

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Charakteristiky půdní struktury na svažitém erozí
postiženém území**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Prof. Ing. Radka Kodešová, CSc.

Konzultant:

Ing. Ondřej Jakšík

Autor práce:

Bc. Adam Kubiš

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Charakteristiky půdní struktury na svažitém erozí postiženém území" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne:

.....

podpis autora práce

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Radce Kodešové, CSc. za pomoc, která mi byla poskytnuta při psaní této práce. Konzultantovi Ing. Ondřeji Jakšíkovi za čas a rady, které mi byly poskytnuty. Rád bych poděkoval rodině, přátelům a všem, kteří mě při psaní této diplomové práce podporovali.

Souhrn

Tato práce zkoumá vliv charakteristik půdní struktury na svažitém, erozí postiženém území. Teoretická část práce je převážně zaměřena na půdní strukturu jako je její vznik, rozpad a také na faktory, které ji ovlivňují. Dále se zabývá vlastnostmi terénu jako jednoho z faktorů ovlivňující stabilitu půdní struktury. Stabilita půdní struktury je schopnost půdních agregátů odolávat destrukčním mechanismům způsobujících jejich rozpad.

Praktická část výzkumu byla provedena na lokalitě u obce Brumovice v oblasti Jižní Moravy, která byla vybrána pro své výrazné geomorfologické rozmanitosti. Bylo zde odebráno 36 půdních vzorků. Odběrová síť byla navržena, tak aby co nejvíce postihovala členitost tohoto území. Na tomto území se původně nacházela černozem, která byla na svažitých partiích degradována až na regozem. Ve spodních částech vybraného území se v důsledku akumulace půdní hmoty vytvořila koluvizem. Vzorky byly analyzovány za použití dvou metod. První byla metoda ve vodě stabilních agregátů (WSA) a druhá byla metoda navržená autorem Le Bissonnais (1996), kde je výsledek jednotlivých destrukčních mechanismů vyjádřen koeficienty vulnerability (KV1, 2, 3). Obě metody stanovují půdní stabilitu ve vztahu k různým destrukčním mechanismům: roztržení stlačeným vzduchem při prudkém ovlhčení (WSA index, KV1), fyzikálně chemická disperze a objemové změny (KV2) a mechanický rozpad (KV3). Obě metody byly spolu porovnány a byl jasně prokázán úzký vztah mezi WSA indexem a všemi koeficienty vulnerability (KV1, 2, 3), kde nejvyšší závislost WSA indexu byla zjištěna ke KV1 z důvodu stejného destrukčního mechanismu.

Dále byl zkoumán vliv základních půdních vlastností na stabilitu půdní struktury. Ukázalo se, že z těchto vlastností má hlavní vliv na stabilitu půdní struktury obsah uhlíku, pórovitost a objemová hmotnost. Vliv byl prokázán pouze u destrukce, kde dochází k roztržení agregátů při prudkém ovlhčení (WSA index, KV1). Stabilita půdní struktury se také porovnávala s obsahy železa a manganu, kde byla nalezena závislost mezi WSA indexem a obsahem manganu. Pro plošné mapování půdních vlastností byl rovněž testován vztah magnetické susceptibility (který vyjadřuje obsah feromagnetických a ferimagnetických částic) k analyzovaným půdním vlastnostem. Zde byl prokázán vztah k obsahu železa, manganu, organického uhlíku a k hodnotám pH. V závěru práce se porovnávaly vlastnosti terénu ke stabilitě půdní struktury, kde se zjistila závislost WSA indexu na horizontálním a celkovém zakřivení svahu.

Summary

This thesis examines the influence of soil structure characteristics at a sloping and erosion affected territory. The theoretical part of work is mainly targeted on the soil structure as its formation, decay and also on factors that affect it. It also deals with the properties of terrain as one of factors that influences the stability of soil structure. The stability of soil structure is an ability of soil aggregates to resist to destructive mechanisms that cause its decay.

The practical part of research was carried out at Brumovice village location at South Moravia that was selected due to its significant geomorphologic diversity. Thirty-six soil samples were collected there. The sampling network was proposed in such a way that it would affect the articulation of that territory as much as possible. This territory was originally covered by Chernozem that was at slop parts degraded even at a Regosols ground. At the lower parts of selected territory there due to accumulation of soil matter a Colluvial soil developed. Samples were analyzed by two methods. The first one was a method of water stable aggregates (WSA) and the second one was a method suggested by Le Bissonnais (1996) where the result of each destructive mechanism is expressed by coefficients of vulnerability (KV1, 2, 3). Both methods determinate the soil stability in relation to different destructive mechanisms: the tear by compressed air due to rapid wetting (WSA index, KV1), physico-chemical dispersion and volume change (KV2) and mechanical disintegration (KV3). Both methods were compared with each other and the close relationship between WSA index and all vulnerability coefficients (KV1, 2, 3) was clearly demonstrated; the highest dependence of WSA index was found to KV1 because the same destructive mechanism.

Also the influence of basic soil properties on the stability of soil structure was investigated. It was found that from those properties the carbon content, porosity and volume density have the major impact on the soil stability. The impact was demonstrated only at the case of destruction during which an aggregate tears due to rapid wetting (WSA index, KV1). The stability of soil structure was also compared with iron and manganese contents where the relationship between WSA index and manganese content was found. For a surface mapping of soil properties the relationship of magnetic susceptibility (that expresses a content of ferromagnetic and ferrimagnetic particles) to analyzed soil properties was also tested. It was proved the relationship to content of iron, manganese, and organic carbon a pH values. At the end of work the properties of terrain are compared to the stability of soil structure where the dependence of WSA index on PLANC and total curvature was found.

Klíčová slova

struktura půdy

stabilita agregátů

půdní vlastnosti

terénní vlastnosti

magnetická susceptibilita

Keywords

soil structure

aggregate stability

soil properties

terrain attributes

magnetic susceptibility

Obsah

1 Úvod	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Vlastnosti terénu	3
3.2 Půdní struktura.....	5
3.3 Vznik půdní struktury.....	6
3.4 Stabilita půdní struktury.....	8
3.5 Rozpad půdní struktury	8
3.5.1 Roztržení agregátů při prudkém zvlhčení	9
3.5.2 Rozpad při objemových změnách.....	9
3.5.3 Fyzikálně chemická disperze	10
3.5.4 Mechanické rozrušení dešťovými kapkami	10
3.6 Metody stanovení stability půdní struktury	10
3.6.1 Metoda ve vodě stabilních agregátů (WSA)	10
3.6.2 Metoda podle Le Bissonnais	11
3.7 Faktory ovlivňující půdní stabilitu.....	12
3.7.1 Organická hmota	12
3.7.2 Železo v půdě	15
3.7.3 Mangan v půdě.....	16
3.8 Magnetická susceptibilita.....	17
4 Metodika.....	18
4.1 Charakteristika území.....	18
4.2 Půdní typy.....	19
4.2.1 Černozem	19
4.2.2 Regozem.....	19
4.2.3 Koluvizem.....	19
4.3 Odběr půdních vzorků	20
4.4 Půdní analýzy	21
4.4.1 Stabilita půdní struktury	21
4.4.2 Laboratorní zpracování neporušeného půdního vzorku.....	25
4.4.3 Stanovení aktivní půdní reakce potenciometricky	27
4.4.4 Stanovení výměnné půdní reakce potenciometricky	27
4.4.5 Stanovení obsahu humusu.....	27
4.4.6 Stanovení obsahu železa a manganu	28
4.4.7 Magnetická susceptibilita	29

5 Výsledky	30
5.1 Hodnoty stability půdní struktury	30
5.2 Hodnoty půdních vlastností	32
5.3 Hodnoty obsahu železa, manganu a magnetické susceptibility	36
5.4 Hodnoty terénních vlastností	39
6 Diskuze.....	41
6.1 Porovnání stability agregátů vyhodnocené různými metodami	41
6.2 Závislost stability agregátů na základních půdních vlastnostech	44
6.3 Závislost stability agregátů na obsahu Fe, Mn a magnetické susceptibility.....	48
6.4 Vzájemný vztah vybraných půdních vlastností	52
6.5 Závislost stability agregátů na vlastnostech reliéfu	60
7 Závěr	64
8 Použitá literatura.....	65
9 Přílohy.....	69

1 Úvod

Půdní struktura je důležitou vlastností půdy, která ovlivňuje mnoho procesů probíhajících v půdě. Půda se skládá z elementárních zrn, které tvoří shluky zvané agregáty. Agregáty vznikají rozpadem větších celků půdní hmoty tzv. desagregací nebo postupným spojováním a stmelováním půdních částic, čili agregací a zpevňováním vzniklých agregátů, které jsou závislé na půdní organické hmotě a jemných texturních elementech (prach, jílu). Rozpad půdní struktury je ovlivněn převážně destrukčními mechanismy, jako je fyzikálně chemická disperze, mechanický rozpad, objemové změny a roztržení způsobené tlakem vzduchu uvnitř agregátů.

Valla a kol. (2000) uvádí, že rozhodující pro kvalitu agregátů je jejich odolnost vůči degradačním silám, působícím v daném prostředí. Stabilita je nejvíce závislá na textuře (hlavně na obsahu jílu a jeho mineralogickém složení), na půdní organické hmotě (funguje jako spojovací článek minerálních částí, zpomaluje zvlhčování a snižuje tak destrukci agregátů), na vegetaci (stabilizace prostřednictvím hub a kořenů rostlin) a na půdních mikroorganismech (působení sekretů na fyzikálně chemické pochody).

Půdní organická hmota je důležitá část půdy odpovědná za společnou vazbu půdních minerálních částic a vytváření půdní struktury. Skládá se ze směsi produktů rozkladu rostlinných a živočišných zbytků (Chen et al., 2002). Půdní organická hmota je dynamický materiál, který je ovlivněn několika faktory: klimatem, obsahem jílu a minerálů a řízením půdy. Obdělávání půdy, a to zejména orba, urychluje rozklad půdní organické hmoty a snižuje půdní agregaci (Álvaro-Fuentes et al., 2008). Půdní organický uhlík je úzce spojen s širokým rozsahem fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy a hraje tak důležitou roli v půdních procesech. Je také důležitým faktorem odpovědným za vazbu mezi minerálními částicemi a vytvářením hierarchie půdních agregátů.

Magnetická susceptibilita měří magnetické vlastnosti půd a sedimentů, které jsou citlivé na přítomnost feromagnetických a ferimagnetických minerálů (Kapička et al., 2004). Magnetická citlivost půdy je závislá na obsahu magnetitu a meghemitu, obsahující oxidy železa a manganu. Je snaha o použití magnetické susceptibility pro plošné mapování půdních vlastností.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení stability půdní struktury na vybraném geomorfologicky rozmanitém území a porovnat různé metody pro stanovení stability půdní struktury. Dále vyhodnotit stabilitu půdní struktury k základním půdním vlastnostem a k vlastnostem terénu. Dalším krokem bylo zjistit vliv magnetické susceptibility k různým půdním vlastnostem.

Diplomová práce se zakládá na těchto hypotézách:

- Stabilita půdních agregátů je výrazně ovlivněna erozně akumuláčními procesy.
- Stabilita půdních agregátů úzce souvisí s vybranými půdními vlastnostmi.
- Stabilita půdních agregátů souvisí s charakteristikami terénu.
- Měření magnetické susceptibility lze použít pro mapování půdních vlastností souvisejících se stabilitou půdních agregátů.

3 Literární rešerše

3.1 Vlastnosti terénu

Terén je hlavním faktorem formování půdního krytu v klimaticky a geologicky homogenní oblasti (Zádorová et al., 2011). Zřejmá spojitost mezi reliéfem a půdními jednotkami má významný vliv na fyzikální a chemické vlastnosti v půdě (Gerrard 1981). Prostorová heterogenita celkové stability půdní struktury úzce souvisí s terénními vlastnostmi reliéfu. Tyto terénní vlastnosti rozdělujeme na primární a sekundární.

Primární vlastnosti reliéfu

Primární vlastnosti reliéfu je možné zjistit přímou metodou. Nejdůležitější je co nejpřesnější popis těchto vlastností. Reliéf můžeme popsat podle jednotlivých vlastností jako je například sklon, zakřivení, orientace svahu.

Sklon se měří ve stupních a vyjadřuje sklon ve směru nejstrmějšího stoupání nebo klesání od pevné polohy, je první derivací povrchu reliéfu (Romano and Palladino, 2002). Sklon je velice důležitým prvkem, který gravitačně výrazně ovlivňuje intenzitu transportu materiálu (Penížek, 2005). Působením gravitace se řídí množství vody, které odtéče z odvodňované plochy a zároveň přiteče a zásobí vodou půdu v oblasti, kam voda odtéká. Jedná se o důležitou hodnotu v hydrologii a geomorfologii. Tento stav také ovlivňuje mocnost horizontů a složení jednotlivých typů půd, například koluvizemě (Wilson and Gallant, 2000).

Zakřivení vyjadřuje míru změny svažitosti a označuje určitý vyklenutý povrch, vyjadřuje se druhou derivací povrchu terénu (Romano and Palladino, 2002). Zakřivení můžeme dále rozdělit podle roviny, prostřednictvím které na svah hledíme, na horizontální a vertikální. Horizontální zakřivení je zakřivení podél vrstevnic a je měřítkem sbíhání nebo rozbíhání svahů a z tohoto důvodu ovlivňuje soustředování vody v krajině (Moore et al., 1993). Vertikální zakřivení je zakřivení ve směru největšího spádu. Vyjadřuje velikost změny sklonu svahu podél vertikální roviny a je důležitý pro vodní tok a pro procesy zahrnující transport sedimentů. Užívá se pro rozlišení horních (konvexních) a dolních (konkávních) svahů.

Orientace svahu (expozice) je závislá na orientaci plochy ke světovým stranám a na sklonu svahu. Vystavení plochy většímu slunečnímu záření nebo naopak návětrné straně společně s nárazovými srážkami ovlivňuje i vlastnosti reliéfu. Na těchto návětrných stranách je riziko eroze, která má za následek zvýšený odnos materiálu a s tím související změnu

mocnosti půdy. Naopak na straně vystavené více slunečnímu záření, může docházet k změnám ve vlastnostech reliéfu v závislosti na hloubce prohřívání půdy, větší výkyvy teplot a míře zvětrávání.

Sekundární vlastnosti reliéfu

Sekundární vlastnosti reliéfu odvozujeme z různých výpočtů a nelze je zjistit přímo. Mezi takové vlastnosti řadíme například topografický index nebo index síly toku.

Topografický index se používá při charakteristice prostorové klasifikace oblastí s povrchovým vsakem a obsahem půdní vody v krajině (Moore et al., 1993), patří také k nejužívanější sekundární terénní vlastnosti. Tento index nám určuje, že body v nižších polohách povodí a v blízkosti vodních toků mají největší vlhkost a body ležící u rozvodí či vzdálené od toků mají nižší vlhkost (Penížek, 2005).

Index síly toku je přímo úměrný síle toku a je měřítkem stupně eroze povrchového toku a zároveň modelace terénu. Charakterizuje také nanášecí procesy. Tento index je postaven na předpokladu, že velikost odtoku z plochy je přímo úměrná velikosti sběrné plochy. Index síly toku určuje potenciální míru eroze a sedimentace podle tvaru svahu.

Většina studií zdůrazňuje vztah mezi organickým uhlíkem, erozí půdy a úlohou půdní agregace na ochranu obsahu organického uhlíku v depresních oblastech (Six et al., 2004). Například McKenzie and Ryan (1999) se ve své studii zabýval způsoby, kterými topografie ovlivňuje půdní vlastnosti.

Můžeme mít různé zkoumané vlastnosti, například hloubku půdy, mocnost horizontů, obsah organického uhlíku, hydromorfní funkce, ale obecně platí, že vlastnosti reliéfu (př. sklon) z kterých jsou dále určovány půdní vlastnosti musejí být na celé sledované ploše a měli by být snadněji získatelné. Různé terénní vlastnosti pro zlepšení předpovědi hloubky půdy byly například použity Gessler et al., (1995).

Mnoho chemických vlastností půdy prokázalo dobrou korelaci se strmostí svahu. Bylo zjištěno, že obsah uhličitánů a pH významně koreluje s klesajícím svahem, zatímco obsah redukovaného železa byl nejvyšší v horních částech svahu (Hattar et al., 2010).

Tvar terénu řídí distribuci ve vodě rozpustných materiálů. Dochází k jejich sbližování v konklávních oblastech, rozptyl v konvexních oblastech, erozi a ukládání v lineárních oblastech svahu (Qin et al., 2011). Akumulace organické hmoty a rozpustných materiálů, včetně fosforu může být v konkrétních lokalitách důsledkem kombinovaných účinků půdotvorných procesů a reliéfu (Hattar et al., 2010).

3.2 Půdní struktura

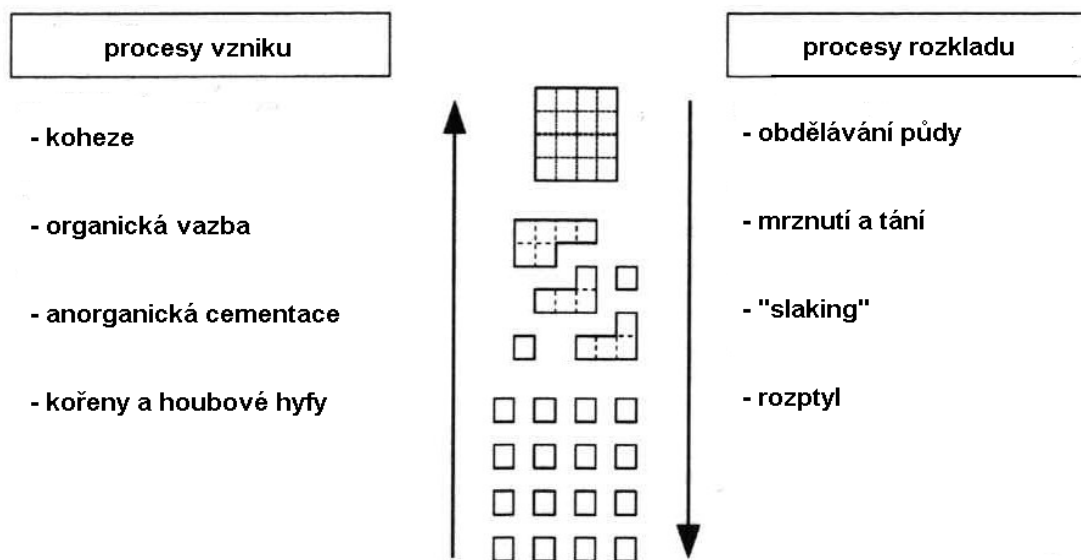
Struktura půdy je klíčovým faktorem ve fungování půdy. Hlavní jednotkou půdní struktury jsou agregáty, které vznikají ze shluku elementárních zrn. Agregáty jsou sekundární částice tvořené pomocí kombinací minerálních částic s organickými a anorganickými látkami (Bronick et Lal, 2005). Strukturní stav půdy přímo či nepřímo výrazně ovlivňuje všechny půdní vlastnosti (Valla et al., 2000). Má vliv například na pohyb půdní vody a její retenci, erozi půdy, vytváření krust, recyklaci živin, pronikání kořenů a výnos plodin. Příznivá půdní struktura a její celková stabilita jsou důležité faktory pro zlepšení úrodnosti půdy, zvýšení agronomické produktivity, zvýšení pórovitosti či klesající erodovatelnosti (Bronick et Lal, 2005). Půdy, se mohou nacházet ve stavu strukturním nebo nestrukturním.

Nestrukturní půda se může vyskytovat ve stavu slitém nebo elementárním. Slitý stav u hlinitých až jílovitých půd vzniká při náhlém zvlhčení a následovaném rychlým vyschnutím. Poté vzniká tenká povrchová vrstva, která se rozlamuje a tvoří tzv. půdní škraloup. Tento půdní škraloup značně omezuje spojení mezi půdou a ovzduším. V elementárním stavu jsou půdní částice uloženy volně vedle sebe – volný stav, nebo jsou spojeny, povlaky sesquoxidů, jílu a humusu – stmelový stav. Půdní elementární částice mají velký specifický povrch a současně velkou povrchovou energii, což způsobuje stmelování a agregaci.

U strukturního stavu půdy se celá nebo její část rozpadá na agregáty různé velikosti, tvaru a stability. Tento proces se nazývá agregace. Agregace je zprostředkována zejména půdním organickým uhlíkem, biotou, iontovými můstky, jílem a uhličitany (Bronick et Lal, 2005) a je několikasupňová. To znamená, že primární minerální částice, obvykle ve spojení s organickými materiály tvoří malé shluky neboli první stupeň agregátů. Ty poté tvoří větší shluky neboli druhý stupeň agregátů (obr. 1).

Agregáty se rozdělují na mikroagregáty (menší než 0,25 mm) tvořené organickými molekulami spojenými s jílem a polyvalentní kationty, které tvoří složené částice spojující se s jinými částicemi a tvoří makroagregáty (0,25 - 50 mm) (Tisdall, 1996). Makroagregáty se případně mohou tvořit kolem částic organické hmoty.

Struktura je ovlivňována mnoha faktory. Texturou, organickou hmotou, sesquioxidy a amorfními materiály, půdním roztokem, mikroorganismy, rostlinami, faunou a také způsobem obhospodařování (Šarapatka et al., 2002). Půdní struktura vypovídá o velikosti, tvaru, uspořádání pevných částí a dutin. Jejich schopnosti zadržovat a přenášet tekutiny, schopnost podpory kořenového růstu a vývoje.



Obr. 1: Schéma procesů stavby a rozpadu půdní struktury (Díaz-Zorita et al., 2002)

3.3 Vznik půdní struktury

Půdní struktura a její vznik je přirozený proces. Může se vytvářet dvojím způsobem. Procesem desagregace, při kterém dochází k rozpadu větších celků půdní hmoty, a u kterého se uplatňují hlavně objemové změny vyvolávané zvlhčováním a vysycháním půdy, mrznutím vody v pórech, činností mikroedafonu, rozrůstáním kořenů a mechanickým zpracováním půdy. Nebo může docházet k postupnému spojování a stmelování půdních částic a následné zpevňování vzniklých agregátů. Tomuto procesu říkáme agregace. U různých typů půd nacházíme určité mechanismy půdní agregace (Kodešová et al., 2009). Komplexní dynamika agregace je výsledkem vzájemného působení mnoha faktorů zahrnující životní prostředí, způsob obdělávání půdy, vliv rostlin a půdních vlastností jako jsou minerální složení půdy, půdní textura, koncentrace půdního organického uhlíku, půdotvorné procesy, mikrobiální aktivita, výměnné ionty, množství živin a dostupnost vlhkosti (Kay, 1998).

Při procesu agregace vzájemně působí několik mechanismů, u kterých se uplatňují různé fyzikální, fyzikálně chemické a biologické síly a jevy (tab. 1).

Tab. 1: Biologické, chemické a fyzikální procesy, které jsou ovlivněny půdní strukturou (Díaz-Zorita et al., 2002)

Biologické procesy	Chemické procesy	Fyzikální procesy
<ul style="list-style-type: none"> • ochrana mikroorganismů a mezofauny • zásoba a koloběh živin • inhibice vody semeny a vzcházení rostlin • růst kořenů a rostlin 	<ul style="list-style-type: none"> • sorpce-desorpce anorganických a organických sloučenin • transport roztoku 	<ul style="list-style-type: none"> • větrná a vodní eroze • infiltrace a pohyb vody v půdě, provzdušnění • půdní škraloup • retence půdní vody a evaporace

Z fyzikálních procesů je to zejména tlak kořenů, mechanická činnost edafonu a tlak vody při zamrznutí. Velké póry se kompresí zmenšují, nebo zhušťují působením vozidel či zvířat, zejména kopytníků (Ladd et al., 1996) to má za následek rozpad půdní struktury a zmenšení prostoru pro vodu a vzduch.

U fyzikálně chemických procesů zaznamenáváme zejména vliv různých činností půdních koloidů. Při stmelování písčitých prachových částic s půdními koloidy vznikají strukturální agregáty. Vápník hraje v půdě důležitou roli při tvorbě koloidů a následné stabilitě půdních agregátů.

Mezi biologické procesy vytvářejících půdní agregáty řadíme především činnost půdních organismů a kořenů rostlin. Jednotlivé půdní částice se v travicí soustavě půdních organismů mohou stmelovat v agregáty. Bakterie nacházející se v zažívacím traktu těchto organismů zvyšují soudržnost agregátů pomocí slizu, který produkují. Důležité jsou také kořeny rostlin, které fyzicky drží pohromadě půdní agregáty. Některé kořeny mohou produkovat organické látky působící jako lepidla a pomáhají tak k lepší stabilitě půdních agregátů. Kořenový sliz, jako je polygalakturonová kyselina může stabilizovat agregáty zvýšením pevnosti vazby a snížením smáčecí rychlosti (Bronick et al., 2005). K přímému účinku kořenů na agregaci mají největší podíl druhy vytrvalých trav, kdy dochází k zaplacení jejich rozsáhlého jemného kořenového systému s půdou (Duiker, 2002). Jednoleté plodiny mají menší kořenový systém, a proto méně pozitivní přímý vliv na agregaci.

3.4 Stabilita půdní struktury

Stabilita půdní struktury je schopnost půdních agregátů odolávat destrukčním mechanismům způsobujících jejich rozpad. Pokles stability půdní struktury je stále více chápána jako forma degradace půdy (Chan et al., 2003) a často souvisí s využitím půdy a hospodařením na ní. Největší vliv na degradaci půdních agregátů má působení dešťových kapek na povrch půdy. Stabilita agregátů se používá jako indikátor půdní struktury (Six et al., 2000).

Nejvíce odolné proti mechanickému narušení jsou mikroagregáty, které se rozpadají až po několika minutách ultrazvukové disperze a často také s použitím oxidačního činidla. V důsledku obdělávání půdy, utužování a dopadem dešťových kapek jsou nejvíce k destrukci náchylné makroagregáty.

Ke zvýšení stability půdních agregátů je důležitá půdní organická hmota a také kovové ionty tvořící můstky mezi minerálními a organo-minerálními částicemi (Bronick et Lal, 2005). Dlouhodobá stabilita agregátů je často spojena s přítomností obtížně rozložitelných sloučenin uhlíku a kovových iontů.

3.5 Rozpad půdní struktury

Rozpad půdní struktury je dnes brán jako jedna z forem degradace půdy. Při porušení půdní struktury dochází k rozpadu agregátů a přenosu půdních fragmentů deštěm a odtokem vody což má za následek tvorbu krust a erozi obdělávaných půd (Legout et al., 2005). Charakteristiky jednotlivých mechanismů jsou popsány v tabulce 2.

Le Bissonnais (1996) specifikoval 4 hlavní mechanismy vyvolávající destrukci agregátů:

1. Roztržení tlakem vzduchu uvnitř agregátů při prudkém zvlhčení.
2. Rozpad z důvodu objemových změn při postupném ovlhčování a vysoušení.
3. Fyzikálně chemickou disperzí koloidních částic při ovlhčování.
4. Mechanickým rozrušením dešťovými kapkami.

Tab. 2: Charakteristiky hlavních destrukčních mechanismů (Le Bissonnais, 1996)

Mechanismy rozpadu	„Slaking“ (roztržení)	Objemové změny	Mechanický rozpad	Fyzikálně chemická disperze
Síly způsobující rozpad	vnitřní tlak od vzduchu během ovlhčování	vnitřní tlak vyvolaný objemovými změnami jílových minerálů	vnější tlak od dopadu dešťových kapek	vnitřní přitažlivé síly mezi koloidními částicemi
Půdní vlastnosti ovlivňující působení mechanismu	pórovitost, smáčivost, koheze	potenciál bobtnání, vlhkostní podmínky, koheze	soudržnost za vlhka (jíl, organická hmota, oxidy)	iontový stav, mineralogické složení jílu
Výsledné agregáty	mikroagregáty	makro- a mikroagregáty	elementární půdní částice	elementární půdní částice
Intenzita rozpadu	velká	omezená	narůstající	celková

3.5.1 Roztržení agregátů při prudkém zvlhčení

Při smáčení dochází v agregátu ke stlačení vzduchu zachyceného v pórech a tento vzduch způsobuje následné roztržení agregátu, tento mechanismus destrukce je nazýván slaking. Výsledkem působení tohoto mechanismu je rozpad agregátů na mikroagregáty. Velikost mikroagregátů se zvyšuje se stoupajícím obsahem jílu, který jak Le Bissonnais (1996) uvádí, snižuje působení tohoto mechanismu důsledkem odolnosti jílových vazeb mezi půdními částicemi.

3.5.2 Rozpad při objemových změnách

Objemové změny uvnitř agregátů jsou způsobeny rozdílným bobtnáním a smršťováním během ovlhčování a vysoušení půdy, tyto reakce mají za následek tvorbu mikropuklin, které zapříčiňují rozpad agregátů, nejčastěji na mikroagregáty.

Le Bissonnais (1996) uvádí, že někteří autoři tento mechanismus spojují dohromady s mechanismem předešlým, i když zde působí rozdílné fyzikální procesy. Je důležité, že rozpad agregátů následkem tlaku vzduchu uzavřeného uvnitř agregátů při prudkém zvlhčení (tzv. „slaking“) se při zvyšujícím obsahu jílu snižuje, kdežto rozpad vlivem objemových změn se se stoupajícím obsahem jílu zvyšuje.

Důsledky rozpadu agregátů následkem objemových změn nejsou tak vážné jako u prvního případu destrukce, protože agregáty se rozpadají na mikroagregáty, ne však na půdní elementární částice.

3.5.3 Fyzikálně chemická disperze

Le Bissonnais (1996) uvádí, že fyzikálně chemická disperze je důsledek úbytku přitažlivých sil mezi koloidními částicemi během ovlhčování. Stabilita a disperze závisí na velikosti a mocenství kationtů. Polyvalentní kationty způsobují koagulaci, kdežto monovalentní kationty způsobují disperzi. Disperzi ovlivňuje složení a elektrolytická koncentrace půdního roztoku, elektrolytická koncentrace vody a mechanická destrukce způsobená dopadem dešťových kapek. Disperze závisí na procentuálním zastoupení vyměnitelných sodíkových iontů v půdě (Le Bissonnais, 1996). Problém disperze je rozpad agregátů na základní elementární půdní částice.

3.5.4 Mechanické rozrušení dešťovými kapkami

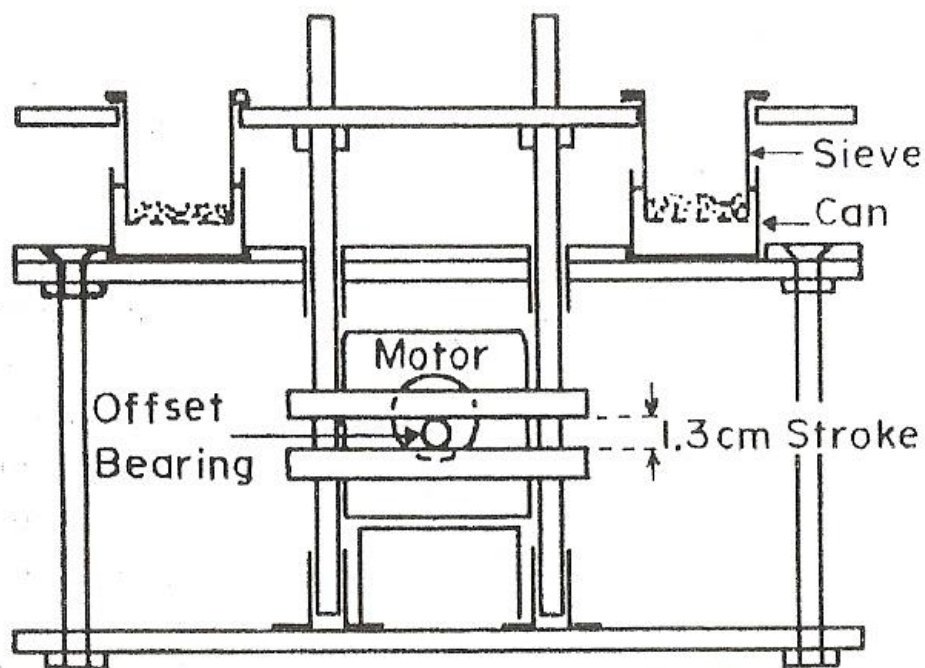
K mechanickému rozpadu půdních agregátů dochází vlivem kinetické energie vznikající při dopadu dešťových kapek. Při mechanické destrukci dochází ke kombinaci s ostatními mechanismy. Nejlepší ochranou mechanické destrukce je vegetační pokryv chránící půdu před účinky dopadajících kapek. Dopad dešťových kapek agregáty rozbíjí, a následně přemísťuje již oddělené fragmenty. Oddělené fragmenty dešťovými kapkami jsou převážně elementární částice nebo malé microagregáty (Le Bissonnais, 1996). Tato destrukce je náchylnější u vlhkých půd, kde jsou agregáty méně soudržné.

3.6 Metody stanovení stability půdní struktury

Měření celkové půdní stability nám může poskytnout informace o půdních podmínkách (Rohošková et Valla, 2004). Existuje mnoho metod pro měření stability půdní struktury. Metody se liší v charakteristice analyzovaného vzorku (struktura, vlhkost), ve zkoumaném mechanismu působící rozpad agregátů, v metodice stanovení nebo ve vyjádření výsledku (Le Bissonnais, 1996). V této práci byla použita metoda ve vodě stabilních agregátů (WSA) popsána v článku Nimno and Perkins (2002) a metoda podle Le Bissonnais (1996).

3.6.1 Metoda ve vodě stabilních agregátů (WSA)

Tato metoda byla popsána v článku Nimno and Perkins (2002) a určuje nám odolnost půdních agregátů při prudkém zvlhčení. Metoda ve vodě stabilních agregátů (WSA index) je podobná prvnímu testu v metodě podle Le Bissonnais, kde dochází ke stejným mechanismům destrukce. Vzorky se promývají v destilované vodě a dispergačním činidlem, které rozplaví agregáty na elementární půdní částice. Ke stanovení se používá přístroj Wet Sieving Apparatus, který byl použit i u metody podle Le Bissonnais (obr. 2).



Obr. 2: Přístroj Wet Sieving Apparatus (Nimmo and Perkins, 2002)

3.6.2 Metoda podle Le Bissonnais

Metoda navržená Le Bissonnaisem (1996) nám jednoznačně umožňuje rozlišit působení jednotlivých destrukčních mechanismů. Vzorky se promývají v destilované vodě, kde dochází k prudkému zvlhčení a následně v etanolu, který potlačuje agregátům opakovanou agregaci.

Z vysušených půdních vzorků jsou pomocí sít s velikostí ok 5 mm vyseparovány agregáty o velikosti 2 – 5 mm, které jsou následně podrobeny třem různým testům. Tyto testy simulují různé působení mechanismu vyvolávající disagregaci.

První test určuje stabilitu agregátů při jejich náhlém zatopení vodou. U tohoto testu se projevují destrukce vyvolávané roztržením agregátu tlakem vzduchu uvnitř agregátů.

U druhého testu je možnost posoudit odolnost agregátů vůči účinkům při postupném zvlhčování a vysoušení. Pozorujeme destrukci vlivem objemových změn a fyzikálně chemickou disperzí koloidních částic.

Test číslo tři nám určuje odolnost agregátů při působení mechanických vlivů, které působí na soudržné síly mezi půdními částicemi. Tento test nám simuluje mechanické rozrušování agregátů při dopadu dešťových kapek.

3.7 Faktory ovlivňující půdní stabilitu

Le Bissonnais (1996) uvádí vlastnosti, které nejčastěji ovlivňují půdní stabilitu. Těmito vlastnostmi jsou: půdní textura, mineralogie jílu, obsah organické hmoty, druh a koncentrace kationtů, obsah sesquioxidů a obsah CaCO_3 . Obecně platí, že se stabilita půdních agregátů mění v závislosti na obsahu organického uhlíku, který klesá se sklizní plodin na orné půdě (Le Bissonnais, 1997).

3.7.1 Organická hmota

Půdní organická hmota je důležitá část půdy odpovědná za společnou vazbu půdních minerálních částic a vytváření půdní struktury. Přírodní organická hmota je široce distribuována v půdě, přírodní vodě a sedimentech. Skládá se ze směsi produktů rozkladu rostlinných a živočišných zbytků (Chen et al., 2002).

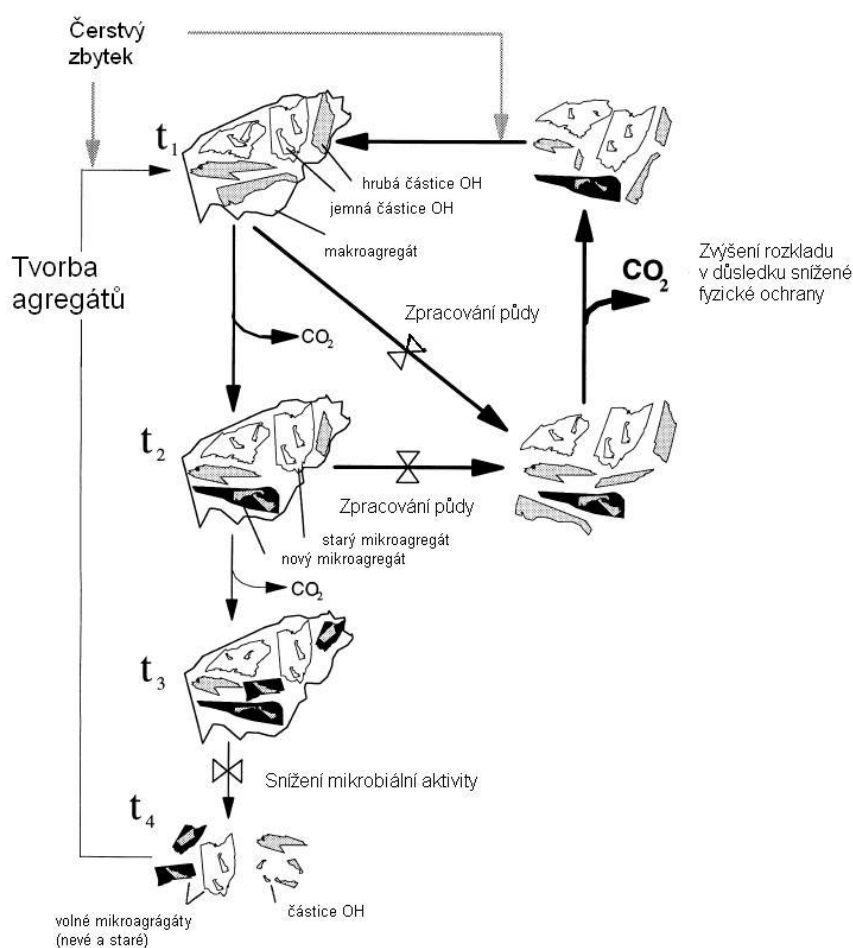
Půdní organická hmota se zkoumá z kvalitativního a kvantitativního hlediska. Používané metody půdní organické hmoty, jsou například elementární analýza, ztráta žiháním neboli stanovení obsahu oxidovatelného uhlíku. Kvalita humusu se zjišťuje nejčastěji poměrem HK:FK, stanovením poměru C:N a pomocí barevného kvocientu $Q_{4/6}$. Poměr $Q_{4/6}$ se vypočítá z opticky proměřených vlastností alkalického extraktu huminových látek (Vrba a Huleš, 2006).

Půdní management (řízení) může změnit obsah půdní organické hmoty a stabilitu půdní struktury (Šimanský et al., 2013). Půdní organická hmota je dynamický materiál, který je ovlivněn několika faktory: klimatem, obsahem jílu a minerálů, řízením půdy. Obdělávání půdy, a to zejména orba, urychluje rozklad půdní organické hmoty a snižuje půdní agregaci (Álvaro-Fuentes et al., 2008). Obnažená půdní organická hmota je náchylnější k mineralizaci (Linsler et al., 2013). Hromadění organických látek v půdě v rámci neobdělávané půdy nám ve srovnání s konvenčním obděláváním půdy poskytuje významné zlepšení v kvalitě půdy, úrodnosti půdy a uvolňování uhlíku (Six et al., 2000).

Šimanský et al., (2013) uvádí, že obsah uhlíku v půdě je jeden z kvalitativních parametrů režimu humusu v půdě a je uznán jako klíčová složka kvality půdy. Půdní organický uhlík je úzce spojen s širokým rozsahem fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy a hraje tak důležitou roli v půdních procesech. Je také důležitým faktorem odpovědným za vazbu mezi minerálními částicemi a vytvářením hierarchie půdních agregátů.

Dynamika tvorby agregátů úzce souvisí s ukládáním organického uhlíku v půdě. Využívání půdy a způsob kultivace ovlivňují nejen celkový obsah půdního organického

uhlíku, ale také ovlivňuje jeho distribuci do pevné složky půdy. Postupy používané při kultivaci mohou podporovat biodegradaci fyzicky chráněného uhlíku v půdě, a tudíž by mohly být odpovědné za snížení půdního organického uhlíku a tím pádem i snížení stability půdní struktury. Bylo zjištěno, že obdělávání půdy může vyvolat ztrátu makroagregátů bohatých na uhlík a vznik mikroagregátů ochuzených o uhlík (obr. 3) (Six et al., 2000).

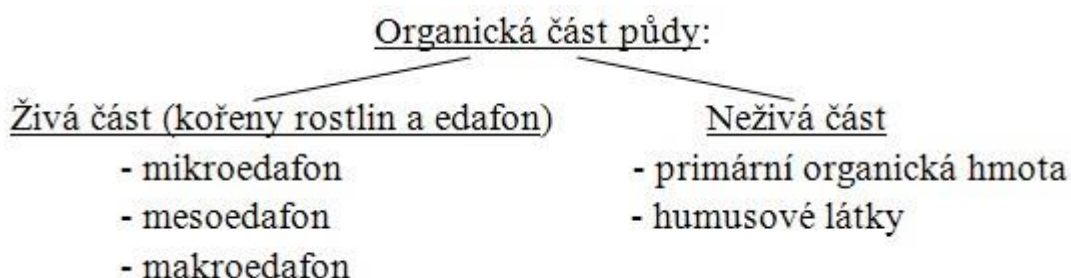


Obr. 3: Tvorba mikroagregátů (Six et al., 2000)

Le Bissonnais (1997) uvádí, že pokles organického uhlíku má za následek snížení celkové stability a na kultivovaných půdách z tohoto důvodu dochází k degradaci půdy, jako je tvorba krust, odtoku a eroze. Zachování a ukládání půdního organického uhlíku je důležité, pro zlepšení půdních vlastností, udržení produktivity plodin a kvality životního prostředí (Yu et al., 2012).

Formy organické hmoty

Organická část půdy je tvořena živou částí, a neživou částí, rozdělení je vidět na obr. 4. Hlavní význam v živé části půdní organické hmoty mají rostliny a půdní mikroorganismy. Rostliny svým kořenovým systémem značně ovlivňují biologické i chemické procesy v období vegetace a později po odumření jsou kořeny hlavním zdrojem organického materiálu. Do neživé části organických látek patří primární organická hmota a humusové substance (Vaňek et al., 2010).



Obr. 4: Rozdělení organické části půdy (Vaňek et al., 2010)

Humus je důležitou součástí půdní organické hmoty a je složen z huminových látek vzniklých za omezeného přístupu vzduchu procesem humifikace. Jedná se o vysokomolekulární organicko-minerální dusíkaté sloučeniny. Vzniklé humifikované látky mohou reagovat s jílovými minerály a vytvářet tak organominerální komplexy, které jsou základem pro tvorbu drobtovité struktury půdy a zároveň vznik a udržení sorpčního komplexu půdy (Vrba a Huleš, 2006). Tyto látky můžeme rozdělit na huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy.

3.7.2 Železo v půdě

Celkový obsah železa v půdě se pohybuje v rozmezí menším než 1% až na hodnoty překračující 20%. Běžná hodnota však činí 3% (Murad and Fischer, 1988). Pod Zemským povrchem se železo objevuje buď jako oxid železnatý (Fe^{2+}) nebo jako oxid železitý (Fe^{3+}), každý z těchto oxidů se nachází převážně v jílovém podílu půdy. Tyto oxidy železa mohou ovlivnit fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Půdní minerály oxidů železa mohou být snadno nahrazeny jinými ionty, například hliníkem nebo manganem (Loeppert and Inskeep, 1996). Převládající oxidy železa v půdě jsou hematit, goethit, lepidokrokrit, magnetit, maghemit, ferrihydrit (Schwertmann and Taylor, 1989).

Goethit a hematit jsou dominantní minerály v aridním nebo semiaridním prostředí, kde dochází k dobré oxidaci. Lepidokrokrit se nachází převážně v hydromorfním prostředí. Magnetit se nejčastěji objevuje u redukovaných nebo mírně zvětralých půd. Ferrihydrit se nachází ve většině půd, ale obvykle v malém množství, je však hlavní složkou v půdách vykazující změny v redoxním potenciálu. Každý půdní minerál obsahující oxidy železa má dobře uspořádanou krystalickou formu, výjimku tvoří ferrihydrit, který je více hydratován a má pouze krátké vzdálenosti krystalických forem s velikostí částic nepřesahující 10 nm, a také často existuje společně s vrstvou silikátů, amorfních silikátů a organických látek (Loeppert and Inskeep, 1996).

Železo je přítomno jako strukturní prvek vrstvy silikátů v půdě, ale již není dostatečně přístupné pro růst rostlin. Komplexace železa v organických látkách, například huminové látky, je v půdě velmi ovlivněno pH a redoxním potenciálem. Při pH vyšším než 6 se huminové komplexy Fe^{3+} stanou méně důležité v důsledku hydrolyzy železa a srážení oxidů železa. Na vápenitých půdách, kde je hodnota pH celkového půdního roztoku v rozmezí od 7,5 do 8,5, není snadné zachování půdních humátů proti hydrolyze, avšak v mikroprostředí, kde je snížené pH a redoxní potenciál, například v oblastech s mikrobiální aktivitou, může být komplexace železa organickou látkou citelná.

Celkový obsah železa

Železo je v půdě přítomno převážně ve formě oxidů železa nebo jako konstrukční části pevných silikátových, fosfátových, uhličitanových nebo sulfidových fázích, proto kvantitativní stanovení celkového železa v půdě obvykle zahrnuje rozklad půdní matice následovaný rozpuštěním železa, před chemickou analýzou.

Mezi nejčastěji používané postupy pro rozklad půdní matice se používá tavení s Na_2CO_3 nebo rozložení pomocí kyseliny fluorovodíkové (HF) popřípadě směsí HF/ HClO_4 / H_2SO_4 (Loeppert and Inskeep, 1996). Pokud stanovujeme pouze železo, jsou postupy rozložení kyselinou preferovány, protože jsou jednodušší a chyby způsobené ztrátou vzorku jsou méně pravděpodobné. Naopak tavení je výhodné při souběžném stanovení dalších prvků. Nejčastějšími metodami pro stanovení železa je atomová absorpční spektroskopie (AAS), atomová emisní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem (ICPAES) nebo kolorimetricky (Loeppert and Inskeep, 1996). Pro celkovou elementární analýzu by měly být vzorky půdy jemně namleté a projít sítím o velikosti ok 0,15 mm, aby byla zajištěna dostačující rychlost reakce. Konečná volba při rozkladu půdní matice a samotného stanovení železa závisí především na dostupnosti určitého zařízení.

Oxidy železa se vyskytují v půdě buď jako Fe^{2+} nebo Fe^{3+} , a proto můžeme modifikací postupu celkové analýzy stanovit i Fe^{2+} a Fe^{3+} . Tato změna obvykle zahrnuje stanovení Fe^{2+} z celkového množství železa a koncentrace Fe^{3+} je pak určena rozdílem (Loeppert and Inskeep, 1996).

3.7.3 Mangan v půdě

Mangan je základní stopový kov pro výživu rostlin. Většina půdních výzkumů se zaměřuje na problémy množství, ale při určité půdní úrovni a fyzikálně-chemických podmínkách, je mangan také znám jako příčina toxických problémů u rostlin (Ritchie, 1989). Proto se půdní analýzy zabývající se manganem zaměřují na množství i toxické dopady.

Mangan se ve svém chemickém působení v půdě a geologických materiálech podobá Fe. Tato podobnost je částečně způsobena rozdílnými valenčními stavy, ve kterých se mohou oba prvky nacházet v půdě, a vliv půdního pH a redoxních podmínek na jejich valenční stav a různé chemické formy. Mangan se může existovat v mnoha valenčních stavech, ale pouze dvou-, tří- a čtyř-mocné stavy se nacházejí pod zemským povrchem. Nicméně tří-mocná forma je označena jako nestabilní v roztoku.

Mangan se v půdě vyskytuje v různých koncentracích od 20 $\mu\text{g/g}$ po 3000 $\mu\text{g/g}$, s typickou koncentrací kolem 600 $\mu\text{g/g}$ (Gambrell, 1996). Úroveň koncentrace chemicky

mobilních forem a forem využitelných pro rostliny má tendenci být menší, ale také dosahují širokého rozsahu. Hlavními faktory ovlivňující dostupnost manganu je půdní pH a redoxní potenciál. Podmáčené podmínky a/nebo pH úrovně nižší než šest rozkládají mangan na jeho dvoumocnou formu, která je více mobilní a je lépe přijímaná rostlinami. Oproti tomu vyšší pH a oxidovaná půda způsobuje oxidaci dvoumocného manganu na mangan čtyřmocný, který se hlavně v půdě nalézá v nerozpustných oxidech.

3.8 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita nám měří magnetické vlastnosti půd a sedimentů, které jsou citlivé na přítomnost feromagnetických a ferimagnetických minerálů. V dnešní době nám moderní technika umožňuje identifikovat velmi nízké koncentrace feromagnetik (řádově ppm) v půdách (Kapička et al., 2004). Tyto půdní feromagnetické minerály dělíme na dvě složky, a to primární a sekundární. Primární skupinu tvoří minerály magmálního původu (například titanomagnetity), sekundární skupina vzniká v půdních podmínkách různými mechanismy. Vedle pedogenních a biogenních procesů jsou antropogenní feromagnetika obsažená v atmosférickém spadu významným faktorem zvyšující koncentračně závislé magnetické parametry povrchových vrstev půd. Nejrozšířenější antropogenní feromagnetika jsou magnetit a maghemit (Kapička et al., 2004).

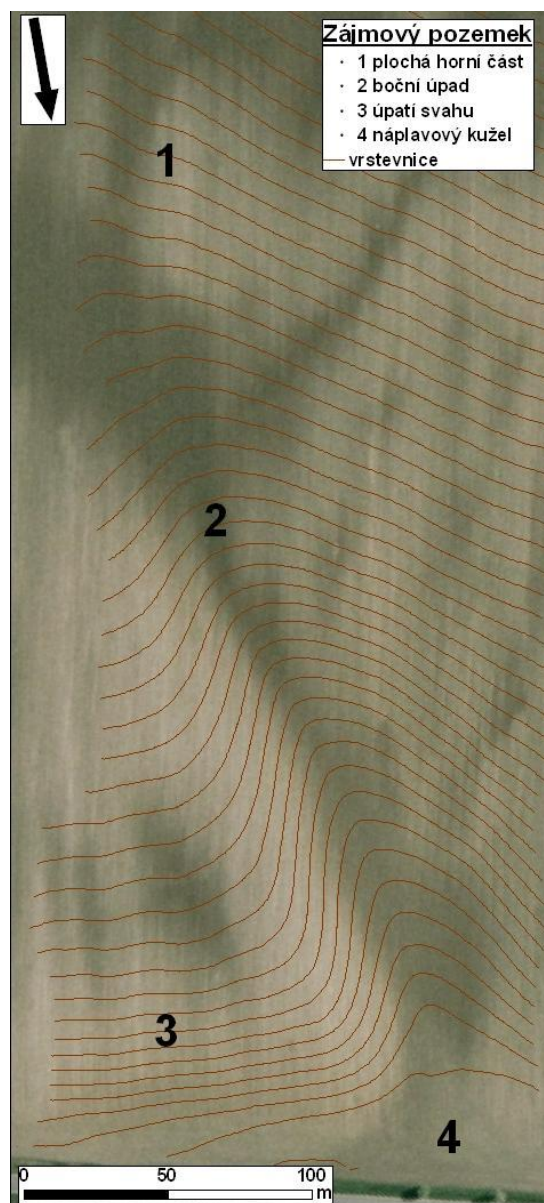
Magnetická citlivost půdy je závislá na obsahu magnetitu a maghemitu, protože magnetická susceptibilita těchto ferrimagnetických minerálů je až 1000 krát větší než u jiných oxidů železa. Výskyt těchto minerálů závisí na složení matečného materiálu a na půdotvorných procesech, které mohou snižovat nebo zvyšovat magnetickou susceptibilitu. Půdy na nižších svahových polohách mají nižší magnetickou susceptibilitu než půdy ve vyšších polohách svahu (Jong et al., 1998).

4 Metodika

4.1 Charakteristika území

Studované území se nachází v katastru obce Brumovice ve sprašovém regionu Jižní Moravy v jižním výběžku Ždánického lesa. Pozemek o přibližné rozloze 6 ha zabírá jen malou část celkové plochy pole, které je zemědělsky využíváné jako orná půda. Hydrograficky spadá zájmové území do povodí Harasky.

Sledované území se skládá z horní ploché části, která přechází ve svah s maximálním sklonem $12,7^\circ$, který je příčně dělen úpadem. V dolní části se nachází náplavový kužel, kde dochází k sedimentaci erodovaného materiálu. Popis pozemku s označenými hlavními terénními jednotkami je uveden na obrázku 5. V závislosti na reliéfu se zde vyskytují 3 půdní typy: černozem, regozem a koluvizem. Černozem pokrývá pouze plošně méně rozsáhlé části pozemků, většinou v horních částech s minimálním sklonem. Se vzrůstajícím sklonem přecházejí humózní černozemě do erodovaných forem s mělkým černickým horizontem. V prudkých svazích dochází až ke vzniku regozemí, kde je humózní horizont často zcela oderodován a na povrch vystupuje sprašový substrát. Naopak v terénních depresích dochází ke zvýšené akumulaci půdního materiálu. V okrajových konkávních částech terénu se vytváří akumulované formy černozemí, které v centrálních částech úpadů a na úpatích svahů přecházejí do koluvizemí (Zádorová et al., 2011).



Obr. 5: Mapa zájmového pozemku s terénními jednotkami

4.2 Půdní typy

Jednotlivé půdní typy byly popsány podle taxonomického klasifikačního systému půd České republiky (Němeček a kol. 2001).

4.2.1 Černozem

Jsou to hlubokohumózní (0,4 – 0,6 m) půdy s černickým horizontem Ac, vyvinuté z karbonátových sedimentů. Jsou to sorpčně nasycené půdy s obsahem humusu 2,0 – 4,5 % (od nejlehčích přes nejtypičtější středně těžké k těžkým) v horizontu Ac. Vytvořily se v sušších a teplejších oblastech v podmínkách ustického vodního režimu, ve vegetačním stupni 1 – 2, ze spraší, písčitých spraší a slínů.

Stratigrafie modálního profilu je Ac – A/Ck – K – Ck

4.2.2 Regozem

Půdy vyvinuté ze sypkých sedimentů, a to hlavně z písků (v rovinatých částech reliéfu), kde minerálně chudý substrát (křemenné písky apod.) či krátká doba pedogeneze zabraňuje výraznějšímu vývoji profilu. Vyskytují se i na jiných substrátech, například v polohách, kde je vývoj půd narušován vodní erozí (na středních i těžkých substrátech).

Půdní stratigrafie je O – Ah – C nebo Ap – C.

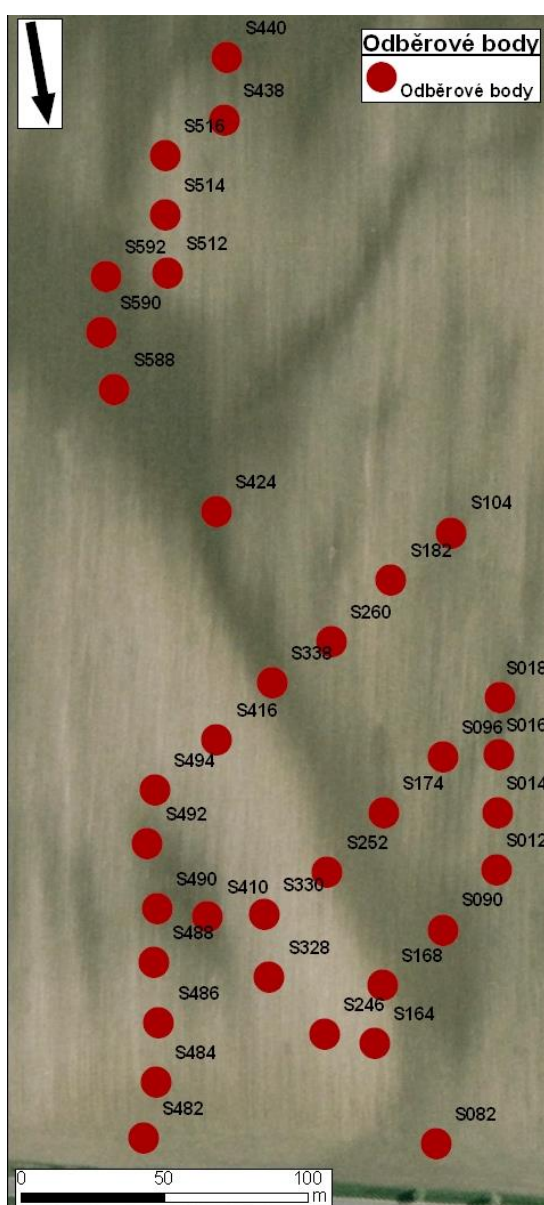
4.2.3 Koluvizem

Koluvizemní půdy vznikají akumulací erozních sedimentů ve spodních částech svahů a terénních průlezech. Mocnost akumulovaného humusového horizontu musí překračovat 0,25 m. Stratigrafie je Ap – Az – .

4.3 Odběr půdních vzorků

Na zkoumané lokalitě bylo v roce 2010 provedeno 36 odběrů z navržené odběrové sítě (obr. 6), která byla navržena tak, aby postihovala členitost území. Byly odebrány neporušené půdní vzorky, které byly odebrány do Kopeckého válečku o objemu 100 cm³. Také se odebraly porušené půdní vzorky, které byly odebrány z povrchové vrstvy půdy (20 cm). Odebrané půdní vzorky byly vysušeny na vzduchu a skladovány v mikrotenových sáčcích.

Půdní vzorky pro stanovení stability půdních agregátů se po vysušení na vzduchu přesely síty s velikostí ok 2 a 5 mm pro vyseparování půdních agregátů.



Obr. 6: Mapa odběrové sítě

4.4 Půdní analýzy

4.4.1 Stabilita půdní struktury

Při stanovení půdní stability byly použity dvě metody. První metodou byla metoda ve vodě stabilních agregátů (Water stable aggregate) navržená roku 1986 autory Kemper a Rosenau (Diaz-Zorita et al., 2002) a její postup je uveden v Nimno and Perkins (2002). Druhou metodu navrhl Le Bissonnais (1996), tato metoda nám umožňuje oddělit působení jednotlivých destrukčních mechanismů. Principy obou metod jsou popsány v kapitole 3.4.1 Metody stanovení stability půdní struktury.

4.4.1.1 Metoda WSA (Water stable aggregate)

Popis metody stanovení ve vodě stabilních agregátů (WSA index), který popisuje odolnost při náhlé zátopě vodou je popsán v Nimno and Perkins (2002).

Postup:

1. Navážíme 4 g agregátů o velikosti 2 – 5 mm.
2. Navážené agregáty dáme do sít (0,25mm) přístroje Wet Sieving Apparatus.
3. Do zvážených a očíslovaných mističek nalijeme 100 ml destilované vody.
4. Mističky umístíme pod síta a držák sít umístíme do pracovní polohy.
5. 3 minuty promýváme („*timed 3 min*“).
6. Zvedneme držák sít a necháme vodu odkapat.
7. Mističky s destilovanou vodou a s částicemi agregátů, které prošli sítím, dáme na táč.
8. Pod síta umístíme zvážené a očíslované mističky naplněné dispergačním činidlem (100 ml hexametrafosforečnan sodný).
9. Držák sít umístíme do pracovní polohy.
10. Promýváme („*continue*“) dokud na sítích zůstanou pouze pískové částice a části kořenů. Pokud po 5 – 10 minutách zůstanou některé agregáty stabilní, třeme agregáty pomocí tyčinky. Opakujeme, dokud se agregáty nerozpadnou.
11. Zvedneme držák sít a necháme dispergační činidlo odkapat.
12. Mističky s dispergačním činidlem a s částicemi agregátů, které prošli sítím, dáme na táč. Síta se umyjí.
13. Obě sady mističek se umístí do sušárny vyhřáté na 110 °C, dokud se destilovaná voda a dispergeční činidlo neodpaří.

14. Následně se vysušené mističky zváží a odečte se od nich hmotnost prázdných mističek.

= W_{ds} – hmotnost půdy po disperzi v dispergačním činidle (g)

= W_{dw} – hmotnost půdy po disperzi v destilované vodě (g)

15. Výpočet ve vodě stabilních agregátů (WSA).

Stabilita agregátů stanovená touto metodou byla vyjádřena pomocí indexu ve vodě stabilních agregátů WSA, který udává poměr hmotnosti ve vodě stabilních agregátů k celkové hmotnosti analyzovaného vzorku vzatého do analýzy s vyloučením písku.

Výpočet:

$$WSA = W_{ds} / (W_{ds} + W_{dw}) \quad (1)$$

WSA..... index ve vodě stabilních agregátů

W_{ds} hmotnost agregátů rozptýlených v dispergačním činidle

W_{dw} hmotnost agregátů rozpadlých v destilované vodě

Čím je hodnota indexu WSA vyšší, tím se jedná o agregáty více stabilní ve vodě. Maximální hodnota WSA indexu je 1.

4.4.1.2 Metoda podle Le Bissonnais

Le Bissonnais (1996) navrhl detailní postup, který umožňuje studovat odděleně vliv jednotlivých destrukčních mechanismů. Důležitou roli má použití ethanolu, který zabraňuje agregaci během prosévání.

Test I. – rychlé ponoření do vody

Ponoření agregátů do vody je nejjednodušší způsob, jak stanovit jejich stabilitu.

Postup:

1. Navážíme 4 g agregátů o velikosti 2 – 5 mm.
2. Navážené agregáty dáme do 250 ml kádinek s 50 ml destilované vody a necháme 10 minut stát.
3. Po 10 minutách přebytečnou vodu odpipetujeme a agregáty převedeme do sít o velikosti ok 0,25 mm přístroje Wet Sieving Apparatus.
4. Do očíslovaných mističek nalijeme 100 ml ethanolu.
5. Mističky umístíme pod síta a držák sít umístíme do pracovní polohy.
6. 6 minut promýváme.
7. Zvedneme držák sít a necháme vodu odkapat.

8. Mističky s ethanolem a s částicemi agregátů, které prošly sítí, dáme na táč.
9. Zbylé agregáty, které zůstaly na 0,25 mm sítích, převedeme do očíslovaných kádinek.
10. Připravené mističky s kádinkami se umístí do sušárny vyhřáté na 110 °C, dokud se ethanol nevypaří.
11. Vysušené vzorky pak proséváme přes sadu sít s průměrem ok 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm a zajišťujeme hmotnost jednotlivých frakcí.

Test II. – pomalé ovlhčování

Toto ovlhčování odpovídá ovlhčování pod jemným deštěm. Je méně destruktivní než rychlé ovlhčování.

Postup:

1. Navážíme 4 g agregátů o velikosti 2 – 5 mm.
2. Navážené agregáty dáme na sytítko s filtračním papírem a agregáty necháme nasytit vodou.
3. Po nasycení agregáty převedeme do sít o velikosti ok 0,25 mm přístroje Wet Sieving Apparatus.
4. Do očíslovaných mističek nalijeme 100 ml ethanolu.
5. Mističky umístíme pod síta a držák sít umístíme do pracovní polohy.
6. 6 minut promýváme.
7. Zvedneme držák sít a necháme vodu odkapat.
8. Mističky s ethanolem a s částicemi agregátů, které prošly sítí, dáme na táč.
9. Zbylé agregáty, které zůstaly na 0,25 mm sítích, převedeme do očíslovaných kádinek.
10. Připravené mističky s kádinkami se umístí do sušárny vyhřáté na 110 °C, dokud se ethanol nevypaří.
11. Vysušené vzorky pak proséváme přes sadu sít s průměrem ok 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm a zajišťujeme hmotnost jednotlivých frakcí.

Test III. – mechanická destrukce

U testu III. zabráníme působení mechanismu zkoumaného testem I., protože při nasycení agregátů etanolem se z nich vytěsni vzduch, který by při dalším postupu způsoboval roztrhání agregátů.

Postup:

1. Navážíme 4 g agregátů o velikosti 2 – 5 mm.
2. Navážené agregáty dáme do 250 ml kádinek s 50 ml ethanolem a necháme 10 minut stát.
3. Po 10 minutách přebytečný ethanol odpipetujeme a agregáty převedeme do 250 ml Erlenmeyerových baněk s 50 ml destilované vody.
4. Do Erlenmeyerových baněk doplníme destilovanou vodu na 250 ml.
5. Baňky zazátkujeme a dvacetkrát otočíme dnem vzhůru.
6. Necháme 30 minut usazovat.
7. Po 30 minutách přebytečnou vodu odpipetujeme.
8. Agregáty převedeme do sít o velikosti ok 0,25 mm přístroje Wet Sieving Apparatus.
9. Do očíslovaných mističek nalijeme 100 ml ethanolu.
10. Mističky umístíme pod síta a držák sít umístíme do pracovní polohy.
11. 6 minut promýváme.
12. Zvedneme držák sít a necháme vodu odkapat.
13. Mističky s ethanolem a s částicemi agregátů, které prošly sítem, dáme na ták.
14. Zbylé agregáty, které zůstaly na 0,25 mm sítech, převedeme do očíslovaných kádinek.
15. Připravené mističky s kádinkami se umístí do sušárny vyhřáté na 110 °C, dokud se ethanol nevypaří.
16. Vysušené vzorky pak proséváme přes sadu sít s průměrem ok 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm a zajišťujeme hmotnost jednotlivých frakcí.

Pro vyjádření stability agregátů metodou Le Bissonnaise (1996) byl použit koeficient vulnerability K_v , který vyjadřuje, kolikrát se agregáty zmenšily vlivem působení zkoumaného destrukčního mechanismu (Valla et al., 2000).

Výpočet:

$$K_v = x/MWD \quad (2)$$

x ... střední vážený průměr výchozího vzorku

MWD ... střední vážený průměr agregátů po desagregaci

Čím je hodnota koeficientu vulnerability (K_v) nižší, tím se jedná o více stabilní agregáty vůči zkoumanému destrukčnímu mechanismu.

4.4.2 Laboratorní zpracování neporušeného půdního vzorku

Na neporušených půdních vzorcích byla stanovena momentální vlhkost, kapilární nasáklivost, maximální kapilární vodní kapacita, retenční vodní kapacita a celková pórovitost. Stanovení bylo provedeno v jednom postupu práce s neporušeným půdním vzorkem v Kopeckém válečku. Přehled výpočtů je uveden v tabulce 3.

Neporušené půdní vzorky byly co nejdříve po odebrání zváženy pro určení momentální půdní vlhkosti (θ_{mom}). Následně se zvážené půdní vzorky nechaly sytit přikryté hodinovým sklem pro co největší omezení výparu vody ze vzorku a po nasycení se opět zvážily pro stanovení kapilární nasáklivosti půdy (θ_{ns}). Tato hodnota nám určuje množství vody, které je půda schopna pojmout. Dále se plně nasycené vzorky umístily na čtyřnásobně složeném filtračním papíru a nechaly se odsávat. Po 30 minutách se vzorek zvážil a výsledná hodnota slouží k výpočtu 30-ti minutové vlhkosti (θ_{30}), která slouží k určení obsahu vody v kapilárních a semikapilárních pórech. Další vážení nastalo po 90 minutách odsávání na čtyřnásobně složeném filtračním papíře, kde naměřená hodnota slouží k výpočtu maximální vodní kapacity (θ_{MKK}). Předposlední vážení bylo po dalších 22 hodinách odsávání, tato naměřená hodnota spolu s hmotností vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti v sušárně při teplotě 105 °C nám slouží k výpočtu retenční vodní kapacity (θ_{RVK24}).

Vyschlá zemina byla z válečků vysypána a rozdrcena na jemnozem I (zrna o velikosti menší než 2 mm). Jemnozem byla použita pro stanovení měrné specifické hmotnosti (ρ_z). Ta se stanoví pomocí pyknometru. Navážená sušina (10 g) se v porcelánové misce zalije destilovanou vodou a nechá se 5 minut povařit, aby se vypudil vzduch. Pyknometr naplněný destilovanou vodou se temperuje ve vodní lázni na teplotu 20 °C a následně se zváží.

Destilovaná voda se vylije a do pyknometru se kvantitativně přenesou vychladlá suspenze. Po vytemperování se pyknometr opět zváží. Specifickou hmotnost lze charakterizovat jako hmotnost 1 cm³ zeminy bez póru, vysušené při 105 °C.

Výchozí hodnoty nutné k výpočtům:

- G_A – hmotnost vzorku s přirozenou vlhkostí (g)
- G_B – hmotnost vzorku kapilárně nasycený (g)
- G_C – hmotnost vzorku po 30 minutách odsávání (g)
- G_D – hmotnost vzorku po 2 hodinách odsávání (g)
- G_E – hmotnost vzorku po 24 hodinách odsávání (g)
- G_F – hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C (g)
- G_H – čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C (g)
- G_V – hmotnost Kopeckého válečku (g)
- n – navážka pro stanovení specifické hmotnosti (g)
- P_{H_2O} – hmotnost pyknometru s vodou (g)
- p_z – hmotnost pyknometru se zemínou (g)
- V_s – objem Kopeckého válečku (100 cm³)

Tab. 3: Přehled výpočtů (Valla et al., 2006)

Stanovení	Symbol	Provedení	Jednotka
Momentální vlhkost	θ_{mom}	$100 \cdot (G_A - G_F) / V_s$	% obj.
Nasákivost	θ_{ns}	$100 \cdot (G_B - G_F) / V_s$	% obj.
Vlhkost 30-minutová	θ_{30}	$100 \cdot (G_C - G_F) / V_s$	% obj.
Maximální kapilární vodní kapacita	θ_{MKK}	$100 \cdot (G_D - G_F) / V_s$	% obj.
Retenční vodní kapacita	θ_{RVK}	$100 \cdot (G_E - G_F) / V_s$	% obj.
Specifická hmotnost	ρ_z	$n / (n + P_{H_2O} - p_z)$	g.cm ⁻³
Sušina	G_H	$G_F - G_V$	g
Objemová hmotnost	ρ_d	G_H / V_s	g.cm ⁻³
Pórovitost	P	$(\rho_z - \rho_d) 100 / \rho_z$	% obj.
Pórovitost kapilární	P_k	θ_{RVK}	% obj.
Pórovitost nekapilární	P_n	$P - \theta_{30}$	% obj.
Provzdušenost	V_z	$P - \theta_{mom}$	% obj.
Maximální kapilární vzdušná kapacita	K_{MKKVz}	$P - \theta_{MKK}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	K_{RVKVz}	$P - \theta_{RVK}$	% obj.

4.4.3 Stanovení aktivní půdní reakce potenciometricky

Do 50 ml se přidá 10 g navážené jemnozeme a 20 ml destilované vody. Destilovaná voda byla převařená z důvodů zbavení CO_2 , který při reakci s H_2O vytváří kyselinu uhličitou což má za následek snížení pH. Po 5 minutách míchání suspenze tyčinkou se pomocí kombinované skleněné elektrody změří hodnota pH.

4.4.4 Stanovení výměnné půdní reakce potenciometricky

Do umělohmotné lahve o obsahu 250 ml se přidá 40 g navážené zeminy a 100 ml 1M KCl. Připravený vzorek se třepá 45 minut na třepačce a následně se nechá 15 minut stát. Suspenze se přelije do 100 ml kádinky, zamíchá se a ihned se změří pH.

4.4.5 Stanovení obsahu humusu

Ke stanovení obsahu humusu byla použita modifikovaná Tjurinova metoda, kde uhlík organické hmoty je zoxidován silnými oxidačními vlastnostmi dvojchromanu draselného v kyselém prostředí (chromsírová směs).

Do kádinky o obsahu 100 ml se naváží 0,4 g jemnozeme II, která se získala rozetřením jemnozeme I. a kvantitativním převedením přes síto o průměru ok 0,25 mm. Přidáme přesně 10 ml 0,0667M chromsírové směsi. Kádinku přikryjeme obráceným hodinovým sklem, obsah se pomalým krouživým pohybem promíchá a vloží na 45 minut do předem rozeřáté pece na 125°C . Po vyjmutí se stěny kádinky a hodinové sklo opláchnou destilovanou vodou. Do kádinky se suspenzí byly vloženy Pt elektrody a magnetické míchadlo. Po zavedení elektrod bylo zapnuto míchadlo a vzorek byl titrován 0,1M $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (Mohrova sůl). Průběh titrace se sledoval na galvanoměru a v momentě dosažení bodu ekvivalence se ručička galvanoměru trvale vychýlila. Reakce je doprovázena změnou barvy směsi z oranžové až na modrozelenou.

Výpočet:

Faktor Mohrovy soli

$$f = 40/a \quad (3)$$

Obsah oxidovatelného uhlíku

$$C_{ox} = (12-0,3.S.f).100/N \quad [\%] \quad (4)$$

Obsah humusu

$$\% \text{ humusu} = 1,724 \cdot C_{ox} \quad (5)$$

f ... faktor Mohrovi soli

a ... spotřeba Mohrovi soli při titraci slepého vzorku

S ... spotřeba Mohrovi soli při titraci vzorku

N ... navážka vzorku v mg (200 – 400 mg)

1,724 ... Welteho koeficient

4.4.6 Stanovení obsahu železa a manganu

Pro stanovení obsahu železa a manganu byly použity dvě metody. První metodu je extrakce kyselým šťavelanem amonným za temna a druhou metodou je extrakce roztokem dithioničnanu – citrátu.

Hodnoty železa a manganu mohou být měřeny pomocí ICP-OES za standardních analytických podmínek. Koncentrace použité prvky v roztoku se pak změří při těchto vlnových délkách: Fe – 238,204 nm, Mn – 257,610 nm. Kalibrační roztoky byly připraveny z použitého extrakčního roztoku. Pro vypočtení výsledných koncentrací sledovaných prvků byly odečteny hodnoty zjištěné ve slepých vzorcích.

4.4.6.1 Extrakce kyselým šťavelanem amonným za temna (Šamonil et al., 2010)

U této metody jsou extrahovány amorfní a špatně rozpustné krystalické oxidy a hydroxidy. Jako extrakční činidlo se používá 0,2 M šťavelan amonný pH 3 (ve tmě), (0,25 : 10); roztok je připraven ze 700 ml $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,2 M (28,3 g.l-1) a 535 ml $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,2 M (25,2 g.l-1).

Do PE lahvičky se naváží 1,000 g suchého přesátého vzorku (< 0,20 mm) a přidá 40 ml roztoku šťavelanu amonného. Lahvičky jsou uzavřeny a třepány za temna po dobu 4 hodin při laboratorní teplotě (20 °C). Vzorek je následně zfiltrován a získaný roztok se vhodně naředí (10 x). Analýza prvků by měla probíhat ideálně následující den.

4.4.6.2 Extrakce roztokem dithioničnanu – citrátu (Courchesne et Turmel, 2008)

Touto metodou jsou stanovovány krystalické oxidy. Extrakčním činidlem je roztok dithioničnanu – citrátu (0,5 : 25); k 0,5 g půdy je přidáno 25 ml $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,65 M (200 g.l-1) + 0,4 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

Do PE lahvičky se naváží 1,000 g suchého přesátého vzorku (< 0,20 mm). Následně je přidáno 50 ml roztoku citrátu sodného a odměrkou pak 0,4 g dithioničnanu. Lahvičky jsou uzavřeny a třepány 16 hodin při laboratorní teplotě (20 °C). Vzorek je následně zfiltrován a získaný roztok se vhodně naředí (10 x). Analýza prvků by měla probíhat ideálně následující den.

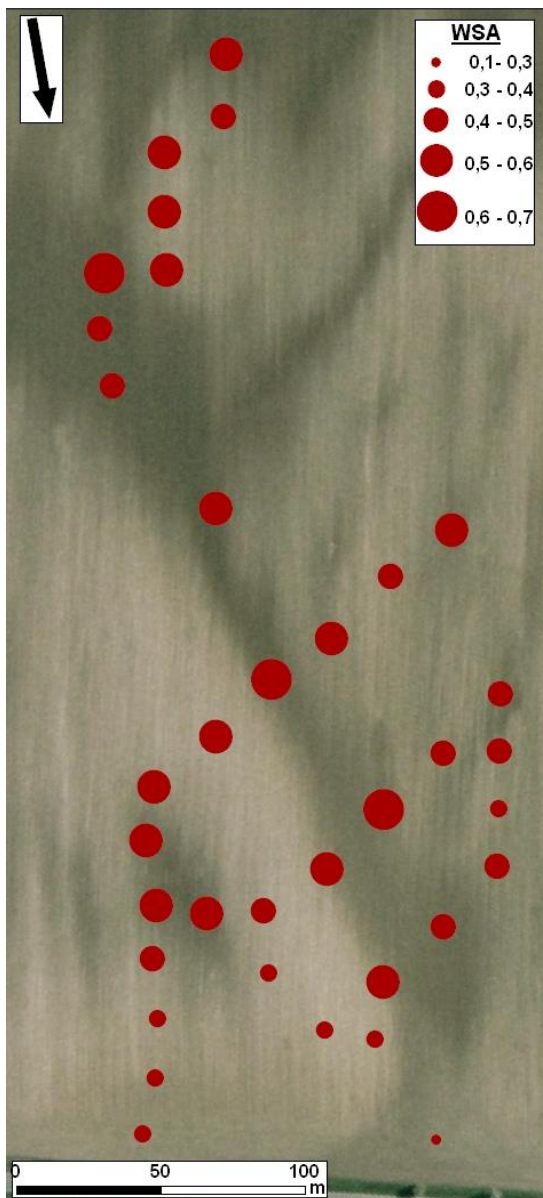
4.4.7 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita se měřila v laboratoři pomocí přístroje Bartington MS2B. Frekvenční závislost byla měřena při dvou frekvencích. První byla nízká frekvence s hodnotou 0,46 kHz (lowSI) a druhou frekvence byla vysoká s hodnotou 4,6 kHz (highSI). Vzorky, které obsahují jemné minerály vykazují při měření na vyšší frekvenci lehce nižší hodnoty. Vzorky bez obsahu minerálů vykazují stejné hodnoty na obou frekvencích.

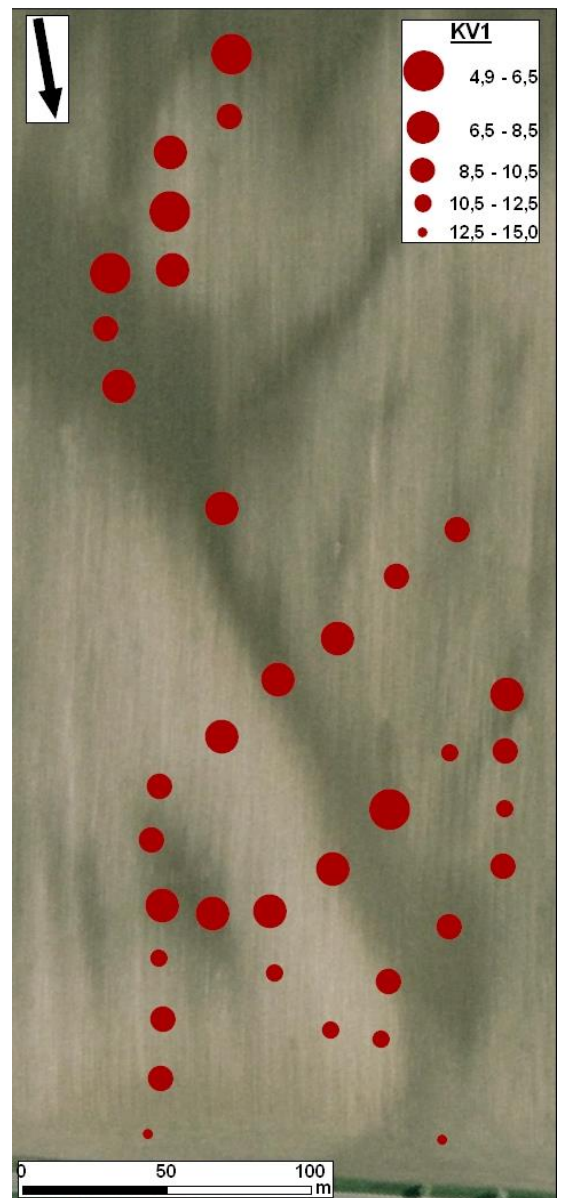
5 Výsledky

Hodnoty všech změřených vlastností byly pomocí programu ArcGIS vneseny do mapy zájmového území, kde můžeme sledovat proporcionální zobrazení hodnot těchto vlastností. Výsledné mapy jsou v měřítku 1:1500.

5.1 Hodnoty stability půdní struktury



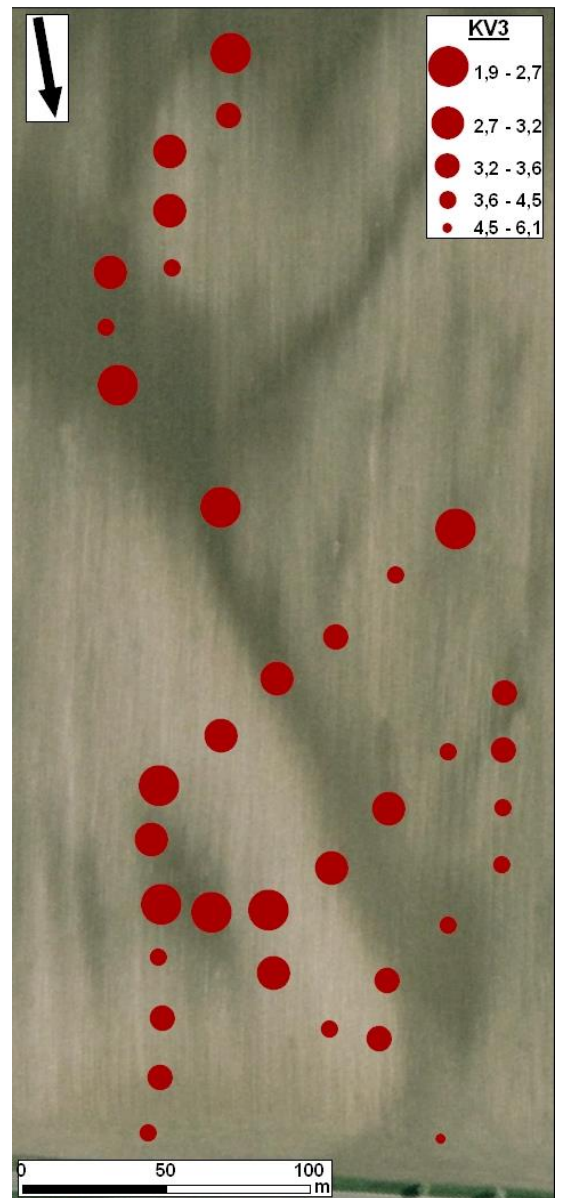
Obr. 7: Mapa hodnot WSA indexu na vybraném území



Obr. 8: Mapa hodnot KV1 na vybraném území



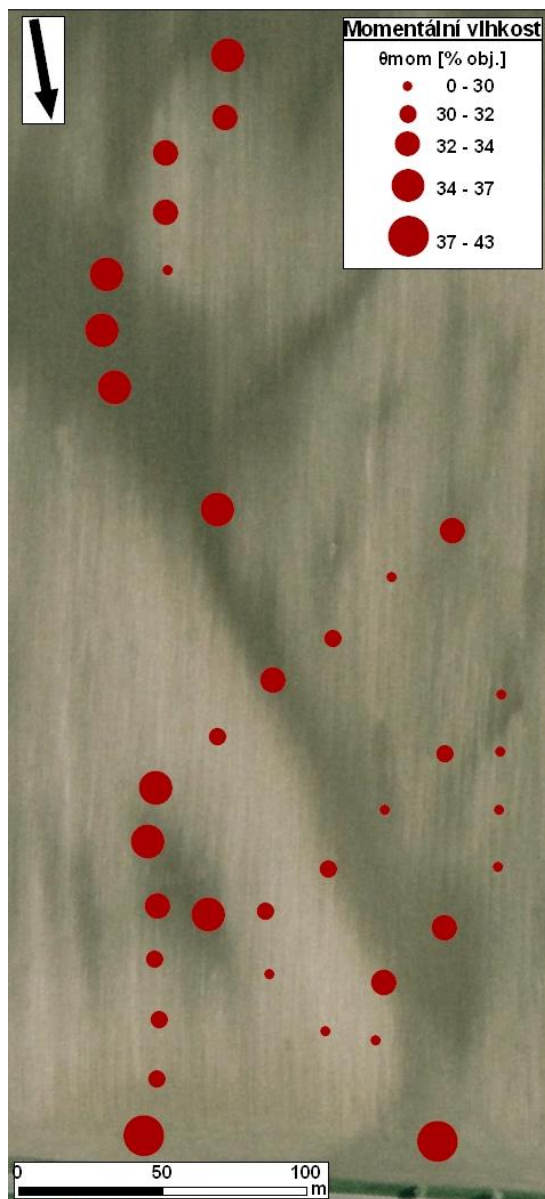
Obr. 9: Mapa hodnot KV2 na vybraném území



Obr. 10: Mapa hodnot KV3 na vybraném území

Na obrázku 7 až 10 jsou znázorněny naměřené hodnoty půdní stability (WSA, KV1, 2, 3). U WSA indexu je stabilita půdní struktury vyšší čím jsou naměřené hodnoty vyšší, naopak u koeficientů vulnerability (KV1, 2, 3) je stabilita vyšší čím jsou naměřené hodnoty nižší. Z obrázků je patrné, že půdní stabilita byla nejvyšší na původních černozemích v rovné části pozemku. Naopak nízká stabilita byla pozorována v dolní části pozemku, kde se nachází akumulční kužel. To může být způsobeno částečným hromaděním sprašového materiálu a jeho mícháním s organickou hmotou. Stejně pozorování provedla ve své práci Zádorová et al. (2011).

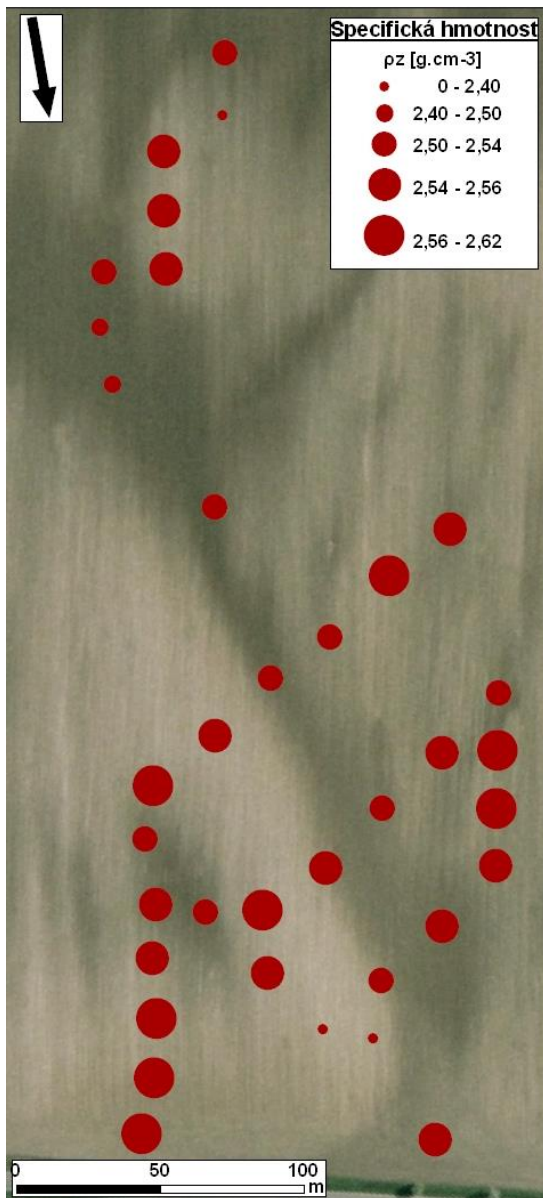
5.2 Hodnoty půdních vlastností



Obr. 11: Mapa hodnot momentální vlhkosti na vybraném území.



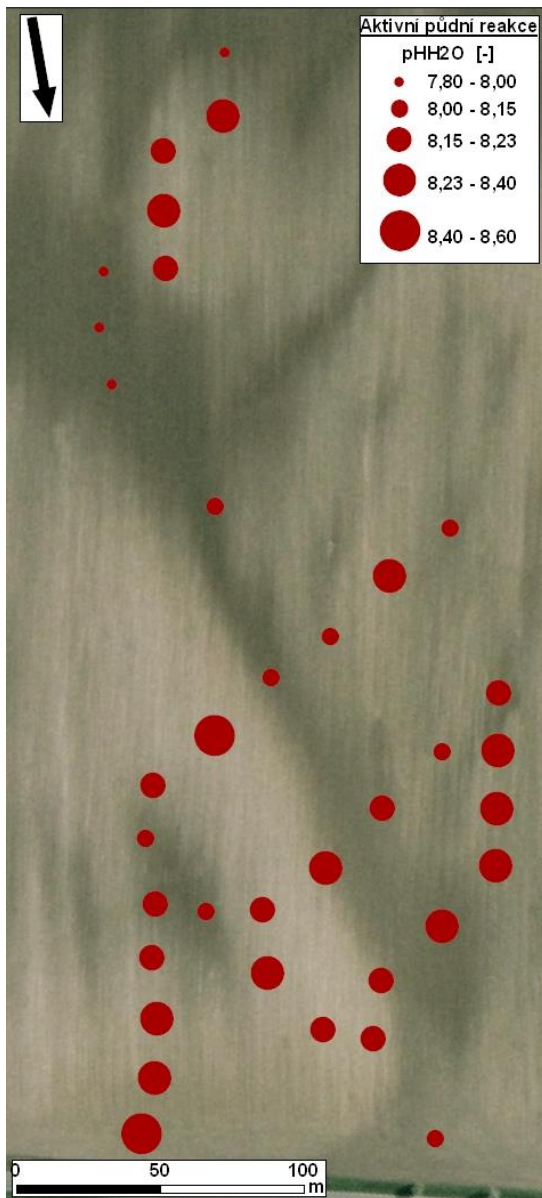
Obr. 12: Mapa hodnot pórovitosti na vybraném území.



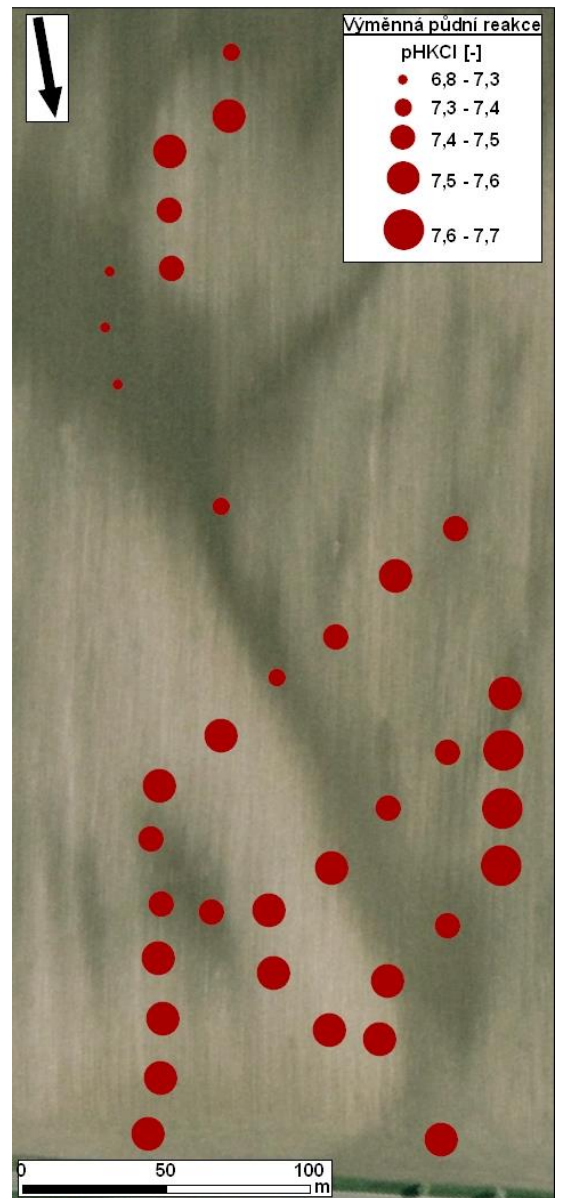
Obr. 13: Mapa hodnot specifické hmotnosti na vybraném území.



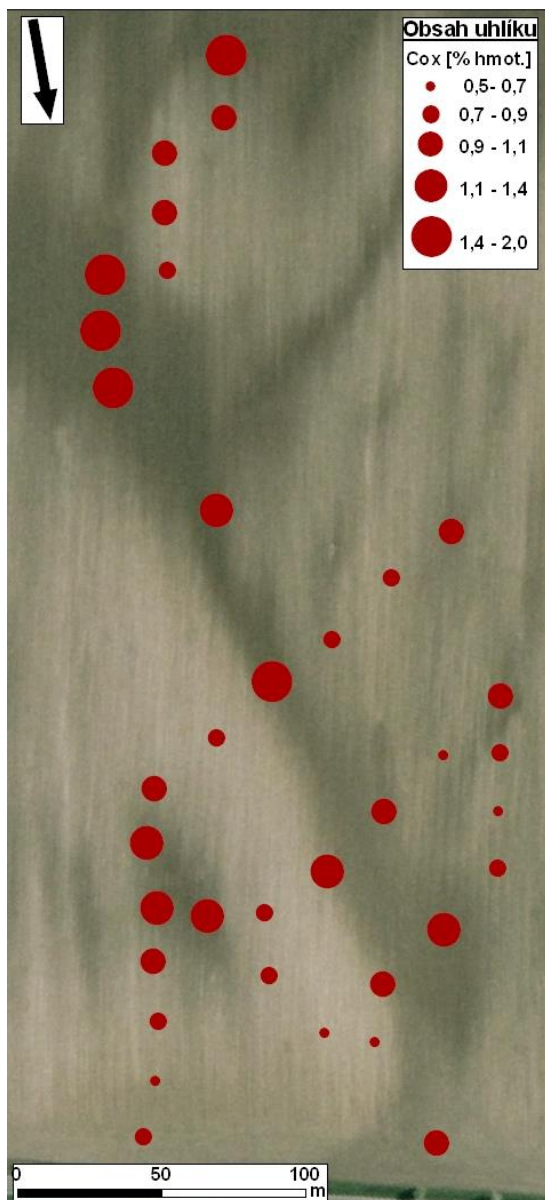
Obr. 14: Mapa hodnot objemové hmotnosti na vybraném území.



Obr. 15: Mapa hodnot aktivní půdní reakce na vybraném území.



Obr. 16: Mapa hodnot výměnné půdní reakce na vybraném území.



Obr. 17: Mapa obsahu uhlíku na vybraném území.

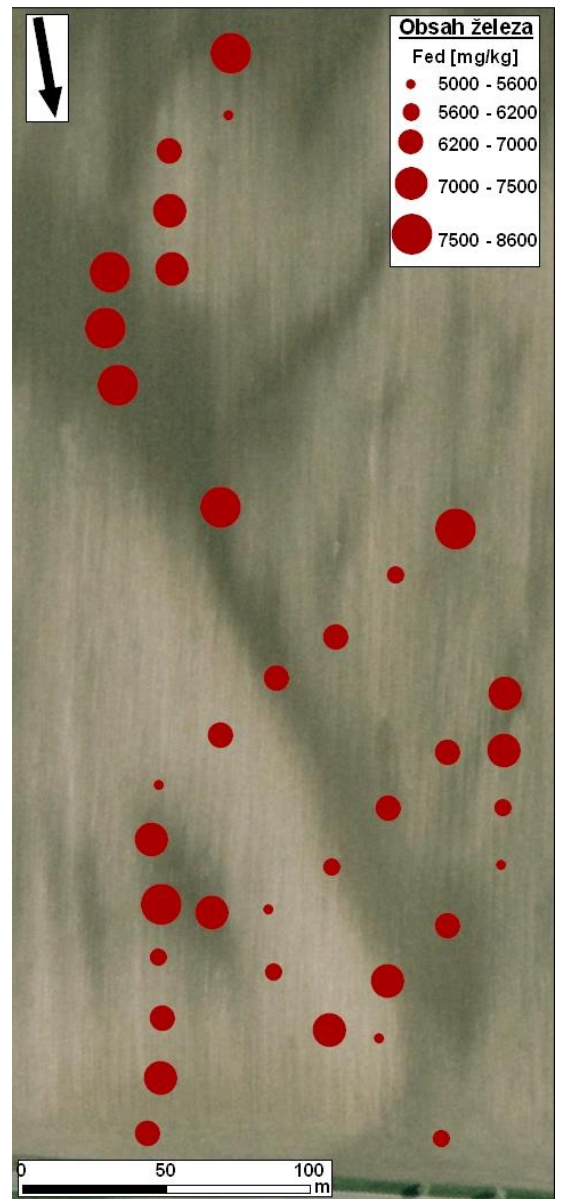
Na obrázku 11 až 17 jsou znázorněny naměřené hodnoty vybraných půdních vlastností. Obrázek 11 nám udává proporcionální rozložení hodnot momentální vlhkosti, která je nejvyšší na rovné části pozemku a v akumulční rýze, kde dochází k akumulaci oderodovaného materiálu. Na obrázku 12 vidíme pórovitost, kde nejvyšší hodnoty jsou opět na rovné části pozemku s dostatkem organické hmoty, naopak nejnižší hodnoty jsou v místech akumulčního kuželu, kde dochází k častému pojezdu těžkou technikou. U specifické hmotnosti, obrázek 13, nepozorujeme nějak významný vliv s terémem, ale je vidět určitý trend s obsahem organického uhlíku. Na obrázku 14 jsou jasně patrné největší hodnoty objemové hmotnosti v místech akumulčního kuželu, což jak bylo uvedeno u pórovitosti, je způsobeno častým pojezdem těžkou technikou. Na obrázku 15 a 16 jsou uvedeny hodnoty pH, k největším hodnotám dochází na největším svahu pozemku, kde se objevuje sprašové podloží, naopak nejmenší pH je na ploché horní části pozemku, kde se nacházelo největší množství organického uhlíku. Obrázek 17 nám udává množství zmiňovaného obsahu organického uhlíku, který má jasný vztah s terémem pozemku a jeho největší hodnoty byly na horních plochých částech s původní černozemí a na bočním úpadu kudy se přemísťuje oderodovaný organický materiál.

5.3 Hodnoty obsahu železa, manganu a magnetické susceptibility



Obr. 18: Mapa hodnot obsahu železa

(ext. kyselým šťavelanem amonným za temna – Fe_o)
na vybraném území.



Obr. 19: Mapa hodnot obsahu železa

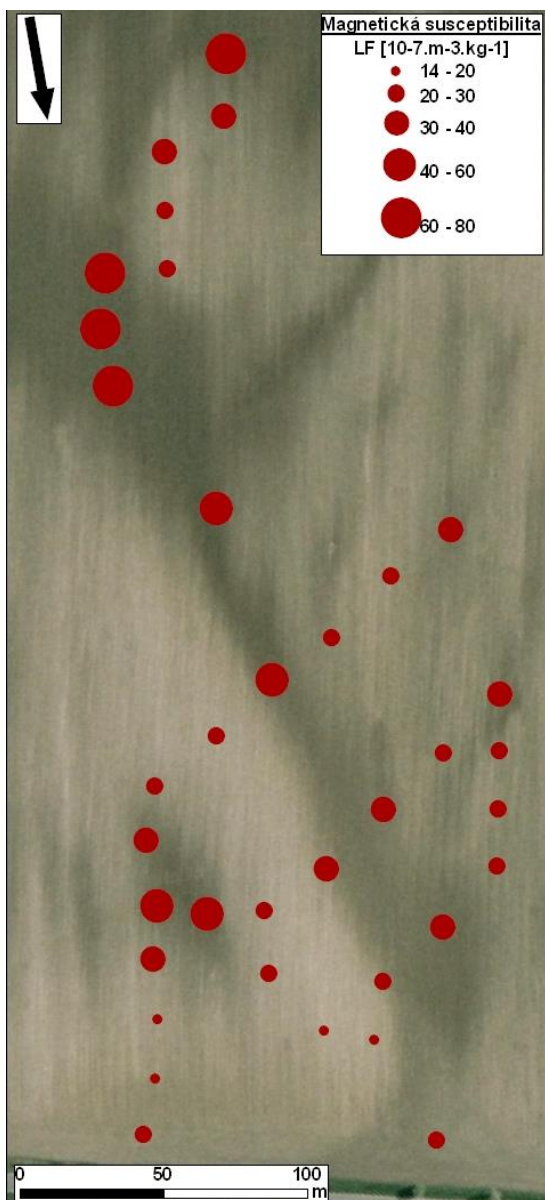
(ext. roztokem dithioničnanu – citrátu – Fe_d)
na vybraném území.



Obr. 20: Mapa hodnot obsahu manganu
(ext. kyselým šťávelanem amonným za temna – Mn_o)
na vybraném území.



Obr. 21: Mapa hodnot obsahu manganu
(ext. roztokem dithioničnanu – citrátu – Mn_d)
na vybraném území.



Obr. 22: Mapa hodnot magnetické susceptibilitity (nízká frekvence 0,46 kHz - lowSI) na vybraném území.

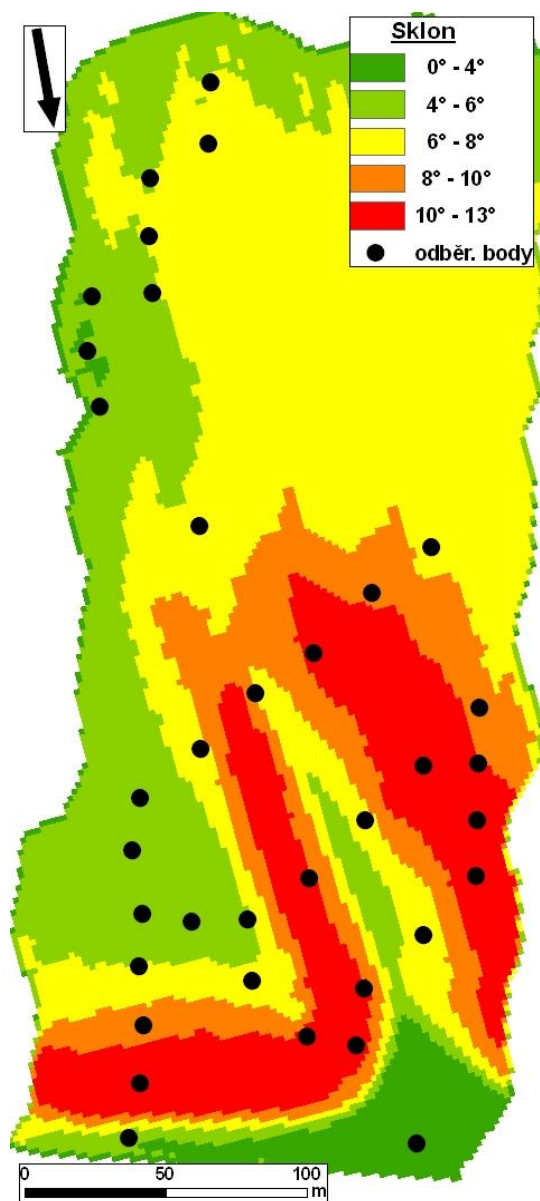


Obr. 23: Mapa hodnot magnetické susceptibilitity (vysoká frekvence 4,6 kHz - highSI) na vybraném území.

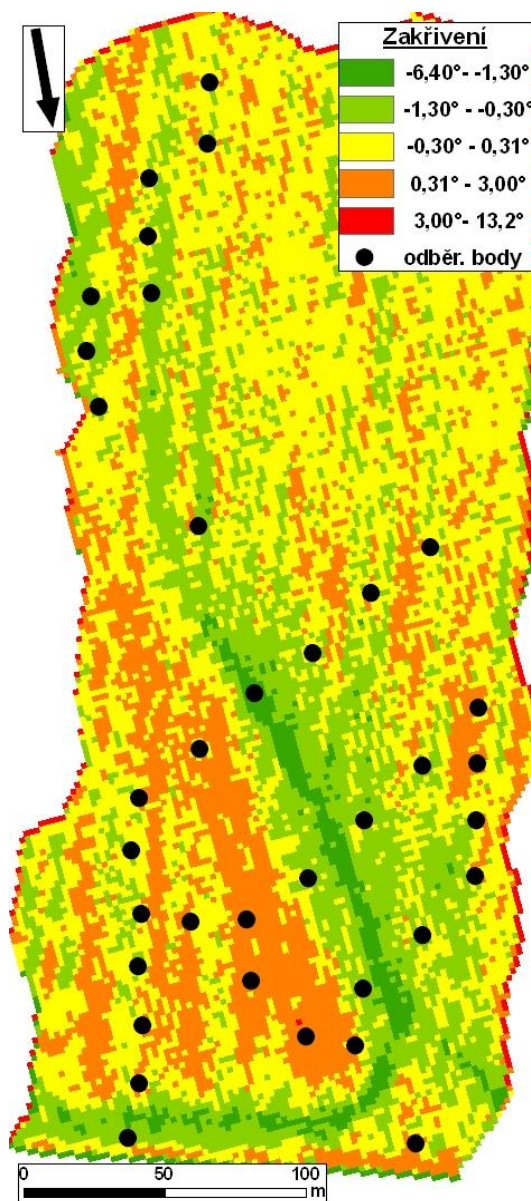
Na obrázku 18 až 23 jsou znázorněny naměřené hodnoty obsahů železa, manganu a magnetické susceptibilitity. Obsahy železa a manganu korespondují s terénními vlastnostmi, kde na rovných částech pozemku se objevuje větší obsah těchto prvků a naopak na prudkých částech, kde dochází k největší erozi, jsou hodnoty nejmenší (Obr. 18 až 21). U magnetické susceptibilitity dochází ke stejným trendům jako u železa a manganu což je důsledek vzájemné korelace (Obr. 22, 23).

5.4 Hodnoty terénních vlastností

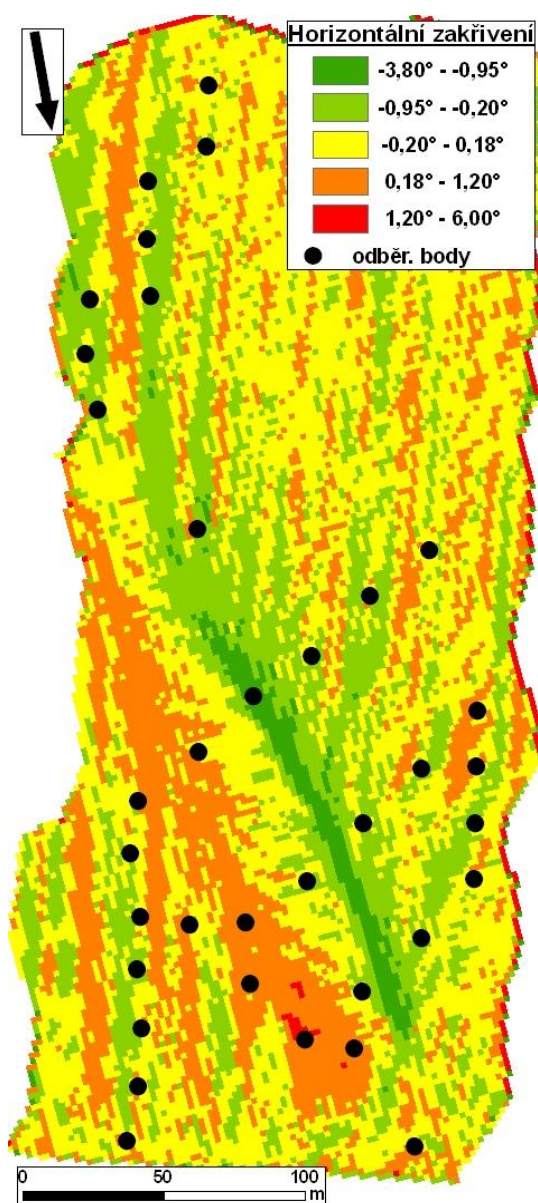
Hodnoty sklonitosti, zakřivení, horizontálního zakřivení a vertikálního zakřivení byly také získány pomocí programu ArcGIS z digitálního modelu terénu vytvořeného Zádorovou et al. (2011).



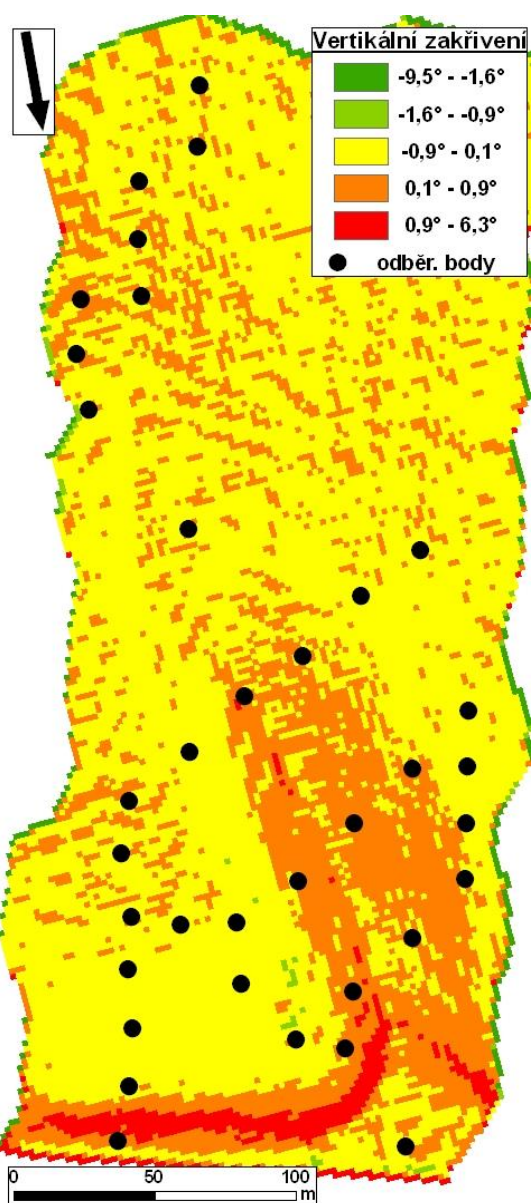
Obr. 24: Mapa svahu na vybraném území



Obr. 25: Mapa zakřivení na vybraném území



Obr. 26: Mapa horizontálního zakřivení na vybraném území



Obr. 27: Mapa vertikálního zakřivení na vybraném území

Na obrázku 24 až 27 jsou znázorněny naměřené hodnoty sklonu, celkového zakřivení, horizontálního zakřivení a vertikálního zakřivení.

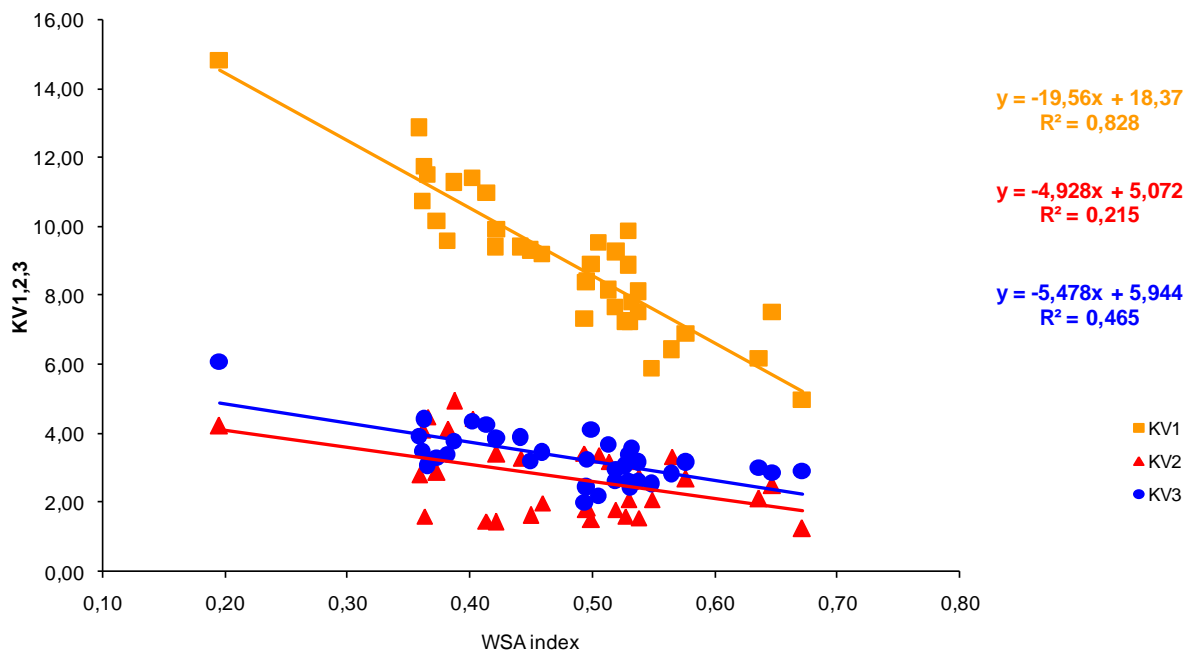
6 Diskuze

6.1 Porovnání stability agregátů vyhodnocené různými metodami

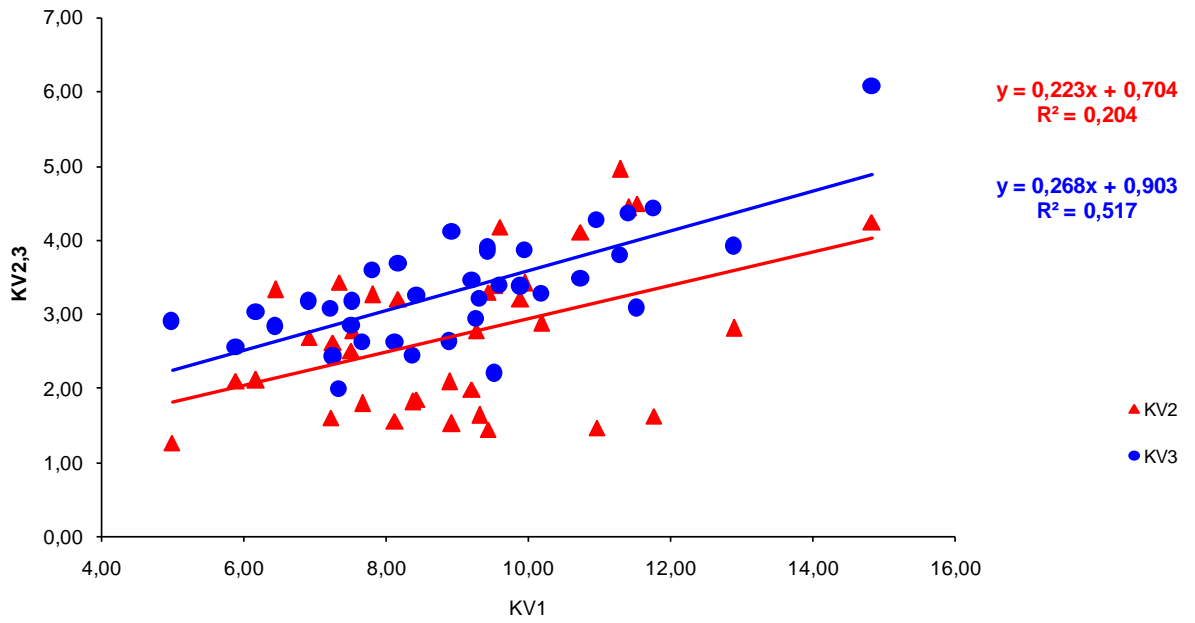
Pro porovnání obou metod byly pomocí programu STATGRAPHYCS Centurion vyjádřeny vzájemné vztahy WSA indexu a koeficientů vulnerability (KV1, 2, 3) v tabulce 4. Naměřená data byla vynesena do grafů a proložena spojnicí trendu.

Tab. 4: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti stability půdní struktury

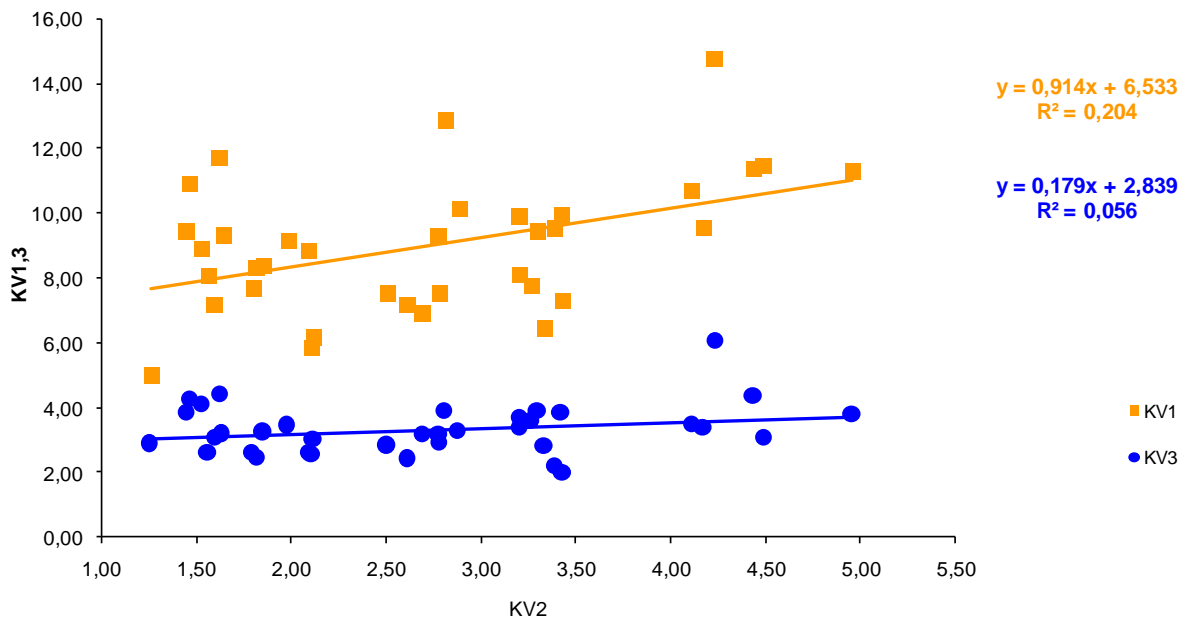
	WSA	KV1	KV2	KV3
WSA		-0,9093	-0,4639	-0,6803
P-Value		0,0000	0,0044	0,0000
KV1	-0,9093		0,4516	0,7195
P-Value	0,0000		0,0057	0,0000
KV2	-0,4639	0,4516		0,2369
P-Value	0,0044	0,0057		0,1642
KV3	-0,6803	0,7195	0,2369	
P-Value	0,0000	0,0000	0,1642	



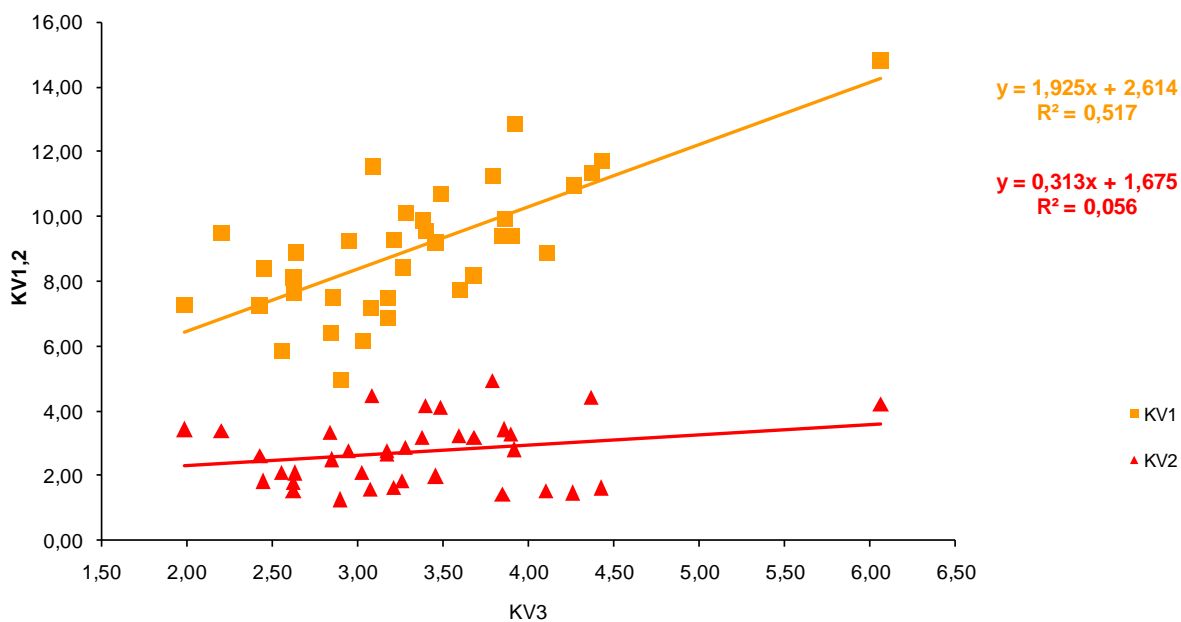
Obr. 28: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA) a koeficienty vulnerability (KV1, 2, 3).



Obr. 29: Vztahy mezi koeficienty vulnerability (KV 1, 2, 3).



Obr. 30: Vztahy mezi koeficienty vulnerability (KV 1, 2, 3).



Obr. 31: Vztahy mezi koeficienty vulnerability (KV 1, 2, 3).

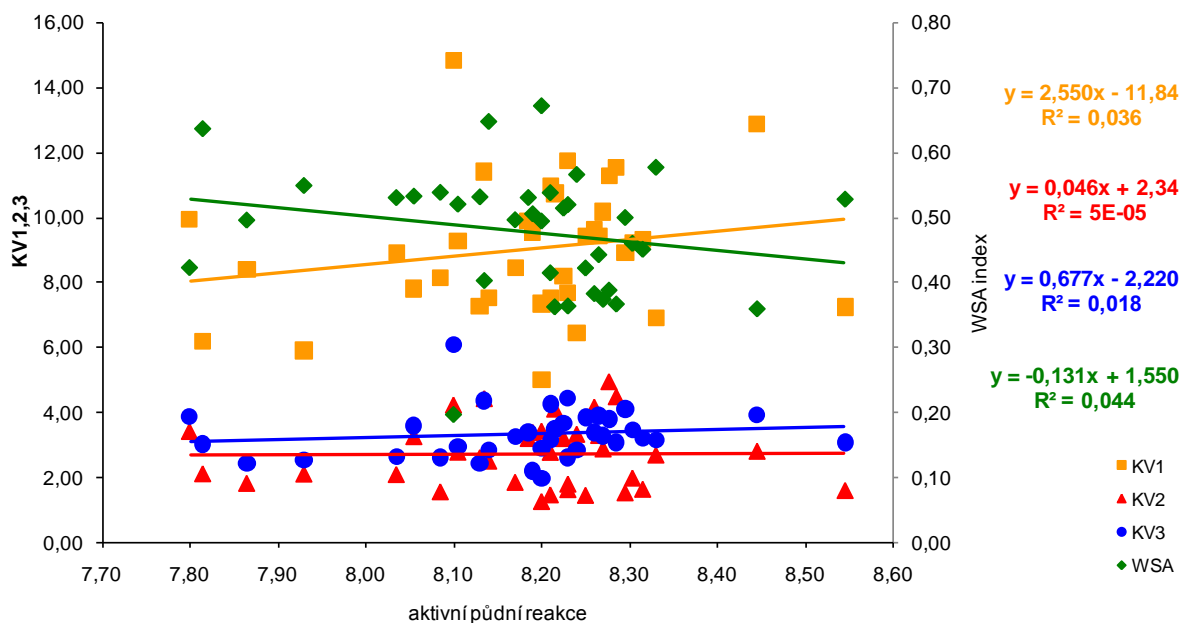
Na obrázku 28 až 31 jsou uvedené vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA) a koeficienty vulnerability (KV 1, 2, 3). Byly prokázány vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA) a koeficienty vulnerability (KV 1, 2, 3). Nejvýznamnější vztah byl prokázán mezi WSA indexem a KV1, což je způsobené stejnými mechanismy destrukce půdních agregátů jak také uvádí Rokošková et Valla (2004). Úzký vztah byl pozorován také mezi WSA indexem, KV1 v závislosti na KV3, což může být dáno blízkými destrukčními mechanismy (Kodešová et al., 2009). Naopak bližší vztahy nebyly prokázány mezi KV2 a KV3, důvodem mohou být odlišné mechanismy destrukce při stanovení stability půdních agregátů, a také může mít vliv časově náročnější test při stanovení KV2.

6.2 Závislost stability agregátů na základních půdních vlastnostech

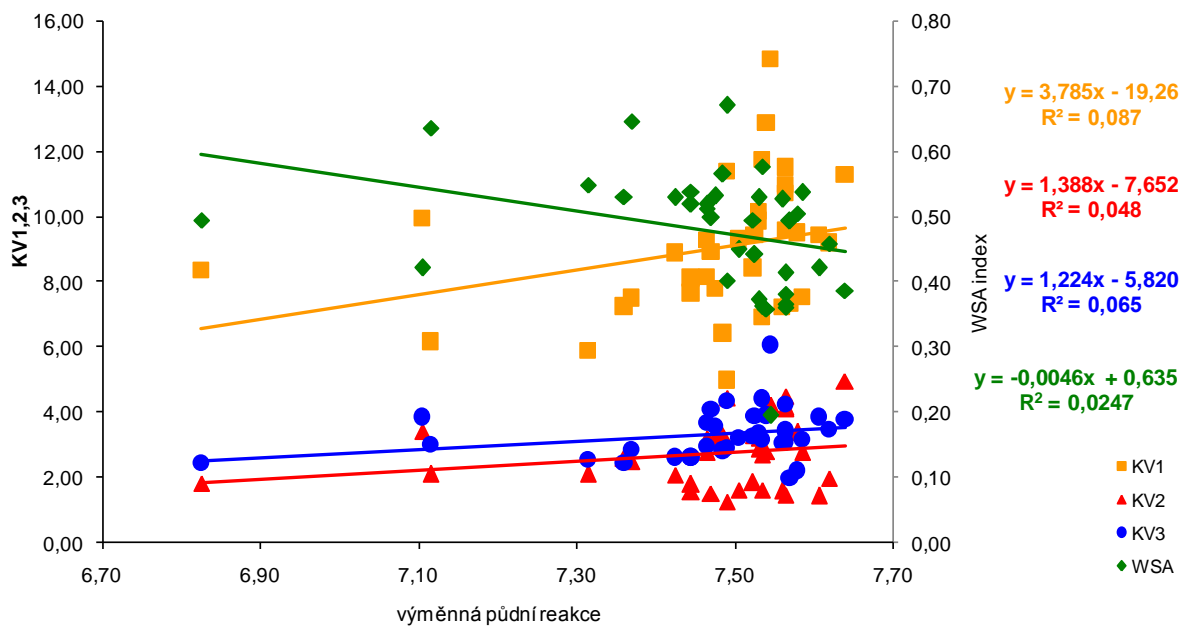
Byla zkoumána závislost stability půdní struktury na základních půdních vlastnostech pomocí programu STATGRAPHYCS Centurion (Tab. 5). Data byla vynesena do grafů a proložena spojnicí trendu.

Tab. 5: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti stability půdní struktury na půdních vlastnostech

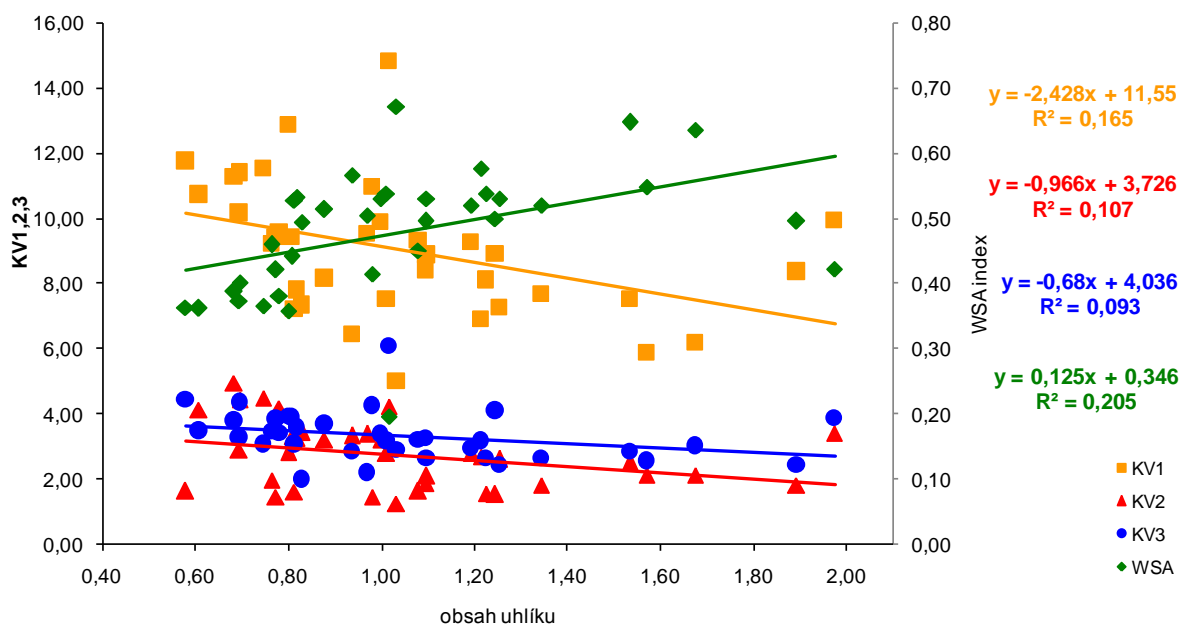
	pH _{H2O}	pH _{KCl}	C _{ox}	θ _{mom}	P	ρ _d	ρ _z
WSA	-0,1916	-0,2834	0,4099	-0,2599	0,4589	-0,4555	0,0079
P-Value	0,2853	0,1100	0,0178	0,1816	0,0140	0,0149	0,9684
KV1	0,1791	0,2694	-0,3747	0,3456	-0,5197	0,5037	-0,0300
P-Value	0,3186	0,1295	0,0317	0,0717	0,0046	0,0063	0,8797
KV2	0,0035	0,2314	-0,3051	0,0286	0,0354	0,1279	0,4378
P-Value	0,9847	0,1951	0,0843	0,8851	0,8579	0,5166	0,0198
KV3	0,1335	0,2427	-0,3074	0,1830	-0,3995	0,3378	-0,1831
P-Value	0,4590	0,1736	0,0818	0,3513	0,0352	0,0787	0,3511



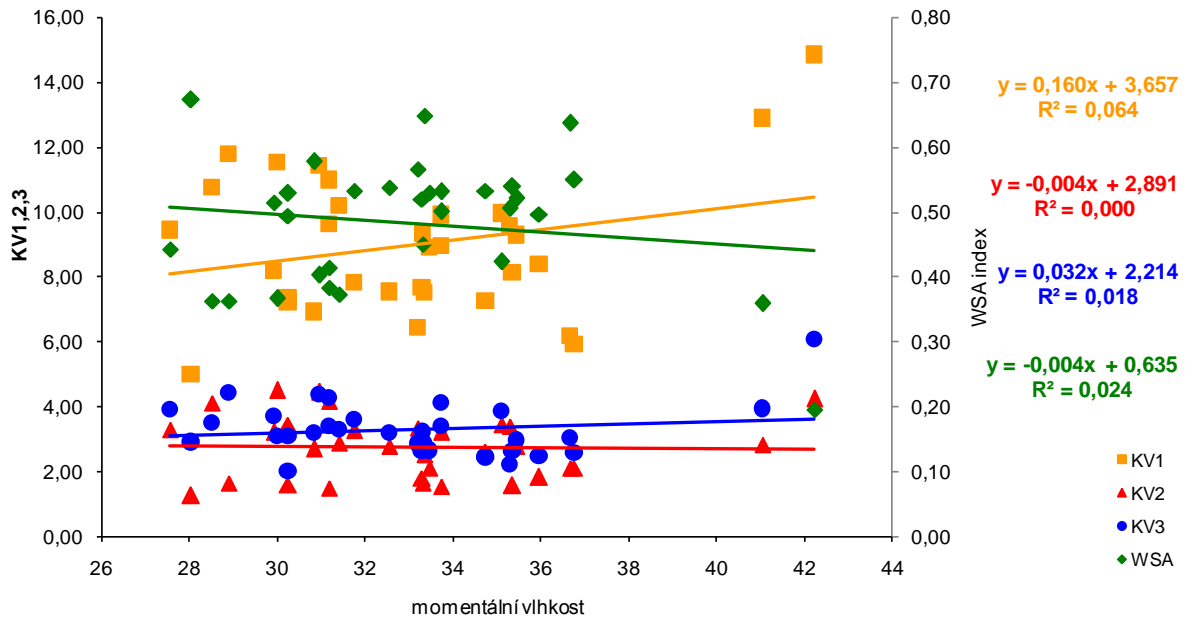
Obr. 32: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a aktivní půdní reakcí.



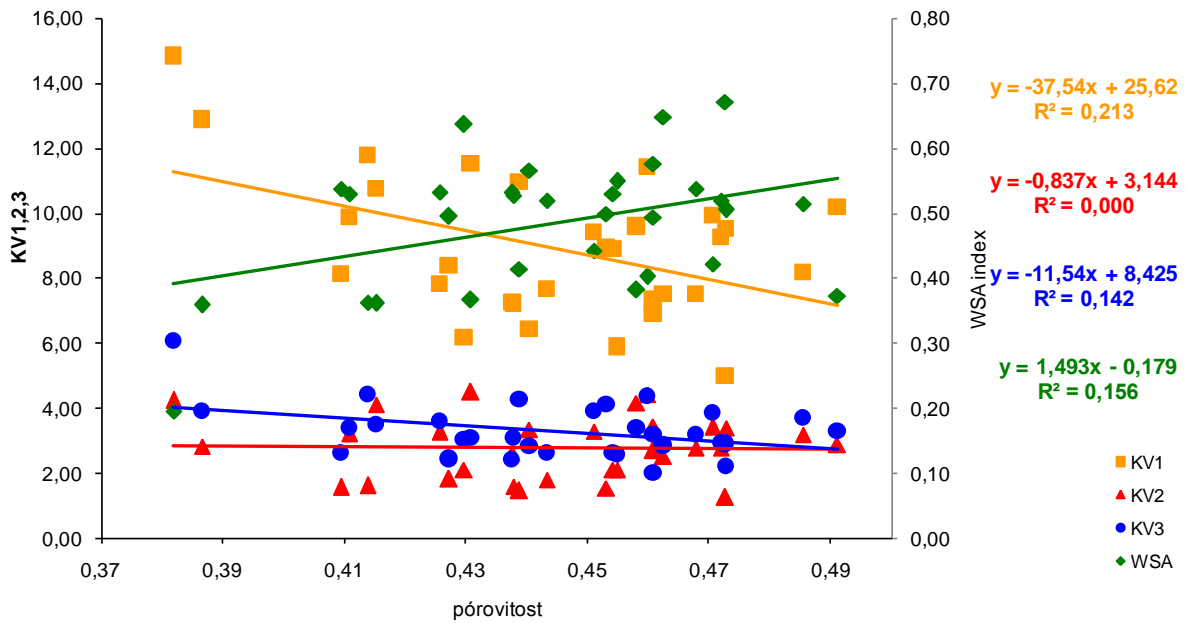
Obr. 33: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a výměnnou půdní reakcí.



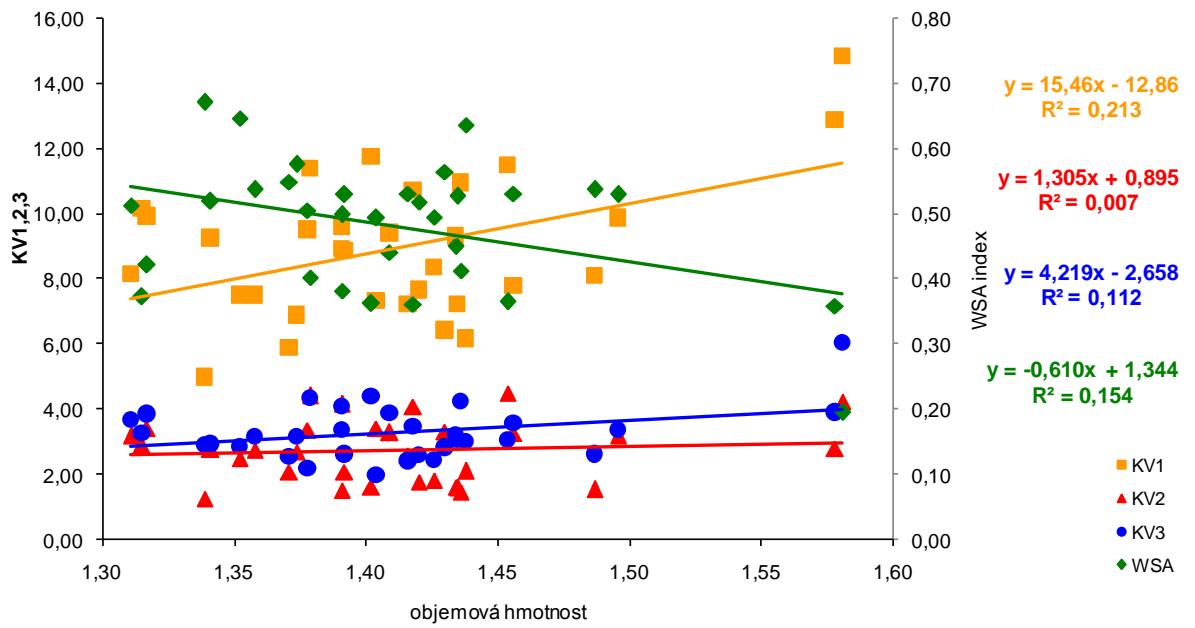
Obr. 34: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a obsahem humusu.



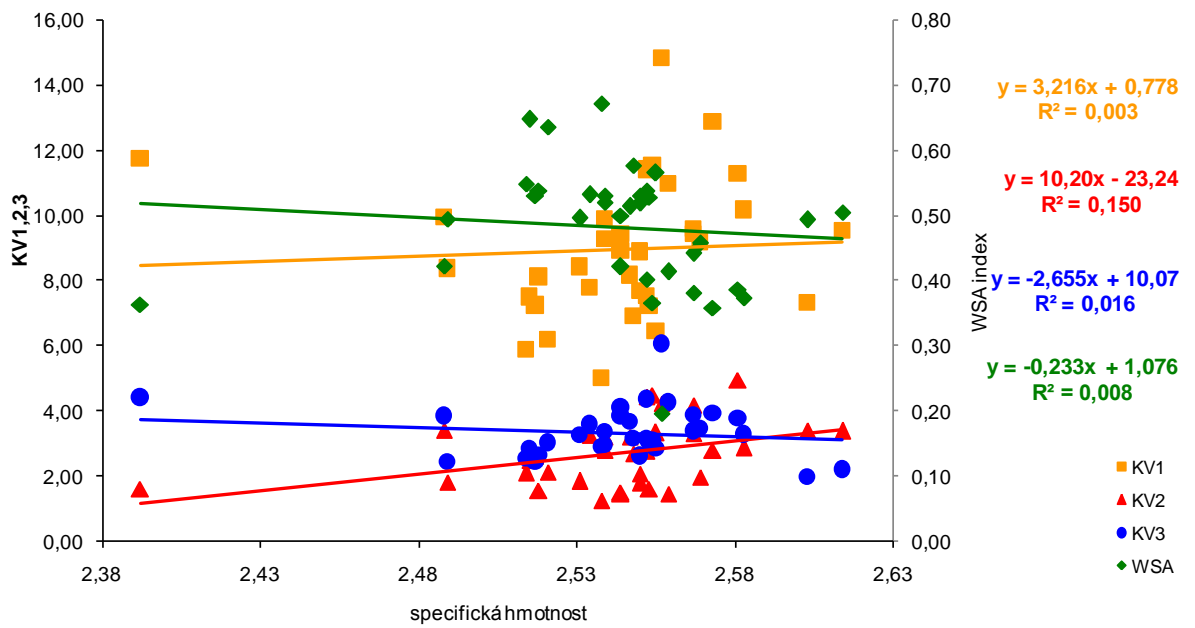
Obr. 35: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a momentální vlhkostí.



Obr. 36: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a pórovitostí.



Obr. 37: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a objemovou hmotností.



Obr. 38: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a specifickou hmotností.

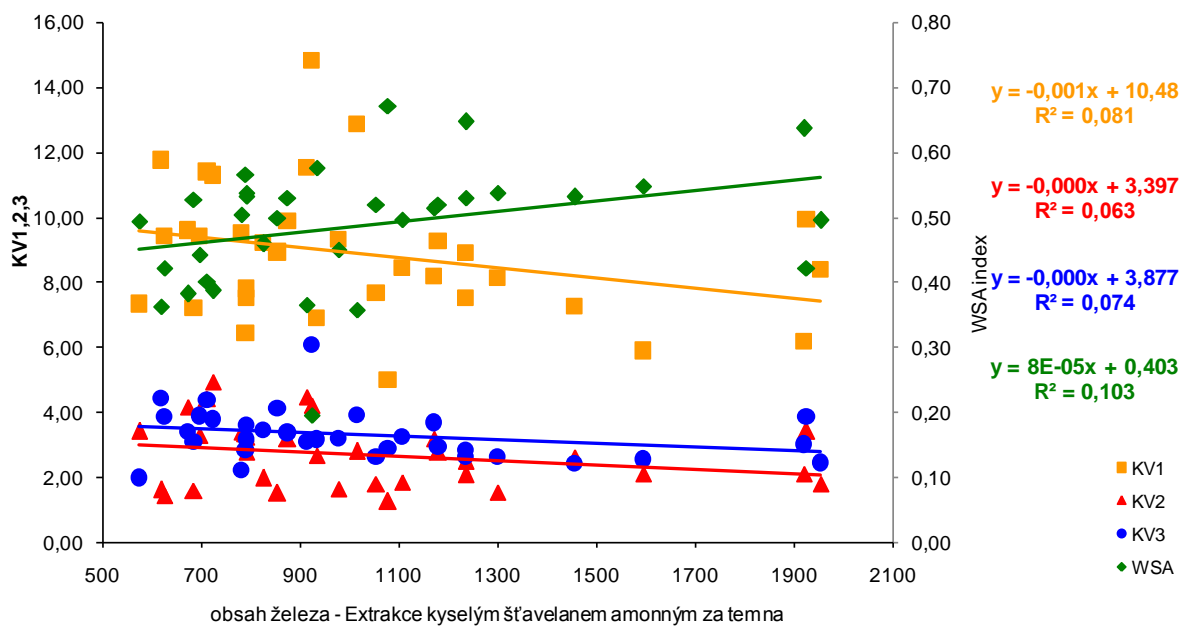
Na obrázku 32 až 38 jsou patrné určité vztahy stability půdní struktury na základních půdních vlastnostech. Nejvíce patrný je vztah WSA indexu a KV1 na obsahu organického uhlíku (Obr. 34), kde obsah organického uhlíku napomáhá k lepšímu stmelení vazeb uvnitř agregátů, a tím zlepšuje celkovou stabilitu půdní struktury (Tobiašová, 2011), také napomáhá k lepší vodoodpudivosti půdních agregátů (Kodedešová et al., 2009). Také byl zjištěn vztah WSA indexu a KV1 na pórovitosti a objemové hmotnosti (Obr. 36, 37), kde dobře vyvinutá půdní struktura obsahuje shluky půdních agregátů a tím vzniká dostatek prostoru pro půdní póry. U KV2 byl zjištěn jen vzájemný vztah se specifickou hmotností, která udává hmotnost objemové jednotky pevné složky půdy (tj. bez pórů), které hrají důležitou roli při tomto destrukčním mechanismu (Obr. 38).

6.3 Závislost stability agregátů na obsahu Fe, Mn a magnetické susceptibilitě

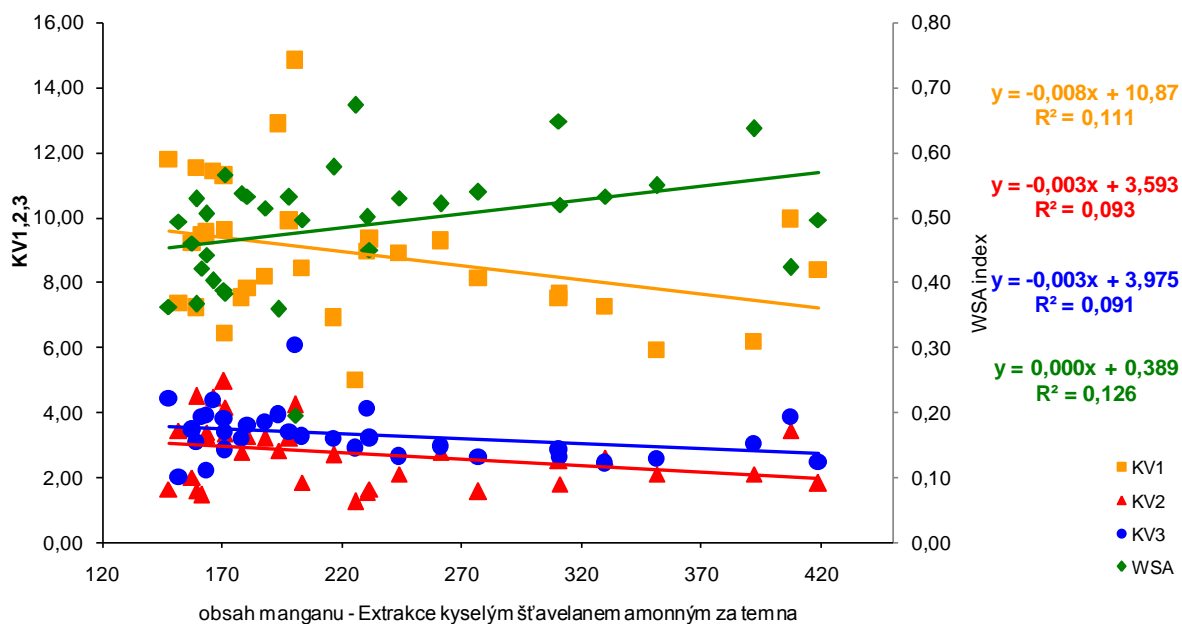
Dále byla zkoumána závislost koeficientů vulnerability – KV1, 2, 3 a WSA indexu na obsahu železa a manganu, které byly stanoveny různými metodami. A na magnetické susceptibilitě (Tab. 6). Pro zjištění závislostí byl použit program STATGRAPHYCS Centurion. Data byla opět vynesena do grafů a proložena spojnicí trendu.

Tab. 6: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti stability půdní struktury na obsahu Fe, Mn a magnetické susceptibilitě

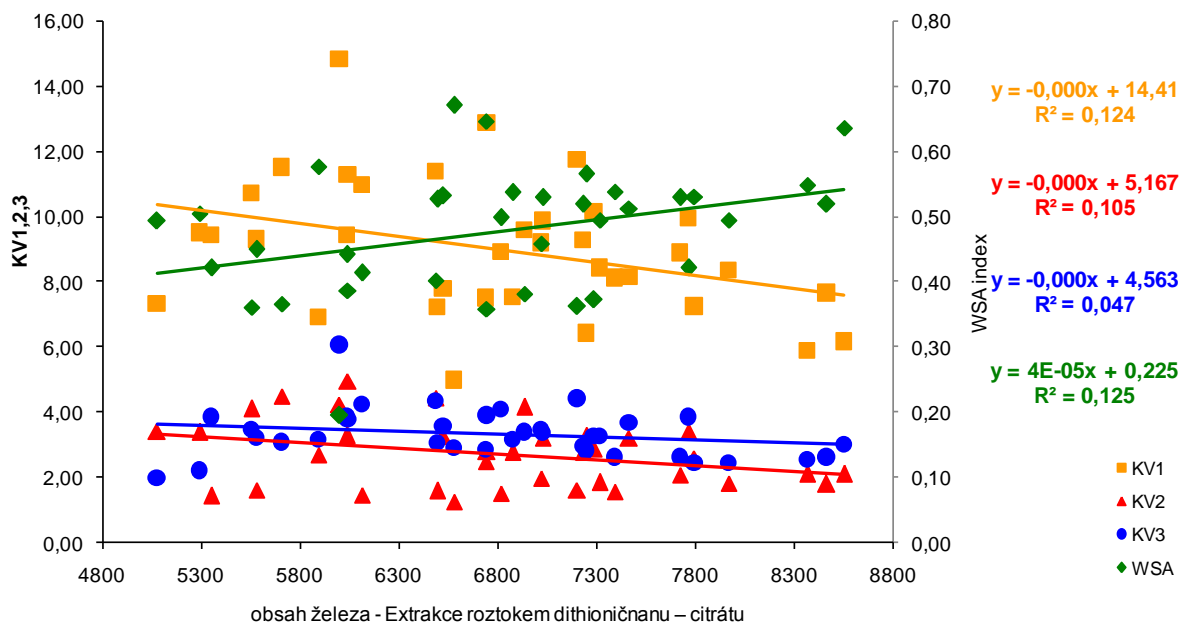
	Fe _o	Mn _o	Fe _d	Mn _d	lowSI	highSI
WSA	0,3286	0,3621	0,3421	0,4150	0,3586	0,3627
P-Value	0,0618	0,0384	0,0513	0,0163	0,0610	0,0578
KV1	-0,2843	-0,3342	-0,3286	-0,3376	-0,3354	-0,3438
P-Value	0,1089	0,0573	0,0619	0,0547	0,0810	0,0732
KV2	-0,2517	-0,3066	-0,3299	-0,2255	-0,3648	-0,3631
P-Value	0,1576	0,0827	0,0608	0,2071	0,0563	0,0575
KV3	-0,2734	-0,3026	-0,1927	-0,3325	-0,2994	-0,2862
P-Value	0,1237	0,0870	0,2826	0,0587	0,1217	0,1398



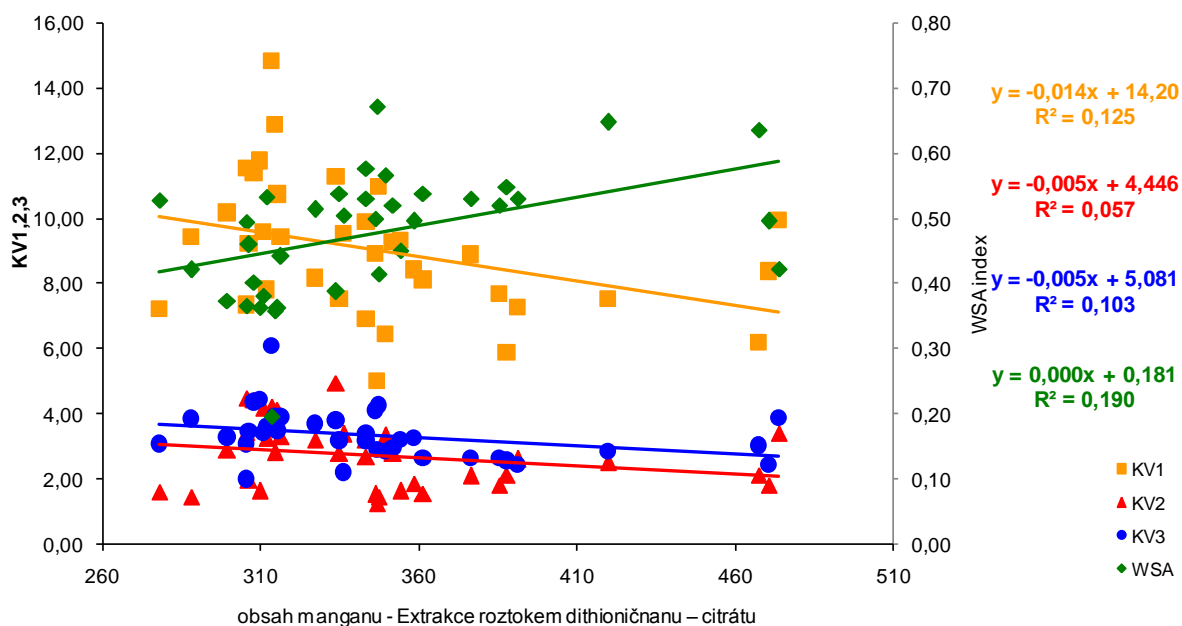
Obr. 39: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a obsahem Fe extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Fe_0).



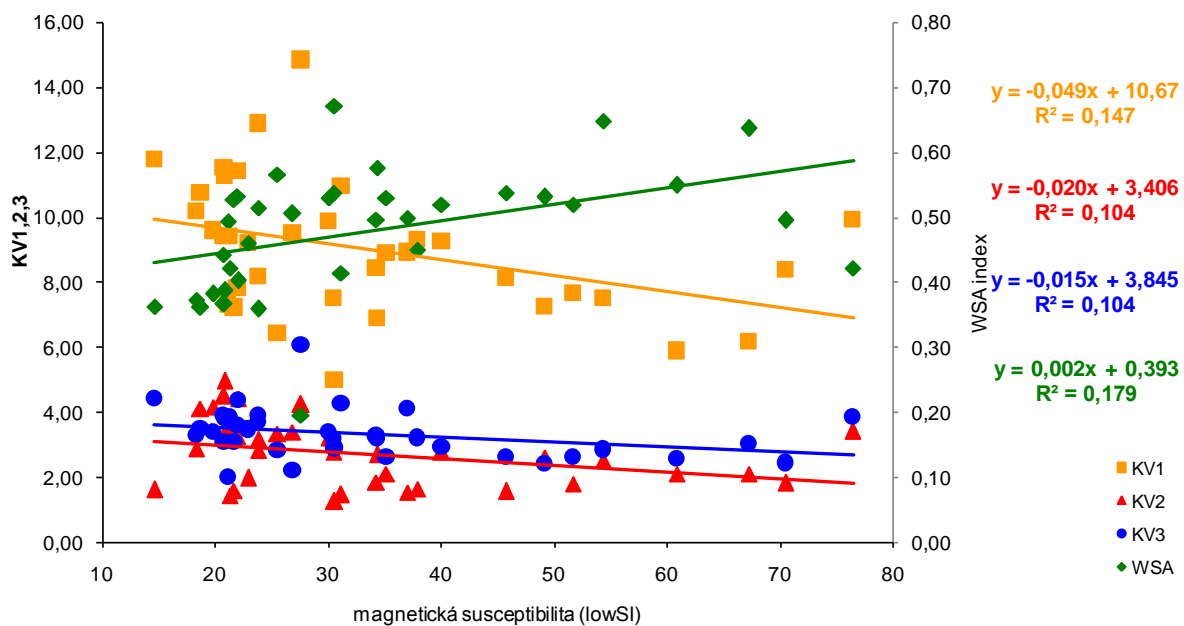
Obr. 40: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a obsahem Mn extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Mn_0).



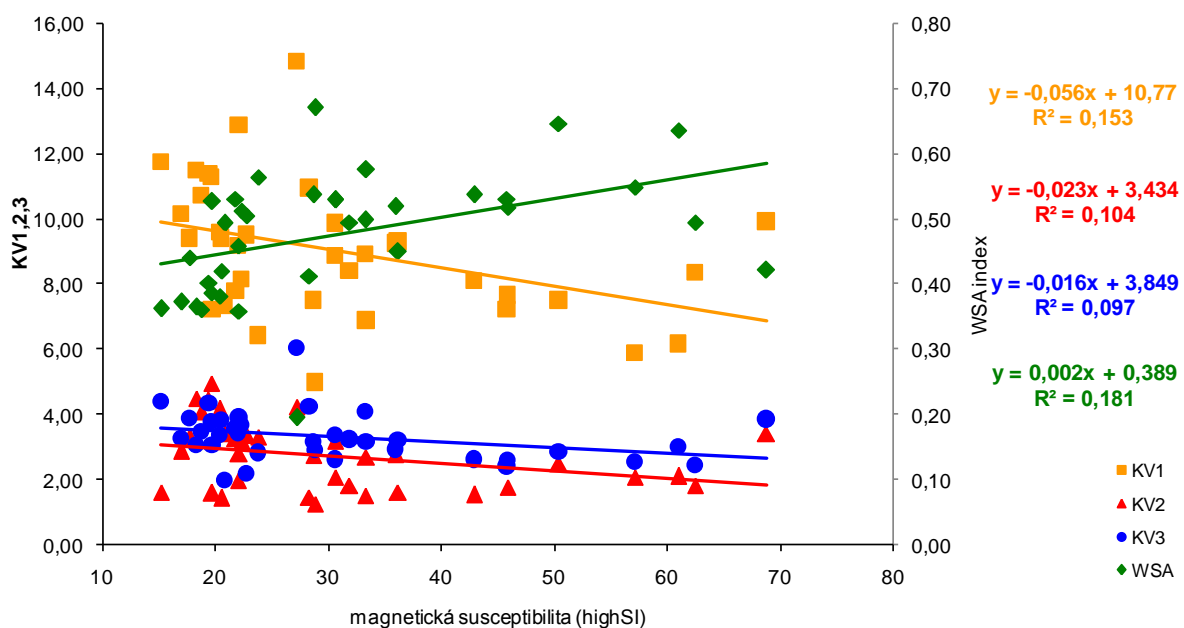
Obr. 41: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a obsahem Fe extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d).



Obr. 42: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a obsahem Mn extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).



Obr. 43: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a magnetickou susceptibilitou (nízká frekvence 0,46 kHz - lowSI)



Obr. 44: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a magnetickou susceptibilitou (vysoká frekvence 4,6 kHz - highSI)

Na obrázku 39 až 44 jsou uvedené vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA) a koeficientu vulnerability (KV1, 2, 3) na obsahu oxidů železa, manganu a magnetické susceptibilitě. Průkazný vztah byl prokázán jen u WSA indexu a obsahu manganu, který posiluje vazby půdních agregátů a napomáhá k jejich celkové stabilitě (Obr. 40, 42). Tento jev byl pozorován v menším měřítku i u KV1, kde je stejný mechanismus destrukce jako u WSA indexu. Bohužel žádné další průkazné vztahy nebyly prokázány.

6.4 Vzájemný vztah vybraných půdních vlastností

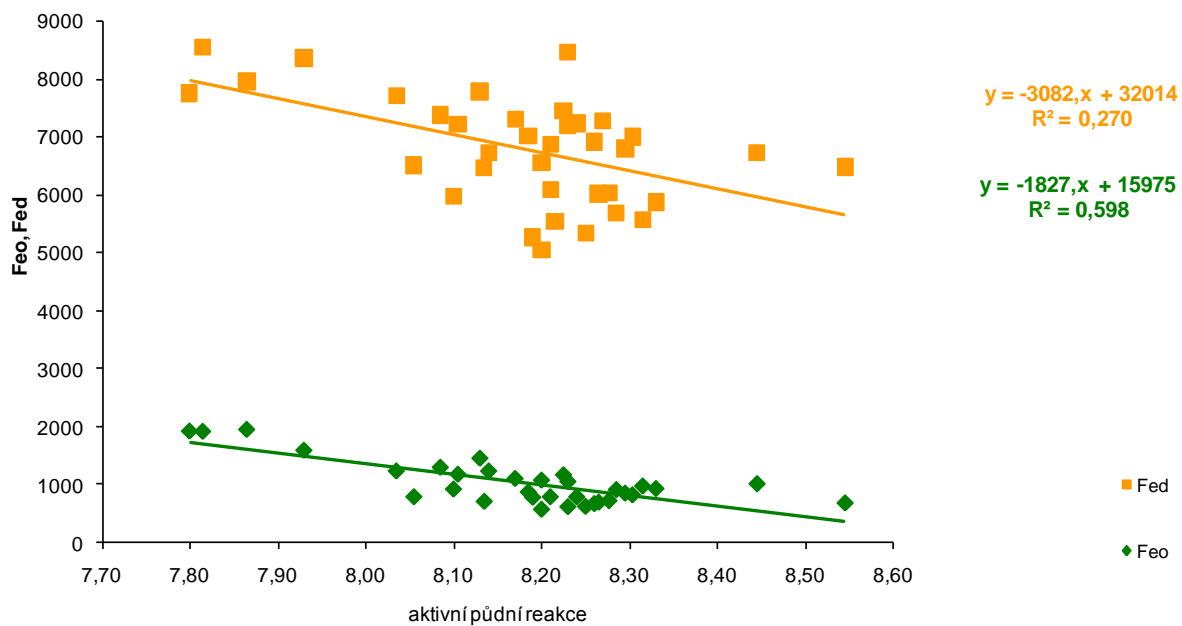
Byla zkoumána závislost vybraných půdních vlastností, kde se předpokládal úzký vztah mezi těmito vlastnostmi (Tab. 7, 8). Pro zjištění závislostí byl použit program STATGRAPHYCS Centurion. Data byla opět vynesena do grafů a proložena spojnicí trendu.

Tab. 7: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti vybraných půdních vlastností

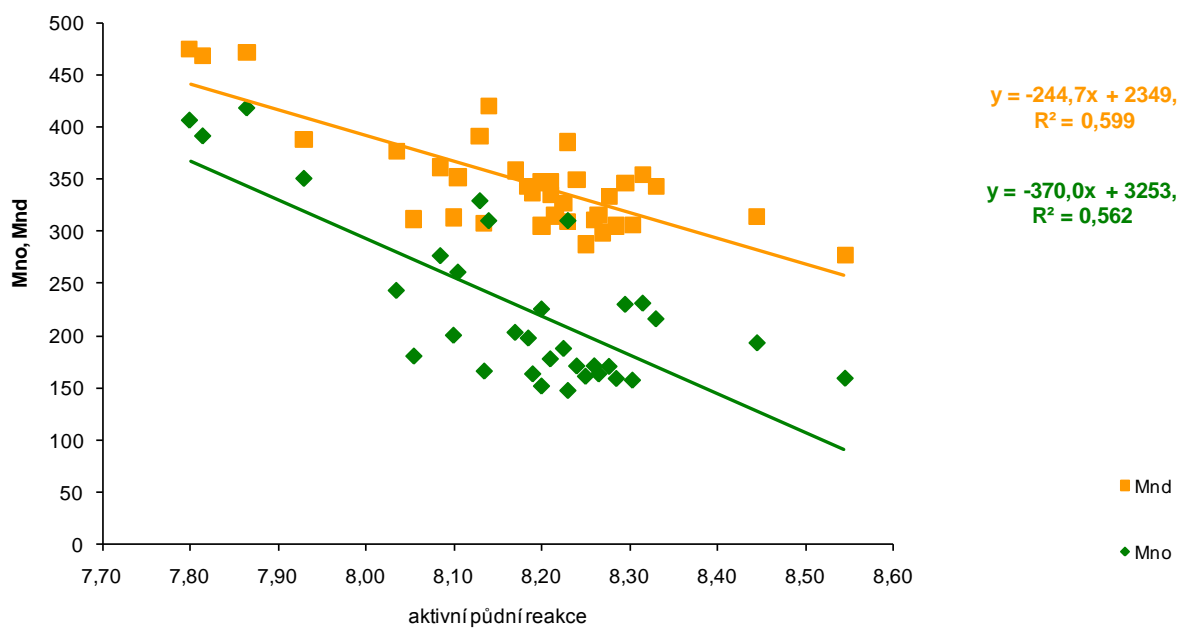
	Fe_o	Mn_o	Fe_d	Mn_d	lowSI	highSI
pH_{H2O}	-0,7716	-0,7492	-0,5396	-0,7735	-0,7458	-0,7483
P-Value	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000
pH_{KCl}	0,8948	0,9524	0,5879	0,9348	-0,8586	-0,8451
P-Value	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000
C_{ox}	0,8948	0,9524	0,5879	0,9348	0,9817	0,9787
P-Value	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000

Tab. 8: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti magnetické susceptibilitě k obsahu železa a manganu

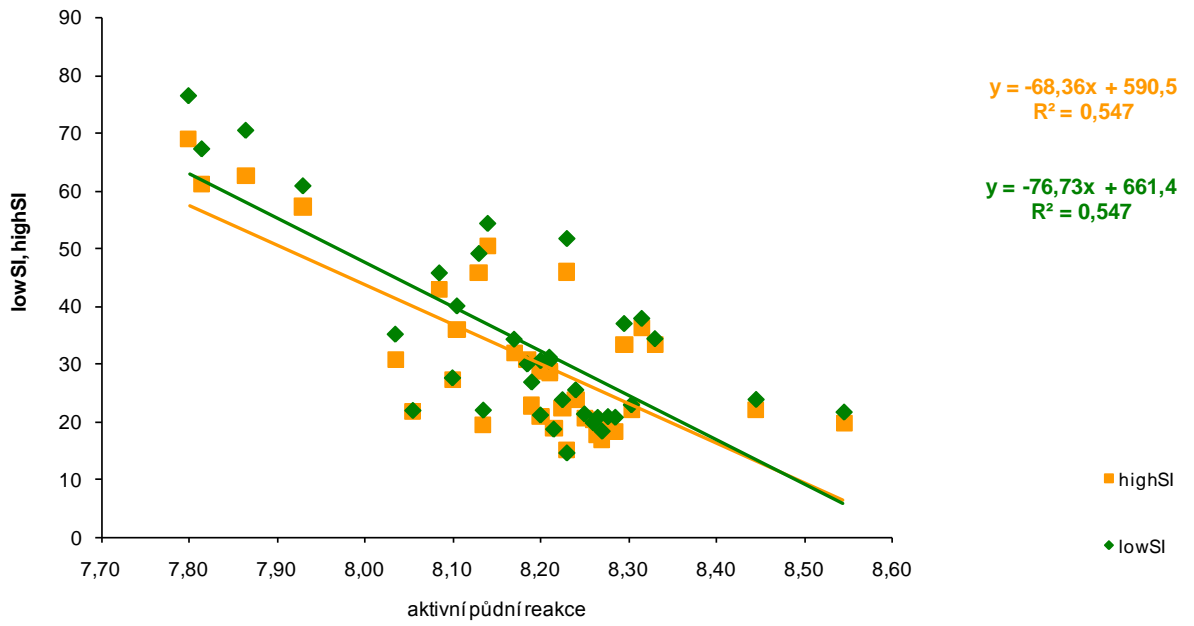
	Fe_o	Mn_o	Fe_d	Mn_d
lowSI	0,9210	0,9839	0,6764	0,9521
P-Value	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
highSI	0,9156	0,9816	0,6796	0,9439
P-Value	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000



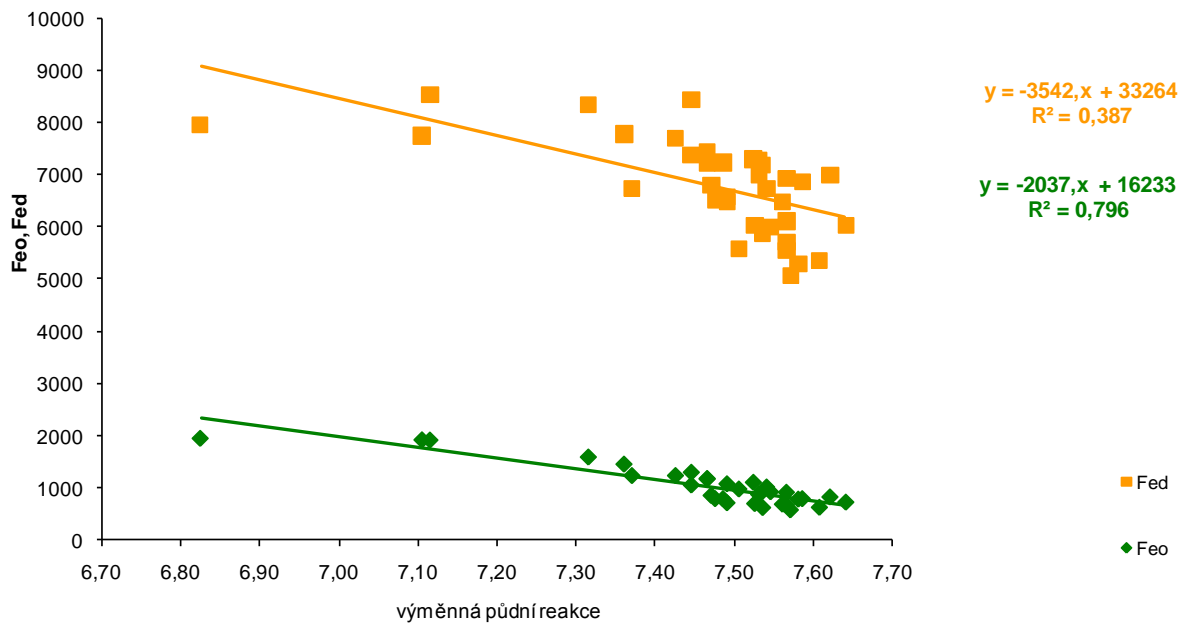
Obr. 45: Vztahy mezi aktivní půdní reakcí a obsahem Fe extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Fe_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d).



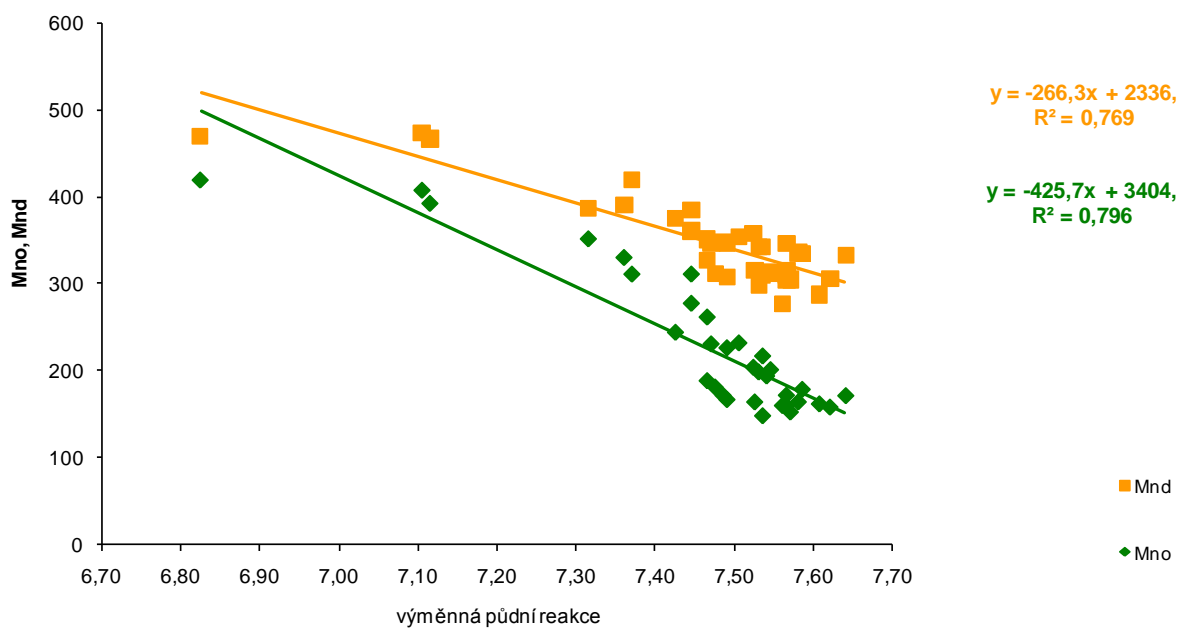
Obr. 46: Vztahy mezi aktivní půdní reakcí a obsahem Mn extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Mn_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).



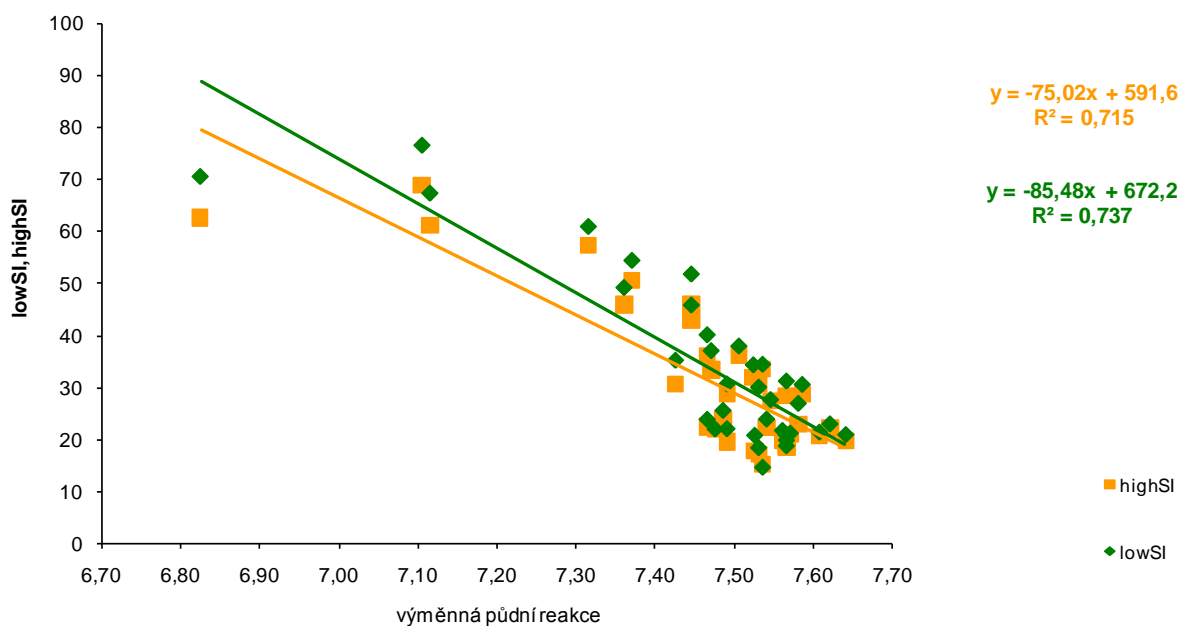
Obr. 47: Vztahy mezi aktivní půdní reakcí a magnetickou susceptibilitou (nízká frekvence 0,46 kHz – lowSI, vysoká frekvence 4,6 kHz - highSI)



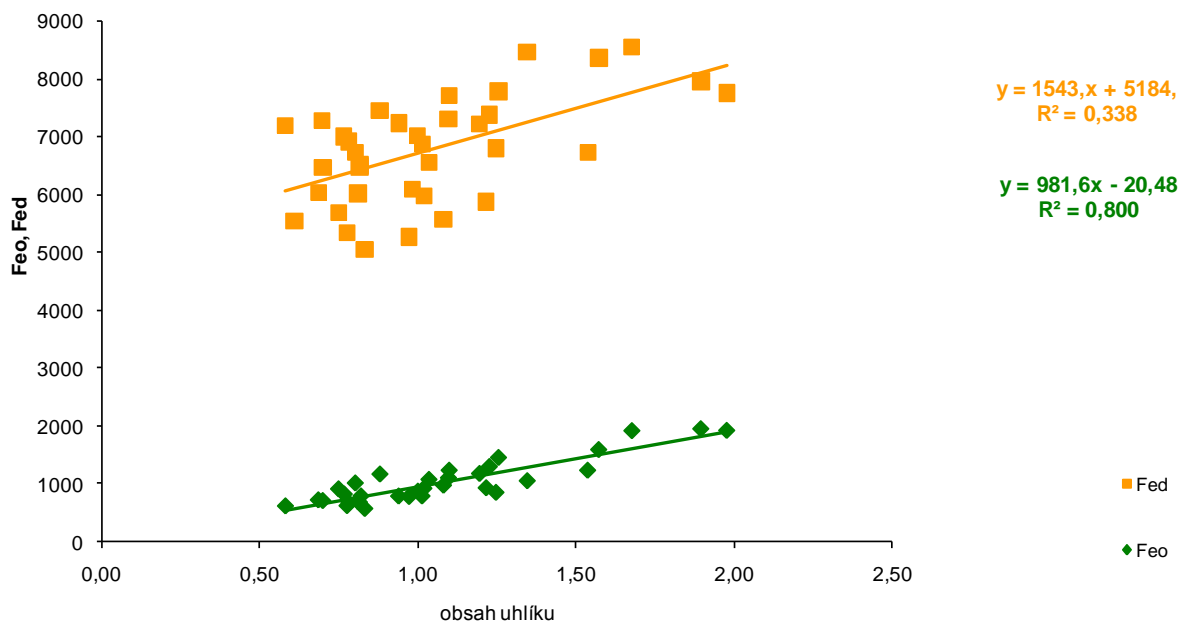
Obr. 48: Vztahy mezi výměnnou půdní reakcí a obsahem Fe extrahovaného kyselým šřavelanem amonným za temna (Fe_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátů (Fe_d).



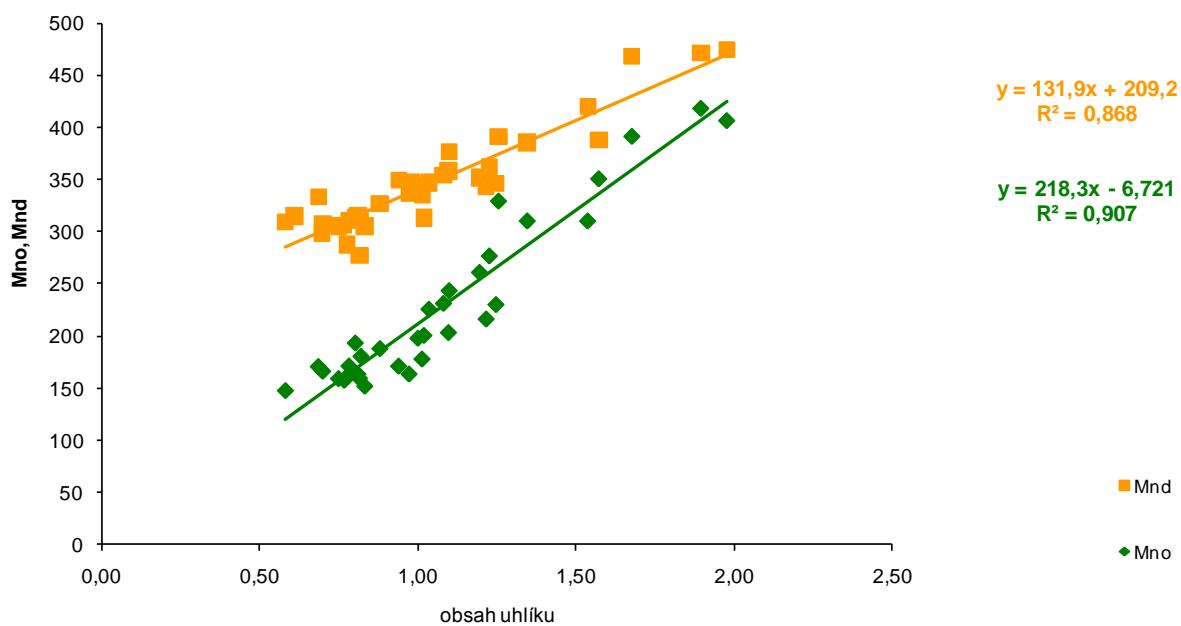
Obr. 49: Vztahy mezi výměnnou půdní reakcí a obsahem Mn extrahovaného kyselým šťavelanem amonným za temna (Mn_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).



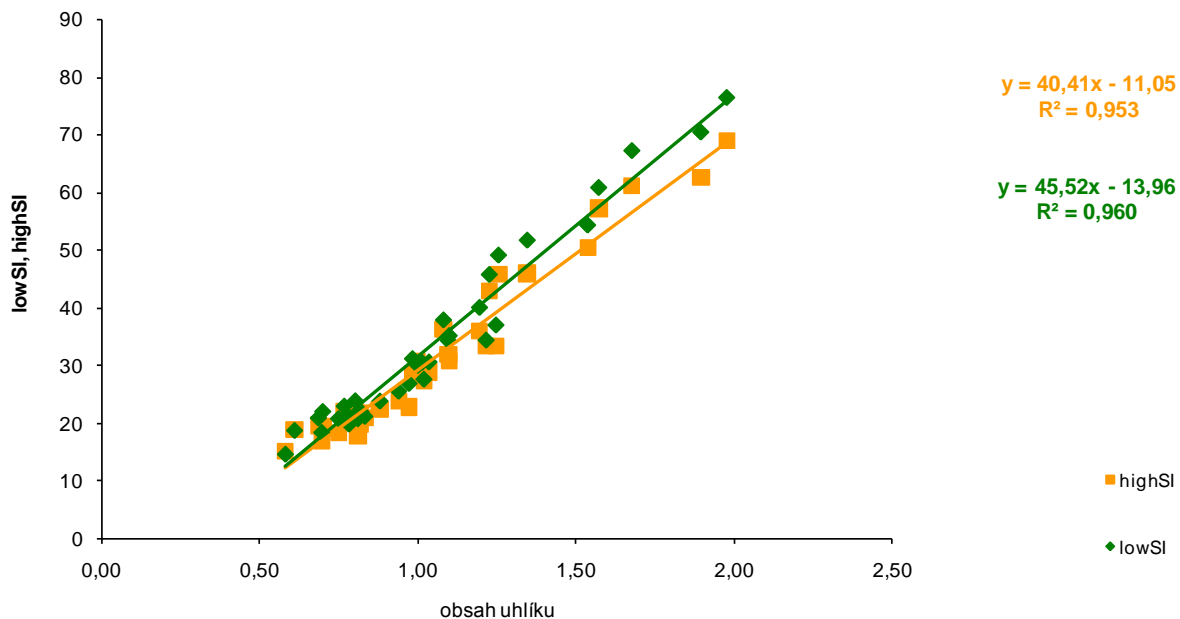
Obr. 50: Vztahy mezi výměnnou půdní reakcí a magnetickou susceptibilitou (nízká frekvence 0,46 kHz – lowSI, vysoká frekvence 4,6 kHz - highSI).



Obr. 51: Vztahy mezi obsahem uhlíku a obsahem Fe extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Fe_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d).

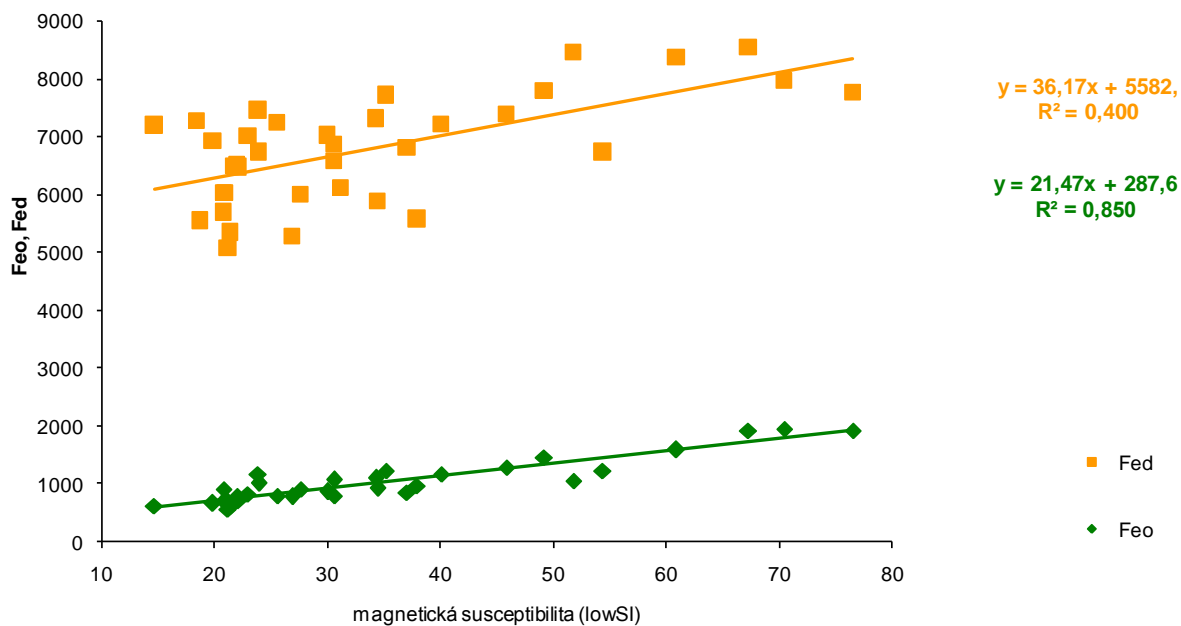


Obr. 52: Vztahy mezi obsahem uhlíku a obsahem Mn extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Mn_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).

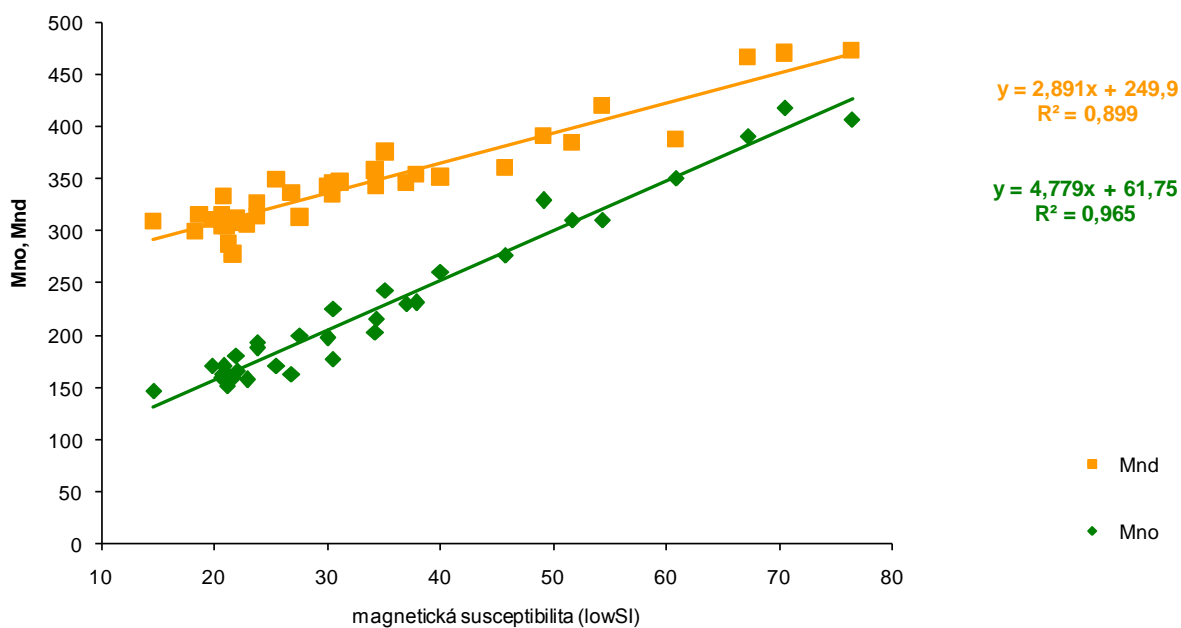


Obr. 53: Vztahy mezi obsahem uhlíku a magnetickou susceptibilitou (nízká frekvence 0,46 kHz – lowSI, vysoká frekvence 4,6 kHz - highSI)

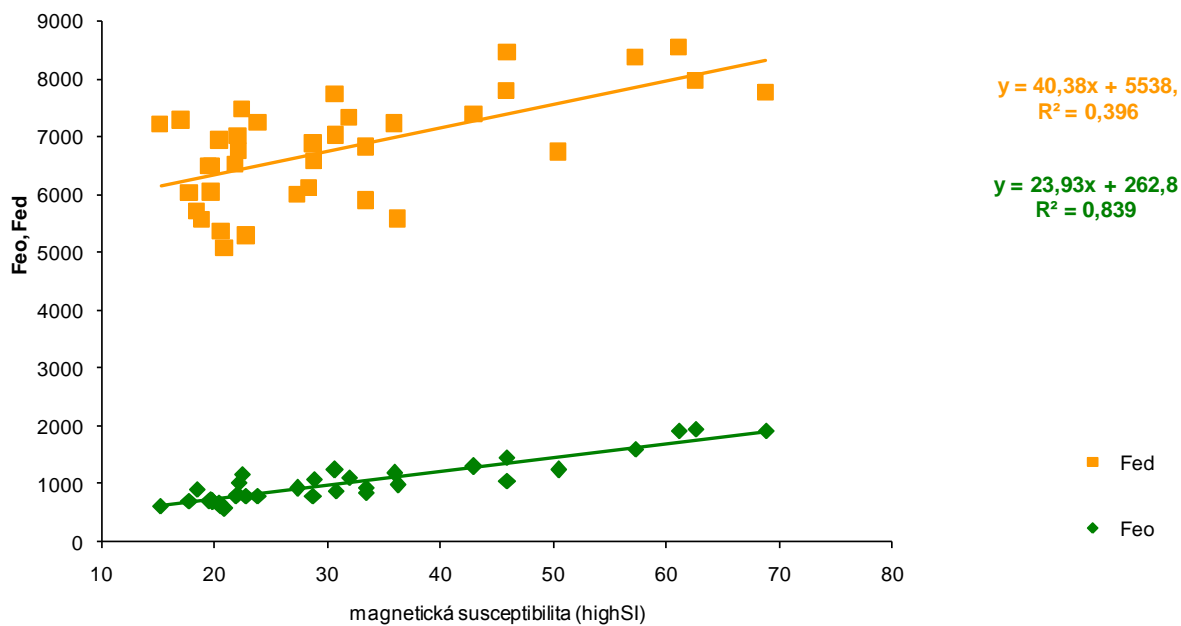
Na obrázku 45 až 53 jsou uvedeny závislosti vybraných půdních vlastností. Na obrázku 45, 46 a 48, 49 jsou zachyceny závislosti pH na obsahu Fe a Mn, kde pH jasně ovlivňuje mobilitu těchto prvků. Jak je patrné z obrázku 47 a 50 pH také ovlivňuje magnetickou susceptibilitu, která měří magnetické vlastnosti půd a sedimentů, které jsou s obsahy těchto prvků spjaté. Další vybranou půdní vlastností je obsah uhlíku (Obr. 51, 52, 53), který má přímý vliv na obsah Fe, Mn, a tedy i na hodnoty magnetické susceptibility.



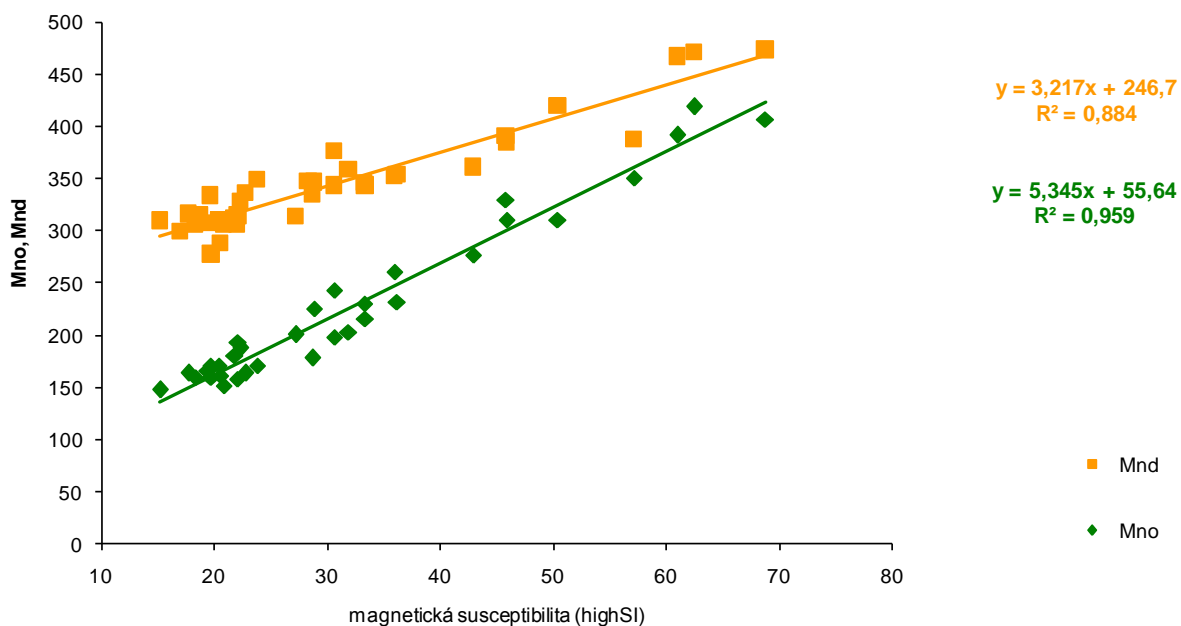
Obr. 54: Vztahy mezi magnetickou susceptibilitou (lowSI) a obsahem Fe extrahovaného kyselým šřávelanem amonným za temna (Fe_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d).



Obr. 55: Vztahy mezi magnetickou susceptibilitou (lowSI) a obsahem Mn extrahovaného kyselým šřávelanem amonným za temna (Mn_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).



Obr. 56: Vztahy mezi magnetickou susceptibilitou (highSI) a obsahem Fe extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Fe_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d).



Obr. 57: Vztahy mezi magnetickou susceptibilitou (highSI) a obsahem Mn extrahovaného kyselým šťávelanem amonným za temna (Mn_o) a extrahovaného roztokem dithioničnanu – citrátu (Mn_d).

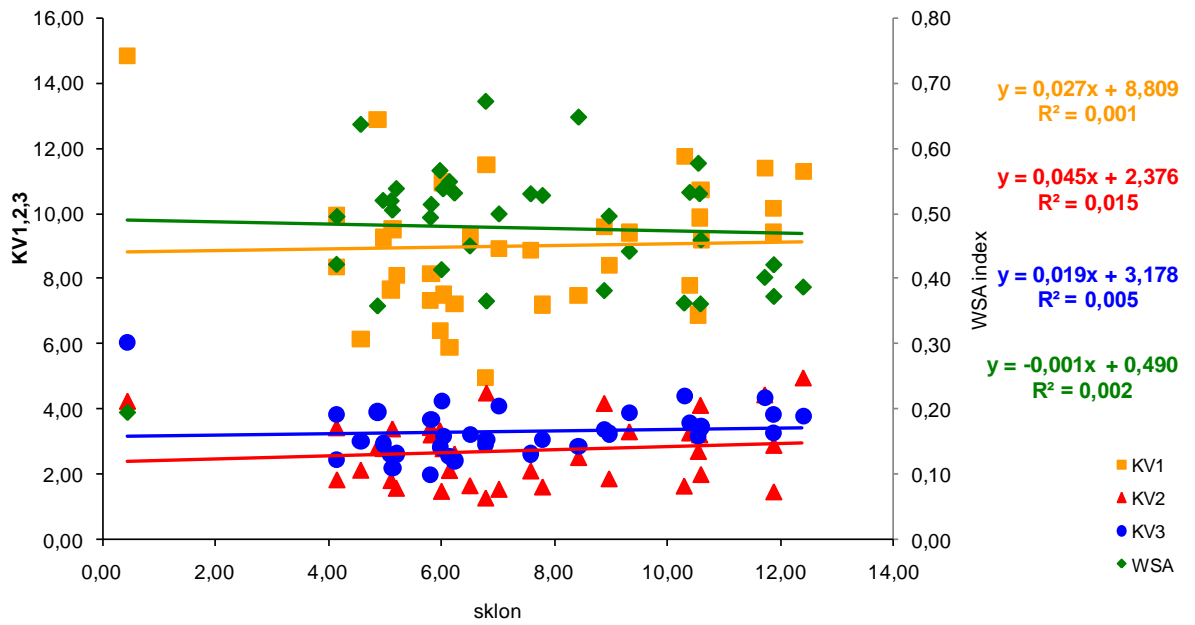
Na obrázku 54 až 57 jsou uvedeny závislosti magnetické susceptibility na obsahu železa a manganu. Velmi úzká závislost byla u magnetické susceptibility prokázána ke všem hodnotám obsahů železa a manganu, které byly extrahovány kyselým šťavelanem amonným za tepla (Fe_o , Mn_o) a roztokem dithioničnanu – citrátu (Fe_d , Mn_d). Magnetická susceptibilita byla měřena při dvou frekvencích, kde nízká frekvence měla hodnotu 0,46 kHz (lowSI) a vysoká frekvence 4,6 kHz (highSI).

6.5 Závislost stability agregátů na vlastnostech reliéfu

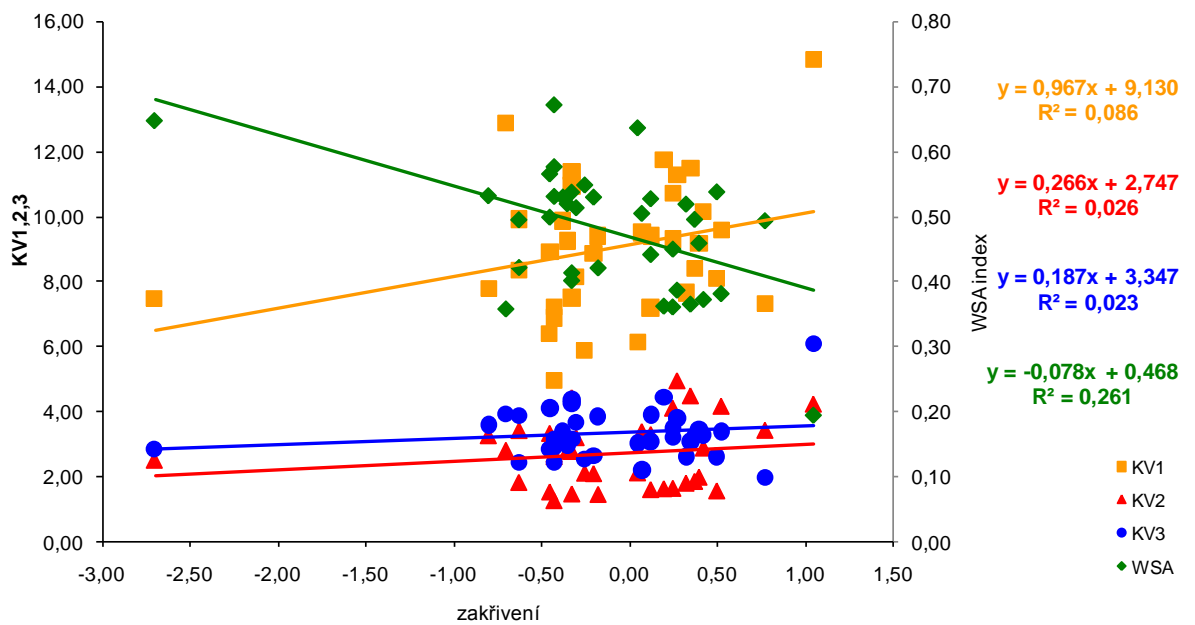
Také byla zkoumána závislost koeficientů vulnerability – KV1, 2, 3 a WSA indexu na vlastnostech reliéfu (Tab. 9). Pro zjištění závislostí byl použit program STATGRAPHYCS Centurion. Data byla opět vynesena do grafů a proložena spojnicí trendu.

Tab. 9: Hodnoty korelačního koeficientu pro závislosti stability půdní struktury na vlastnostech reliéfu

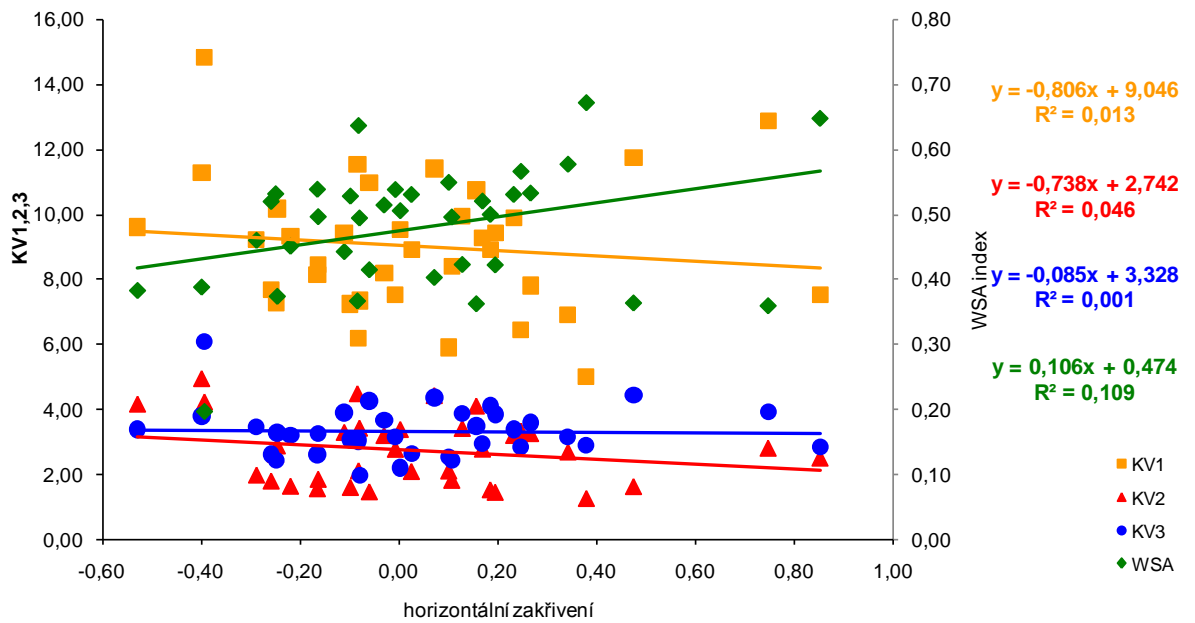
	sklon	celkové zakřivení	vertikální zakřivení	horizontální zakřivení
WSA	-0,0539	-0,5118	0,2979	-0,5021
P-Value	0,7548	0,0014	0,1236	0,0065
KV1	0,0371	0,2934	-0,0478	0,3468
P-Value	0,8298	0,0825	0,8093	0,0706
KV2	0,1243	0,1643	-0,2751	0,0893
P-Value	0,4701	0,3382	0,1566	0,6515
KV3	0,0720	0,1529	0,0023	0,2193
P-Value	0,6764	0,3734	0,9908	0,2621



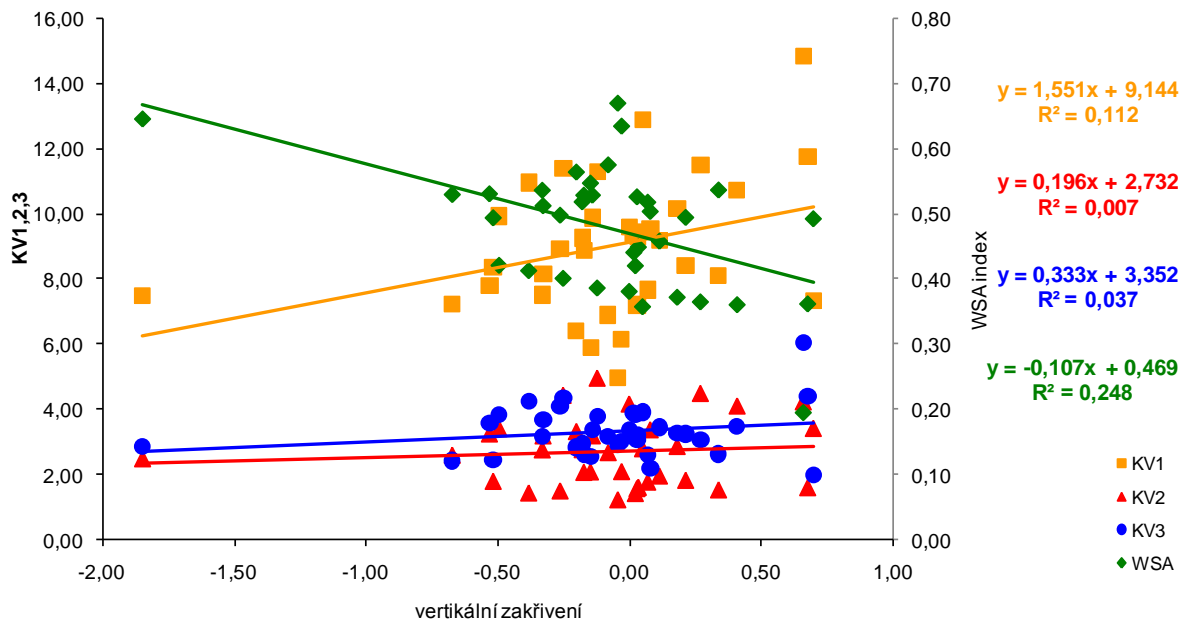
Obr. 58: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a sklonem.



Obr. 59: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a celkovém zakřivením.



Obr. 60: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a horizontálním zakřivením.



Obr. 61: Vztahy mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA), koeficientem vulnerability (KV1, 2, 3) a vertikálním zakřivením.

Na obrázku 58 až 61 jsou uvedeny závislosti mezi indexem ve vodě stabilních agregátů (WSA) a koeficientu vulnerability (KV1, 2, 3) na terénních vlastnostech. Určitý vztah se podařilo prokázat u WSA indexu na horizontálním a celkovém zakřivení, jak je patrné z obrázku 59 a 60.

7 Závěr

Stanovení stability půdní struktury bylo měřeno metodou ve vodě stabilních agregátů (WSA) a metodou podle autora Le Bissonnais (1996), kde je výsledek jednotlivých destrukčních mechanismů vyjádřen koeficienty vulnerability (KV1, 2, 3). Metody stability půdní struktury byly spolu porovnány mezi sebou a následně byly porovnány se základními půdními vlastnosti. Také byl vyhodnocen vztah stability půdní struktury na vybraném geomorfologicky rozmanitém erozí ovlivněném území a na terénních vlastnostech. Nakonec se porovnávaly hodnoty magnetické susceptibility se základními půdními vlastnostmi pro použití mapování půdních vlastností souvisejících se stabilitou půdních agregátů.

- Byla prokázána úzká souvislost mezi WSA indexem a koeficienty vulnerability (KV1, 2, 3).
- Nejužší vztah byl mezi WSA indexem a KV1, kde dochází ke stejnému destrukčnímu mechanismu.
- WSA index a KV1 má souvislost s obsahem organického uhlíku, pórovitostí a objemovou hmotností.
- WSA index má bližší vztah s obsahem manganu.
- Geomorfologicky rozmanité erozí ovlivněné území značně ovlivňuje stabilitu půdní struktury, nejnižší hodnoty pozorujeme na erodovaných částech, naopak nejvyšší hodnoty stability půdní struktury jsou na ploché horní části území, kde k erozi nedochází.
- WSA index je závislý na celkovém a horizontálním zakřivení.
- Nebyl prokázán vliv magnetické susceptibility na stabilitu půdní struktury, ale byl prokázán významný vliv na obsah železa, manganu, organického uhlíku a hodnotami pH, které stabilitu půdní struktury značně ovlivňují.

8 Použitá literatura

- Álvaro-Fuentes J., Arrúe J.L., López M.V. 2008. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. *Geoderma* 145, 390-396
- Bronick, C. J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3 – 22
- Courchesne, F., Turmel, M.C. 2008. Extractable Al, Fe, Mn and Si. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil sampling and Methods of Analysis*. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. CRC Press, pp. 307 – 315.
- Díaz-Zorita, M., Perfekt, E., Grove, J. H. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil & Tillage Research*, 64: 3-22.
- Duiker, S. W. 2002. Aggregation. *Encyklopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc., New York, 34-36, ISBN 0-8247-0634-X.
- Gambrell, R. P. 1996. In: Sparks, D.L. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA.
- Gerrard A. J. 1981. *Soils and Landforms. An Integration of Geomorphology and Pedology*. George Allen and Unwin, London.
- Gessler, P.E., Moore, I.D., McKenzie, N.J., Ryan, P.J. 1995. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* 9, 421–432
- Hattar, B.I., Taimah, A.Y., Ziadat, F.M. 2010. Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena* 83, 34–45
- Chan, K.Y., Heenan, D.P., So, H.B. 2003. Sequestration of karbon and changes in soil quality under conservation tillage on lighttextured soils in Australia: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 43, 325–334.
- Chen J., Gu B., LeBoeuf E.J., Pan H., Dai S. 2002. Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Chemosphere* 48, 59 – 68
- Jong de., Nestor P.A., Pennock D.J. 1998. The use of magnetic susceptibility to measure long – term soil redistribution. *Catena* 32, 23 - 35

- Kapička, A., Petrovský, E., Fialová, H., Podrázský, V. 2004: Využití magnetické susceptibility lesních půd pro mapování imisní zátěže v regionu KRNAP. In: Štursa, J., Mazurski, K.R., Palucki, A., Potočka, J. (eds.), *Geoekologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. *Opera Corcontica*, 41: 55–59.
- Kay, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 169–197.
- Kodešová, R., Rohošková, M., Žigová, A. 2009. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia*, 64/3, 550–554
- Ladd, J. N., Foster, R. C., Nannipieri, P., Pares, J. M. 1996. Soil structure and biological activity. Volume 9 – Soil biochemistry. 12: 23 - 78
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: 425 – 437.
- Le Bissonnais, Y., Arrouays, D. 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science*, 48: 39–48
- Legout C., Leguédois S., Le Bissonnais Y. 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements. *European Journal of Soil Science* 56, 225–237
- Linsler D., Geisseler D., Logeb R., Taube F., Ludwig B. 2013. The effect of organic matter on aggregation under different soil management practices in a vineyard in an extremely humid year. *Soil & Tillage Research* 126, 90–99
- Loeppert, R. H., Inskeep, W. P. 1996. Iron. In: Sparks, D.L. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA.
- McKenzie N.J., Ryan P.J. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89: 67–94
- Moore, I. D., Gessler, P. E., Nielsen, G. A., Peterson, G. A. 1993. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis, *Soil Science Society of America* (57): 443 – 452
- Murad, E., Fischer, W. R. 1988. The geobiochemical cycle of iron. P. 1–18. In J. W. Stucki et al. (ed.) *Iron in soils and clay minerals*. Seidel, Dordrecht, the Netherlands

- Němeček, J., Mühlhanslová, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, 2. vydání, ČZU Praha, 93 s., ISBN 978-80-213-2155-7.
- 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* Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA.
- Penížek, V. 2005. *Digitální mapování půd s využitím modelu reliéfu*, Praha, Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a geologie
- Qin, C.Z., Zhu, A.X., Pei, T., Li, B.L., Scholten, T., Behrens, T., Zhou, C.H. 2011. An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture* 12, 32–43
- Ritchie, G. S. P. 1989. The chemical behaviour of aluminium, hydrogen, and manganese in acid soils. In *Soil acidity and plant growth*. Acad. Press, Australia.
- Rohošková, M., Valla, M. 2004. Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review. *Plant Soil Environ.*, 50: 379 – 382.
- Romano, N., Palladino, M. 2002. Prediction of soil water retention using soil physical data and terrain attributes, *Journal of Hydrology* (265): 56 – 75
- Schwertmann, U., Taylor, R. M. 1989. Iron oxides. P. 379-438. In J. B. Dixon and S. B. Weed (ed.) *Minerale in soil environments*. SSSA, Madison, WI.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1042– 1049.
- Šamonil, P., Tejnecký, V., Borůvka, L., Šebková, B., Janík, D., Šebek, O. 2010. The role of tree uprooting in Cambisol development. *Geoderma* 159, 83 – 98.
- Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. 2002. *Kvalita a degradace půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR 246 s., ISBN 80-244-0584-9.
- Šimanský V., Bajčan D., Ducsay L. 2013. The effect of organic matter on aggregation under different soil management practices in a vineyard in an extremely humid year. *Catena* 101, 108-113
- Tisdall, J.M. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (Eds.), *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 57–96

- Tobiašová, E. 2011. The effect of organic matter on the structure of soils of different land uses. *Soil & Tillage Research* 114, 183-192.
- Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O., (2006). *Pedologické praktikum*. ČZU v Praze, druhé vydání, 151 s., ISBN 80-213-0914-8.
- Valla, M., Kozák, J., Ondráček, V. 2000. Vulnerability of aggregate separated from selected anthrosols developed on reclaimed dumpsites. *Plant Production* 46 (12): 563-568.
- Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2
- Vrba, V., Huleš, L. Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655
- Wilson, J. P., Gallant, J. C. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*, New York, John Wiley and Sons, Inc., 479 str.
- Yu H., Ding W., Luo J., Geng R., Cai Z. 2012. Long-term application of organic manure and mineral fertilizers on aggregation and aggregate-associated carbon in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 124, 170-177
- Zádorová, T., Jakšík, O., Kodešová, R., Penížek, V. 2011. Influence of Terrain Attributes and Soil Properties on Soil Aggregate Stability. *Soil & Water Res.*, 6: 111 - 119
- Zádorová, T., Penížek, V., Šefma, L., Rohošková, M., Borůvka, L. 2011. Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. *Catena*, Volume 85, Issue 1, Pages 22-33

9 Přílohy

Tab. 1 Naměřené hodnoty vybraných půdních vlastností na vybraném území

odběr	WSA [-]	KV1 [-]	KV2 [-]	KV3 [-]	pH _{H2O} [-]	pH _{KCl} [-]	C _{ox} [%]	θ _{mom} [%]	pórovitost [-]	ρ _d [g.cm ⁻³]	ρ _z [g.cm ⁻³]	Feo [mg/kg]	Mno [mg/kg]	Fed [mg/kg]	Mnd [mg/kg]	sklon [stupně]	celkové zakřivení [stupně]	vertikální zakřivení [stupně]	horizontální zakřivení [stupně]	lowSI [10 ⁻⁷ m ⁻³ kg ⁻¹]	highSI [10 ⁻⁷ m ⁻³ kg ⁻¹]
S012	0,421	9,422	1,447	3,850		2,544			0,774	8,250	7,607	625	161	5354	288	11,878	-0,174	0,021	0,196	21,34	20,54
S014	0,387	11,284	4,955	3,786		2,581			0,683	8,277	7,640	725	171	6043	334	12,399	0,275	-0,124	-0,398	20,87	19,65
S016	0,459	9,200	1,979	3,459		2,569			0,765	8,303	7,620	825	158	7019	307	10,588	0,400	0,113	-0,287	22,92	22,02
S018	0,496	8,426	1,848	3,254		2,531			1,095	8,170	7,523	1107	203	7320	359	8,961	0,375	0,212	-0,162	34,28	31,88
S082	0,195	14,828	4,235	6,064	42,230	2,557	1,581	0,382	1,017	8,100	7,545	924	201	5999	314	0,433	1,051	0,658	-0,392	27,59	27,25
S090	0,499	8,920	1,525	4,102	33,730	2,544	1,391	0,453	1,245	8,295	7,470	854	230	6819	347	7,012	-0,450	-0,264	0,186	37,00	33,32
S096	0,402	11,402	4,432	4,361	30,930	2,552	1,379	0,460	0,697	8,135	7,490	712	166	6487	308	11,718	-0,325	-0,253	0,072	22,00	19,46
S104	0,530	8,889	2,089	2,629	33,450	2,550	1,392	0,454	1,097	8,035	7,425	1237	244	7725	377	7,574	-0,200	-0,174	0,026	35,16	30,64
S164	0,361	10,735	4,108	3,482	28,500		1,418	0,415	0,608	8,215	7,565			5556	316	10,579	0,250	0,407	0,157	18,70	18,82
S168	0,530	9,882	3,202	3,377	33,730	2,539	1,496	0,411	0,998	8,185	7,530	874	198	7029	344	10,564	-0,375	-0,142	0,233	29,99	30,67
S174	0,671	4,989	1,256	2,896	28,030	2,538	1,339	0,473	1,033	8,200	7,490	1078	226	6579	347	6,777	-0,425	-0,045	0,380	30,58	28,81
S182	0,442	9,420	3,296	3,891	27,550	2,567	1,409	0,451	0,808	8,265	7,525	697	164	6036	317	9,320	0,125	0,015	-0,110	20,73	17,72
S246	0,363	11,756	1,624	4,420	28,880	2,392	1,402	0,414	0,579	8,230	7,535	620	148	7205	310	10,291	0,200	0,675	0,475	14,59	15,17
S252	0,577	6,903	2,691	3,170	30,830	2,548	1,374	0,461	1,214	8,330	7,535	933	216	5894	344	10,543	-0,425	-0,082	0,343	34,38	33,39
S260	0,532	7,797	3,259	3,587	31,750	2,534	1,456	0,426	0,818	8,055	7,475	792	181	6527	312	10,389	-0,799	-0,532	0,267	21,94	21,83
S328	0,366	11,516	4,490	3,077	29,980	2,554	1,454	0,431	0,747	8,285	7,565	915	159	5707	306	6,790	0,351	0,268	-0,083	20,76	18,35
S330	0,494	7,330	3,426	1,988	30,230	2,603	1,404	0,461	0,830	8,200	7,570	575	152	5077	306	5,799	0,775	0,696	-0,079	21,15	20,82
S338	0,647	7,508	2,503	2,844	33,350	2,515	1,352	0,462	1,535	8,140	7,370	1236	311	6740	420	8,421	-2,700	-1,847	0,853	54,34	50,41
S410	0,538	8,119	1,557	2,624	35,350	2,518	1,487	0,409	1,224	8,085	7,445	1300	277	7396	362	5,194	0,501	0,337	-0,164	45,77	42,92
S416	0,527	7,219	1,596	3,072	30,230	2,553	1,435	0,438	0,813	8,545	7,560	685	159	6498	278	7,783	0,125	0,027	-0,097	21,66	19,75
S424	0,531	7,248	2,612	2,427	34,730	2,517	1,416	0,438	1,253	8,130	7,360	1457	330	7796	392	6,224	-0,425	-0,673	-0,248	49,13	45,81
S438	0,450	9,316	1,635	3,208	33,300		1,434		1,079	8,315	7,505	977	231	5583	355	6,498	0,251	0,033	-0,218	37,89	36,21
S440	0,549	5,889	2,104	2,551	36,750	2,514	1,371	0,455	1,570	7,930	7,315	1594	351	8370	388	6,134	-0,251	-0,149	0,102	60,85	57,20
S482	0,358	12,877	2,808	3,916	41,050	2,573	1,578	0,387	0,800	8,445	7,540	1017	193	6746	315	4,861	-0,699	0,048	0,748	23,85	22,13
S484	0,373	10,174	2,879	3,276	31,400	2,583	1,315	0,491	0,694	8,270	7,530			7288	300	11,878	0,425	0,180	-0,245	18,35	16,98
S486	0,382	9,592	4,168	3,391	31,180	2,567	1,391	0,458	0,780	8,260	7,565	673	171	6935	311	8,875	0,526	-0,002	-0,528	19,80	20,37
S488	0,414	10,963	1,463	4,258	31,180	2,559	1,436	0,439	0,981	8,210	7,565			6117	348	5,994	-0,324	-0,383	-0,059	31,16	28,35
S490	0,519	7,668	1,794	2,620	33,280	2,550	1,420	0,443	1,344	8,230	7,445	1055	311	8466	386	5,101	0,326	0,068	-0,258	51,72	45,91
S492	0,520	9,268	2,780	2,940	35,430	2,539	1,341	0,472	1,193	8,105	7,465	1180	261	7230	352	4,959	-0,350	-0,180	0,170	40,05	35,93
S494	0,505	9,522	3,385	2,202	35,280	2,614	1,378	0,473	0,970	8,190	7,580	782	164	5293	337	5,124	0,074	0,078	0,004	26,86	22,78
S512	0,514	8,167	3,200	3,683	29,900	2,547	1,311	0,485	0,878	8,225	7,465	1171	188	7465	328	5,811	-0,299	-0,329	-0,029	23,80	22,35
S514	0,566	6,433	3,331	2,834	33,200	2,555	1,430	0,440	0,937	8,240	7,485	790	171	7248	350	5,966	-0,450	-0,202	0,248	25,51	23,80
S516	0,538	7,519	2,775	3,167	32,550	2,552	1,358	0,468	1,011	8,210	7,585	791	178	6879	335	6,022	-0,325	-0,332	-0,006	30,51	28,69
S588	0,495	8,369	1,817	2,443	35,950	2,489	1,426	0,427	1,893	7,865	6,825	1954	419	7968	471	4,142	-0,626	-0,518	0,108	70,47	62,53
S590	0,422	9,937	3,418	3,857	35,100	2,488	1,317	0,471	1,975	7,800	7,105	1925	407	7769	474	4,135	-0,624	-0,495	0,129	76,47	68,80
S592	0,636	6,172	2,113	3,018	36,650	2,521	1,438	0,430	1,675	7,815	7,115	1921	392	8554	468	4,564	0,050	-0,031	-0,081	67,26	61,07

