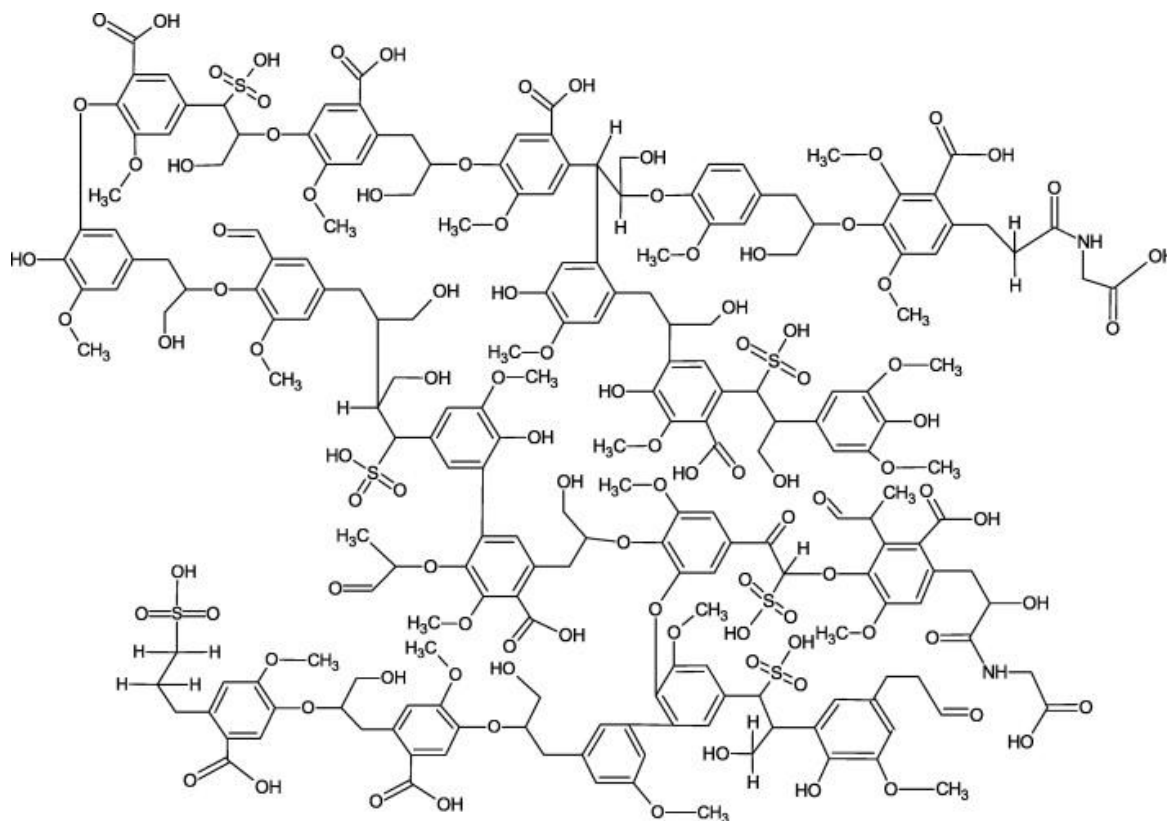
### **3. 6. 1. 3 Třetí generace**

Za třetí generaci přírodních huminových látek se označují preparáty, které obsahují vysokomolekulární i nízkomolekulární látky a jsou plně rozpustné ve vodě. Surovinou pro jejich výrobu je tzv. technický lignosulfonát (odpad papírenského průmyslu); výrobek se označuje také jako lignohumát (Pospíšilová, 2012).

Ze sulfátového výluhu lze přidáním dusíku získat tmavohnědý roztok připomínající roztok huminových látek. Proces oxidačně-hydrolytické destrukce lignosulfonátů je zaměřen na získání komplexu vysokomolekulárních a nízkomolekulárních produktů s nahromaděním určitého obsahu nízkomolekulárních huminových látek rozpustných ve vodě. Ty se vyznačují zvýšeným obsahem skupin látek obsahujících kyslík a tudíž zvýšenou biologickou aktivitou. Výrobce deklaruje 90 % solí huminových kyselin, které jsou minimálně z 50 % zastoupeny nízkomolekulárními látkami - fulvokyselinami.

Lignin je po celulóze druhý nejrozšířenější rostlinný biopolymer. V biosféře váže asi 30% organického uhlíku. Nevyskytuje se v čistém stavu, je vázán na celulózu a vyskytuje se jako lignocelulóza. Obsahuje více uhlíku a méně kyslíku než celulóza. Syntéza ligninu je důležitá pro strukturální integritu buňky a pevnost buněčných stěn. Plní funkci nepropustné voděodolné vrstvy, která chrání rostlinu před ztrátou vody a patogeny (Pospíšilová, 2012).

Obr. 3. 6. 1. 3. 1 Hypotetická struktura lignohumátu



Zdroj: (Novák, 2015)



### 3. 6. 2 Rozdělení lignohumátu

Lignohumát představuje patentově chráněný název produktu, který vzniká z čisté dřevní hmoty. Evropská agentura pro chemické látky se sídlem v Helsinkách ECHA zajišťuje registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, aby byly tyto postupy v celé Evropské Unii jednotné. Firma Amagro s.r.o je jediný evropský výrobce vyrábějící huminové látky procesem okysličené hydrolytické destrukce lignosulfonanu či ligninu. Huminové kyseliny a fulvokyseliny obsažené v humusových preparátech firmy Amagro s.r.o. prošli registračním řízením. Na českém trhu se čím dál častěji objevují tak zvané „lignohumáty“ od různých výrobců. Tyto výrobky ale nesplňují registraci, nejsou vyrobeny procesem okysličené hydrolytické destrukce lignosulfonanu či ligninu a nejsou u nich pozorovány významné pozitivní vlivy na růst a vývoj rostlin.

Mezi hlavní produkty firmy Amagro s.r.o. patří Lignohumát B, Lignohumát MAX, lignohumát A a Lignohumát AM. Lignohumát B je bezbalastní, plně rozpustný huminový přípravek, obsahuje 90 % huminových a fulvinových kyselin na sušinu, přičemž váhový podíl solí huminových kyselin je max. 50 % a váhový podíl fulvinových kyselin je min. 50 %, dále obsahuje 5 % síry na sušinu a prvky Mg, Si, Ca, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Se, B, Co přístupné v chelatové formě (Zedník, 2009).

Lignohumát MAX je koncentrát huminových látek, který působí jako dynamický růstový stimulant a obsahuje více než 53 % fulvokyselin, více než 41 % huminových kyselin, 3 % síry a prvky Mg, Si, Ca, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Se, B, Co přístupné v chelatové formě (Zedník, 2009).

Dále firma vyrábí práškové Lignohumáty a to Lignohumát A a Lignohumát AM. Lignohumát A je základní produkt, který obsahuje pouze mikroelementy původně obsažené v surovině pro výrobu Lignohumátu. Jedná se o organické mikroelementy v lehce pro rostliny přístupné formě HPCA (Humic Polycarboxyl Acids), jejich množství však kolísá v závislosti na surovině. Lignohumát AM, který oproti modifikaci A je obohacen základními mikroelementy EDTA ve stopovém množství (Zedník, 2009).

### 3. 6. 3 Význam lignohumátu v zemědělství

V současné době se huminové přípravky (humáty) hojně používají v zemědělství. Lignohumáty, které spadají do kategorie humátů, v sobě nesou veškeré užitečné vlastnosti huminových látek jako biopolymerů:

- vysoká schopnost výměny kationtů a aniontů
- schopnost vytvářet cheláty
- schopnost posilovat ochranné funkce rostlin
- podpora růstu a rozvoji rostlin
- schopnost interakce s půdními fermenty, vitamíny a jinými látkami (Tugarinov, 2008).

Aplikace lignohumátu v zemědělství podle (Tugarinov, 2008) přispívá k následujícímu:

- zvyšuje výnos plodin až o 10 % v závislosti na druhu plodiny a použité technologii pěstování
- nárůst pšeničného glutenu o 2 – 2,5 %, nárůst cukernatosti řepy a hroznů vinné révy, zvýšení obsahu kyseliny askorbové v zelenině
- vyšší odolnost vůči suchu a změnám teploty, především díky posílení kořenového systému rostlin
- vyšší účinnost minerálních hnojiv zejména využití dusíku.

(Hradecká, 2006) ve své práci hodnotí lignohumát v regulaci stresů a energetiku fotosyntézy pšenice Ebi. Zkoumala podporu růstu a vývinu ozimé pšenice Ebi během fází odnožování sloupkování a po metání, kdy aplikované lignohumáty stimulují produkční proces a napomáhají překonat nepříznivý vliv stanovištních faktorů. Dokládá to energetická bilance fotosyntézy např. kvantový výtěžek  $F_v/F_m$  a výkon fotosyntézy PS. Podle výše výnosů zrna se nejlépe osvědčila varianta s 3x opakovanou aplikací lignohumátu u níž byl výnos zrna zvýšen o 10 % proti kontrole.

### 3. 6. 4 Výroba buničiny a vznik lignohumátu

Buničina je nejčastější materiál používaný na výrobu papíru. Vyrábí se jak z jednoletých kenaf, bavlny, lnu, tak i z víceletých rostlin (prakticky ze dřeva všech stromů - ve střední Evropě je z nich nejpoužívanější smrk). Jedná se o chemický proces, při kterém je hlavní snahou nepoškodit molekuly celulózy v rostlinném vlákně (obvykle tvořeném buněčnou stěnou) a naopak rozrušit látky, které způsobují pevnost rostliny (ve dřevě jde o lignin) (Gladkov a Poloskin, 2010).

Existují dva hlavní způsoby výroby buničiny ze dřeva, kyselý a zásaditý proces.

Při kyselém (sulfitovém) procesu je základem várky oxid siřičitý spolu s oxidem vápenatým či oxidem hořečnatým. Proces probíhá při pH 1-2 a až za teploty 140 °C. Vyrobena buničina má poměrně vysokou bělost, ale o něco nižší pevnost (ve srovnání se sulfátovou buničinou). Při procesu dochází ke kyselé hydrolyze celulózy i hemicelulóz, čímž vznikne množství jednoduchých cukrů. Tyto cukry se mohou využít pro výrobu kvasnic z odpadních vod (Gladkov a Poloskin, 2010).

Odpadem bývá smrdutý a pro životní prostředí škodlivý roztok sulfidu (siřníku) spolu s tzv. černým likérem ligninu (black liquer), který se většinou vysuší a spálí přímo v papírnách, aby se získala energie a alkálie do dalšího procesu. Hlavní škodlivé sloučeniny v tomto odpadu jsou sulfidy a merkaptany, přítomná frakce ligninu je jimi silně znečištěna. Samotný lignin je v roztoku rozložený, není sulfonován, a oxidací např. peroxidem lze jen prohloubit stupeň jeho rozkladu, výsledný produkt však nemá nic společného s huminovými kyselinami typu lignohumátu. V ČR se sulfitová buničina v současnosti vyrábí např. v Paskově (poblíž Frýdku-Místku).

Při zásaditém (sulfátovém) procesu se jako základní chemikálie používají sulfid sodný a hydroxid sodný. Varné pH se může blížit až hodnotě 13 a dosahuje se teplot až ke 170 °C. Vzniklá buničina vyniká výbornými pevnostními vlastnostmi a používá se pro mechanicky namáhané papíry (například pro pytlový) (Gladkov a Poloskin, 2010). Jako vedlejší produkt vyniká lignosulfonan, který se prodává pro různé účely, mimo jiné z něj lze vyrobit lignohumát. Nechtěným vedlejším produktem jsou merkaptany způsobující

(při nedokonalém systému cirkulace vzduchu u vařáku) charakteristický zápach v okolí sulfátových celulózek. V ČR se sulfátová buničina v současnosti vyrábí jen v papírnách ve Štětí.

### **3. 6. 5 Vliv lignohumátu na obsah nitrátového dusíku v půdě**

Uhlíkaté látky, zvláště jejich mikrobiálně využitelná část (energetický zdroj pro půdní mikroorganismy), ovlivňují transformace živin v půdě, zejména přeměny dusíku – živiny z hlediska výživy rostlin nejdůležitější. Rostlina sama, při poklesu živin v půdním prostředí, je schopna prostřednictvím kořenových exudátů (jednoduchých metabolicky využitelných substrátů) stimulovat činnost půdních mikroorganismů a zajišťovat si tak přísun živin v průběhu vegetace. Množství organických látek, která jsou rostlinou exudována do půdy, činí v průměru třetinu hmotnosti zralých plodin, což je řádově několik stovek  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Čížek a Krejčová, 1993).

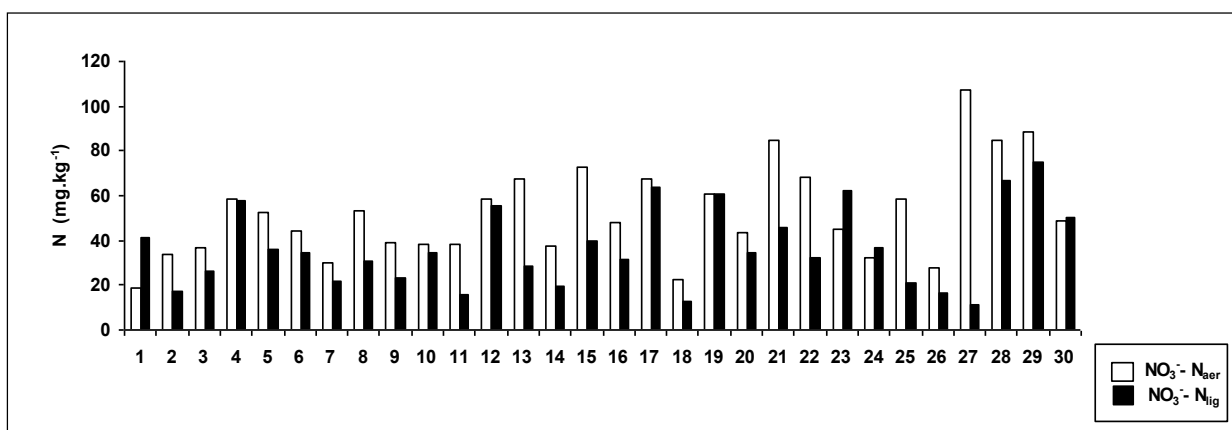
Zdrojem dusíku v půdě jsou organické látky, ze kterých je dusík uvolňován mineralizací. V půdním prostředí se hromadí amonné ionty. Současně s tímto procesem probíhá obráceným směrem imobilizace. Amonné ionty jsou v půdě imobilizovány do mikrobiální biomasy, a nebo tvorbou vazeb s jílovými minerály. Rostlina přijímá amoniakální dusík jen omezeně. Hlavním zdrojem dusíku pro výživu rostlin jsou nitráty, které vznikají oxidací amonných iontů – nitrifikací. Intenzita nitrifikace je závislá na množství amoniakálního dusíku v půdě. Imobilizace dusíku je limitována množstvím mikrobiálně využitelného uhlíku (Cookson a Murphy, 2004). Každá půda je složitý heterogenní systém, ve kterém probíhá nepřetržitě množství mnohdy protichůdných procesů a přeměn, jejichž intenzita je dána specifickými vlastnostmi každého půdního prostředí. Obsah a formy dusíku ovlivňuje zejména kvalita organických látek v půdě (poměr C : N), dále vlhkost, teplota, aerace a pH. Při vysoké hodnotě poměru C : N převládá imobilizace a naopak při nízkém poměru C : N mineralizace (Hadas, 2004).

Při intenzivním zemědělském využívání půdy je nezbytné zajistit dostatečnou výživu rostlin. V souvislosti s výživou rostlin dusíkem je proto nezbytné zabývat se také

studiem uhlíkatých látek v půdě. K zachování vysoké produkční schopnosti půdy se do půdy aplikují organická a minerální hnojiva. Po aplikaci N hnojiv stimuluje dostatečné množství mikrobiálně dostupného uhlíku akumulaci dusíku z minerálních hnojiv do mikrobiální biomasy (imobilizace N) (Čížek a Krejčová, 1993). Po remineralizaci odumřelých mikrobiálních buněk je amoniakální postupně nitrifikován na nitráty a odebírán rostlinou z půdy. Zvyšuje se tím využitelnost hnojiva (pokles ekonomických nákladů) a současně klesá riziko vyplavování nitrátového dusíku z půdního profilu. Dostupné uhlíkaté látky jsou tímto způsobem schopny současně pozitivně působit jak na zemědělskou výrobu, tak na zlepšení životního prostředí.

Hodnocení vlivu Lignohumátu AM na množství nitrátového dusíku v půdě bylo provedeno na základě výsledků aerobní inkubace třiceti různých půdních vzorků (Krejčová, 2008). Přídavek Lignohumátu AM posunul rovnováhu procesu imobilizace-nitrifikace N v půdním prostředí ve prospěch imobilizace v převážné většině půd. Ve srovnání s kontrolními půdními vzorky bez aplikace Lignohumátu AM, bylo pouze u dvou vzorků (1 a 23) z testovaného souboru půd zaznamenáno průkazné zvýšení hodnot nitrátového dusíku (obr. 3. 6. 4. 1) (Krejčová, 2008).

Obr. 3. 6. 5. 1 Obsah nitrátového dusíku v půdních vzorcích (1 - 30) inkubovaných s ( $\text{NO}_3^- - \text{N}_{\text{lig}}$ ) a bez Lignohumátu AM ( $\text{NO}_3^- - \text{N}_{\text{aer}}$ )



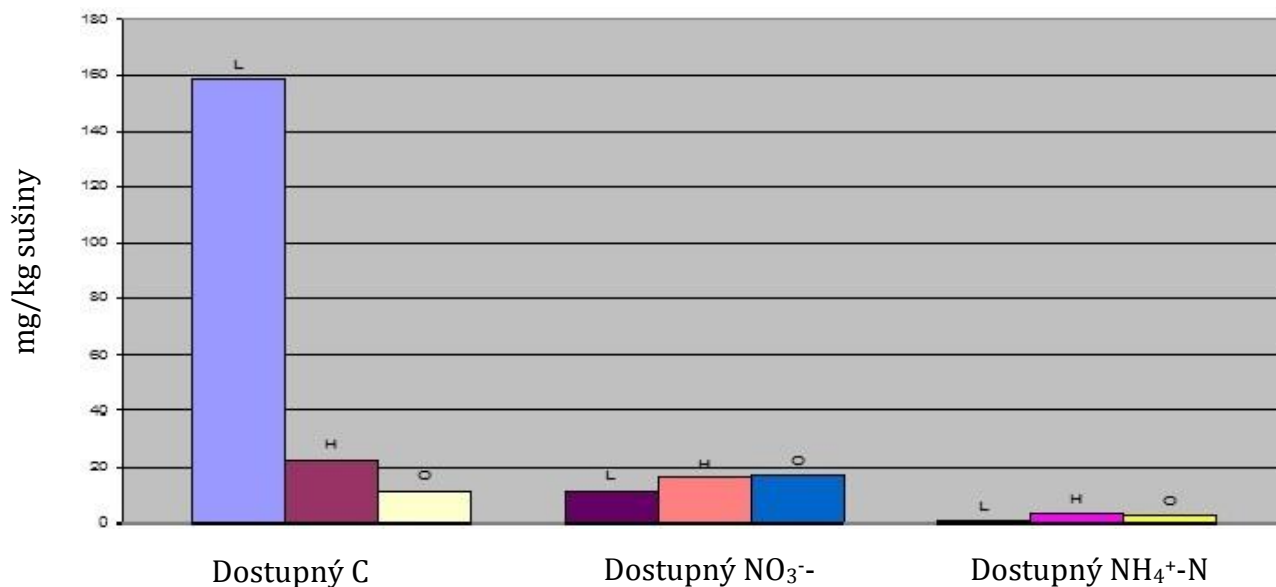
Zdroj: (Krejčová, 2008)

Získané výsledky tohoto výzkumu naznačují, že testovaný preparát Lignohumát AM je vhodným alternativním zdrojem dostupného uhlíku a jeho využití v zemědělské praxi se ukazuje jako velmi perspektivní. Posunutím rovnováhy imobilizace-nitrifikace dusíku ve prospěch imobilizace, při jeho aplikaci s minerálními hnojivy lze prodloužit dobu využití dusíku rostlinou a zároveň a snížit riziko vyplavování nitrátového dusíku z půdního profilu (Krejčová, 2008).

### **3. 6. 6 Vliv lignohumátu na dostupné formy uhlíku a dusíku**

Lignohumát AM, pomocný rostlinný přípravek, byl testován z hlediska dostupného uhlíku a dusíku společně s huminovou přípravkou Výzkumného ústavu anorganické chemie v Ústí nad Labem (oxyhumolity z Lomu Václav u Duchcova a humátem draselným (pevným), připraveným z oxyhumolitů alkalickou extrakcí (Růžek, 2006). Popsané huminové přípravky v dávce 5 g/kg sušiny byly aplikovány do standardu (modální hnědozemě se známým obsahem dostupného C a N) a po sedmi dnech inkubace v kontrolovaných podmínkách byly analyzovány změny vyvolané aplikovanými přípravkami. Rozdíly (graf 3. 5. 5. 1) byly zjištěny zejména u dostupného uhlíku, kde po aplikaci lignohumátu byla naměřena sedminásobná hodnota (158,5 mg C/kg sušiny) ve srovnání s humátem draselným (22,3 mg C/kg sušiny) a čtrnáctinásobná ve srovnání s oxyhumolity z Lomu Václav u Duchcova (11,5 mg C/kg sušiny), což potvrzuje chemickou charakteristiku lignohumátu, že jde o ve vodě rozpustné soli polyoxykarbonových a polyoxyfenolkarbonových kyselin (Růžek, 2006).

Graf 3. 6. 6. 1 Dostupné formy uhlíku a dusíku (extrahovatelné 0,05 mol/l K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) v modální hnědozemi (standardu) 7 dnů po aplikaci různých huminových látek



L: Lignohumát AM™

O: Oxyhumolit z Lomu Václav u Duchcova (VUAnCHem)

H: Humát draselný připravený alkalickou extrakcí oxyhumolitu (VUAnCHem)

Zdroj: (Růžek, 2006)

### 3. 6. 7 Chování lignohumátů v půdách s různou zrnitostí

Výkopové zeminy a suťový prach náleží objemově k prudce narůstajícím stavebním a demoličním odpadům. Jsou častými komponenty urbánních půd, důležité podskupiny antropogenních půd. Pokud splňují obsahem rizikových prvků zákonem stanovené limity, rozšiřuje se prostor pro jejich využití zejména po obohacení vhodnou organickou hmotou z odpadů. V souvislosti s dalším možným využitím byly v letech 2005 - 2006 hodnoceny zrnitostně lehčí výkopové zeminy, suťový prach, zrnitostně těžší výkopové zeminy a směs, tvořená z 90 % složkou a z 10 % složkou z deponie stavebních a demoličních odpadů v Praze-Sedlci (Ondřej Svoboda-Firma Svoboda) po obohacení (1 %) odpadem po extrakci kmínové silice, jemně drcenou pšeničnou, řepkovou a ječnou slámou (< 10 mm). Stablní vlhkost (18 %) po dobu modelových pokusů byla ve vzorcích

dosažena a udržována buď destilovanou vodou nebo 0,016 % roztokem Lignohumátu AM. Současně byl sledován i vliv na rozklad drcené slámy tří nejfrekventovanějších plodin našich osevních postupů (Růžek, 2006).

Aplikace lignohumátu do půdy bez přídavku organické hmoty nebyla úspěšná u zrnitostně lehkých substrátů výkopové zeminy, kde byl aplikovaný lignohumát rychle mineralizován a vyvolal priming effect, neboli horší oživení, horší metabolickou aktivitu půdních mikrobiálních společenstev a nižší zásobu půdní organické hmoty na konci pokusu ve srovnání s destilovanou vodou. Aplikace lignohumátu je proto jak v kombinaci s organickou hmotou, tak bez organické hmoty vhodnější na zrnitostně středních (hlinitých) a zrnitostně těžších (jílovito-hlinitých) půdách a substrátech (Růžek, 2006).

Tab 3. 6. 7. 1 Zrnitostní a chemické parametry výkopových zemin (UR) ve srovnání s hnědozeměmi (HN) a černozeměmi (CE)

<b>Zrnitost (ISO 11277)</b>	<b>UR</b>	<b>HN</b>	<b>CE</b>
<b>Písek 0,063-2mm (%)</b>	69,8	10,9	9,6
<b>Prach 0,002-0,062mm (%)</b>	18,4	70,3	58,4
<b>Jíl &lt; 0,002mm (%)</b>	11,8	18,8	32,0
<b>A 400/A600 (Q<sub>4/6</sub>)</b>	4,9	5,6	4,6
<b>C<sub>org</sub> (%)</b>	0,72	1,19	1,44
<b>N<sub>t</sub> (%)</b>	≤ 0,05	0,15	0,17
<b>C<sub>org</sub>/ N<sub>t</sub></b>	13,6	8,3	8,7
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	8,0	6,8	7,1
<b>pH (0,2 mol/l KCl)</b>	7,7	6,1	6,3

Zdroj: (Růžek, 2006)

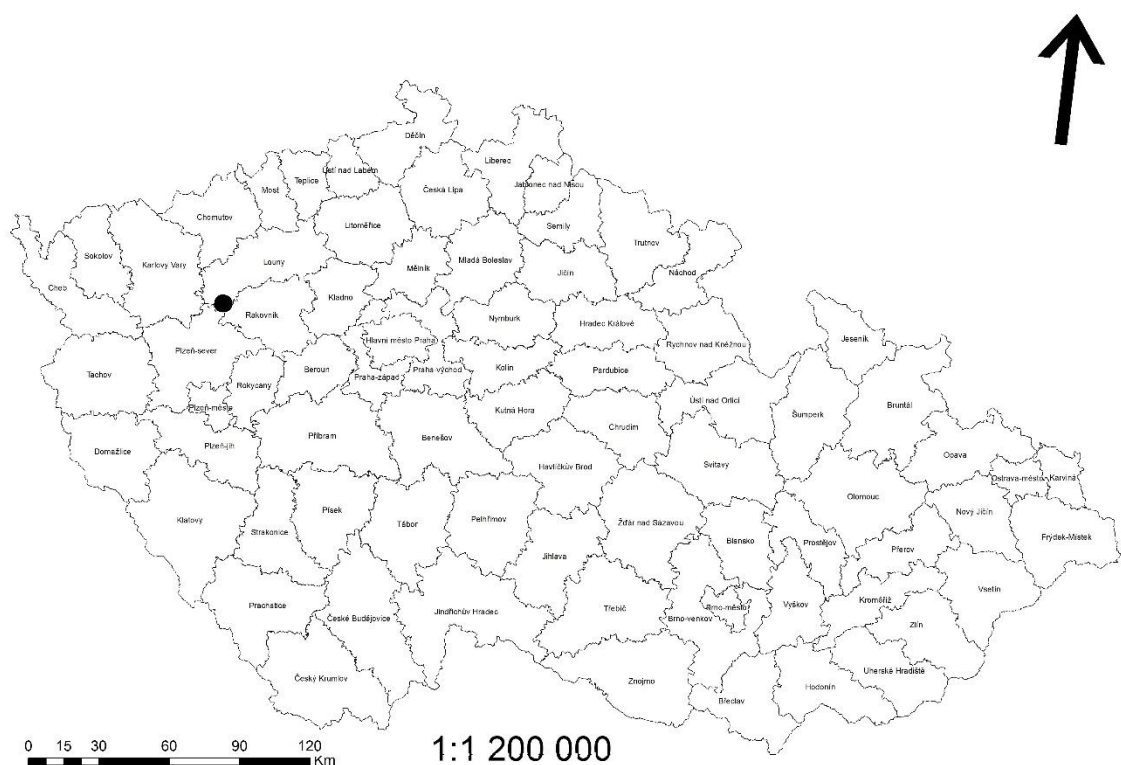


## 4 Materiál a metody

### 4. 1 Lokalita

Půdní vzorky byly odebrány na pozemcích v katastrálním území Stebno u Petrohradu. Stebno u Petrohradu je část města Kryry v bývalém okrese Louny a leží v Ústeckém kraji. Zeměpisné souřadnice:  $50^{\circ} 7' 1''$  s. š.,  $13^{\circ} 25' 1''$  v. d.

Obr 4. 1. 1 Mapa ČR s vyznačením Stebna u Petrohradu



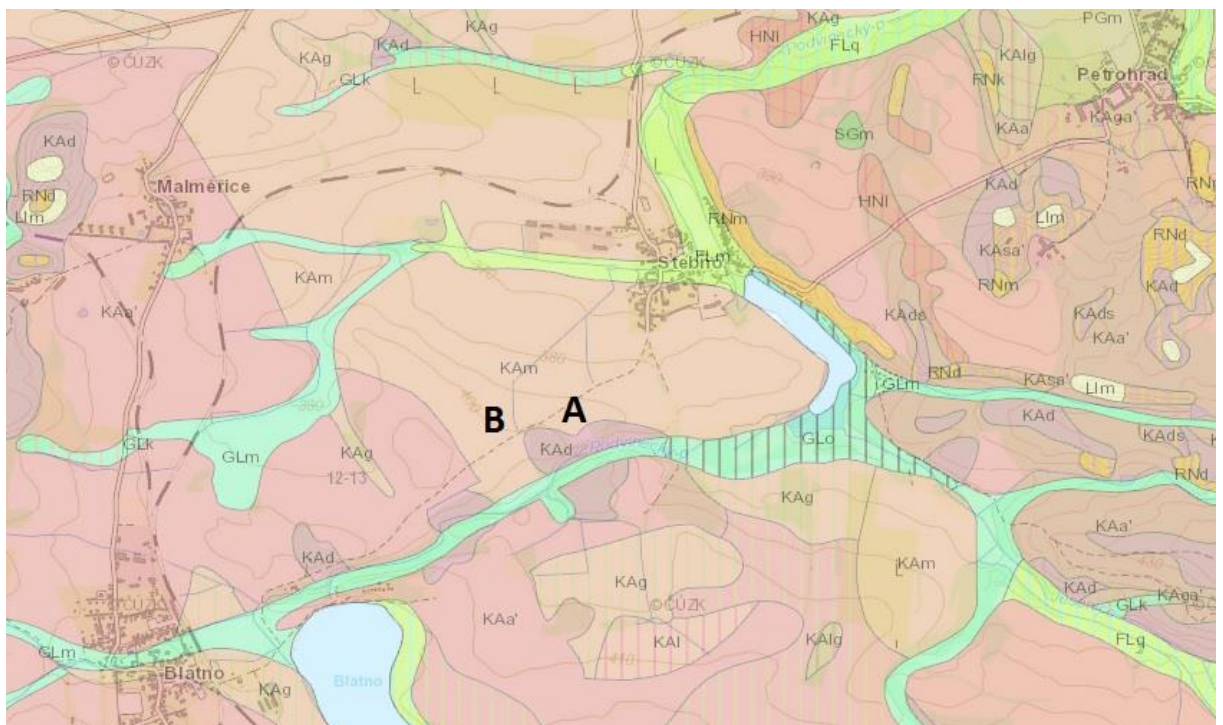
Zdroj: vlastní zpracování

### 4. 2 Přírodní poměry

Vybraná lokalita se nachází v západních Čechách v geomorfologickém celku Rakovnická pahorkatina, pro který je charakteristický zemědělský ráz a minimální stupeň urbanizace. Stebno patří do řepařské výrobní oblasti, podkategorie Ř2 a je navíc významné pěstováním jahod. Klima je zde mírně teplé, ale srážkově chudé, leží ve

srážkovém stínu západočeských pohoří. Půdním typem dané lokality je kambizem modální (KAM) viz obr. 4. 2. 1. Půdní druh byl stanoven na polovině vzorků z pozemku A s průměrným výsledkem písčito jílnato hlinitá půda. U pozemku B byl půdní druh stanoven taktéž na polovině vzorků, ale s rozdílným půdním druhem a to jílovito hlinitým. Z hlediska geologie lokalita spadá do regionu středočeské a západočeské mladší paleozoikum, hornina pískovec.

Obr. 4. 2. 1 Mapa půdních typů s vyznačenými pozemky – lokalita Stebno u Petrohradu



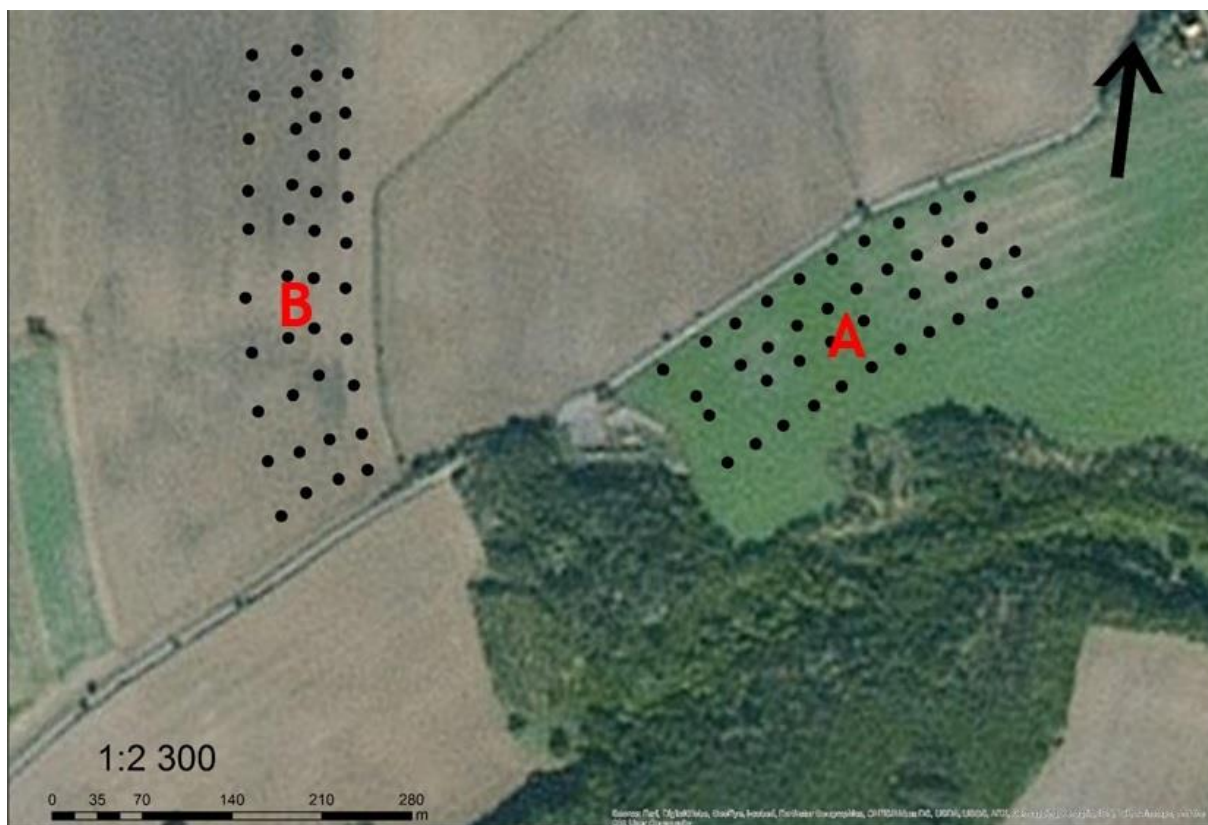
Zdroj: <<http://mapy.geology.cz/pudy/>>

### 4. 3 Odběr vzorků

Odběr vzorků proběhl 9. 10. 2013 na dvou zemědělských pozemcích jižně od obce Stebno u Petrohradu. Na každém pozemku bylo odebráno 40 vzorků z orničního horizontu z hloubky 0 – 15 cm. První pozemek (A) vlastní Státní pozemkový úřad, má parcelní číslo 2128/7 a v době odběru bylo bez vegetace po hloubkovém kypření. Druhý

pozemek (B) vlastní pan Milan Pěnička, má parcelní číslo 2006/7 a v době odběru bylo též bez vegetace a po hloubkovém kypření.

Obr 4. 3. 1 Ortofoto mapa s vyznačenými body odběrů zaznamenanými pomocí GPS; pozemek A – bez lignohumátu, pozemek B – s aplikací lignohumátu



Zdroj: vlastní zpracování

#### 4. 4 Bonita zkoumaných pozemků

Bonitovaná půdně ekologická jednotka (BPEJ) je pětímístný číselný kód charakterizující zemědělské pozemky. Jednotlivé číselné hodnoty vyjadřují hlavní půdní a klimatické podmínky, které mají vliv na produkční schopnost zemědělské půdy a její ekonomické ohodnocení. Soupis a charakteristika BPEJ je součástí vyhlášky č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci. Pětí místný kód BPEJ charakterizuje především produkční vlastnosti půd, pro hodnocení z hlediska zemědělské výroby.

#### 4. 4. 1. Informace vztahující se k bonitě pozemku A

Bonitovaná půdně ekologická jednotka 4.33.11 spadá do 3. třídy ochrany zemědělského půdního fondu, její průměrná cena (dle vyhlášky 441/2013 Sb.) je 7.82 Kč za m<sup>2</sup> a bodová výnosnost této půdy je číselně vyjádřena na stupnici od 0 do 100 hodnotou 45. Informace ohledně BPEJ 4.33.11 jsou přiloženy v kapitole 9. Přílohy a jsou převzaty z internetových stránek Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd [cit. 2015-03-29]. Dostupné z <<http://bpej.vumop.cz/43311>>.

#### 4. 4. 2. Informace vztahující se k bonitě pozemku B

Bonitovaná půdně ekologická jednotka 4.33.01 spadá do 3. třídy ochrany zemědělského půdního fondu, její průměrná cena (dle vyhlášky 441/2013 Sb.) je 8.74 Kč za m<sup>2</sup> a bodová výnosnost této půdy je číselně vyjádřena na stupnici od 0 do 100 hodnotou 52. Tato bonitovaná půdně ekologická jednotka spadá do čtvrtého klimatického regionu, stejně jako u pozemku A. Taktéž se shoduje hlavní půdní jednotka pozemku A a B. Informace ohledně BPEJ 4.33.01 jsou přiloženy v kapitole 9. Přílohy a jsou převzaty z internetových stránek Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd [cit. 2015-03-29]. Dostupné z <<http://bpej.vumop.cz/43301>>.

### 4. 5 Aplikace lignohumátu

Aplikace výrobku Lignohumát MAX postřikem na rostlinu na pozemku B probíhala po dobu 10 let následujícím standardním způsobem, který je uveden v tabulce 4. 5. 1. V době odběru půdních vzorků byla obě posuzovaná pole po sklizni pšenice ozimé.

Tab. 4. 5. 1 Standardní aplikace lignohumátu během sezóny

Plodina	Koncentrace	Aplikace	Termín aplikace
	3 l/ha	1 x	fáze odnožování

pšenice (jarní a ozimá)	3 l/ha	3 x	fáze sloupkování
	4 l/ha	2 x	fáze nalévání zrna

Zdroj: < <http://www.amagro.com/lignohumat-max.html> >

Lignohumát MAX (registrace č. 3124) je nejkoncentrovanější produkt svého typu na trhu. Lignohumát MAX se vyznačuje zvýšeným obsahem fulvokyselin a obsahem základních mikroelementů v chelátové podobě. Lignohumát MAX je, stejně jako ostatní Lignohumáty, vysoce koncentrovaný vodný roztok čistých huminových látek získaných konverzí vysoce jakostních technických lignosulfonátů. Představuje směs huminových a fulvových kyselin a jejich solí, kde fulvové kyseliny a jejich soli převažují. Firma Amagro s.r.o. garantuje minimálně 50 % vzácných fulvokyselin a dalších nízkomolekulárních částí huminového spektra. Lignohumát MAX je hnědočerná kapalina, která má příznivý a komplexní vliv na rostliny (dochází ke zvýšení aktivity fotosystému a tvorby chlorofylu, zvyšuje se využití živin obsažených v půdě, dochází k lepšímu příjmu doplňkové výživy listem, podporuje se rozvoj kořenového systému, rostlina je odolnější vůči stresům, zlepšuje se zdravotní stav rostliny a zvyšuje odolnost vůči chorobám, pomáhá zvyšovat výnosy a kvalitu sklizně). Lignohumát MAX se aplikuje především foliárně. Lignohumát se doporučuje aplikovat společně s hnojivem, listovými hnojivy či prostředky pro chemickou ochranu rostlin (s výjimkou herbicidů, kde se doporučuje samostatná aplikace Lignohumátu MAX minimálně 3 dny po aplikaci herbicidu) [cit. 2015-03-29]. Dostupné z < <http://www.amagro.com/lignohumat-max.html> >.

#### 4. 6 Příprava vzorků

Odebrané vzorky byly usušeny na vzduchu za laboratorní teploty. Polovina každého z 80 vzorků byla přesáta přes síto o průměru ok 2 mm. Tím vznikla jemnozeme, která byla použita pro chemické analýzy. Druhá polovina vzorků byla vyhrazena na stanovení stability půdních agregátů.

## 4. 7 Vybrané půdní charakteristiky

### 4. 7. 1 Půdní reakce

Půdní reakce se označuje číslem pH, které je záporným logaritmem koncentrace vodíkových iontů. U všech 80ti vzorků byla stanovena aktivní i výměnná ( $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{KCl}$ ) půdní reakce. Aktivní půdní reakce byla stanovena v suspenzi s destilovanou vodou. U výměnné půdní reakce byl použit výluh v 1 M KCl. Obě půdní reakce byly proměřeny potenciometricky pomocí pH-metru inoLab s elektrodou SenTix 41.

Postup aktivní půdní reakce byl následující: do 50 cm<sup>3</sup> kádinky se navážilo 10 g připravené jemnozeme a přidalo se 20 cm<sup>3</sup> destilované vody, zbavené CO<sub>2</sub> převařením. Suspenze se 5 minut míchala tyčinkou a pak se v ní změřilo pH. Naměřená hodnota se označuje jako  $pH_{H_2O}$ .

Postup výměnné půdní reakce byl následující: do nádobek o objemu 100 cm<sup>3</sup> se navážilo 10 g jemnozeme a přelilo se 20 cm<sup>3</sup> 1 M roztoku KCl, 45 minut se suspenze třepala a poté se nechala 15 minut stát. Suspenze se 5 minut míchala tyčinkou a pak se v ní změřilo pH. Naměřená hodnota se označuje jako  $pH_{KCl}$ .

Pro potřeby agrochemie (výpočet dávek vápenatých hnojiv pro vápnění) a pro kategorizaci půd podle pH se používá pH výměnné (Sáňka, 2004). Základní kritéria pro hodnocení zemědělských půd jsou uvedena v následující tabulce.

Tab. 4. 7. 1. 1 Kritéria pro hodnocení půdní reakce výměnné

Hodnota pH	Půdní reakce
< 4, 5	extrémně kyselá
4, 6 – 5, 0	silně kyselá
5, 1 – 5, 5	kyselá
5, 6 – 6, 5	slabě kyselá
6, 6 – 7, 2	neutrální
7, 3 – 7, 7	alkalická

> 7,7	silně alkalická
-------	-----------------

Zdroj: příloha č. 5 k vyhlášce č. 275/1998, ve znění pozdějších předpisů

#### 4. 7. 2 Obsah humusu

Obsah humusu (organické hmoty) je velmi důležitým parametrem ovlivňujícím úrodnost půdy i funkci půdy v ekosystému. Stanovení obsahu humusu je založeno na principu oxidace uhlíku půdních organických látek (Cox) a vynásobením Weltovým přepočtovým koeficientem 1,724 na humus. Tento přepočet platí za předpokladu, že humus obsahuje 58 % uhlíku (Sáňka, 2004).

Stanovení mokrou cestou je v současné době u nás nejrozšířenější způsob zjišťování obsahu organické hmoty v půdě. Nejeftivnější je metoda Tjurinova, která poskytuje až 93 % výtěžek spálení ve srovnání s C<sub>t</sub> (totální oxidace). Tato metoda byla použita při pokusu, každý vzorek byl stanoven 2 x a výsledek byl zprůměrován.

Při Tjurinově modifikované metodě je uhlík organické hmoty zoxidován kyslíkem dvochromanu draselného v kyselinosírovém prostředí (chromsírová směs). Množství spotřebovaného oxidans se zjistí přímou titrací Mohrovou solí (Valla, 2008).

Tab. 4. 7. 2. 1. Hodnocení obsahu humusu

Cox (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	< 1	velmi nízký
0,6 - 1,1	1,0 - 2,0	nízký
1,1 - 1,7	2,0 - 3,0	střední
1,7 - 2,9	3,0 - 5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoký

Zdroj: (Valla, 2008)

Orientační obsah Cox pro kambizem v České republice je 0,9 – 2,1 % a pro humus 1,5 – 3,6 %.

#### 4. 7. 3 Kvalita humusu

Mezi nejběžnější způsoby vyjádření kvality humusu patří určení poměru huminových kyselin a fulvokyselin (HK : FK), poměru uhlíku a dusíku (C : N) a proměření



optických vlastností alkalických extraktů huminových látek s vypočtením barevných kvocientů ( $Q_{4/6}$ ).

Námi zvolená metoda byla proměření optických vlastností s vypočtením barevného kvocientu  $Q_{4/6}$ . Alkalický roztok huminových látek se připravil jejich extrakcí 0, 05 M Na-pyrofosfátem se zachováním poměru zemina : extraktans 1 : 20. Po 1 hodinovém třepání se suspenze přefiltrovala a čirý roztok zkoumaných huminových látek se upravil zředěním extrakčním činidlem tak, aby při vlnové délce  $A = 400$  nm byla absorbance  $A \cong 0,900$ . Tento roztok se pak spektrofotometricky proměřil pomocí přístroje Unicam Helios  $\lambda$  při minimálně pěti vlnových délkách v oblasti viditelného světla:  $\lambda = 400, 450, 500, 550$  a  $600$  nm). Srovnávacím roztokem bylo rozpustidlo huminových látek ( $H_2O, Na_4P_2O_7, NaOH$ ).

Tato charakteristika indikuje podíl látek s vysokou molekulovou hmotností (převážně huminových kyselin) v extraktu alkalickými činidly (Kubát, 2008) a ukazuje stupeň polymerace a kondenzace aromatických jader huminových látek. Na základě absorbancí, zjištěných spektrofotometrickým proměřením roztoků huminových látek při různých vlnových délkách (400 a 600 nm) ve viditelné oblasti záření, lze usuzovat na stupeň jejich polymerace, případně disperzity (Horáček, 1994). Barevný kvocient je v obráceném poměru ke stupni kondenzace a polymerace humusových látek, tzn., že čím nižší je  $Q_{4/6}$ , tím jsou polymerovanější a z hlediska stálosti v půdě kvalitnější (Valla, 2008).

(Pospíšil, 1981) zjistil, že existuje exponenciální závislost mezi poměrem HK : FK a barevným kvocientem, což dává možnost snadnější orientace ve skupinovém složení humusu a dovoluje ze známého barevného kvocientu vypočíst HK : FK. Výpočet je následující:

$$HK:FK = 17,2 Q_{4/6}^{-2,19}.$$

#### 4. 7. 4 Stanovení stability půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů je určena z faktu, že se nestabilní agregáty rozpadnou snadněji než stabilní agregáty, když jsou ponořeny do vody. Stabilita půdních agregátů byla v pokusu měřena pomocí WSA indexu (z anglického water stable aggregate). Indexy



ve vodě stabilních agregátů byly naměřeny postupem podle (Nimmo a Perkins, 2002). Tato metoda stanovuje půdní stabilitu ve vztahu k destrukčnímu mechanismu roztržení agregátů stlačeným vzduchem při prudkém ovlhčení.

Čtyři gramy vysušených půdních agregátů o velikosti 2 – 5 mm byly po dobu 3 minut prosévány v destilované vodě (síta o průměru ok 0, 25 mm). Pro každý vzorek byly provedeny 3 opakování. Agregáty, které zůstaly na sítu byly dále sítovány v roztoku disperzního činidla hexametafosforečnanu sodného o koncentraci 2 g/l dokud na sítu nezůstala jen frakce písku. Ke zjištění stability agregátů sloužil třepací přístroj pro mokré prosívání od firmy Eijkelkemp.

WSA index (bezrozměrný) byl dále spočítán jako poměr mezi WDS (WDS = váha agregátů rozpuštěných v dispergačním činidle) a součtem WDS a WDW (WDW = váha agregátů rozpuštěných v destilované vodě). Se zvyšujícími se hodnotami WSA indexu vzrůstá stabilita půdních agregátů.

#### **4. 7. 5 Půdní zrnitost**

Půdní zrnitost je fyzikální vlastnost půdy určující fyzikální frakcionizaci půdy, tedy velikost a poměrné zastoupení jednotlivých půdních frakcí. Zrnitost se velmi významně podílí na průběhu pedogenetických procesů, ale i na agronomické a ekologické charakteristice půdy (Sáňka a Materna, 2004). Zrnitost ovlivňuje mechanické vlastnosti půdy (např. při orbě) a texturu. Zrnitost se určuje pomocí sít, sedimentací, vyplavováním, nebo jiným způsobem. Takřka vždy dochází při určování zrnitosti k rozdělení na dvě frakce: jemnozem a skelet. To se provádí u půdy suché po rozdrčení hrud na jemnou složku na sítěch o průměru ok 2 mm. Jemnozem se dále upravuje chemickými nebo fyzikálními metodami, aby došlo k rozdělení jemných stmelých částí. Výsledky se vyjadřují v % hmotnosti jednotlivých frakcí. Používají se různé klasifikace zrnitosti. V ČR se doposud nejčastěji používá jednoduchá a praktická Nováková klasifikace vycházející z velikosti částic v půdě dle obsahu I. kategorie < 0,01 mm.

Tab. 4. 7. 5. 1 Rozdělení půdních druhů dle Nováka

<b>% jílnatých částic &lt; 0,01 mm</b>	<b>označení půdního druhu</b>		
0 - 10	písčítá	p	lehké
10 - 20	hlinitopísčítá	hp	
20 - 30	písčitohlinitá	ph	střední
30 - 45	hlinitá	h	
45 - 60	jílovitohlinitá	jh	těžké
60 - 75	jílovitá	jv	
> 75	jíl	j	

V pokusu je zrnitost stanovena hustoměrnou (areometrickou) metodou podle A. Casagrande. Metoda se řadí do skupiny sedimentačních metod s nepřerušovanou sedimentací, to znamená, že všechna měření se provádějí během jednoho sedimentačního procesu. Částice s různou velikostí sedimentují různou rychlostí podle Stokesova vzorce. Podle toho se snižuje hustota suspenze, kterou měříme speciální hustoměrem. Postup zahrnuje preparaci půdního vzorku a vlastní měření. Grafy zrnitostních čar pro vzorky z pozemku A a pozemku B jsou přiloženy v kapitole 9. Přílohy.

#### **4. 7. 6 Způsob zpracování výsledků**

Výsledky byly zpracovány statistickým šetřením v programu Statistica a geostatickou metodou IDW a Kriging v programu ArcGIS. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí základního statistického popisu, krabicových grafů a korelační matice

## 5 Výsledky

### 5.1 Statistické šetření

Statistické šetření se provádělo v programu Statistica na naměřených hodnotách z laboratorních stanovení: kvalita humusu ( $Q_{4/6}$ ), obsah humusu (Cox %), aktivní ( $pH_{H_2O}$ ) a výměnná ( $pH_{KCl}$ ) půdní reakce. Tyto charakteristiky byly měřeny na všech 80ti vzorcích. Stabilita půdních agregátů a zrnitost byla stanovena na 20 vzorcích a byla vyhodnocována zvlášť. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce přiložené v kapitole 9. Přílohy.

#### Orientační vyloučení extrémních hodnot

U prvního vzorku z pozemku A byla naměřena extrémně vysoká hodnota obsahu humusu. Nejprve bylo provedeno spočtení aritmetického průměru a směrodatné odchylky ( $s$ ) ze souboru bez podezřelé hodnoty. Odchylka podezřelé hodnoty od průměru překračuje  $3s$ , tedy vylučujeme tuto hodnotu z dalšího zpracování a nahrazujeme hodnotou průměru souboru bez extrémní hodnoty viz obr. 5. 1. 1.

Obr. 5. 1. 1 Ortofoto mapa pozemků A a B s vyznačením extrémní hodnoty



Na základě popisných statistik viz tab. 5. 1. 4. má pozemek A průměrnou hodnotu obsahu Cox 2,305 %, což je hodnoceno dle (Valla, 2008) jako vysoký obsah Cox. U pozemku A byl naměřen průměrný barevný kvocient  $Q_{4/6}$  4,870 a tento výsledek je hodnocen jako méně kvalitní humus. Tento pozemek má neutrální výměnnou půdní reakci, jelikož její průměrná hodnota je 6,928, hodnoceno dle Kritéria pro hodnocení výměnné půdní reakce příloha č. 5 k vyhlášce č. 275/1998. Průměrný WSA index byl u pozemku A naměřen 0,527.

Tab. 5. 1. 1 Popisné statistiky pro pozemek A -  $Q_{4/6}$ , Cox %,  $pH_{H_2O}$  a  $pH_{KCl}$

Proměnná	Popisné statistiky (Vysledky_2.sta)				
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.
Kvalita humusu	40	4,820	4,200	5,640	0,360
Cox průměr	40	2,305	1,690	3,200	0,346
pH H <sub>2</sub> O	40	7,210	6,200	7,690	0,293
pH KCl	40	6,928	6,200	7,620	0,269
WSA	10	0,572	0,458	0,631	0,054

Na základě popisných statistik viz tab. 5Pozemek B má průměrnou hodnotu obsahu Cox 1,674 %, což je hodnoceno dle (Valla, 2008) jako střední obsah Cox. U pozemku B byl naměřen průměrný barevný kvocient  $Q_{4/6}$  4,780 a tento výsledek se řadí jako méně kvalitní humus. Tento pozemek má neutrální výměnnou půdní reakci, jelikož její průměrná hodnota je 6,928, hodnoceno dle Kritéria pro hodnocení výměnné půdní reakce příloha č. 5 k vyhlášce č. 275/1998. Průměrný WSA index byl u pozemku A naměřen 0,645.

Tab. 5. 1. 2 Popisné statistiky pro pozemek B -  $Q_{4/6}$ , Cox %,  $pH_{H_2O}$  a  $pH_{KCl}$

Proměnná	Popisné statistiky (Vysledky_2.sta)				
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.
Kvalita humusu	40	4,780	3,444	6,255	0,737
Cox průměr	40	1,298	2,023	3,200	0,158
pH H <sub>2</sub> O	40	7,231	7,798	7,690	0,125
pH KCl	40	6,375	7,353	7,620	0,263
WSA	10	0,645	0,562	0,704	0,049

V následujících bodech je uveden postup statistického šetření:

**1)  $H_0$ :** Hodnoty půdních charakteristik mezi poli A a B se nebudou lišit.

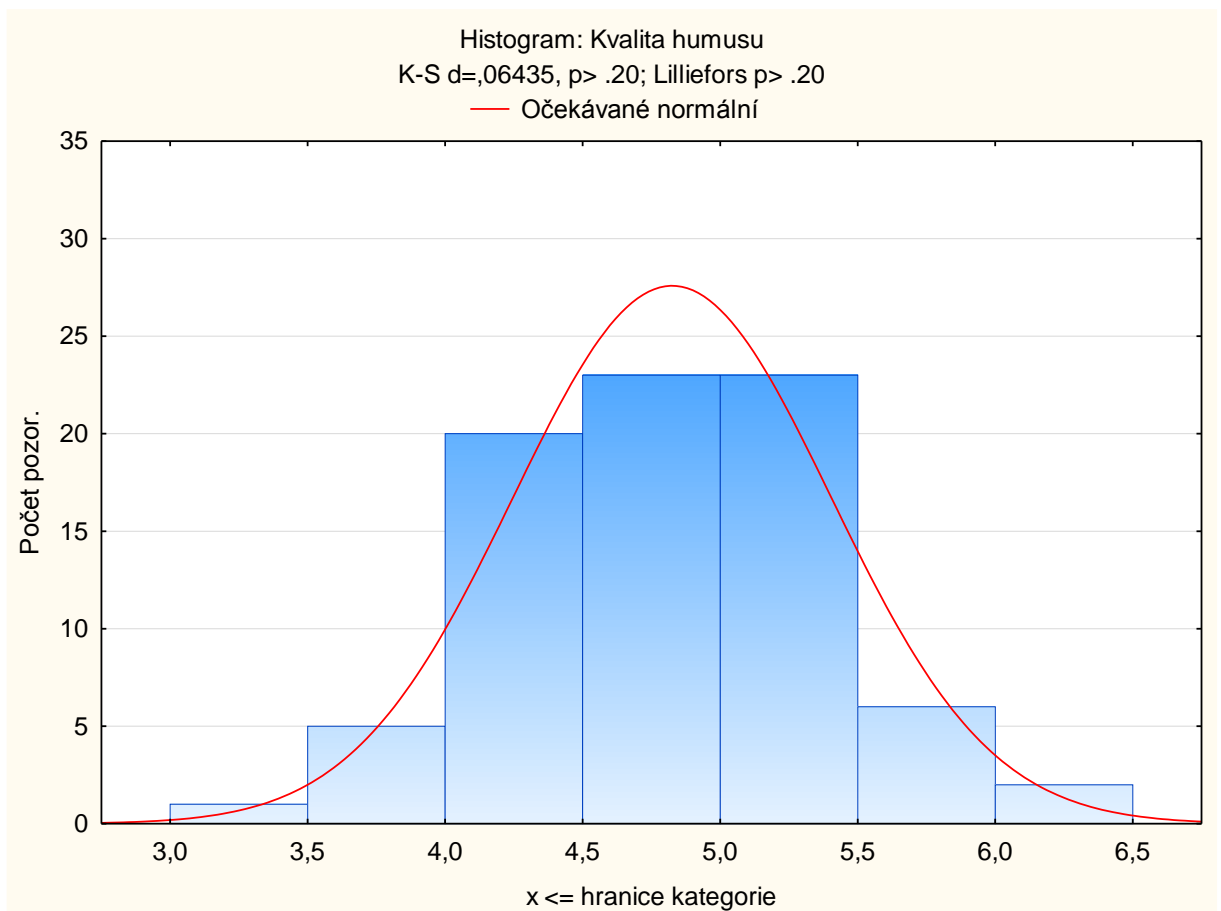
**$H_A$ :** Hodnoty půdních charakteristik mezi poli A a B se liší.

**2) Hladina významnosti  $\alpha = 0,05$**

**3) Určení normality dat**

Soubor dat odpovídá Gaussovu normálnímu rozdělení pravděpodobností. Bylo tak určeno na základě histogramu, např. níže uveden histogram kvality humusu.

Graf 5. 1. 1. Histogram - kvalita humusu



#### 4) Výpočet hodnoty testového kritéria

Na základě určení normálního rozdělení z histogramu je zvolen parametrický dvouvýběrový t-test. V následující tabulce jsou uvedeny výsledky šetření dvouvýběrového t-testu:

Tab. 5. 1. 3 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro  $Q_{4/6}$ , Cox %,  $pH_{H_2O}$  a  $pH_{KCl}$

Proměnná	t-testy; grupováno: Typ pozemek (Tabulka1)							
	Skup. 1: A		Skup. 2: B		t	sv	p	Poč.plat A
Průměr A	Průměr B							
Q4/6	4,870	4,780	0,696	78	0,488	40	40	
Cox %	2,305	1,674	10,481	78	0,000	40	40	
pH KCl	6,928	6,936	-0,130	78	0,896	40	40	
pH H <sub>2</sub> O	7,210	7,554	-6,831	78	0,000	40	40	

Proměnná	t-testy; grupováno: Typ pozemek (Tabulka1)			
	Skup. 1: A		Skup. 2: B	
Sm.odch. A	Sm.odch. B	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly	
Q4/6	0,360	0,737	4,186	0,000
Cox %	0,346	0,158	4,759	0,000
pH KCl	0,269	0,263	1,047	0,885
pH H <sub>2</sub> O	0,293	0,125	5,482	0,000

Tab. 5. 1. 4 Výsledky dvouvýběrového t-testu pro index WSA

Proměnná	t-testy; grupováno: Typ pozemek (Tabulka2)						
	Průměr A	Průměr B	t	sv	p	Poč.plat A	Poč.plat. B
WSA	0,572	0,645	10,696	19	0,000	10	10

Proměnná	t-testy; grupováno: Typ pozemek (Tabulka2)			
	Sm.odch. A	Sm.odch. B	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
WSA	0,054	0,049	4,063	0,000

## 5) Určení kritického oboru hodnot - p-hodnota

## 6) Rozhodnutí a závěr testu

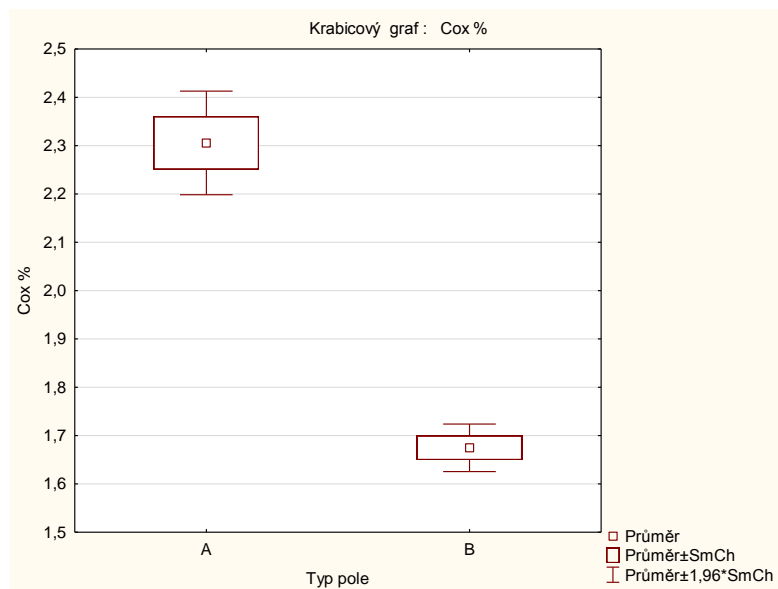
Na základě p-hodnoty, která byla u Cox,  $pH_{H_2O}$  a WSA indexu  $< 0,05$ , můžeme vyvodit, že statisticky významné rozdíly jsou u těchto půdních charakteristik na hladině významnosti  $\alpha 0,05$ . Přijímáme pro tyto charakteristiky alternativní hypotézu. Oproti tomu rozdíl mezi půdními charakteristikami  $Q_{4/6}$  a  $pH_{KCl}$  nebyl statisticky průkazný na hladině významnosti  $\alpha 0,05$ , protože p-hodnota byla  $> 0,05$ . Pro tyto charakteristiky přijímáme nulovou hypotézu.

Součástí vyhodnocení jsou krabicové grafy (graf 5. 1. 2, graf 5. 1. 3, graf 5. 1. 4 a graf 5. 1. 5) a korelační matice (obr. 5. 1. 2), která ukazuje vzájemný vztah mezi dvěma pozemky.

Graf 5. 1. 2 Krabicový graf pro kvalitu humusu

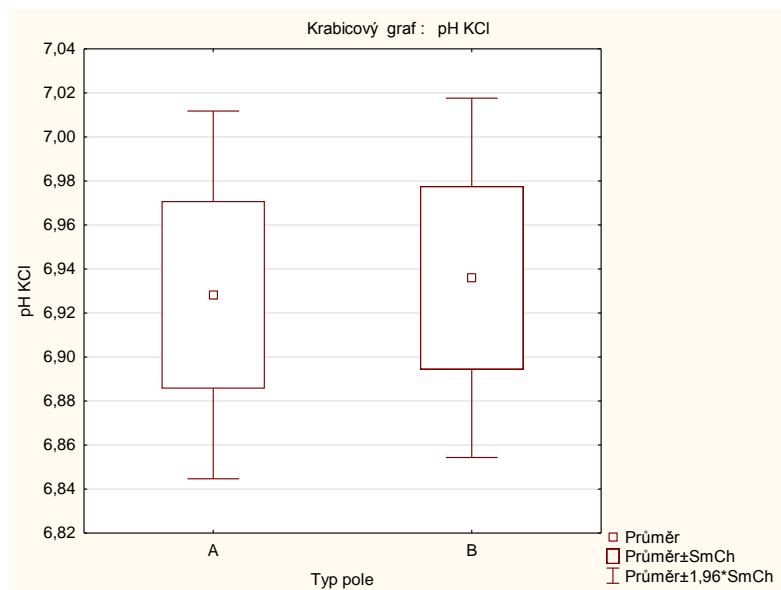


Graf 5. 1. 3 Krabicový graf pro Cox

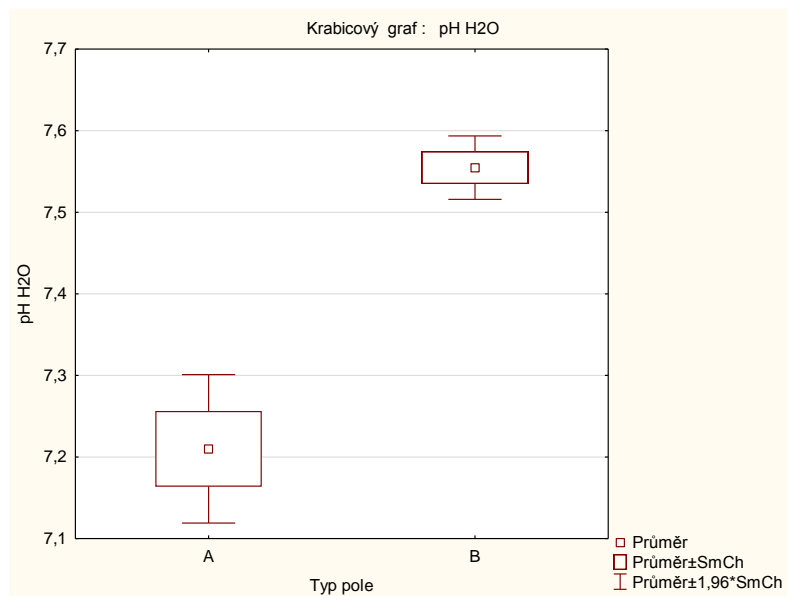




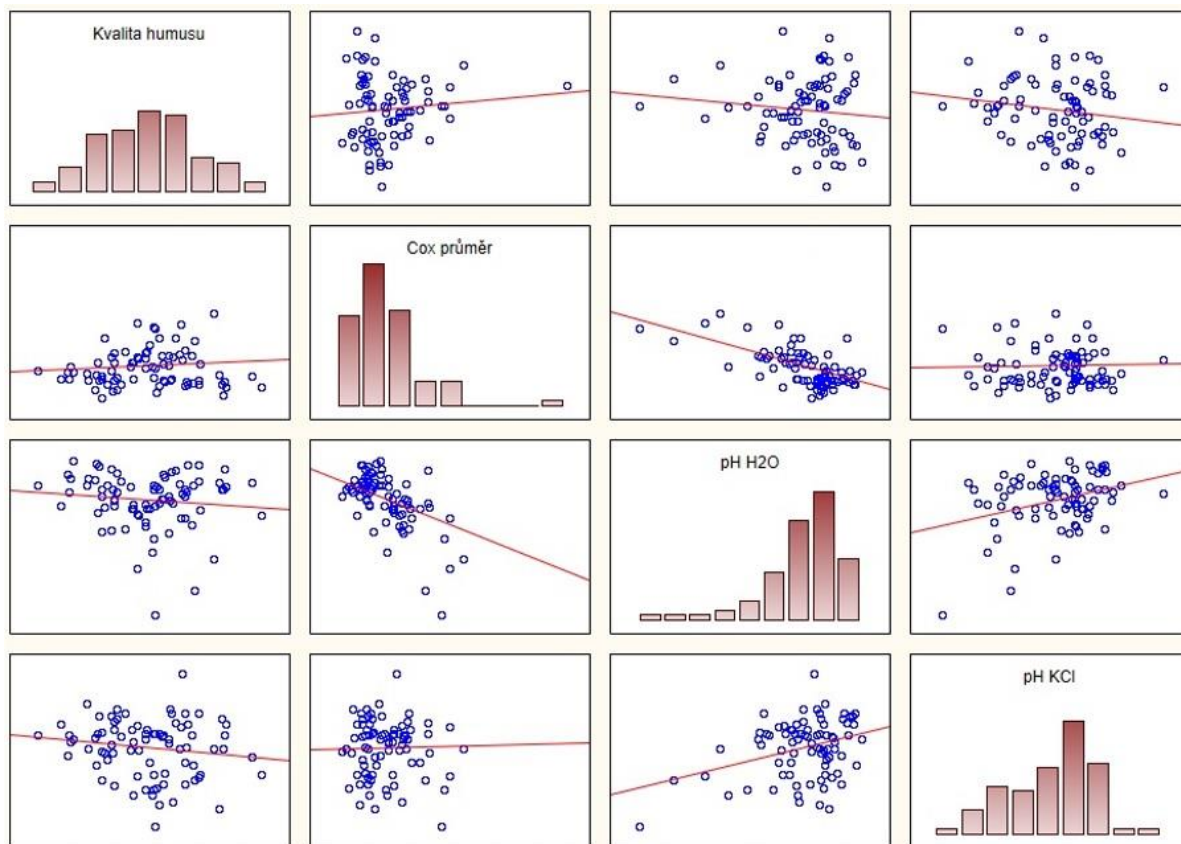
Graf 5. 1. 4 Krabicový graf pro pH KCl



Graf 5. 1. 5 Krabicový graf pro pH H2O



Obr 5. 1. 2 Korelační matice pro  $Q_{4/6}$ , Cox %,  $pH_{H_2O}$  a  $pH_{KCl}$



### Hodnocení výsledků

Porovnáním výsledků měření půdních charakteristik na vzorcích z pozemku A a B plyne, že statisticky prokazatelný rozdíl mezi pozemky je v obsahu Cox, který je u pozemku A vyšší než u pozemku B. Další statisticky průkazný rozdíl mezi pozemky je u aktivní půdní reakce, která vyšla u pozemku B vyšší než u pozemku A. Rozdíl indexu WSA je mezi pozemky statisticky významný, u pozemku B je index WSA vyšší než u pozemku B. Lze tedy tvrdit, že lepší výsledky půdních charakteristik má pozemek B. U ostatních půdních charakteristik ( $Q_{4/6}$ ,  $pH_{KCl}$ ) vyšly statisticky nevýznamné rozdíly.

### 4. 2 Geostatistické metody

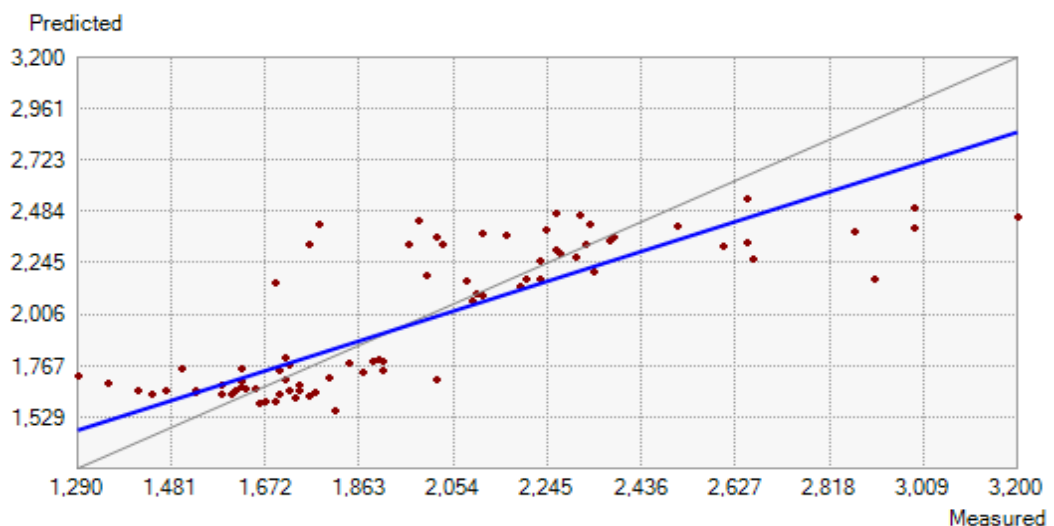
Na výsledcích z pokusu byla použita prostorová interpolace dvojího druhu a to metoda IDW a metoda Kriging. Porovnáním metody IDW a krigingu zjistíme, že nižší

efektivní hodnota RMS pro stejné půdní charakteristiky je u krigingu. Pro tento pokus je tedy vhodnější a přesnější interpolační metoda kriging.

#### 4. 8. 1 Matoda inverzní vzdálenosti IDW

IDW (inverse distance weighting) je metoda prostorové interpolace, při které jsou zátěže nepřímo úměrné vzdálenosti. Touto metodou byly šetřeny všechny naměřené hodnoty a to pomocí programu ArcGIS. V metodě IDW byl vždy zadán faktor vyhlazení (smoothing = 0,2). Každý případ je vyhodnocen příslušnými grafy a mapovými podklady.

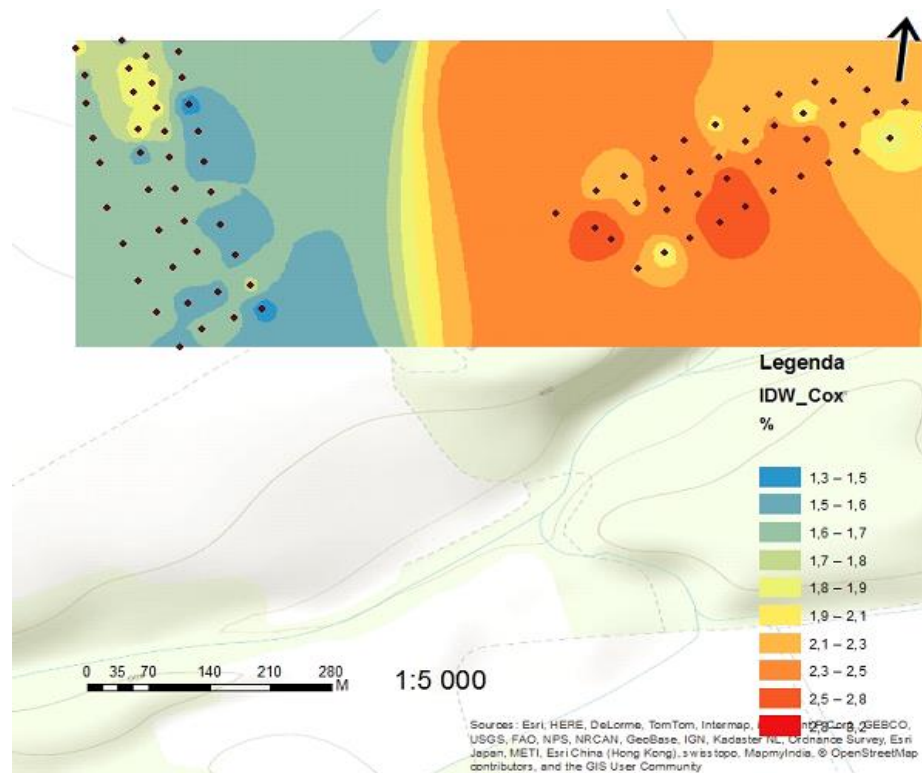
Graf 4. 8. 1. 1 Graf lineární regrese pro charakteristiku Cox



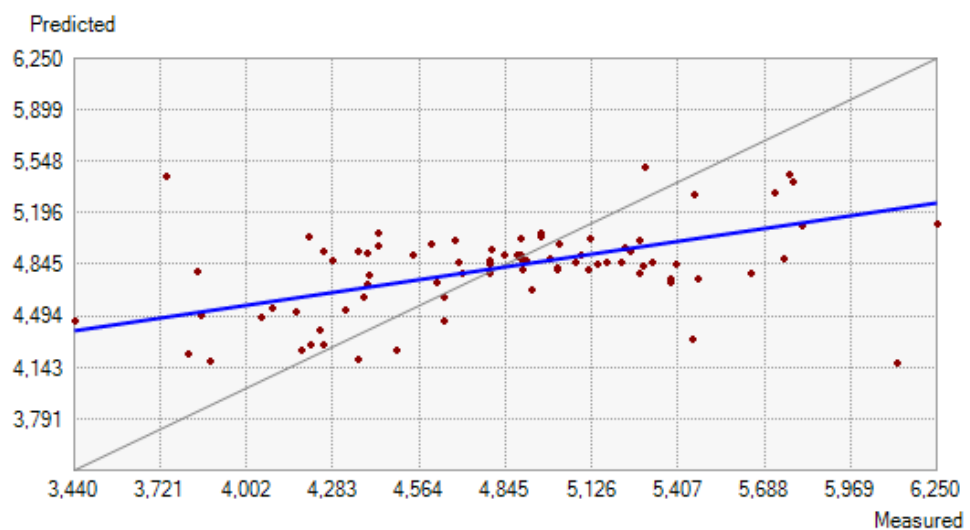
Regresní funkce:  $0,725 * x + 0,532$

Root-mean-square: 0,249

Obr. 4. 8. 1. 1 Mapový podklad pro IDW – charakteristika Cox



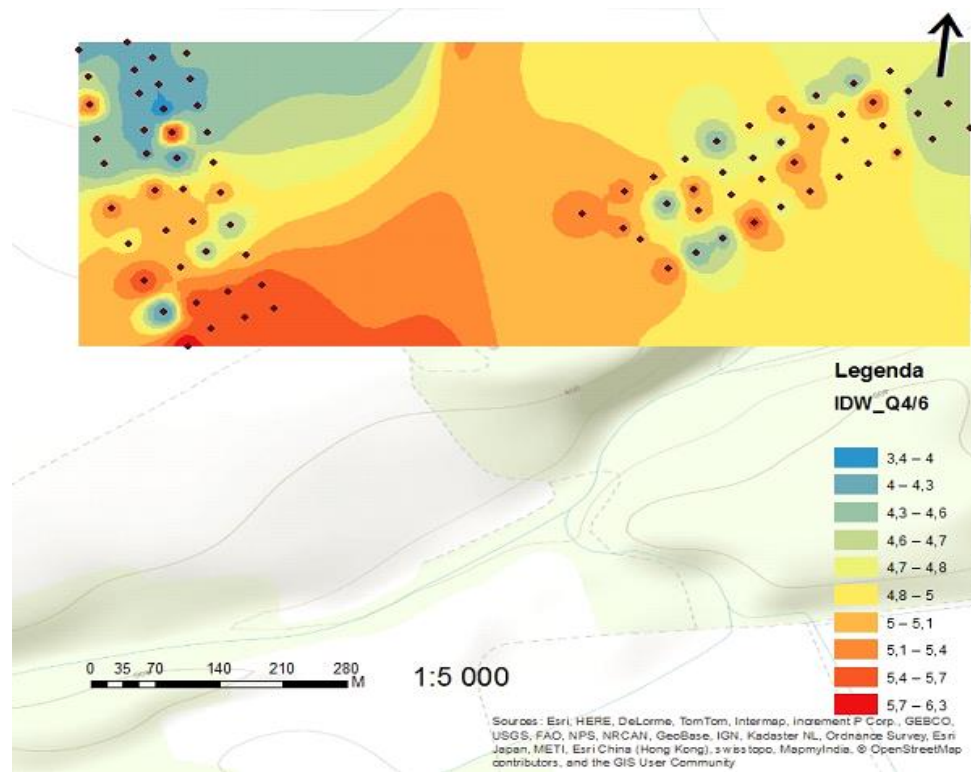
Graf 4. 8. 1. 2 Graf lineární regrese pro charakteristiku  $Q_{4/6}$



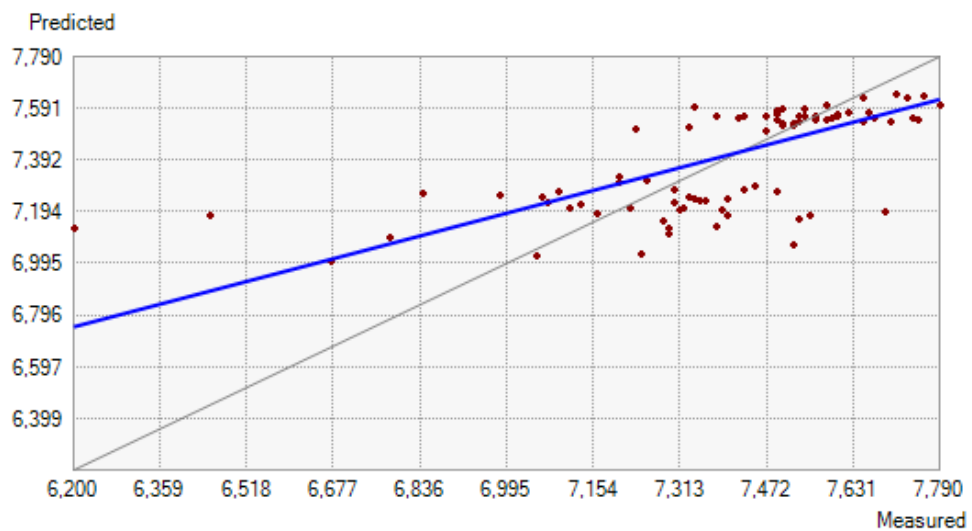
Regresní funkce:  $0,310 \cdot x + 3,325$

Root-mean-square: 0,523

Obr. 4. 8. 1. 2 Mapový podklad pro IDW – charakteristika  $Q_{4/6}$



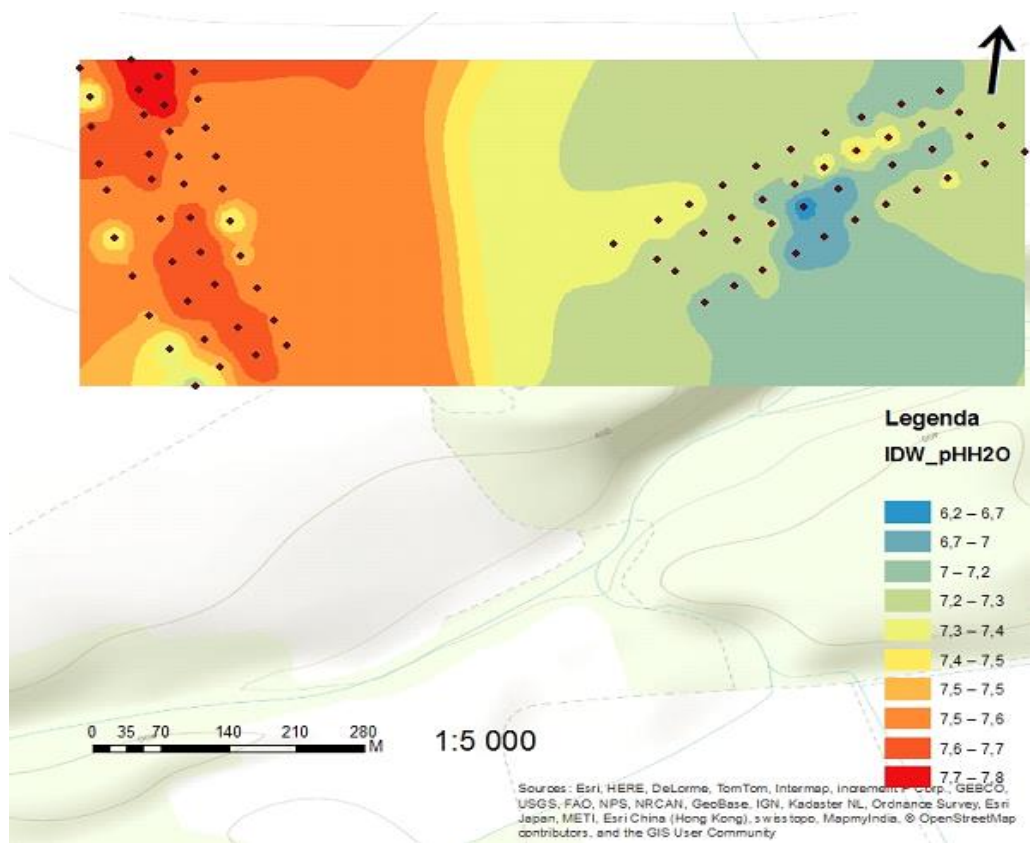
Graf 4. 8. 1. 3 Graf lineární regrese pro charakteristiku  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$



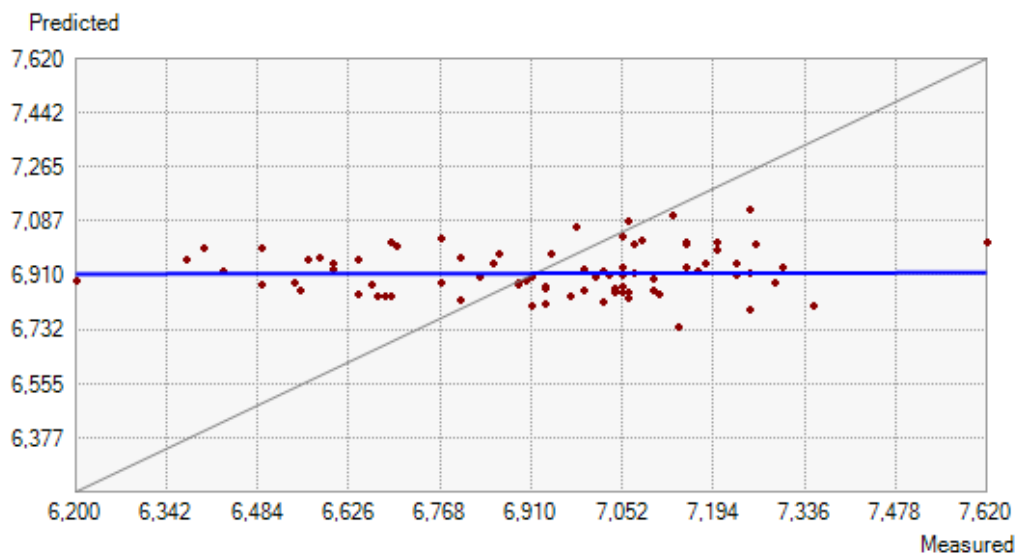
Regresní funkce:  $0,549 \cdot x + 3,341$

Root-mean-square: 0,214

Obr. 4. 8. 1. 3 Mapový podklad pro IDW – charakteristika  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$



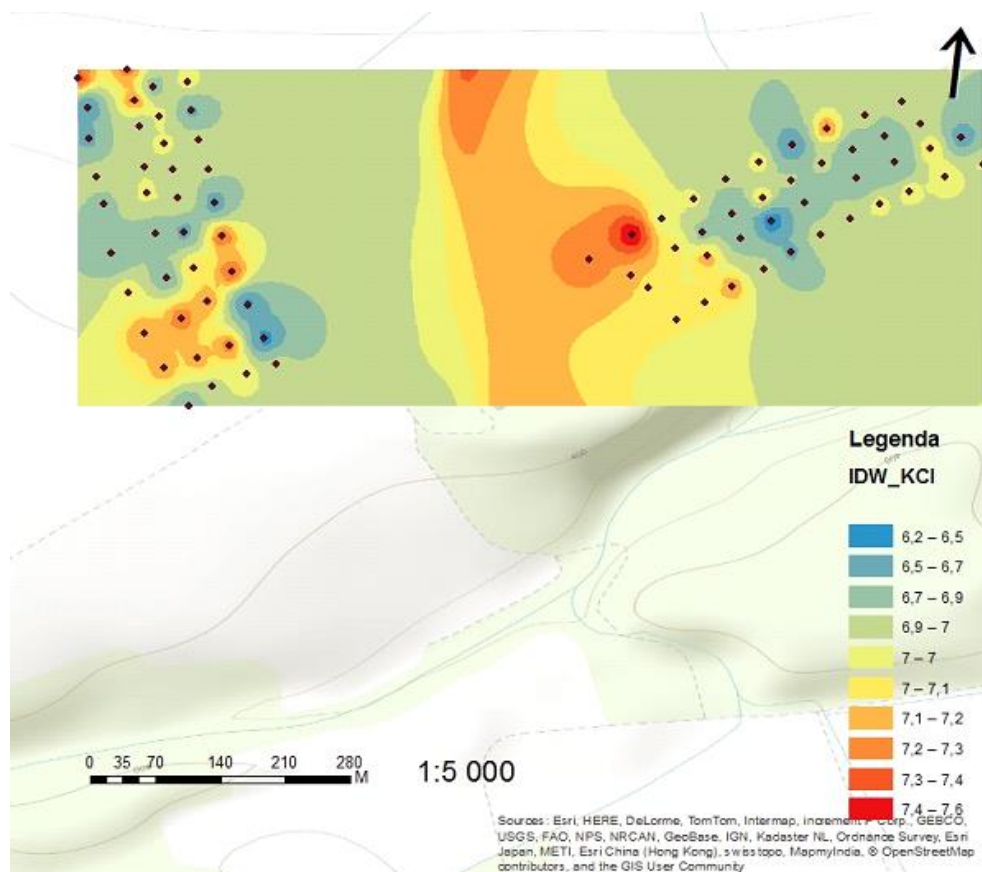
Graf 4. 8. 1. 4 Graf lineární regrese pro charakteristiku  $\text{pH}_{\text{KCl}}$



Regresní funkce:  $0,002 \cdot x + 6,897$

RMS: 0,269

Obr. 4. 8. 1. 3 Mapový podklad pro IDW – charakteristika  $\text{pH}_{\text{KCl}}$



Na mapových podkladech 4. 8. 1. 1 – 4. 8. 1. 4 je metodou IDW znázorněno prostorové rozložení naměřených hodnot půdních charakteristik a to obsahu humusu Cox, kvality humusu  $Q_{4/6}$ , aktivní půdní reakce  $pH_{H_2O}$  a výměnné půdní reakce  $pH_{KCl}$ . Z mapových podkladů je viditelné, že je rozdíl mezi pozemky u obsahu humusu Cox, který u pozemku A nabývá vyšších hodnot než u pozemku B. Dále je vidět rozdíl mezi pozemky u aktivní půdní reakce, která u pozemku B nabývá vyšších hodnot než u pozemku A. Oproti tomu není příliš patrný viditelný rozdíl mezi pozemky v půdní charakteristice kvality humusu  $Q_{4/6}$  a výměnné půdní reakce  $pH_{KCl}$ .

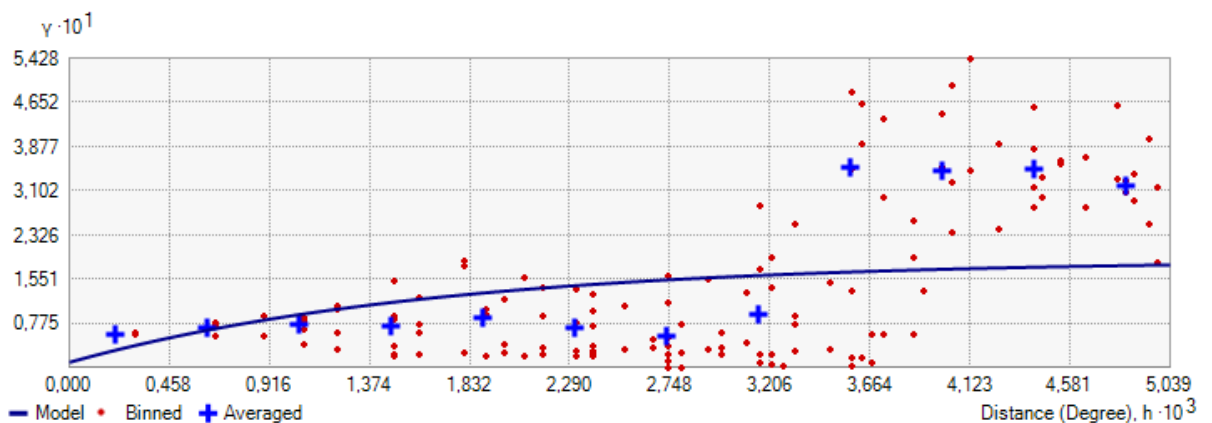
## 4. 8. 2 Kriging

Kriging je metoda interpolace, kde jsou interpolované hodnoty modelovány podle váženého průměru hodnot okolních bodů. V programu ArcGIS byl vždy zvolen běžný typ bodového krigingu (ordinary kriging), který je základní a nejběžnější metodou. Nejprve



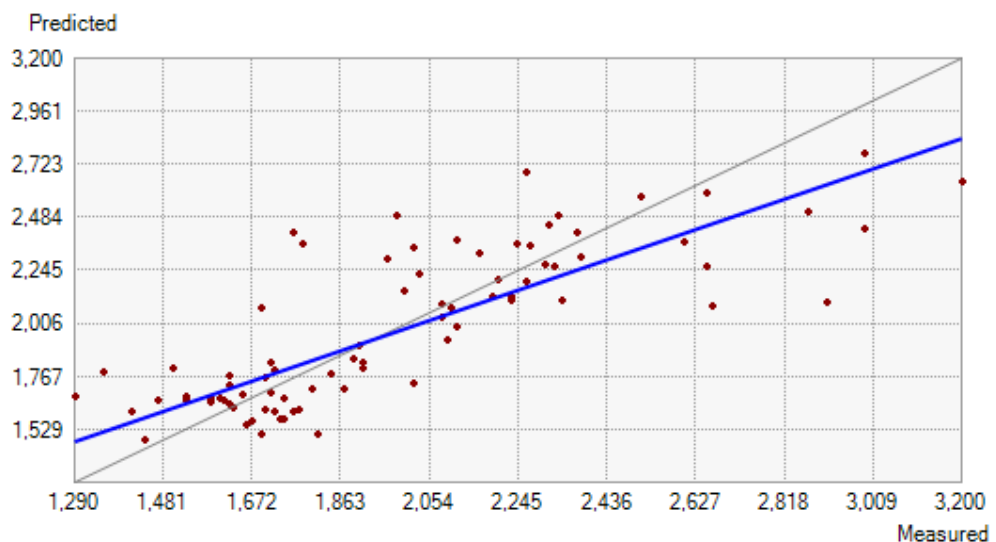
byl spočítán semivariogram na základě nejnižší efektivní hodnoty RMS z anglického „Root Mean Square“. Chyba odhadu RMS by měla být co nejmenší, čím víc je to splněno, tím víc se odhady blíží měřeným hodnotám. Chyba RMS se vypočte jako odmocnina z průměru čtverců rozdílu mezi měřenou a odhadnutou hodnotou. Po optimalizování modelu se RMS snížila, takže byl u všech případů použit optimalizovaný model. Každý případ je vyhodnocen příslušnými grafy a mapovými podklady.

Graf 4. 8. 2. 1 Semivariogram pro charakteristiku Cox, optimalizovaný model



Model:  $0,008 \cdot \text{Nugget} + 0,180 \cdot \text{Exponential}(0,005)$

Graf 4. 8. 2. 2 Graf lineární regrese pro charakteristiku Cox

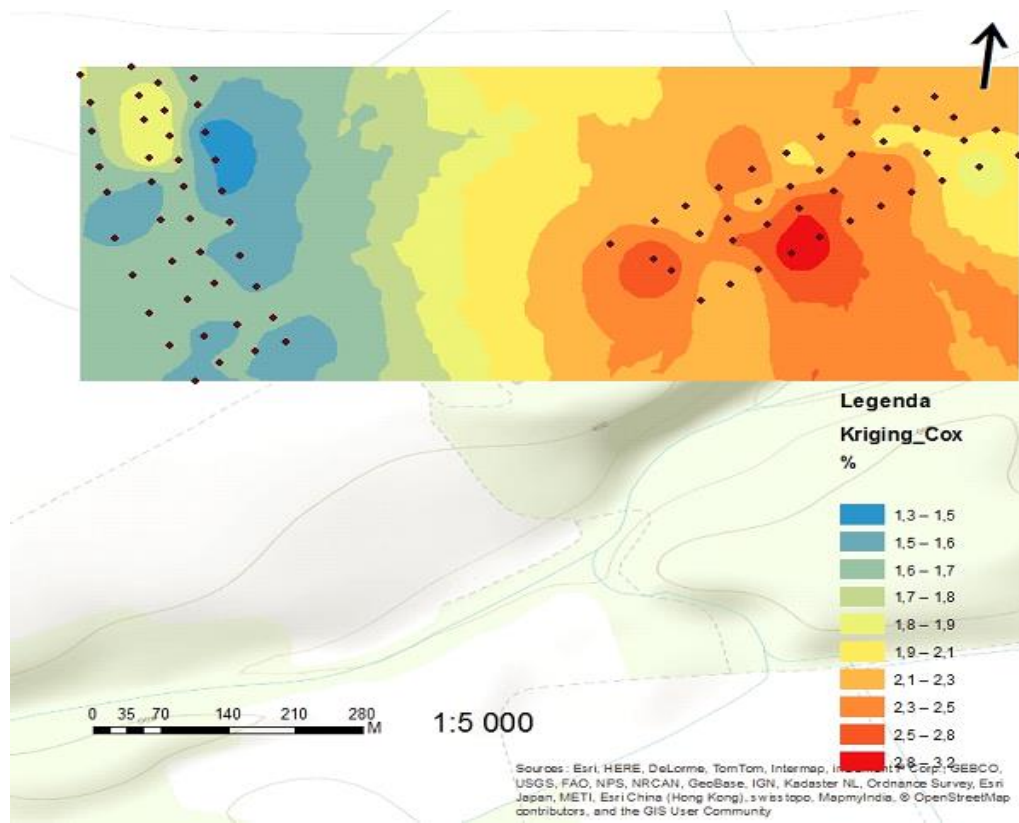


Regresní funkce:  $0,714 \cdot x + 0,550$

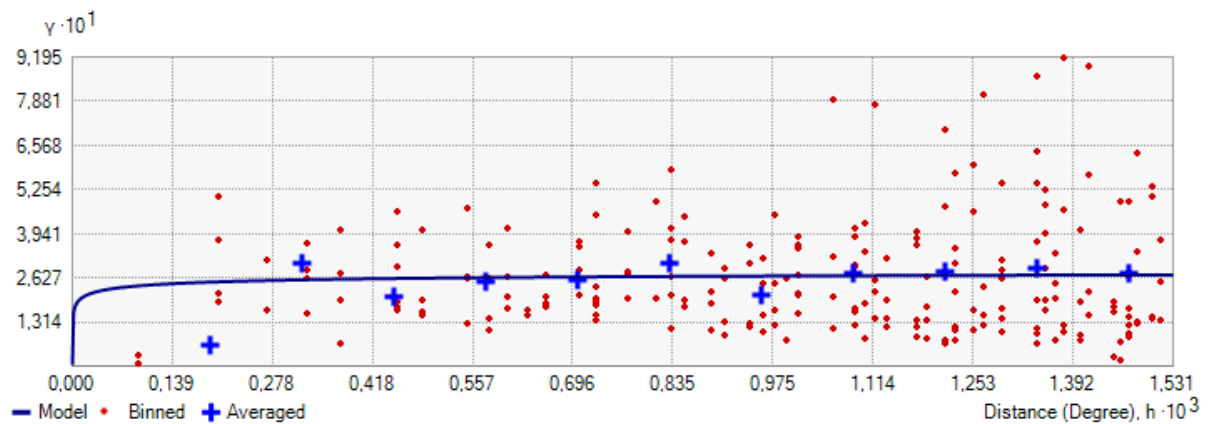
RMS: 0,249



Obr. 4. 8. 2. 1 Mapový podklad pro Kriging – charakteristika Cox

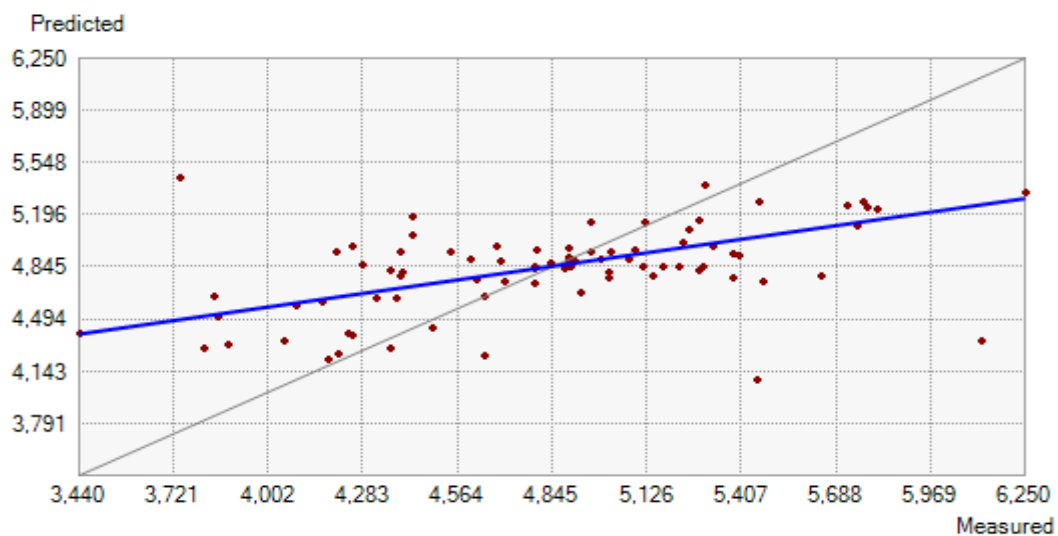


Graf 4. 8. 2. 3 Semivariogram pro charakteristiku  $Q_{4/6}$ , typ stabilní



Model:  $0,004 * \text{Nugget} + 0,278 * \text{Stable} (0,001)$

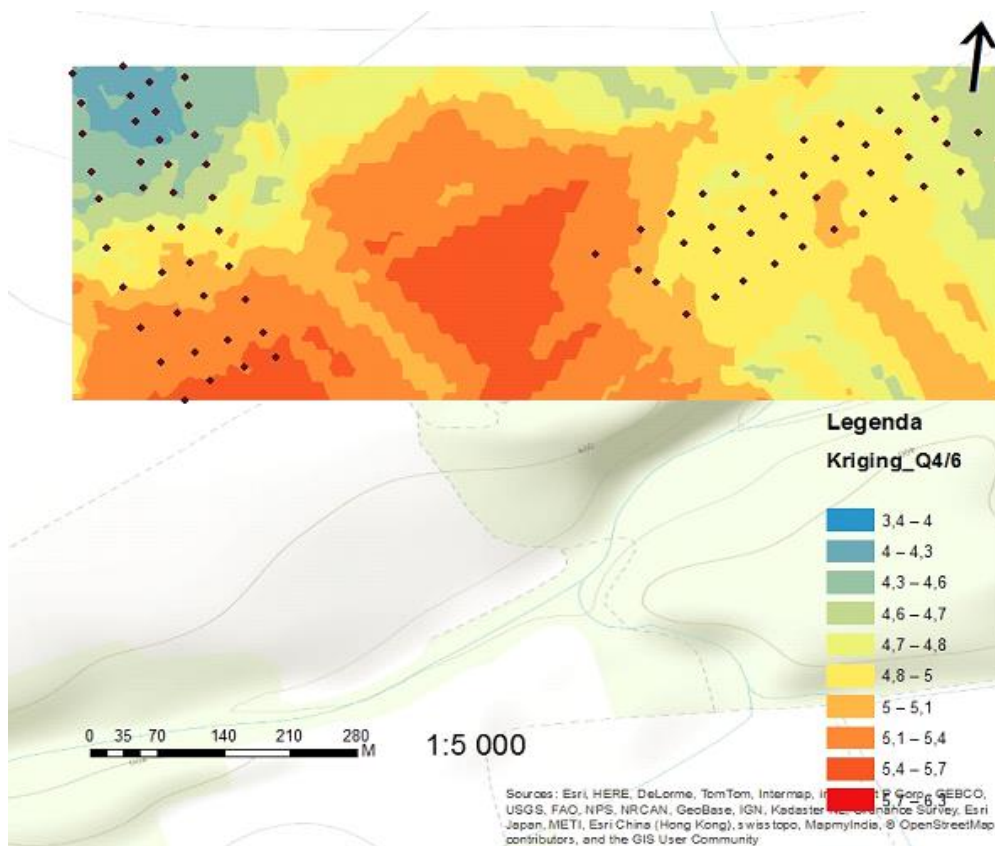
Graf 4. 8. 2. 4 Graf lineární regrese pro charakteristiku  $Q_{4/6}$



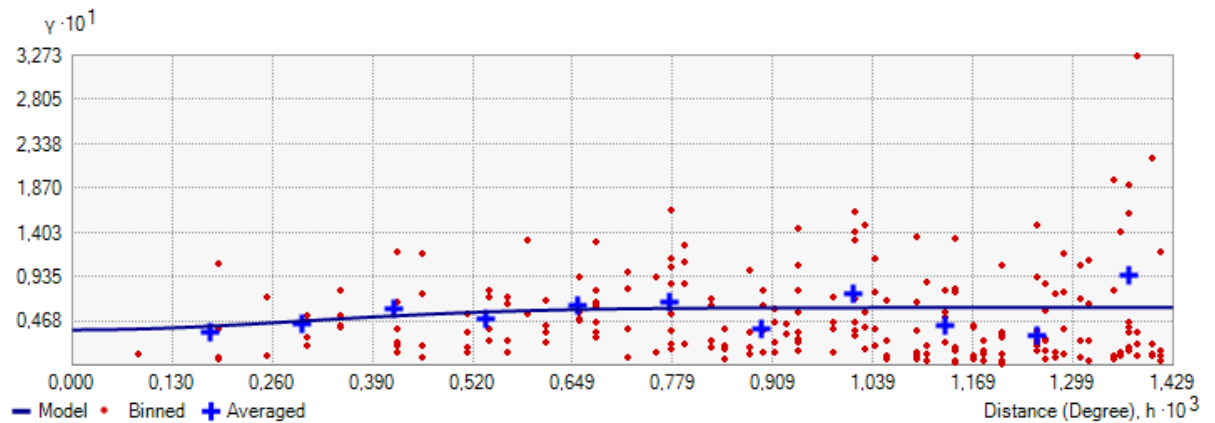
Regresní funkce:  $0,324 * x + 3,275$

Root-mean-square: 0,507

Obr. 4. 8. 2. 2 Mapový podklad pro Kriging – charakteristika  $Q_{4/6}$

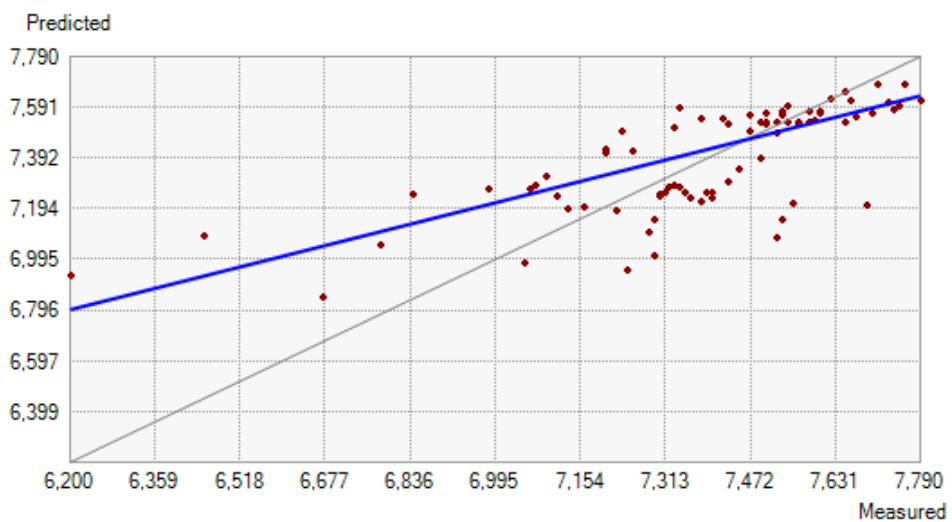


Graf 4. 8. 2. 5 Semivariogram pro charakteristiku pH<sub>H2O</sub>, typ J-Bessel



Model : 0,035 \* Nugget + 0,017 \* J-Bessel (0,001)

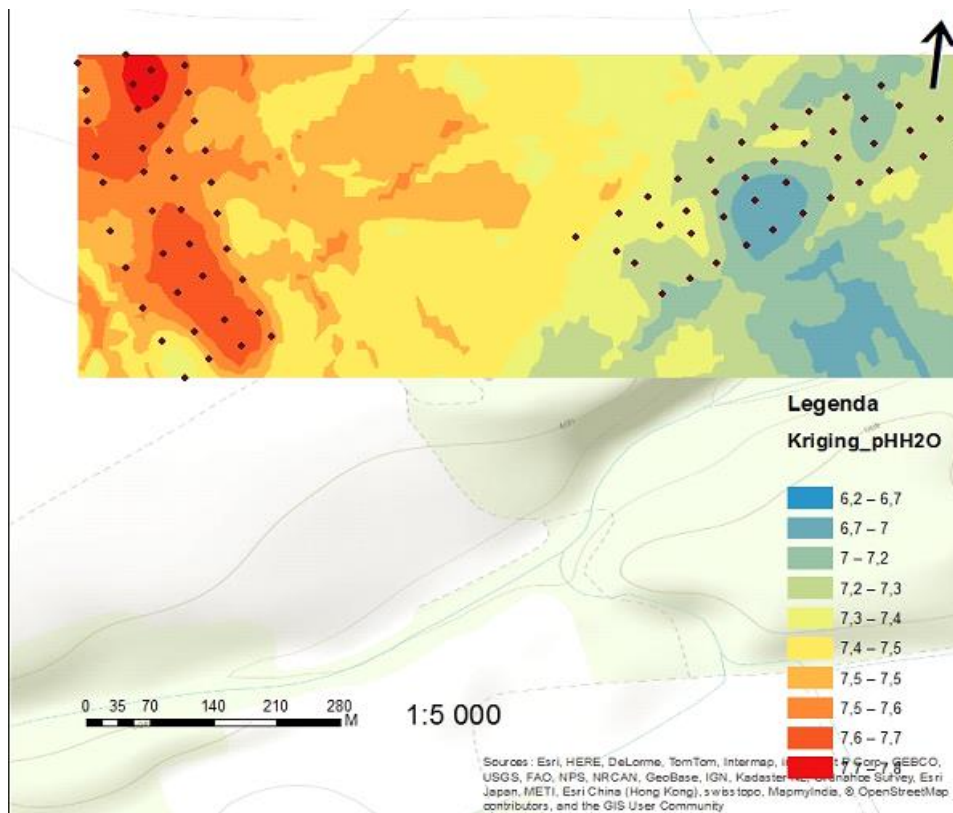
Graf 4. 8. 2. 6 Graf lineární regrese pro charakteristiku pH<sub>H2O</sub>



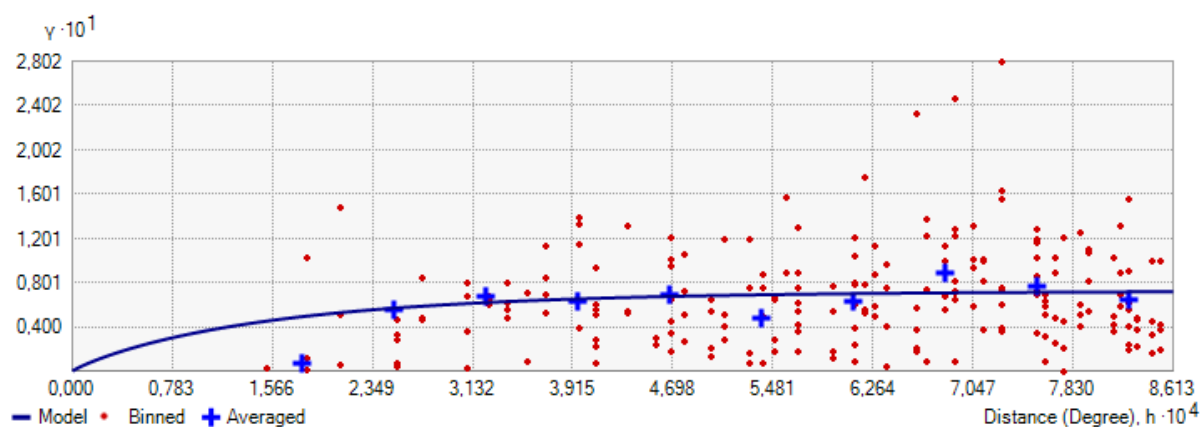
Regresní funkce:  $-0,00577690976794076 * x + 6,96224959795052$

RMS: 0,195

Obr. 4. 8. 2. 3 Mapový podklad pro Kriging – charakteristika pH<sub>H2O</sub>

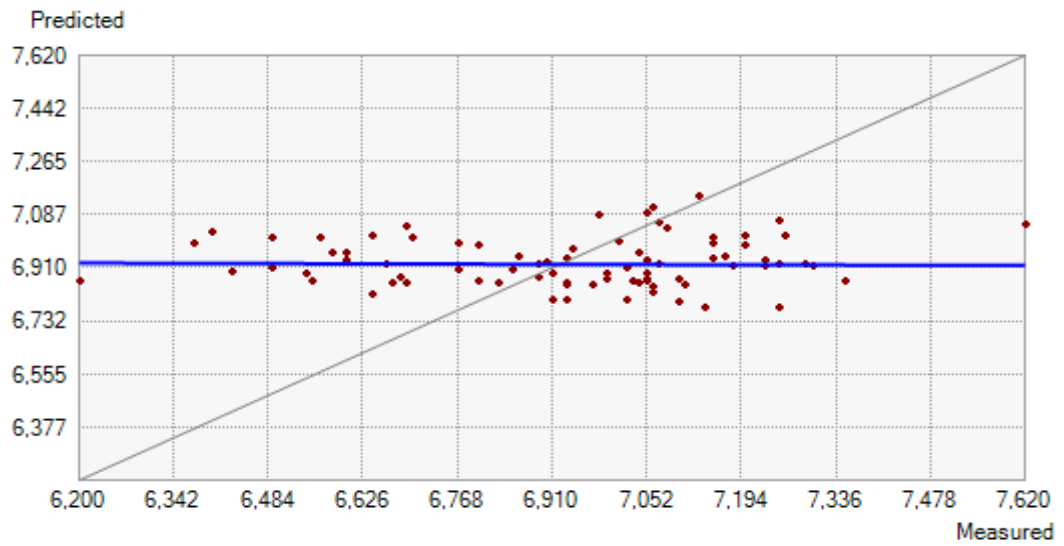


Graf 4. 8. 2. 7 Semivariogram pro charakteristiku  $pH_{KCl}$ , typ stabilní



Model:  $0 \cdot \text{Nugget} + 0,072364 \cdot \text{Stable} (0,001)$

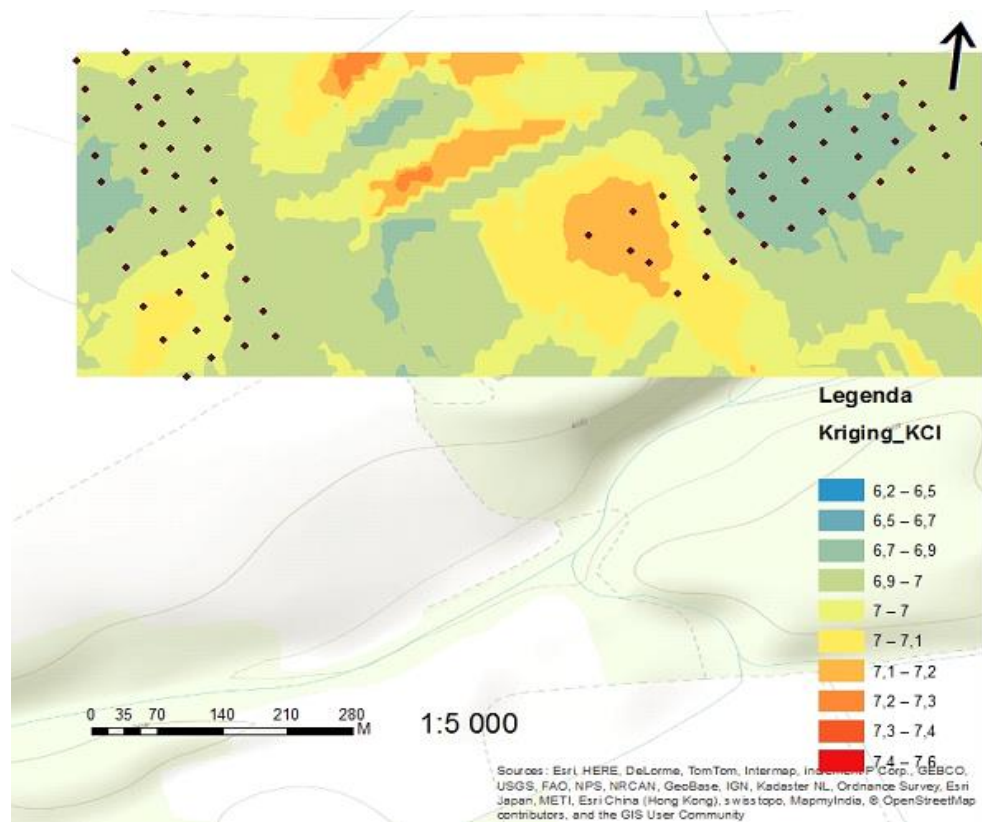
Graf 4. 8. 2. 8 Graf lineární regrese pro charakteristiku  $pH_{KCl}$



Regresní funkce:  $-0,005 * x + 6,962$

RMS: 0,271

Obr. 4. 8. 2. 4 Mapový podklad pro Kriging – charakteristika  $pH_{H_2O}$



Na mapových podkladech 4. 8. 2. 1 – 4. 8. 2. 4 je metodou Krigingu znázorněno prostorové rozložení naměřených hodnot půdních charakteristik a to obsahu humusu Cox, kvality humusu  $Q_{4/6}$ , aktivní půdní reakce  $pH_{H_2O}$  a výměnné půdní reakce  $pH_{KCl}$ . Z mapových podkladů je viditelné, že je rozdíl mezi pozemky u obsahu humusu Cox, který u pozemku A nabývá vyšších hodnot než u pozemku B. Dále je vidět rozdíl mezi pozemky u aktivní půdní reakce, která u pozemku B nabývá vyšších hodnot než u pozemku A. Oproti tomu není příliš patrný viditelný rozdíl mezi pozemky v půdní charakteristice kvality humusu  $Q_{4/6}$  a výměnné půdní reakce  $pH_{KCl}$ .

## 6 Diskuze

Z literární rešerše je jasné, že daná problematika huminových preparátů třetí generace tzv. lignohumátů a jejich vlivů na půdní vlastnosti je zatím nedostatečně prozkoumána. Vycházíme tedy z faktu, jak bylo zmíněno v práci (Tugarinov, 2008), že huminové preparáty přejímají vlastnosti a funkce huminových látek. Jak uvádí (Burns, 1986), jedná se hlavně o následující vlastnosti:

- vysoce sorbují živiny (kationtová výměnná kapacita může být vyšší než u jílových minerálů - u huminových kyselin se uvádí na úrovni 4 000 mmol/kg, u sekundárních jílových minerálů nepřekročí hodnotu 1 500 mmol/kg,
- jsou důležitým faktorem drobtovité struktury, jejímž důsledkem je příznivý vodní, vzdušný a tepelný režim půdy,
- kladně ovlivňují ústojčivou schopnost půd,
- detoxikují škodlivé sloučeniny a částečně poutají i těžké kovy,
- huminovým efektem omezují retrogradaci fosforečnanů (snížení rozpustnosti fosforu zejména v alkalických půdách) (Burns, 1986).

Na základě těchto faktů bylo v pokusné části práce cílem posoudit vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti u vybraných pozemků z jedné lokality, u nichž se předpokládají podobné výchozí podmínky před začátkem deseti leté aplikace lignohumátu. Hypotéza práce byla, že dlouhodobá aplikace lignohumátu způsobí zvýšení obsahu humusu, zlepšení kvality humusu, zvýšení pH půdy a zvýšení stability půdních agregátů. Výsledky pokusu ukazují, že pozemek, kde docházelo k aplikaci lignohumátu – pozemek B, má lepší půdní vlastnosti. Tento pozemek má statisticky průkaznou vyšší aktivní půdní reakci  $pH_{H_2O}$  a vyšší stabilitu půdních agregátů. Na půdních vzorcích odebraných na pozemku bez aplikace lignohumátu byl zjištěn statisticky průkazný vyšší obsah humusu. Na základě výpovědi několika obyvatel obce Stebno u Petrohradu, kde se půdní vzorky odebírali, došlo před několika lety k navážce nepůvodní ornice na horní okraj pozemku A. Této informaci odpovídají i výsledky pokusu. U prvního odebraného vzorku pozemku A (horní část pozemku) byla naměřena extrémně vysoká hodnota obsahu humusu a tato hodnota byla vyloučena z dalšího zpracování a byla nahrazena hodnotou průměru souboru bez podezřelé hodnoty. Porovnáním hodnot obsahu humusu

v horní a dolní části pozemku A zjistíme, že výrazně vyšší naměřené hodnoty jsou v části horní, kde došlo k navážce ornice. Charakteristika obsahu humusu v pokusu tedy není relevantní.

Výsledky pokusu tedy nejsou uspokojivé, protože nedošlo k potvrzení všech částí hypotézy. Pro další výzkum zabývají se touto problematikou plyne doporučení, že by se měly vybrat pro pokus pozemky takové, u kterých je přesně znám výchozí stav půdy a které jsou po dobu pokusu kontrolované a nedochází u nich k externím vlivům ovlivňující výsledky pokusu. Další doporučení se týká způsobu aplikace lignohumátu do půdy. Foliární aplikace, postřikem na rostliny, dochází k minimální depozici lignohumátu do půdy. Jestliže je tedy předmětem pokusu vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti, měla by předcházet aplikace přímo do půdy ve formě granulí k podzimnímu předset'ovému hnojení.



## 7 Závěr

V současné době, se snižující se živočišnou výrobou (zejména stavem skotu) a se změnami v osevních postupech (např. nahrazování víceletých píceňin kukuřicí), je stále obtížnější udržovat rovnovážnou bilanci půdního humusu, která je základním faktorem k zachování kvality půdy. Nedostatek organických hnojiv a posklizňových zbytků zvýšil zájem o využívání jiných netradičních zdrojů organických uhlíkatých látek, které by se daly použít pro zemědělské účely. Jedním z nich jsou lignohumáty získávané z odpadního materiálu při výrobě papíru.

Cílem práce bylo v rešeršní části porovnat vědeckou literaturu zabývající se problematikou preparátů na bázi huminových sloučenin a podat přehled o vědeckých pokusech zabývající se lignohumáty. Myslím, že tento cíl byl dostatečně splněn a práce jako zatím jediná shrnuje poznatky o preparátech na bázi huminových látek a podává výsledky vědeckých pokusů s lignohumáty, které byly zatím publikovány.

V pokusné části bylo cílem posoudit vliv aplikace lignohumátu na půdní vlastnosti u vybraných polí z jedné lokality, u nichž se předpokládají stejné výchozí podmínky před začátkem deseti leté aplikace lignohumátu. Jak již bylo uvedeno v kapitole 6. Diskuze, výsledky pokusu nebyly uspokojivé, protože nedošlo k potvrzení všech částí hypotézy a pro další výzkum zabývají se touto problematikou plynou jistá doporučení týkající se výběru vhodné lokality a způsobu aplikace lignohumátu.

## 8 Seznam literatury

- Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R. L., MacCarthy, P. 1985.** *Humic substances in soil, sediment and water.* New York : John Wiley and Sons, 1985. stránky 1-9.
- Baldock, J. A., Skjemstad, J. O. 2000.** Role of soil matrix and minerals in protecting natural organic material against biological attack. *Organic Geochemistry.* 2000, stránky 697-710.
- Berggren, D., Bergkvist, B., Falkengren, G. U., Folkesson, L., Tyler, G. 1990.** Metal solubility and pathways in acidified forest ecosystems of South Sweden. *Sci. Total Environ.* 1990, stránky 103-114.
- Brady, N.C., Weil, R.R. 2002.** *The Nature and Properties of Soils.* Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall : 13th edition, 2002. str. 960.
- Burns, R. G., Dell'Agnola, G., Miele, S., Nardi, S., Savoini, G., Schnitzer, M., Sequi, P., Vaughan, D., Visser, S. A. 1986.** *Humic substances: effects on soil and plants.* Roma : Reda, 1986.
- Cookson, W.R., Murphy, D.V. 2004.** Quantifying the contribution of dissolved organic matter to soil nitrogen cycling using <sup>15</sup>N isotopic pool dilution. *Soil Biol. and Biochemistry.* 2004, stránky 2097 - 2100.
- Čížek, V., Krejčová, J. 1993.** K problematice půdních procesů v povodí Želivky. *Vodní hospodářství a ochrana ovzduší.* 3 1993, stránky 28 - 31.
- Dec, J., Haider, K., Bollag, J. M. 2001.** Decarboxylation and demethoxylation of naturally occurring phenols during coupling reactions and polymerization. *Soil Sci.* 2001, stránky 660-671.
- Doran, J. W., Parkin, T. B. 1994.** Defining soil quality for a sustainable environment. *SSSA special publication number 35.* 1994, str. 3.
- Drozd, J., Gonet, S. S., Senesi, N., Weber, J. 1997.** *The Role of Humic Substances in the Ecosystems and in Environmental Protection.* Wrocław : PTSH-Polish Society of Humic Substances, 1997.
- Gladkov O., Poloskin R. 2010.** *Efficiency and application prospects of humatized mineral fertilizers.* 2010. 15th Meeting of the International Humic Substances Society Tenerife-Canary Islands.
- Flaig, W. 1960.** *Chemistry of humus materials.* místo neznámé : Suomen Kemistilehti B, 1960. stránky 229-251.
- Savoini, G. 1986.** *General conclusions of humic substances.* Milano : Humic substances, int. Congr., 1986.
- Gil-Sotres, F., Leiro, M. C., Trasar-cepada, M. C., Sa, A., Gonzales-Sangregorio, M.V. 1995.** Soil Biochemical properties in the reclamation of lignite mining land. *The Environ. Biochemistry in practise.* 1995, str. 229.
- Gregorich, E. G., Drurg, C. F., Baldock, J. A. 2001.** Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Canadian J. Soil Sci.* 2001, stránky 21-31.

- Guminski, S. 1967.** Vlijanije guminovych věščestv na fiziologičeskije procesy i pitanie rastěnij. *Humus et planta*. 1967.
- Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M., Kara, E.E. 2004.** Rate of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biol. and Biochemistry*. 2004, stránky 255 - 265.
- Haynes, R. J. 2005.** Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils. *Advances in Agronomy*. 2005, Sv. 85, stránky 221-268.
- Horáček, J., Ledvina, R., Koubalíková, J. 1994.** *Geologie a půdoznalství*. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 1994. str. 114.
- Hradecká, D. 2006.** Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, ČZU v Praze, FAPPZ, ISBN: 80-213-1484-2, stránky 254-260
- Frimmel, F.H., Abbt-Braun, G. 2006.** *Humic Substances - Linking Structure to Functions*. Karlsruhe : Universitat Karlsruhe, 2006. Proceedings of the 13th Meeting of the International Humic Substances Society.
- John, B., Yamashita, T., Ludwig, B. A., Flessa, H. 2003.** *Effects of soil aggregation on C stabilization in soils of different land use. In: Mechanisms and regulation of organic matter stabilization in soils.* Munich : autor neznámý, 2003. str. 28.
- Johns, M. M., Skogley, E. O. 1994.** Soil organic matter testing and labile carbon identification by carbonaceous resin capsules. *Soil Science Society of America Journal*. 1994, stránky 751-758.
- Klučáková, M., Omelka, L. 2004.** Sorption of metal ions on lignite and humic acids. *Chem. papers*. 2004, stránky 170-175.
- Kogel-Knabel, I. 2002.** The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Biology and Biochemistry*. 2002, stránky 139-162.
- Kolář, L. 1985.** Organický fosfor v kyselých hnědých půdách Šumavy. *Rostlinná výroba*. 1 1985.
- Krejčová, J. 2008.** *Lignohumát a obsah nitrátového dusíku v půdě*. Praha : Výzkumný ústav rostlinné výrovy, v.v.i., 2008. stránky 22 - 23.
- Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., Šimon, T. 2008.** *Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty*. Praha - Ruzyně : Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., 2008. 978-80-87011-65-2.
- Kužel S., Kolář L., Ledvina R., Povilaitis A. 2001.** *Soil organic matter and humic sbstances – why to differentiate these terms in university education?* Bratislava : Výzkumný ústav pôdoznalctva a ochrany pôdy, 2001.
- Lal, R. 2004.** Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. 2004, Sv. 304.

- Chen, Y., Clapp, C.E., Magen, H. 2004.** *Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organoiron complexes.* 2004, Soil Sci. Plant Nutr., stránky 1089 - 1095.
- Nimmo, J.R., Perkins, K.S. 2002.** *Aggregate stability and size distribution in: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods.* Madison : SSSA, 2002. stránky 317–328.
- Novák, F., Hrabal, R. 2011.** Kvantitativní <sup>13</sup>C NMR spektroskopie huminových látek. *Chemické listy.* 2011, Sv. 105, str. 752.
- Novák, F., Šestauberová, M., Hrabal, R. 2015.** *Structural features of lignohumic acids.* 2015, Journal of Molecular Structure.
- Pospíšil, F. 1981.** *Group and fractional composition of the humus of different soils.* Prague : Proceedings of the 5th International Soil Science Conference, 1981. stránky 135 - 138.
- Pospíšilová, L. 2012.** *Nedegradační metody studia kvality přírodních humusových látek.* Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2012. 978-80-7375-662-8.
- Prát, S. 1964.** *Humus a jeho význam.* Praha : ČSAV, 1964. str. 163.
- Reicosky, D.C. 2001.** Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. Madrid, Spain, XUL : Conservation agriculture, 2001, stránky 3 - 12.
- Růžek, L., Nováková, M., Krejčová, J., Voříšek, K., Kváčová, M., Jáglová, M, Lhotáková, T., Osecký, L. 2006.** *Mikrobiologické a chemické parametry stovebních a demoličních odpadů, obohacených Lignohumátem AM™, kmínovou, pšeničnou, řepkovou a ječnou slámou.* Milovy : Odpadové fórum 2006, 2006.
- Sáňka, Milan, Materna, Jan. 2004.** Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Planeta.* 11 2004, str. 5.
- Schaetzl, R., Anderson, S. 2005.** *Soils, genesis and geomorfology.* 2005. 978-0-521-81201-06.
- Sladký, Z., Tichý, V. 1959.** Application of humus substances to over ground organs of plants. *Biol. Plantarum.* 1959, stránky 9-15.
- Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R. J. A., Montanarella, L., Rounsevell, M., Reginster, I., Ewert, F. 2005.** Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands. *Global Change Biology.* 2005.
- Soane, B.D. 1990.** The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research.* 16 1990, stránky 179 - 201.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S., Sa, J.C.D.M., Albrecht, A. 2002.** *Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no-tillage.* Agronomie, 22(7-8), 2002, stránky 755-775.
- Sotáková, S. 1982.** *Organická hmota a úrodnost půdy.* Bratislava : Příroda, 1982. str. 234.
- Stevenson, F. J. 1994.** *Humus chemistry.* New York : J. Wiley, 1994. str. 496.

**Stevenson, F. J. 1982.** *Humus Chemistry - genesis, composition, reactions*. New York : J. Wiley - Inter science Publication , 1982.

**Šimek, M. 2005.** *Základy nauky o půdě: 1. Neživé složky půdy*. České Budějovice : Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2005. str. 160.

**Tugarinov, L. V., Alexejeva, S. V., & Skrenževský, S. S. 2008.** *Lignohumát v zemědělství, rozsah použití*. Applied Enzyme Technology Ltd., 2008.

**Tyl, P. et al. 2011.** *Tvorba ontologie huminových látek*. ICS AS ČR : Technical Report, 2011.

**Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O. 2008.** *Pedologické praktikum*. Praha : ČZU v Praze, 2008. 978-80-213-0914-2.

**Vopravil, J. et al. 2009.** *Kniha o půdě – I. díl*. Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i., 2009. str. 148.

**Vrba, V., Konrádová, M., Němcová, L. 1980.** Aplikace humusového koncentráту v provozních podmínkách. *Rostlinná výroba*. 1980, stránky 239-246.

**White, R.E. 2006.** *Principles and practice of soil science*. 2006. 978-0-632-06455-7.

**Zaujec, A., Chlpík, J., Nádašský, J., Szombathová, N., Tobiášová, E. 2009.** *Pedologia a základy geologie*. Nitra : SPU, 2009. str. 399. 978-80552-0207-5.

**Zedník, Z. 2009.** Používání lignohumátu v olejninách. Sborník konference s mezinárodní účastí v ČZU v Praze: Prosperující olejniný.

## 9 Samostatné přílohy

### Seznam příloh

Příloha 1. Zrnitostní čára, pozemek A – písčitohlinitá půda

Příloha 2. Zrnitostní čára, pozemek B – jílovitohlinitá půda

Příloha 3. Výsledky měřených půdních charakteristik

Příloha 4. Základní charakteristiky klimatických regionů

Příloha 5. Obecné informace o půdní jednotce – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

Příloha 6. Půdní charakteristiky – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

Příloha 7. Praktické využití půdy – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

Příloha 8. Hodnocení hloubky a skeletovitosti půdy, sklonitosti a expozice pozemku A

Příloha 9. Hodnocení hloubky a skeletovitosti půdy, sklonitosti a expozice pozemku B

### Příloha 1. Zrnitostní čára, pozemek A – písčitohlinitá půda

#### ZRNITOSTNÍ ČÁRA:

Půdní druh: Písčito jílnato hlinitá

Lokalita: AR\_pokus

Číslo sondy:

Hloubka:

Zrnitostní kategorie:

< 0,002 mm (Fyz. jíl)

< 0,01 mm (I. Kat.)

0,01 - 0,05 mm (II. Kat.)

20,26 %

35,6 %

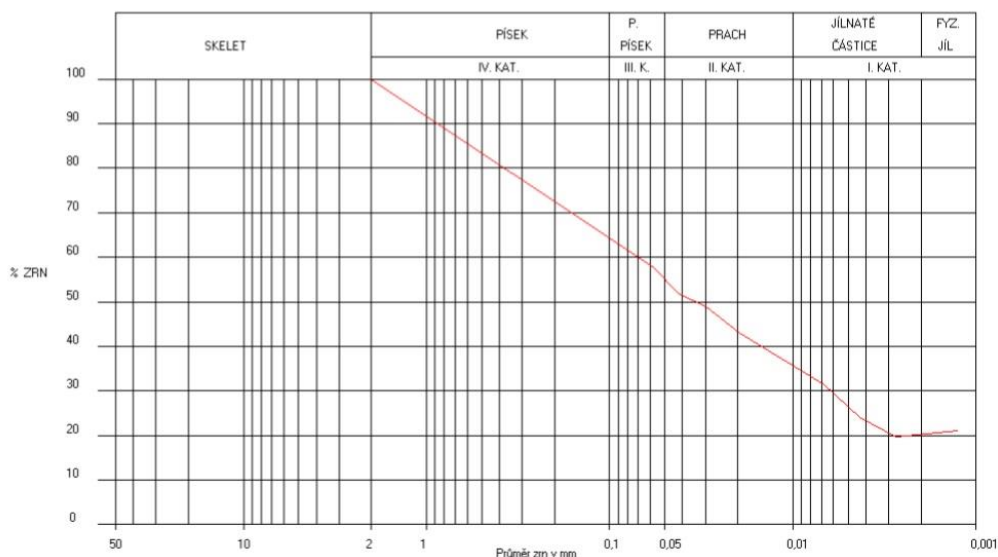
19,46 %

0,05 - 0,1 mm (III. Kat.)

0,1 - 2 mm (IV. Kat.)

9,16 %

35,75 %



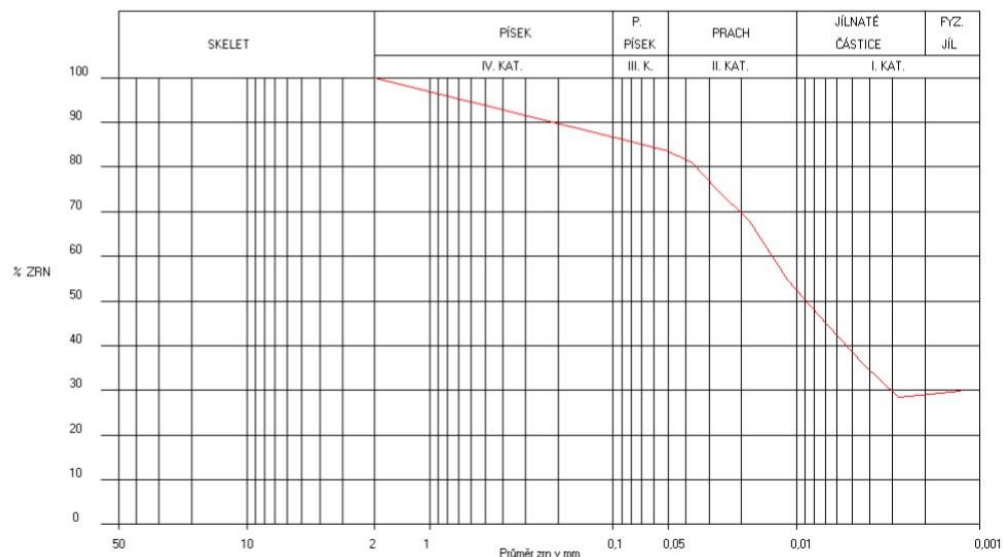
Zdroj: vlastní zpracování

## Příloha 2. Zrnitostní čára, pozemek B – jílovitohlinitá půda

### ZRNITOSTNÍ ČÁRA:

Půdní druh: Jílovito hlinitá  
Lokalita: AR\_pokus  
Číslo sondy:  
Houbka:

Zrnitostní kategorie:  
< 0,002 mm (Fyz. jíl) 29,04 % 0,05 - 0,1 mm (III. Kat.) 3,21 %  
< 0,01 mm (I. Kat.) 52,47 % 0,1 - 2 mm (IV. Kat.) 13,19 %  
0,01 - 0,05 mm (II. Kat.) 31,11 %



Zdroj: vlastní zpracování

## Příloha 3. Výsledky měřeních půdních charakteristik

Typ pole	Číslo vz.	Q4/6	Cox %	pH H2O	ph KCl	Písek %	Prach %	Jíl %	WSA
A	1	5,28	2,31	7,49	7,25				
A	2	5,25	2,16	7,45	7,62				
A	3	5,07	2,03	7,43	6,98				
A	4	4,79	2,32	7,34	7,01	35,26	44,69	22,18	0,523
A	5	4,28	2,66	7,31	6,89				
A	6	4,90	1,96	7,32	7,06				
A	7	5,14	2,23	7,35	6,43				
A	8	4,54	2,34	7,09	7,25	41,96	41,89	16,11	0,580
A	9	4,36	2,23	7,07	6,97				
A	10	4,79	2,20	7,11	7,06				
A	11	4,70	2,19	7,22	6,91				
A	12	5,47	2,08	7,28	6,68	50,87	34,19	14,57	0,597
A	13	4,89	1,76	7,53	6,69				
A	14	5,22	2,30	7,55	6,93				

A	15	4,60	2,02	7,52	6,91				
A	16	4,69	2,24	7,24	7,14	44,95	37,27	17,77	0,631
A	17	4,79	1,98	7,16	6,54				
A	18	5,29	2,38	7,20	6,80				
A	19	4,20	2,11	7,25	7,07				
A	20	5,23	2,99	7,20	7,13	39,91	39,82	20,26	0,608
A	21	4,96	2,65	7,36	7,06				
A	22	5,17	2,65	7,69	7,17				
A	23	4,84	2,51	7,29	6,80				
A	24	4,91	2,87	6,20	6,20	39,52	42,25	18,32	0,518
A	25	5,40	2,60	6,45	6,64				
A	26	4,89	2,91	6,98	6,55				
A	27	4,88	2,00	6,84	6,49				
A	28	4,62	2,11	7,30	7,11	28,77	47,59	23,68	0,546
A	29	4,39	2,10	7,33	6,58				
A	30	4,64	2,09	7,30	6,99				
A	31	4,40	1,69	7,40	7,10				
A	32	5,01	2,08	7,39	7,05	32,86	47,48	19,74	0,458
A	33	4,99	2,27	7,40	7,04				
A	34	4,80	2,37	7,29	7,10				
A	35	5,09	2,26	7,05	7,02				
A	36	4,68	2,99	6,67	6,67	38,31	41,9	20,05	0,612
A	37	5,64	3,20	6,78	6,93				
A	38	4,39	2,33	7,38	7,18				
A	39	4,25	1,78	7,06	7,08				
A	40	5,38	2,26	7,13	7,05	36,87	43,76	19,37	0,595
B	1	5,77	1,35	7,49	6,93				
B	2	5,72	1,81	7,56	6,37				
B	3	4,96	1,58	7,49	6,40				
B	4	4,43	1,47	7,47	7,30	27,15	47,76	25,08	0,592
B	5	5,11	1,69	7,38	7,29				
B	6	4,93	1,41	7,52	6,56				



B	7	4,38	1,44	7,50	6,89				
B	8	4,24	1,29	7,43	6,90	15,85	55,1	29,04	0,610
B	9	4,25	1,74	7,50	6,64				
B	10	4,49	1,62	7,58	7,04				
B	11	4,18	1,84	7,76	6,77				
B	12	3,88	1,89	7,79	7,02	8,17	63,16	28,67	0,609
B	13	3,44	1,91	7,54	7,05				
B	14	6,12	1,80	7,56	6,85				
B	15	3,84	1,72	7,47	7,05				
B	16	5,01	1,70	7,65	6,60	18,03	49,03	32,6	0,642
B	17	5,32	1,61	7,74	7,15				
B	18	4,43	1,76	7,66	7,20				
B	19	5,46	1,60	7,75	7,25				
B	20	5,78	1,66	7,70	7,05	19,37	49,86	30,77	0,654
B	21	5,30	1,67	7,47	6,94				
B	22	5,81	1,53	7,52	7,15				
B	23	5,12	1,74	7,67	7,26				
B	24	5,02	1,65	7,62	6,70	4,35	82,78	28,41	0,562
B	25	5,38	1,63	7,53	6,77				
B	26	4,16	1,50	7,59	7,03				
B	27	3,85	2,02	7,60	6,99				
B	28	3,81	1,90	7,65	6,86	11,65	62,74	25,61	0,684
B	29	4,36	1,91	7,71	7,23				
B	30	4,21	1,71	7,73	7,23				
B	31	4,05	1,87	7,53	7,35				
B	32	4,64	1,72	7,34	6,49	15,28	55,43	29,36	0,704
B	33	5,45	1,70	7,58	6,66				
B	34	4,08	1,71	7,60	6,93				
B	35	4,32	1,62	7,54	6,83				
B	36	5,28	1,58	7,42	6,60	14,35	58,62	27,01	0,688
B	37	4,89	1,77	7,49	7,07				
B	38	5,75	1,62	7,50	7,20				

B	39	3,74	1,73	7,33	7,15				
B	40	6,25	1,53	7,23	6,69	31,74	47,42	19,87	0,701

Zdroj: vlastní zpracování

#### Příloha 4. Základní charakteristiky klimatických regionů

Kód KR	Symbol KR	Charakt. regionu	Suma teplot nad 10 °C	Prům. roční teplota °C	Prům. úhrn srážek (mm)	Pravděpodobnost suchých veg. období v %	Vláhová jistota ve veg. období
4	MT 1	mírně teplý, suchý	2400-2600	7-8,5	450-550	30-40	0-4

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43311>>

#### Příloha 5. Obecné informace o půdní jednotce – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

<b>relief</b>	rovina – mírné až střední svahy
<b>výskyt v klimatických regionech</b>	(1), 2, 3, 4, 5, 7
<b>hloubka půdy</b>	velmi hluboká, hluboká
<b>mocnost ornice</b>	středně hluboká – hluboká
<b>mocnost humusového horizontu</b>	shodná s mocností ornice
<b>struktura</b>	drobtovitá – spodní horizonty s nevyvinutou kostkovitou strukturou
<b>půdotvorný substrát</b>	arkosy, arkosové pískovce, slepenec s vložkami jílu a písčitých břidlic
<b>skeletovitost</b>	bez skeletu až středně skeletovitá
<b>vláhové poměry</b>	příznivé
<b>oglejení</b>	ve slabším projevu u oglejených variet
<b>glejový proces</b>	-
<b>zamokření</b>	sklon k periodickému převlhčení
<b>biologické oživení</b>	značné
<b>produkční potenciál HPJ</b>	54,6 – 81,9

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43311>>

Příloha 6. Půdní charakteristiky – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

<b>zrnitost</b>	jh - jv; h - ph	těžká středně těžká
<b>pórovitost (% obj.)</b>	46 - 52	středně pórovitá
<b>MKVK (% obj.)</b>	cca 39	silně vododržná
<b>humus (%)</b>	1 - 2,5	nižší až střední
<b>uhličitany (%)</b>	0	-
<b>pH (K(I))</b>	5,6 - 6,5; 6,5 - 7	slabě kyselá neutrální
<b>sorpční kapacita (mmol+/100g)</b>	8 - 13; 13 - 20	nízká střední
<b>stupeň sorpčního nasycení (%)</b>	30 - 50; 50 - 75; 75 - 90	nenасыcená slabě насыcená насыcená
<b>měrný odpor (kPa)</b>	60 - 70	-

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43311>>

Příloha 7. Praktické využití půdy – BPEJ 4.33.11 a BPEJ 4.33.01

<b>náchylnost k acidifikaci</b>	střední
<b>náchylnost k utužení</b>	střední (výrazná)
<b>vhodné pro zatravnění</b>	/
<b>vhodné pro zalesnění</b>	/
<b>erodovatelnost půdy</b>	středně náchylné
<b>ohrožení větrnou erozí</b>	KR 0 - 4 bez ohrožení
<b>retence (l.m-2/1m)</b>	225
<b>hydrologická skupina půd</b>	B
<b>infiltrace (mm.min-1)</b>	0,06
<b>sklon k hrudkovitosti</b>	střední (lokálně i vyšší)
<b>uléhavost ornice (MPa)</b>	2,25 - 2,16
<b>zpracovatelnost</b>	V.
<b>těžitelnost zemin</b>	kyprá - rypná
<b>ochrana plošná</b>	II.
<b>využitelnost humusového horizontu</b>	dobrá (vhodná)

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43311>>

Příloha 8. Hodnocení hloubky a skeletovitosti půdy, sklonitosti a expozice pozemku A

<b>Hloubka půdy</b>	0	půda hluboká (> 60cm)
<b>Skeletovitost</b>	1	slabě skeletovitá (s celk. obsahem skeletu 10 – 25 %)
<b>Sklonitost</b>	2	mírný sklon (3 – 7 °)
<b>Expozice</b>	0	se všesměrnou expozicí

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43311>>

Příloha 9. Hodnocení hloubky a skeletovitosti půdy, sklonitosti a expozice pozemku B

<b>Hloubka půdy</b>	0	půda hluboká (> 60cm)
<b>Skeletovitost</b>	1	slabě skeletovitá (s celk. obsahem skeletu 10 – 25 %)
<b>Sklonitost</b>	1	rovina (0 – 1 °)
<b>Expozice</b>	0	se všesměrnou expozicí

Zdroj: <<http://bpej.vumop.cz/43301>>