

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2017**

**BARBORA OUDOVÁ**



**Mapování heterogenity půdních podmínek v precizním  
zemědělství**  
Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

*Vypracovala:*  
Bc. et Bc. Barbora Oudová

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Mapování heterogenity půdních podmínek v precizním zemědělství*, vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 25.4.2017

.....  
Barbora Oudová

Děkuji Ing. Vojtěchu Lukasovi, Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky, praktické rady a zejména vstřícný přístup a flexibilitu při spolupráci na této diplomové práci.

Pro zpracování diplomové práce byly využity dílčí výsledky řešení výzkumného projektu NAZV QJ1610289 "Optimalizace využití produkčního potenciálu půdy lokálně cílenou agrotechnikou". Data z polních experimentů byla získána ve spolupráci se zemědělským podnikem Rostěnice a.s. Také jim patří mé poděkování.

## ABSTRAKT

Precizní zemědělství představuje agrotechnický přístup, který má za cíl optimalizovat vstupy do zemědělské produkce tak, aby bylo dosaženo vyrovnaných, kvalitativně i kvantitativně co nejlepších výnosů, za současné minimalizace finančních nákladů a zachování nebo zlepšení stavu životního prostředí. Základním předpokladem tohoto přístupu je znalost půdních podmínek na pozemcích používaných k zemědělské výrobě. Pro získání informací lze použít agronomické záznamy, mapy nebo výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd. Pro mapování heterogenity pozemků se využívají také nepřímé metody na principu senzorového měření či dálkového průzkumu Země. Nepřímé metody určování fyzikálně-chemických vlastností půdy jsou zpravidla uživatelsky snazší, levnější, rychlejší mají vyšší hustotu měřených bodů než vzorkování půd. Porovnání přímých a nepřímých metod ukázalo, že nepřímé metody poskytují podrobný obraz půdní variability. Interpretaci výsledků ale zkresluje celá řada faktorů, které plynou ze samotné podstaty půdní heterogenity.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** *Půdní heterogenita, precizní zemědělství, mapování půdních podmínek, senzorové metody*

## ABSTRACT

Precision agriculture is an agronomic approach that aims to optimize inputs into agricultural production to achieve balanced, qualitatively and quantitatively the best possible yields, while minimizing the financial costs and maintain or improve the environment. The basic premise of this approach is the knowledge of soil conditions of land used for agricultural production. This information can be found in agronomic records, soil maps or results of agrochemical testing. Indirect methods of soil heterogeneity mapping based on the principle of sensor measurements and remote sensing are also available. Indirect methods for determining the physical-chemical properties of soil are generally user-friendly, cheaper, faster, and have a higher density of measurement points than the sampling of soils. Comparison of direct and indirect methods showed that indirect methods provide a detailed picture of soil variability. However, interpretation of results is affected by many other factors, which are based in the principle of soil heterogeneity itself.

**KEY WORDS:** *Soil heterogeneity, precision agriculture, soil mapping, sensor methods*

# 1 OBSAH

2	Úvod .....	7
3	Literární přehled .....	9
3.1	Půdní heterogenita .....	9
3.1.1	Význam precizního zemědělství ve vztahu k půdní heterogenitě .....	11
3.1.2	Geostatistické metody charakterizující půdní heterogenitu.....	12
3.2	Mapování půdních podmínek .....	15
3.2.1	Mapy a historické záznamy .....	15
3.2.2	Půdní vzorkování, agrochemické zkoušení zemědělských půd.....	17
3.2.3	Senzorové metody (on-the-go systémy) .....	19
3.2.4	Dálkový průzkum Země .....	26
3.2.5	Mapování porostů a výnosů.....	27
4	Cíl práce.....	30
5	Materiál a metodika .....	31
5.1	Charakteristika zkoumaného pozemku .....	31
5.2	Přímé metody mapování půdní variability.....	36
5.2.1	Vzorkování a laboratorní analýza půdy.....	36
5.3	Nepřímé metody mapování půdní variability .....	38
5.3.1	Měření elektrické vodivosti .....	38
5.3.2	Stanovení výnosového potenciálu .....	40
5.4	Statistické zpracování výsledků.....	40
6	Výsledky a diskuze.....	42
6.1	Výsledky laboratorních analýz půdních vzorků .....	42
6.1.1	Hodnocení obsahu přístupného fosforu .....	43
6.1.2	Hodnocení obsahu přístupného draslíku .....	45
6.1.3	Hořčík .....	48
6.1.4	Vápník .....	50

6.1.5	Obsah oxidovatelného uhlíku (C <sub>ox</sub> ).....	53
6.1.6	pH.....	54
6.1.7	Kationtová výměnná kapacita .....	57
6.1.8	Bod vadnutí .....	59
6.1.9	Půdní zrnitost.....	61
6.2	Výsledky měření elektrické vodivosti půdy .....	63
6.3	Porovnání přímých a nepřímých metod.....	64
7	Závěr.....	70
8	Literatura .....	71
9	Seznam obrázků.....	82
10	Seznam tabulek.....	85
11	Přílohy .....	86

## 2 ÚVOD

Půda je neobnovitelným přírodním zdrojem a současně druhově nejbohatším ekosystémem na planetě Zemi. Spolu s oceány je dějištěm nejdůležitějších procesů biogeochemických cyklů, které umožňují existenci života v podobě, v jaké jej známe dnes.

Růst lidské populace v posledních stoletích a vysoká energetická náročnost životního stylu lidí klade stále vyšší nároky na využívání veškerých přírodních zdrojů. Tato intenzifikace nenechává životnímu prostředí dostatek času na jejich postupnou obnovu a v mnoha případech tak došlo k úplné devastaci krajiny s fatálními následky pro původní ekosystém. Ačkoliv intenzita růstu lidské populace se již 50 let snižuje a ve druhé polovině 21. století se očekává zastavení růstu a celkový pokles počtu lidí (Moldan, 2015), přírodní zdroje již nyní nestačí pokrývat lidské potřeby a současně zachovávat svou kvalitu. Světové zemědělské půdy nejsou schopny zabezpečit dostatek potravin a krmiv bez použití intenzifikačních postupů, zejména aplikace hnojiv.

Dilema, se kterým se v souvislosti s půdou potýkáme je tedy jasné. Na jedné straně je potřeba zabezpečit potřeby současné lidské generace, tedy produkovat dostatek potravin na limitovaných plochách zemědělské půdy. Na druhé straně stojí naše morální hodnoty a zodpovědnost za příští generace. V jakém stavu jim předáme štafetu? Bude v jejich silách napravit naše chyby?

Obezřetné zacházení s půdou je základní podmínkou pro udržitelný rozvoj. Jako přípustný kompromis se jeví precizní zemědělství, které reflektuje heterogenitu půdních podmínek a na základě dostupných znalostí provádí veškeré zásahy v optimálním čase a s potřebnou ale nikoliv nadbytečnou intenzitou. Takovým způsobem je možné omezit spotřebu průmyslově vyráběných hnojiv, která mají negativní vliv na zdraví půdy a jejich výroba je energeticky náročná. Přesnou aplikací pesticidů je možné minimalizovat kontaminaci půdy. Omezením aplikace těchto látek lze předcházet také zhutnění půdy, primárně způsobenému přejezdy těžkou zemědělskou technikou, které je důsledkem zhoršených fyzikálních a strukturálních vlastností půdy kvůli nízkému obsahu organické hmoty. V neposlední řadě, omezování materiálních vstupů do rostlinné produkce vede k finanční úspoře zemědělských podniků a optimalizaci výnosů polních plodin.

V současnosti je k dispozici celá řada možností, jak získat informace o heterogenitě půdních podmínek na pozemcích určených pro zemědělskou výrobu. Máme k dispozici histo-



rické záznamy, mapy a v Česku také výsledky pravidelně prováděného agrochemického zkoušení zemědělských půd. Pro tvorbu podkladových a aplikačních map lze získat data pomocí senzorových metod nebo dálkového průzkumu Země. Další možností je mapování porostů a výnosů. Řadu těchto měření lze provádět souběžně s běžnými agrotechnickými zásahy, jednoduše instalací těchto přístrojů za zemědělské stroje.

Nepřímé metody určování fyzikálně-chemických vlastností půdy jsou zpravidla uživatelsky snazší, levnější, rychlejší mají vyšší hustotu měřených bodů než vzorkování půd. Jedná se ale o odhad parametrů půdy na základě zpravidla fyzikálních vlastností, který nemusí vždy odpovídat skutečnosti. Jaká je kvalita takto získaných dat? Tato práce si klade za cíl zjistit, jaké přednosti a nedostatky vykazují přímé a nepřímé metody mapování půdní heterogenity při vzájemném porovnání.

## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1 Půdní heterogenita

Rostoucí zájem o optimalizaci agrotechnických zásahů ve 20. a 21. století je přirozeným vyústěním vědecko – technického rozvoje v kontextu ekonomických a ekologických zájmů společnosti.

Haber-Boschova syntéza amoniaku z atmosférického dusíku odstartovala výrobu umělých dusíkatých hnojiv v téměř neomezeném množství. Těžba fosforitů a apatitů k výrobě fosforečných hnojiv a těžba draselných solí zpřístupňuje lidem další důležité živiny. Výroba pesticidů usnadnila boj s přirozenými pleveli a škůdci a umožnila pěstování monokultur. Rozvoj agrochemického průmyslu má ale fatální dopady na životní prostředí. Vysoká spotřeba vody, fosilních paliv, produkce skleníkových plynů a postupné vyčerpávání nerostných surovin, ale také uvolňování těžkých kovů a syntetických látek do životního prostředí, to je účet za intenzifikaci zemědělské výroby.

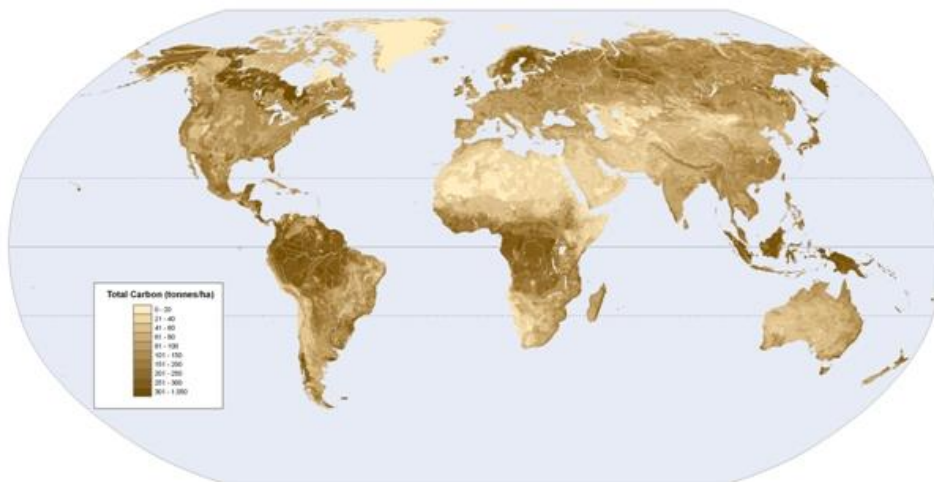
Studium půdní heterogenity a její reflektování při agronomickém rozhodování může tyto dopady výrazně omezit. Přesná aplikace přípravků dle potřeby vede k omezení nadužívání těchto látek, optimalizaci výnosů a také k finanční úspoře zemědělských podniků.

*Půdní heterogenita* označována někdy také jako *půdní variabilita* je pojem, který vyjadřuje nestejnorodost půdy jako celku. Tato vlastnost je zapříčiněna vzájemným působením půdotvorných faktorů (Zimdahl, 2015):

- podnebí – zejména sezónní a denní změny teplot, dešťové srážky, vlhkost vzduchu, vítr (eroze), aj.,
- biologické faktory – vegetace (kořeny), mikroorganismy, zvířata i lidská činnost mají vliv na pedogenezi,
- orientace v krajině, topografie a sklon pozemku,
- matečná hornina
- čas, tvorba půdy je permanentní, plynulý proces

Působení těchto faktorů se projevuje horizontální i vertikální heterogenitou na globální, regionální i místní úrovni, při detailním rozboru (např. metagenomická analýza) zjišťujeme půdní heterogenitu na mikroskopické úrovni.

Například na obrázku níže je mapa rozložení organického uhlíku ve světových půdách, tedy globální heterogenita.



Obr. 1 Zásoby organického uhlíku ve světových půdách (Scharlemann et al. 2009)

Heterogenita půdních podmínek v rámci jednoho pozemku je viditelná i pouhým okem.



Obr. 2 Pole v k.ú. Morkůvky (Google earth, dostupné online dne 20.2.2017)

Výnosová heterogenita, tedy nerovnoměrnost výnosu porostů polních plodin úzce souvisí s půdní heterogenitou (Hutchings, John a Wijesinghe, 2003), protože půdní prostředí, zejména zásobení vodou a živinami v rostlinám dostupné formě a půdní struktura jsou pro růst rostlin a tvorbu výnosu zásadním předpokladem. Gebbers and Adamchuk (2010) popisují heterogenitu porostu, a to prostorovou a časovou. Prostorová heterogenita je dána vlastnostmi půdy, výskytem škůdců a plevelů. Časová heterogenita je ovlivněna působením faktorů, které se mění v průběhu času, např. počasí, agrotechnické zásahy, dostupnost živin, vody, a chorob.

### 3.1.1 Význam precizního zemědělství ve vztahu k půdní heterogenitě

Precizní zemědělství je způsob hospodaření na orné půdě využívající dostupné moderní technologie za účelem optimalizace vstupů a současné maximalizace výnosu. Na základě zmapování heterogenity půdních podmínek se upravují plánované pěstební zásahy tak, aby byly reflektovány lokální odlišnosti pozemků, výsledný porost byl co nejvíce vyrovnaný, a přitom nedocházelo k nadužívání hnojiv a chemických preparátů. Tento přístup přináší úsporu na materiálních vstupech a minimalizuje znečišťování životního prostředí (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer, 2004).

Optimalizace aplikace dusíkatých hnojiv je ekonomicky výhodná, současně ale vede i k omezení emisí N<sub>2</sub>O, skleníkového plynu, který má GWP (global warming potencial) 265-298 v porovnání s CO<sub>2</sub> (EPA, 2017), což je nejvíce ze zemědělsky produkovaných skleníkových plynů. Ravishankara et al. (2009) považují N<sub>2</sub>O za největší hrozbu pro stratosférický ozon ve 21. století, protože na rozdíl od freonů, N<sub>2</sub>O není regulován Montrealským protokolem a jeho emise stále rostou. Masivní omezení produkce N<sub>2</sub>O by tedy mělo být prioritou. Nejúčinnější způsob je dle Benbiho (2013) omezení a optimalizace použití hnojiv, zařazení meziplodin do osevního plánu a uvážené použití orby, která způsobuje emise CO<sub>2</sub>, ale bezorebný systém na špatně odvodněných půdách může vést k vyšší denitrifikaci, a tedy zvýšeným emisím N<sub>2</sub>O.

Tab. 1 Roční spotřeba živin a množství aplikovaných hnojiv (Baligar et al., 2001)

	Afrika	S. Amerika	J. Amerika	Asie	Evropa	Oceánie	Svět
<b>Spotřeba živin [Mt]</b>							
<b>N</b>	2,13	12,62	2,42	44,87	14,47	0,81	78,74
<b>P</b>	0,43	2,06	0,94	7,16	2,15	0,55	13,55
<b>K</b>	0,38	4,33	1,67	5,73	4,85	0,3	17,52
<b>Aplikace N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O [kg. ha<sup>-1</sup>]</b>							
	19	92	66	129	134	44	85

Liska a Perrin, 2011 uvádí, že porosty kukuřice v USA využijí pouze 37 % aplikovaného dusíku. Baligar et al. (2001) odhaduje využití aplikovaných hnojiv rostlinami na <50 % u dusíku, 10 % fosforu a 40 % u draslíku. Zvýšení využitelnosti těchto živin je předmětem současného výzkumu. Jako řešení se jeví například využití bio-inokulantů, tedy mikroorganismů, které enzymaticky zpřístupňují živiny, např. rozpouští anorganický fosfor (Sharma et al., 2013).

Smil (2001) uvádí tato opatření pro efektivní využití N hnojiv:

- pravidelné testování půdy k určení zásoby půdních živin
- aplikace hnojiv ve správném čase, pokud je to možné do blízkosti kořenů, aby mohlo být hnojivo využito, ale ne příliš blízko aby nepoškodilo rostlinu,
- střídání plodin a zařazení leguminóz do osevního plánu
- omezení orby
- optimalizace závlahy (aby nedocházelo k vyplavování živin)

### **3.1.2 Geostatistické metody charakterizující půdní heterogenitu**

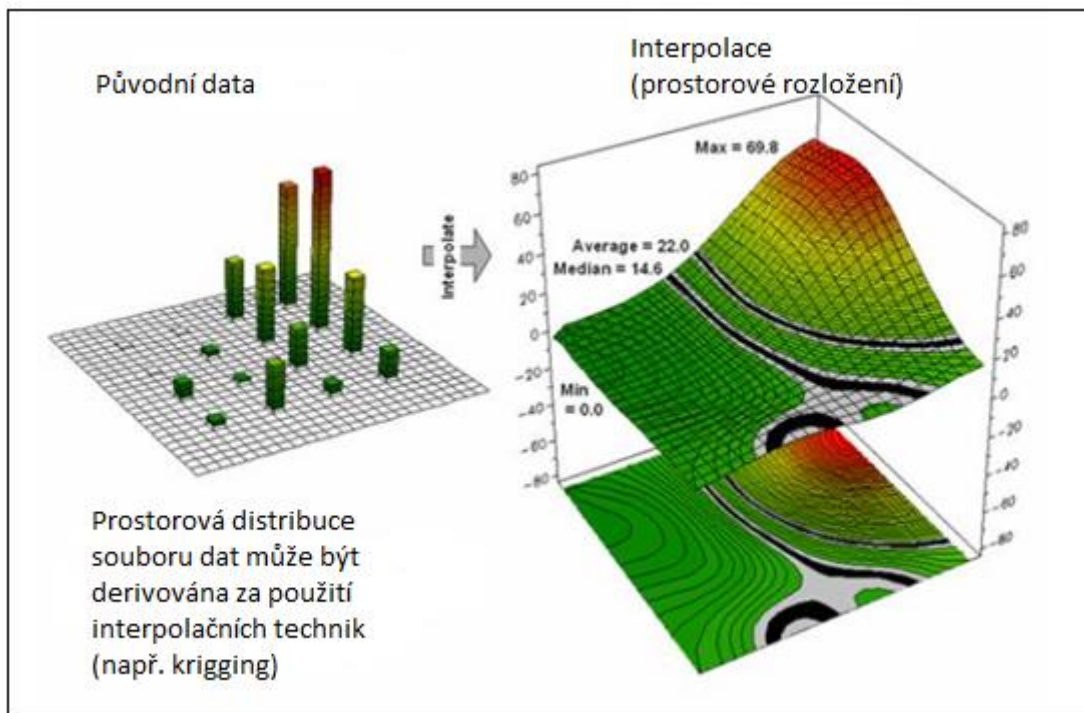
Půdní heterogenita se kvantitativně vyjadřuje jako prostorová nebo časově-prostorová závislost pomocí geostatistických metod. Mezi proměnné, které mohou být v tomto kontextu hodnoceny patří např. hloubka a mocnost geologického profilu, půdní vlastnosti, koncentrace dostupných živin, polutantů, klimatické vlastnosti a.j.

Geostatistika, kterou definoval George Matheron v roce 1962 je založená na metodologii která kvantifikuje statistickou chybu prostorového rozložení proměnných (Chiles et Delfiner 2014). Goovaerts (1999) uvádí, že geostatistika disponuje sadou statistických nástrojů pro začlenění prostorových a časových souřadnic pozorovaných proměnných do zpracování dat. Hengl (2009) definuje geostatistiku jako odvětví statistiky, které se specializuje na analýzu a interpretaci jakýchkoliv prostorově a časově referovaných dat, se zaměřením na inherentně kontinuální vlastnosti.

Existuje celá řada geostatistických algoritmů, které vyžadují různou míru statistické analýzy či odborných znalostí a jejich výběr a aplikace se odvíjí od specifických potřeb jednotlivých studií. Základním geostatistickým modelem je Kriging.

#### *3.1.2.1 Kriging*

Hlavním problémem, se kterým se geostatistika potýká, je prostorová interpolace, tedy odhad vývoje proměnné v prostoru, resp. prostoru a čase, na základě hodnot pozorovaných na limitovaném množství bodů.



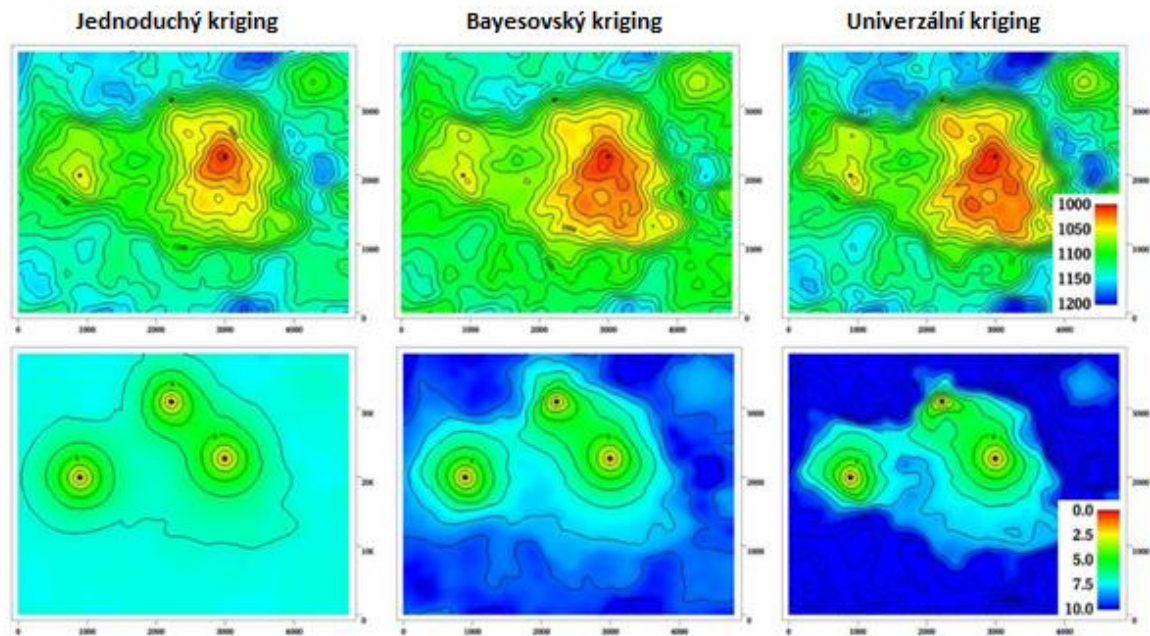
obr. 3 Prostorová interpolace (Innovativegis.com, 2017)

Kriging je interpolační technika, kterou rozvinul a upravil pro potřeby geostatistiky francouzský matematik George Matheron v roce 1963 a pojmenoval ji po Danie Kriegovi, jihoafrickém statistikovi a důlním inženýrovi který se zabýval geostatistikou a prostorovými interpolacemi a jako první tuto techniku publikoval v roce 1951 (Hengl 2009). Jednotlivým proměnným se známou hodnotou je přiřazována váha, na základě které je odhadována hodnota proměnné v místě bodu zájmu. Takto je vyjádřena korelace předpovídané a známé proměnné, viz rovnice:

$$Z(u) = \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i Z(u_i)$$

kde  $Z(u)$  je hodnota proměnné v bodu zájmu,  $\lambda$  je váha pozorované hodnoty a  $Z(u_i)$  je hodnota pozorované proměnné.

Kriging existuje v současnosti v celé řadě variant, které mají různé nároky na vstupní data, a různé využití.



obr. 4 Porovnání tří druhů krigingu (Vazques et al. 2009)

#### Základní druhy krigingu podle Chilese a Delfinera (2014)

- *jednoduchý kriging (simple kriging)*, využívá pro určení váhy predikce kovarianci a předpokládá známý stacionární průměr  $E\{Z(x)\} = m$ , kde  $m$  je známé. Tato metoda je velmi účinná, protože již známý průměr sám o sobě představuje velmi cennou informaci. Ve většině praktických situací se se známým průměrem nesetkáme, pokud nejde o opakující se časově-prostorové procesy.
- *běžný kriging (ordinary kriging)* využívá pro určení váhy predikce variogram. Průměr v tomto případě není známý, ale je konstantní,  $m(x)=m$ .

G. Matheron obohatil tuto metodu o semivariaci, tedy vyjádření rozdílu mezi sousedními hodnotami.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[(z(s_i) - z(s_i + h))^2]$$

kde  $z(s_i)$  je hodnota cílové proměnné v bodě měření (vzorkování) a  $z(s_i+h)$  je hodnota sousední proměnné ve vzdálenosti  $s_i+h$ . Při  $n$  počtu pozorování získáme  $n \times (n - 1)/2$  dvojic pro které je semivariance počítána.

Princip prostorové autokorelace vychází z předpokladu, že semivariance je menší při kratších vzdálenostech mezi body zájmu, a tedy body které jsou si bližší mají vyšší podobnost svých charakteristik než body vzdálenější.

- *univerzální kriging (universal kriging)* předpokládá obecný polynomický model trendu. Průměr je dán vztahem

$$m(x) = \sum_{\ell=0}^L a_{\ell} f^{\ell}(x)$$

kde  $f^{\ell}(x)$  jsou známé základy funkce a  $a_{\ell}$  jsou neznámé, nicméně fixní koeficienty.

## 3.2 Mapování půdních podmínek

Pro potřeby zemědělské produkce se v rámci mapování variability půdních podmínek soustředíme zejména na parametry důležité pro agronomické rozhodování, tedy vlhkost půdy, obsah jílu, obsah organické hmoty, dostupnost živin, pH a objemovou hmotnost (Gebbers and Adamchuk, 2010).

### 3.2.1 Mapy a historické záznamy

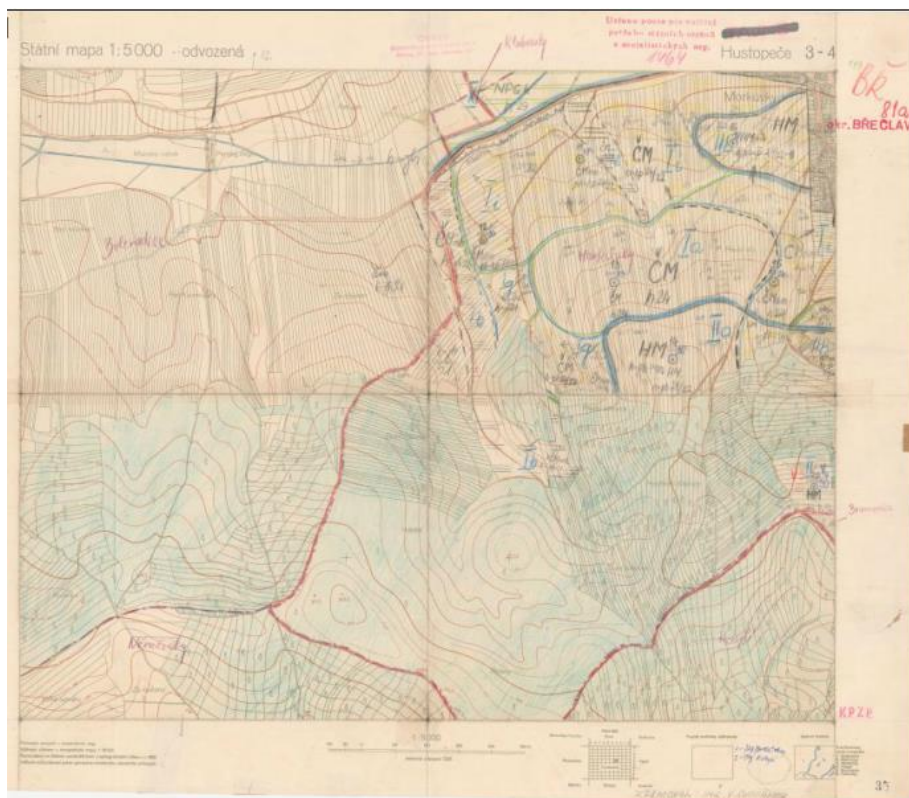
Základním zdrojem informací o půdních vlastnostech pozemků jsou půdní mapy a informace o užívání pozemků získané např. z agronomických záznamů hospodařících podniků.

V roce 1961 byl zahájen projekt *Komplexního průzkumu půd*. V průběhu následujících deseti let, bylo provedeno přes 2 mil. rozborů půdních vzorků pocházejících ze 700tis. půdních sond. Výstupem tohoto průzkumu byly následující dokumenty (Vlček, 2017):

- průvodní zprávy
- půdní mapy
- kartogramy zrnitosti, skeletovitosti a zamokření
- kartogramy návrhů opatření ke zvýšení půdní úrodnosti

Tyto mapy je možné použít jako podklad a zdroj základních informací, nicméně orientace v nich není snadná a je třeba mít na paměti, že některé parametry se mohly výrazně změnit. Výhodou může být používání místních názvů pro jednotlivé pozemky, které se v praxi stále běžně používají.





obr. 5 Půdní mapa z roku 1963, k.ú. Morkůvky (Vlček, 2017)

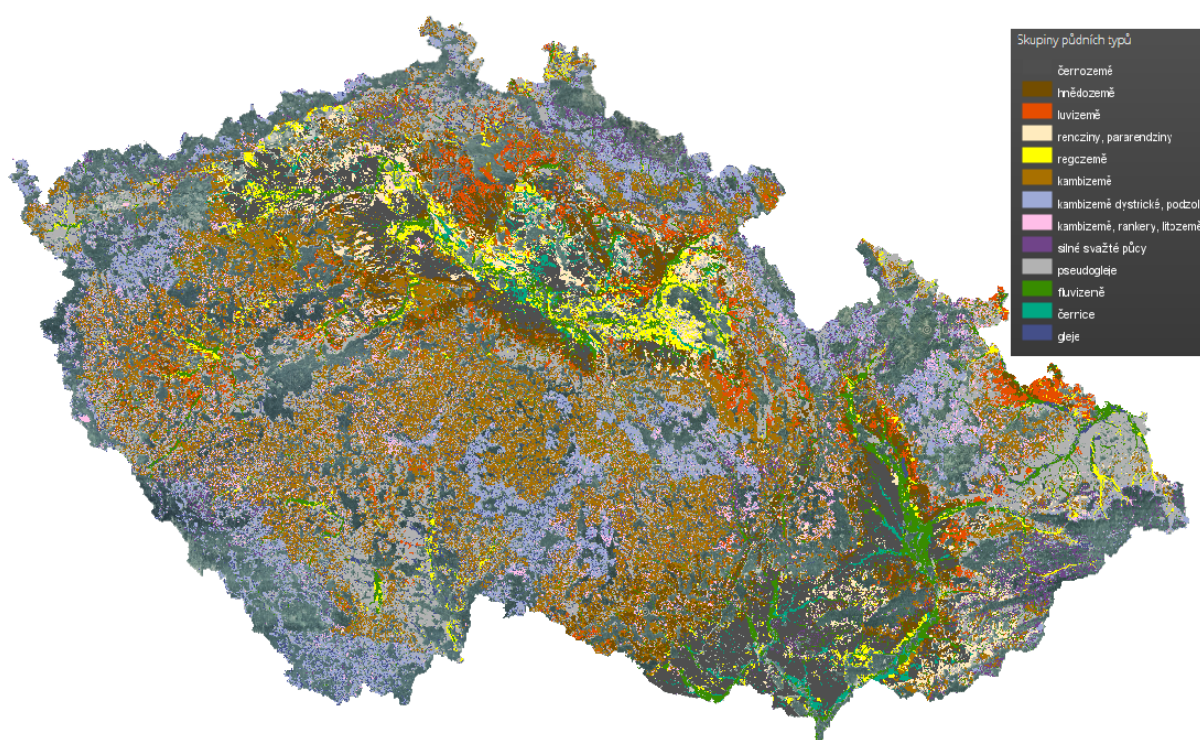
### 3.2.1.1 BPEJ mapy

Na základě *Komplexního průzkumu půd*, prováděného v šedesátých letech 20. století byl vypracován systém hodnocení zemědělských půd, tzv. *Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ)*. Pětimístný kód BPEJ charakterizuje klimatický region, hlavní půdní jednotku, skeletovitost a hloubku půdy a sklonitost a expozici pozemku (Novotný a Vopravil 2013).



Obr. 6 BPEJ kód (Novotný a Vopravil 2013)

Tento systém je soustavně aktualizován a zpřesňován tak, aby reflektoval změny, např. degradaci v důsledku eroze, a současně vyhovoval použití v GIS. Data z BPEJ slouží jako podklad pro oceňování půdy, výplatu některých kategorií dotací (LFA), vymezení oblastí vyžadujících speciální management (ohrožené oblasti) apod. Mapy BPEJ jsou v současné době k dispozici v LPIS.



Obr. 7 Půdní typy v Česku (VUMOP, 2017)

### 3.2.2 Půdní vzorkování, agrochemické zkoušení zemědělských půd

*Půdní vzorkování* spočívá v odběru a rozboru vzorků půdy z pozemků. Na základě získaných výsledků se stanovují vlastnosti celého pozemku. Pro získání odhadu co nejvíce podobného realitě je zásadní dostatečná hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů na pozemku. S ohledem na průměrnou hustotu nákladů, variabilitu pozemku a reprezentativnost odebraných vzorků se hustota vzorkování pohybuje kolem jednoho vzorku na 1-5 ha. Rozmístění odběrových míst může být pravidelné nebo náhodné, pokud ale očekáváme variabilitu na základě topografie pozemku, předchozího vzorkování, výnosových map apod., můžeme zvolit cílené vzorkování (Lukas, Neudert a Křen, 2011).

*Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP)* se v České republice provádí soustavně od roku 1961. Původně se rozборы prováděly v pětiletých odběrových cyklech, od roku 1980 ve tříletých cyklech a od roku 1992 dále v šestiletých cyklech.

AZZP v současné době provádí ÚKZÚZ, a to na všech pozemcích zemědělského půdního fondu. Standardně se v odebraných vzorcích stanovuje výměnná půdní reakce, obsah uhlíků a obsah přístupných živin.

Tab. 2 *Agrochemické zkoušení zemědělských půd v ČR (Klement et al., 2012)*

Období	Délka cyklu	Kontrolované kultury	Analyzované parametry	Hodnocení zásoby (obsahu)
1961 - 1965	5	zemědělská půda	pH, potřeba vápnění, P, K	M, S, D
1966 - 1970	5	OP, TTP	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 20%	M, S, D
1971 - 1975	5	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 50%	M, S, D
1976 - 1980	5	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 50%	VM, M, S, D, V
1981 - 1983	3	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 50%	VM, M, S, D, V
1984 - 1986	3	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 50% 1986-1991 pozemky >10 ha obsah SP - Cu, Zn, Mn, B, Mo	VM, M, S, D, V
1987 - 1989	3	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg 50% 1986 - 1991 pozemky >10 ha obsah SP - Cu, Zn, Mn, B, Mo	VM, M, S, D, V
1990 - 1992	3	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg, Ca, TK - Cd, Pb, Cr, Hg, Cu, Zn, Ni, Be, Co ø100 ha	VM, M, S, D, V
1993 - 1998	6	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg, Ca + KVK TK - zahušřování u kontaminovaných pozemků	VN, N, VYH, D, V, WV
1999 - 2010	6	OP, TTP, vinice, sady, chmelnice	pH, potřeba vápnění, P, K, Mg, Ca + KVK TK - zahušřování na kontaminovaných pozemcích a sledování u ekologicky hospodařících zemědělců	N, VYH, D, V, WV

Výsledky AZZP jsou k dispozici Ministerstvu zemědělství ČR a orgánům státní správy. Zemědělským podnikatelům a majitelům půdy jsou zpřístupněny výsledky týkající se jejich půdy, a to za správné poplatky podle zvláštního předpisu (Klement et al., 2012).

Podle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech v aktuálním znění, mají podniky povinnost vést evidenci o hnojivech, statkových hnojivech a pomocných látkách použitých na zemědělské půdě a lesních pozemcích a tuto evidenci uchovávat nejméně 7 let. Podniky tak mají k dispozici evidenci pěstovaných plodin a prováděných agrotechnických zásahů, ze které mohou čerpat

informace pro další rozhodování. Pro potřeby vedení agronomických záznamů je na trhu k dispozici celá škála specializovaných počítačových programů, využít se dají také dostupné aplikace na Portálu Farmáře, provozovaném Ministerstvem zemědělství.

### 3.2.3 Senzorové metody (on-the-go systémy)

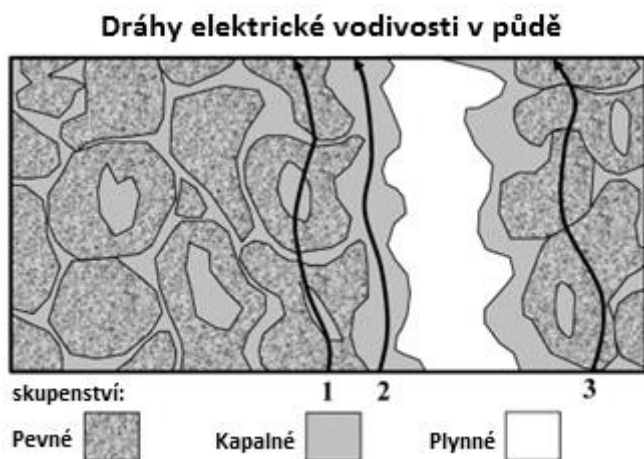
Senzorové metody se používají k odhadu variability pozemku na základě nepřímých kvalitativních parametrů. Jejich výhodou je vysoká hustota měření a relativně nízké náklady. Nevýhodou oproti laboratorním rozborům je nižší přesnost výsledků (Lukas, Neudert a Křen, 2011).

Adamchuk et al. (2004) rozděluje on-the-go systémy podle metody měření na:

- elektrické a elektromagnetické senzory
- optické a radiometrické senzory
- mechanické senzory
- akustické senzory
- pneumatické senzory
- elektrochemické senzory

#### 3.2.3.1 Elektrické a elektromagnetické senzory

Tyto senzory fungují na principu měření elektrické vodivosti nebo elektrického odporu půdy. Elektrická vodivost půdy je ovlivněna obsahem solí, saturací, obsahem vody a objemovou hmotností a teplotou. Tyto parametry jsou přímo ovlivněny obsahem jílu a organické hmoty. Rhoades et al. (1989) uvádí tři dráhy elektrické vodivosti v půdě, a to dráhu kapalně fáze, dráhu kapalně a pevně fáze, a dráhu pevně fáze (viz obr. 8).



Obr. 8 Dráhy elektrické vodivosti půdy (Corwin a Lesch, 2005, podle Rhoades 1989)

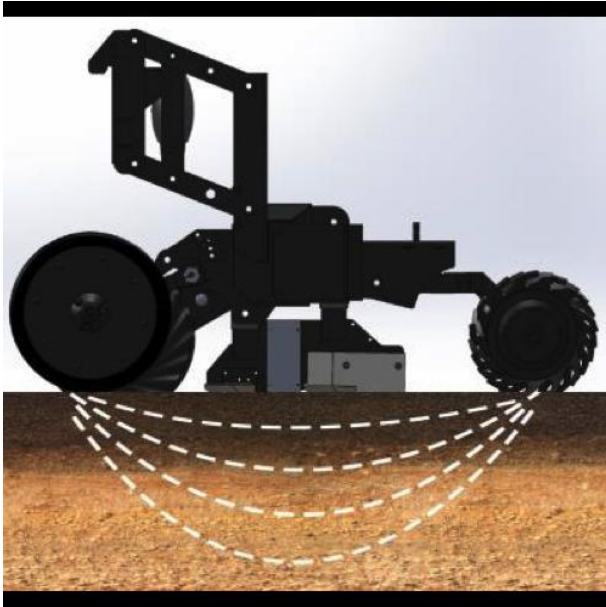
Existují kontaktní přístroje využívající principu měření elektrického odporu (rezistivity), které rozrušují povrch půdy. Mají vysílací a přijímací elektrodu nejčastěji ve tvaru disků a vzdálenost mezi nimi určuje efektivní měrnou hloubku. Takto se dá za použití více párů elektrod měřit vodivost ve více hloubkách současně.

Další možností jsou neinvazivní přístroje, které mají místo elektrod indukční cívky. Vzdálenost mezi cívkami opět určuje hloubku měření. Tyto přístroje je možné použít i při přítomnosti vegetace na pozemku.



Obr.9 Přístroj na měření elektromagnetické vodivosti, Geonics EM38 Mk2 (Gostomski, 2017)

Nejnovější zařízení fungující na principu elektrické vodivosti, např. Veris iScan (viz obr. 9), se dají instalovat přímo na secí stroj nebo stroje na úpravu půdy. Sběr tohoto typu dat by se časem mohl stát běžnou součástí zemědělské praxe (Bedord, 2017).



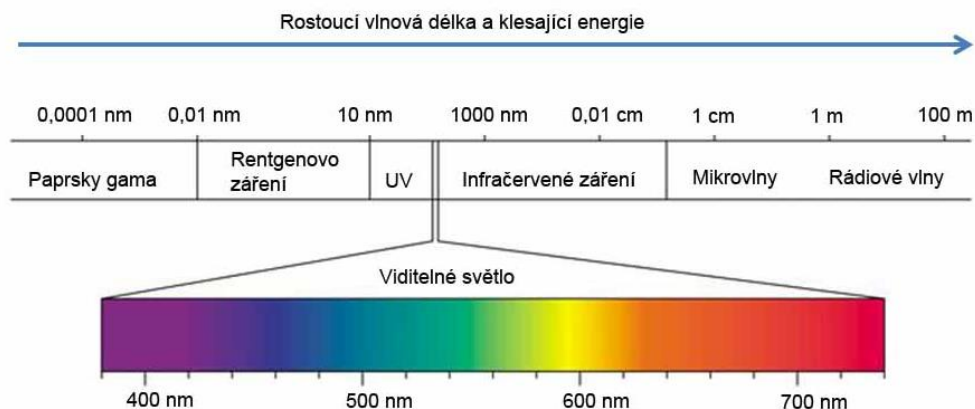
Obr. 9 Veris iScan (Bedord, 2017)

### 3.2.3.2 Optické a radiometrické senzory, spektroskopie

Tyto senzory měří odrazivost, absorpci nebo transmitanci půdy pro různé typy záření elektromagnetického spektra (NIR, viditelné světlo, rádiové vlny), která je ovlivněna vlhkostí, texturou, organickou hmotou, karbonáty a mineralogickým složením.

Nejdůležitějšími faktory ovlivňující albedo půdy a jejich projevy dle Pechance a kol. (2017):

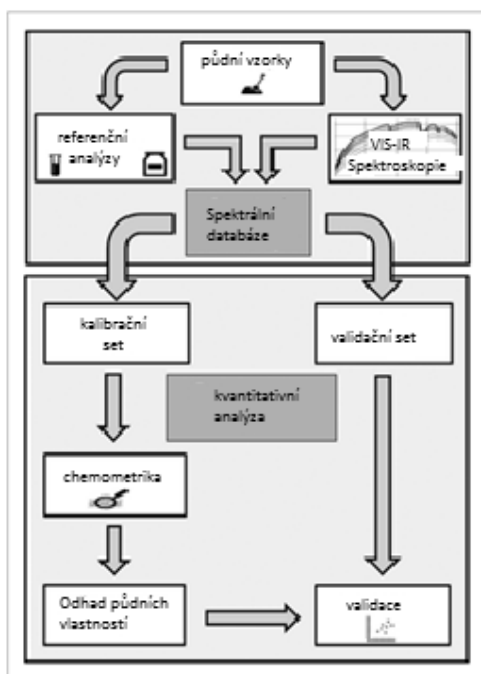
- organické látky, jejichž vyšší obsah snižuje albedo půdy,
- vlhkost, s vyšší vlhkostí klesá albedo půdy,
- textura, s vyšším obsahem větších částic narůstá albedo,
- drsnost povrchu, vyšší drsnost lehce snižuje albedo,
- minerální složení, v zásadě nemá velký vliv na albedo, ale vysoký obsah oxidů železa zvyšuje albedo. Specifický spektrální projev vykazuje také přítomnost jílových minerálů.



obr. 10 Elektromagnetické spektrum (Labguide.cz, 2017)

Naměřené hodnoty se porovnávají s databází referenčních vzorků, u kterých je známé jak složení, tak spektrální vlastnosti (Nocita et al., 2014). Referenční databáze jsou dostupné online, např. ICRAF-ISRIC referenční databáze obsahuje ke dni 13.3.2017, 4439 vzorků (Isric.org, 2017), které jsou měřené v rozmezí 350-2500 nm.

Při měření těmito senzory nedochází k narušení půdního profilu, jejich použití je poměrně levné a rychlé. Využívá se především při stanovení organické hmoty v půdě, přístroje využívající rentgenové záření detekují i celou řadu živin, těžkých kovů a dalších prvků.



obr. 11 (vlevo) Postup při vytváření spektrálních databází pro spektroskopické měření. (Nocita et al., 2014), obr. 12 (vpravo) Rentgenový spektrometr Lanscientific X3G 700K (Lanscientific, 2017)

### 3.2.3.3 Mechanické senzory

Mechanické senzory se používají na měření utužení půdy, ze kterého je možné stanovit vertikální zhutnění půdy. Zhutnění půdy vzniká v důsledku přejezdů těžkou zemědělskou technikou či nevhodnou orbou. Míra zhutnění je vhodným doplňkem charakteristiky pozemku, protože výrazně ovlivňuje kvalitu prostředí pro růst rostlin, a v případě vysoké míry zhutnění je na situaci třeba reagovat volbou vhodných agrotechnických zásahů.

Měření se provádí staticky, ručním penetrometrem (obr.13), případně za pohybu, kdy se měří tahový odpor půdy stroje pro zpracování půdy (Lukas, Neudert and Křen, 2011).

Alternativou k mechanickým sensorům jsou *akustické* a *pneumatické senzory*, které se také používají k měření mechanických a fyzikálních vlastností půdy. V praxi se s nimi ale setkáváme zřídka.



obr.13 Ruční penetrometr (Lukas, Neudert and Křen, 2011)

### 3.2.3.4 Elektrochemické senzory

Výše zmiňované senzory nám poskytují informace o prostorové variabilitě půdy a jejích mechanických a fyzikálních vlastnostech. Elektrochemické sensorové systémy doplňují charakteristiku pozemku o chemické vlastnosti, jako je pH nebo obsah dostupných živin, které přímo ovlivňují půdní úrodnost, a dále pak výskyt polutantů. Tyto metody nejsou v zemědělské praxi příliš rozšířené, ale běžně se používají ve výzkumu. Existují v laboratorních i mobilních variantách.



Do této kategorie spadá celá škála iontově selektivních elektrod, které slouží k potenciometrickému měření pH a celé škály analytů, např.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{S}^{2-}$  (Hanrahan, Patil a Wang, 2004).

Dle použité membrány je můžeme rozdělit na:

- elektrody s pevnou membránou, obvykle obsahující monokrystaly solí, ztuhlé taveniny nebo tablety z lisovaných solí
- elektrody s kapalnou membránou, z elektroaktivních sloučenin nebo pevných elektroaktivních materiálů rozpuštěných v organickém rozpouštědle.
- skleněné elektrody, používané pro měření pH

Výhodou těchto metod je možnost jejich použití *in situ*, přiměřená cena a uspokojivá přesnost. Zejména použití pH elektrody lze obecně doporučit. Stanovení obsahu živin vyžaduje speciální elektrodu pro každou z nich, proto je poměrně nepraktické. Pro účely stanovení obsahu polutantů se tyto elektrody používají běžně, protože v rámci jednotlivých lokalit lze odhadnout přítomnost konkrétních látek, a výzkum je obvykle cílený na jejich detekci. Spektroskopické laboratorní metody jsou ale pro jejich stanovení mnohem přesnější.



obr.14 Iontově selektivní elektroda k měření koncentrace draslíku, K-BTA (Vernier.com, 2017)

Iontově senzitivní transistory s efektem pole (ISFET sondy) fungují na stejném principu jako iontově selektivní elektrody, jsou ale rychlejší, mají menší rozměry, vyšší poměr signálu a šumu a mohou obsahovat několik sond na jednom čipu (Adamchuk et al., 2004). Některé z těchto přístrojů jsou kompatibilní s GPS a je s nimi tedy možné zaznamenávat polohu provedeného měření.

Problémem iontově selektivních systémů je, že detekují kromě cílených iontů i interferující izotopy. Je tedy třeba mít na paměti, že výsledky těchto měření jsou spíše orientační.



obr. 15 ISFET přístroj na měření pH FieldScout pH 400 (Specmeters.com, 2017)

#### 3.2.3.5 Kombinace senzorů

Zvláštní kategorii tvoří mobilní senzorové platformy, které využívají několik druhů senzorů a umožňují tak během jízdy po pozemku měřit řadu parametrů současně. Příkladem je Veris MSP3, který při pojezdové rychlosti  $6 \text{ km.h}^{-1}$  měří elektrickou vodivost, pH za pomoci pH elektrody a obsah organické hmoty optickým senzorem. Přesného měření elektrické vodivosti a organické hmoty, tedy bez pH lze dosáhnout i při rychlosti  $12 \text{ km.h}^{-1}$ . Ke zjištěným hodnotám Veris MSP3 okamžitě přiřazuje GPS souřadnice a vytváří tak mapu (Lyseng, 2011). V porovnání s jednotlivými senzory vykazala multisenzorová platforma o 50 % nižší průměrnou chybu při určování obsahu organické hmoty a jílu (Knadel et al. 2015).



Obr.16 Veris MSP3 (LeadingFarmers.cz 2017)

### 3.2.4 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země zahrnuje technologie, které určují vlastnosti povrchu půdy příp. jejího pokryvu na základě interakcí mezi elektromagnetickou radiací a půdou nebo porostem. Nejčastěji se měří krátkovlnná radiace odražená od povrchu Země, která je daná albedem, tedy mírou odrazivosti povrchu. Další možností je měření absorpce, fluorescence porostu a transmitance.

Dálkový průzkum Země je realizován satelitně, letecky nebo proximálně (viz. senzorové metody), pomocí ručních senzorů a senzorů instalovaných na zemědělských strojích (Mulla, 2013).

Satelitní snímkování se začalo provádět v sedmdesátých letech 20. století, kdy byla uvedena do provozu družice Landsat 1. V této době proběhly první studie pro praktické použití snímků. Při rozlišování mezi porostem kukuřice, sóji a jiného porostu bylo dosaženo přesnosti 83 % (Bauer a Cipra, 1973). Následovaly roky práce na vývoji systémů s vyšším rozlišením a rychlejší návratností snímků. V devadesátých letech 20. století už se dařilo určovat obsah organické hmoty pomocí snímků holé půdy (Mulla, 2013).

V současné době je při snímkování dosahováno rozlišení 50 cm, možnost opětovného návratu na stejné místo na Zemi několikrát denně a využití až 8 spektrálních pásem. Díky tomu je možné provádět vegetační analýzy, kontroly zdraví porostů či půdních vlastností.

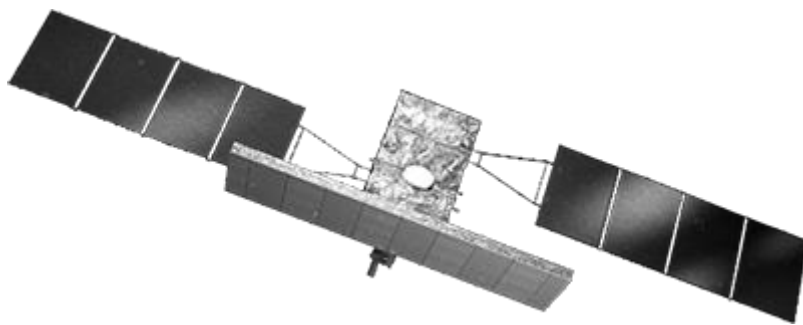
Družicová data můžeme rozdělit dle prostorového rozlišení na (ArcData, 2017):

- data nízkého rozlišení (1000-100 m) používaná v meteorologii, např. MODIS,
- data středního rozlišení (100-10 m) používaná k analýze vegetace a využití krajiny, např.: Landsat,
- data vysokého rozlišení (10-0,5 m) používaná v precizním zemědělství, např. družice SPOT, Formosat-2, Kompsat-2, Orbview-3, IKONOS,
- data velmi vysokého rozlišení (0,5m), používaná v precizním zemědělství, analýzám biomasy apod. Do této kategorie patří družice Geoeye-1, QuickBird, WorldView-2, Pléiades 1A a 1B.

Podle počtu a typu spektrálních pásem, ve kterých družice snímají, dělíme data na několik typů (ArcData, 2017):

- panchromatická, výsledkem je černobílý snímek,

- multispektrální, tedy data ze tří základních pásem viditelného záření (modré, zelené a červené), NIR a příp. dalších pásem,
- hyperspektrální data, která pochází z desítek až stovek úzkých spektrálních pásem. Ta poskytují velmi podrobné informace o albedu v jednotlivých vlnových délkách a to umožňuje určit materiál, od kterého se záření odrazilo. Data této kvality poskytují družice ASTER a Hyperion.
- Radarová data jsou pořízena v mikrovlnné části elektromagnetického spektra. Radarové senzory se od optických liší tím, že vysílají a zpětně zachycují vlastní pulzy. Mohou tedy snímat povrch Země i za špatné viditelnosti, vysoké oblačnosti či v noci. Zástupci z této kategorie jsou COSMO-SkyMed a Envisat, oba systémy jsou vhodné k použití v geologii, pedologii a při sledování vegetace. Radarová data pronikají několik centimetrů do půdy.



*Obr.17 Družice Sky-Med COSMO (Agilspace.com, 2017)*

Letecké snímkování se provádí pomocí letadel a dronů. Ke snímkování se používají multispektrální kamery s přesností několika cm, které fungují na stejném principu jako senzory družicového snímkování.

### **3.2.5 Mapování porostů a výnosů**

Za nepřímou metodu hodnocení heterogenity půdních podmínek lze považovat i hodnocení porostů. Variabilita porostů je dána půdními podmínkami a počasím, dále je ovlivněna agrotechnickými zásahy a výskytem plevelů, škůdců a chorob. Vliv těchto faktorů znemožňuje vztáhnout variabilitu porostu přímo k variabilitě půdy a je nutné je zohlednit při hodnocení výsledků.

Při mapování porostů se používají optické a radiometrické senzory, založené na albedu rostlin, tedy odrazivosti pro různé záření elektromagnetického spektra, podobně jako při mapování holé půdy. Tyto mohou být připevněny na zemědělské technice a přímo ovlivňovat aplikaci přípravků, např. Yara N-sensor pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv (Lukas et al. 2011).



*obr.18 Yara N-sensor (BAG 2017)*

Používají se i mobilní varianty, např. N-tester, který funguje na principu hodnocení obsahu chlorofylu na základě spektrální odrazivosti listů. Tyto přístroje je třeba kalibrovat pro měření druh rostlin a vegetační stádium. N-testery jsou praktickou pomůckou pro agronomy, běžně využívanou ke stanovení dávky hnojení.

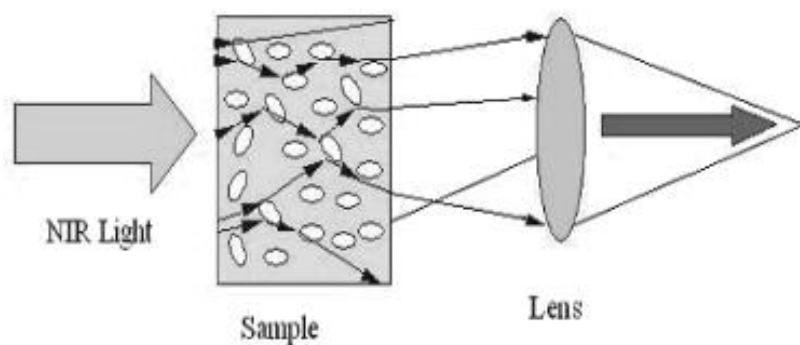


*obr.19 N-tester (Yara 2017)*

Stejně tak je možné využití dálkového průzkumu, který také využívá albedo porostů, viz předchozí kapitola.

Metoda, která je specifická pro stanovení variability porostu je měření výnosu při sklizni. Nové sklízecí mlátičky jsou standardně vybaveny výnosovými senzory zrna, které fungují na principu optického, mechanického, radiačního nebo kapacitního měření (Lukas, 2010). Nejnovější měřicí on-the-go moduly analyzují kvantitativní i kvalitativní parametry sklizeného

produktu. Např. HarvestLab<sup>TM</sup> senzor od společnosti John Deere provádí >4000 měření za sekundu, včetně obsahu bílkovin, škrobu, vlákniny a vlhkosti. Na základě těchto měření je možná průběžná optimalizace aplikace aditiv (např. při výrobě siláže). Společnost Next instruments nabízí CropScan 3000H, který za jízdy analyzuje vlhkost, obsah bílkovin a oleje v znu. Tento modul využívá NIR spektroskopii. Ke svým sklízecím mlátičkám ho nabízí např. společnost Case IH.



obr.20 NIR spektroskopická analýza zrna (Next instruments 2017)

Výstupem výnosových senzorů jsou výnosové mapy, které je možné dále analyzovat a usuzovat z nich na variabilitu půdy. Po přepočtu na výnosovou úroveň, a s ohledem na očekávaný výnos lze dále vypočítat normativní dávku živin pro precizní aplikaci hnojiv (Lukas et al. 2011).

## **4 CÍL PRÁCE**

Cílem práce je porovnat výsledky mapování půdní heterogenity na vybraném pozemku za pomoci nepřímých metod s výsledky půdního vzorkování. Na základě výsledků provést hodnocení přesnosti použitých metod a možnosti jejich použití pro účely precizního zemědělství.

## 5 MATERIÁL A METODIKA

### 5.1 Charakteristika zkoumaného pozemku

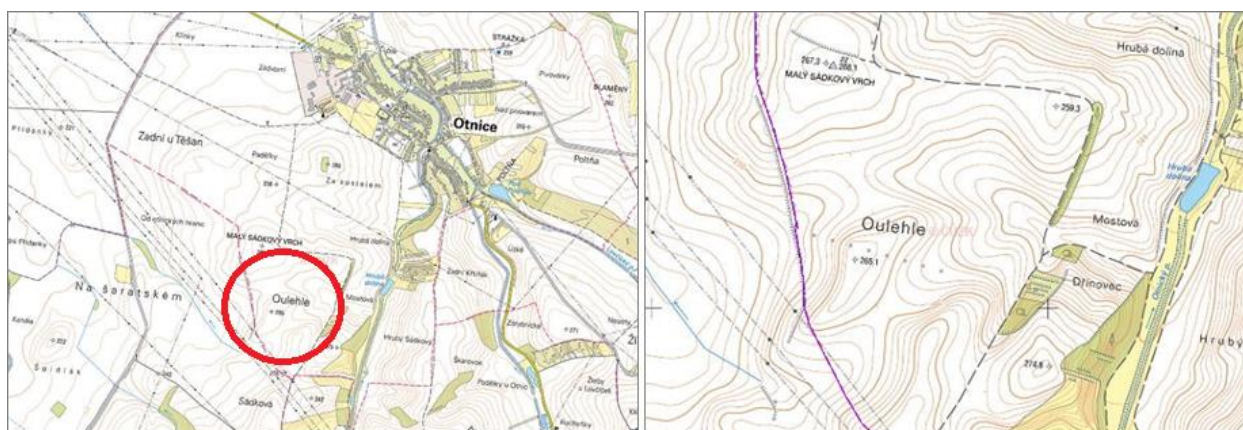
Výzkum probíhal na pozemku *Oulehle*, kterou užívá společnost ROSTĚNICE, a.s. Pozemek se nachází v k.ú. Otnice. Toto území je geomorfologicky součástí jihovýchodního výběžku pahorkatiny Ždánický les. Základní informace o pozemku jsou uvedeny v tabulce č.3.

Tab.3 Informace o pozemku *Oulehle* (online na *eagri.cz*, 30.3.2017)

Základní údaje								
Místní název	Oulehle							
Dílčí půdní blok	5601/4							
Katastrální území	Otnice							
Územní příslušnost	Vyškov							
Kultura	Standartní orná půda							
Režim EZ/PO	Konvenční hospodaření							
Uživatel	ROSTĚNICE, a.s.							
Průměrná nadmořská výška (m)	254,29							
Průměrná sklonitost (°)	4,51							
Expozice (°)	359,82							
Obvod (m)	2634,7							
Výměra (ha)	37,79							
Orientace na světové strany (%)								
V	SV	S	SZ	Z	JZ	J	JV	Rovina
12	11	8	6	7	11	22	20	3



Na obrázku č. 21 je znázorněna poloha pozemku Oulehle, jihozápadně od obce Otnice.



Obr.21 Oulehle (online na webu katastru nemovitostí, nahlizenidokn.cuzk.cz, 30.3.2017)

Půda na pozemku Oulehle dle informací dostupných z Veřejného registru půdy (eagri.cz) spadá do 5 různých kategorií *Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)*. Plošné zastoupení jednotlivých kategorií je uvedeno v tabulce č.4.

tab.4 Plošné zastoupení BPEJ na pozemku Oulehle (dostupné online na eagri.cz, 30.3.2017)

Kód BPEJ	Výměra (ha)
2.08.50	4,90
2.06.10	17,11
2.08.10	4,75
2.19.11	8,65
2.07.10	2,34

Z celkové výměry 37,79 ha je 4,56 ha mírně erozně ohroženo. Na této ploše je nutné dodržovat protierozní opatření a v případě pěstování širokořádkových plodin je třeba používat Půdoochranné technologie.

Charakteristika půdy byla definována na základě jednotlivých BPEJ (viz obr. 23) a jejich proložení s mapou půdních typů ČR (viz obr. 22). Při pohledu na obě mapy je zřejmá nesourodost v rozložení jednotlivých druhů půd. Přestože je půda heterogenní povahy, přehodnocení těchto záznamů by patrně bylo na místě.

- 2.08.50 spadá do klimatického regionu 2, který je teplý a mírně suchý, s průměrnou roční teplotou 8-9 °C a průměrným úhrnem srážek 500-600mm. Do stejného klimatického regionu patří všechny zmíněné BPEJ. Půda je klasifikována jako hluboká modální černozem, ornice je drobtová, bez skeletu nebo slabě skeletovitá. Náchylnost k utužení je slabá, náchylnost k acidifikaci slabá až střední. Silně náchylná je tato půda k erozi. Sklonitost této BPEJ je střední, expozice severní. Zrnitost je písčito-hlinitá až hlinitá, pH je neutrální.
- 2.06.10 označuje černozem pelickou, hlubokou, bezskeletovitou nebo slabě skeletovitou půdu, s drobtovitou strukturou a neutrálním pH. Zrnitost je těžká až velmi těžká (jílovito-hlinitá). Tato půda je středně náchylná k erozi a středně až výrazně náchylná k utužení. Náchylnost k acidifikaci je klasifikovaná jako slabá.
- 2.08.10 je v tomto případě černozem modální. Je to hluboká, bezskeletovitá až slabě skeletovitá, lehčí až středně těžká písčito-hlinitá půda. pH je neutrální, struktura drobtová. Tato půda je silně náchylná k erozi, slabě k utužení a slabě až středně k acidifikaci.
- 2.19.11 na části pozemku, která spadá pod tuto BPEJ je modální pararendzina. Je to půda hluboká až středně hluboká, bezskeletovitá až slabě skeletovitá, se slabě kyselým pH. Není náchylná k acidifikaci, ale střední náchylnost je zaznamenána k utužení a erozi. Ornice je drobtovitá, hlouběji zrnitá.
- 2.07.10 je černozem pelická, hluboká, těžká až velmi těžká, bezskeletovitá půda s neutrálním pH. Ornice je hrubě drobtová. Tato půda je náchylná k utužení, náchylnost k acidifikaci a erozi je slabá.

Na obrázku 22 je výsek z mapy půdních typů ČR. Modře ohraničené jsou hranice pozemku Oulehle, který leží částečně na černozemích a částečně na pararendzinách.



Z uvedených charakteristik je zřejmé, že pozemek Oulehle je vysoce heterogenní. Nevýraznější rozdíly jsou patrné v zrnitosti, která se pohybuje od písčito-hlinité po jílovou, a tedy od lehčí půdy po velmi těžkou. Nesourodost ve fyzikálních vlastnostech půdy na tomto pozemku má za následek také různou klasifikaci náchylnosti k utužení.

Heterogenita pozemku Oulehle je viditelná na následujících fotografiích.



Obr.24 Oulehle, holá půda (maps.google.com, 30.3.2017)



Obr.25 Oulehle, porost (eagri.cz, 30.3.2017)

## 5.2 Přímé metody mapování půdní variability

### 5.2.1 Vzorkování a laboratorní analýza půdy

Vzorkování půdy na pozemku Oulehle probíhalo na podzim 2016. Hustota odběru vzorků byla 2 vzorky na hektar. Celkově bylo odebráno 78 porušených vzorků. Rozložení odběrových míst, které bylo zvoleno na základě hodnocení podkladových map je znázorněno na obrázku č. 26.



obr.26 Schéma odběru vzorků na pozemku Oulehle

Odběr směsných porušených vzorků byl proveden pomocí vzorkovací soupravy Duo-prob 60 z hloubky 0-30 cm. Každý směsný vzorek sestával z 5 dílčích vzorků v okruhu asi 10 m od odběrového bodu. Odběrová místa byla lokalizována přístrojem DGPS Trimble Pathfinder ProXH se submetrovou přesností.

Při laboratorní analýze vzorků byly stanoveny následující vlastnosti:

- Výměnná půdní reakce činidlem  $\text{CaCl}_2$
- Obsah přístupného P, K, Mg a Ca dle metodiky Mehlich 3
- Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox)

- kationtová výměnná kapacita (octanem amonným)
- zrnitost půdy sedimentační metodou
- bod vadnutí

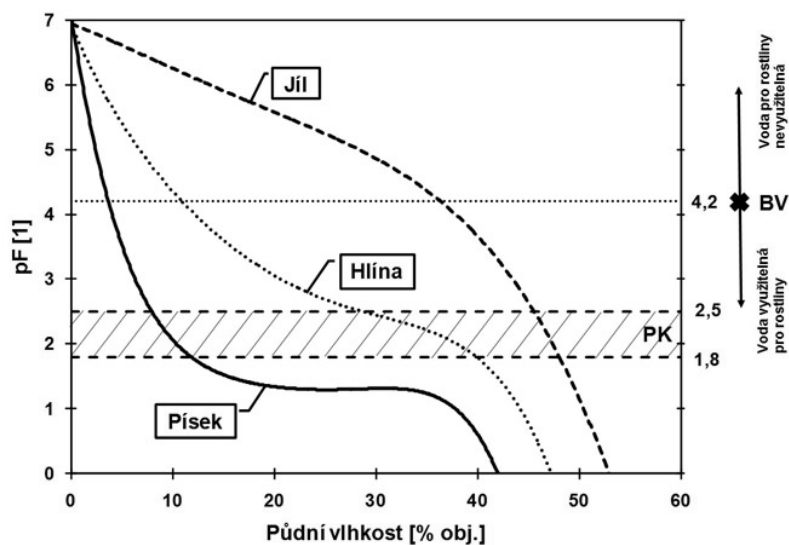
Stanovení výměnné půdní reakce bylo stanoveno ve výluhu 0,01M CaCl<sub>2</sub>, potenciometricky, za použití pH elektrody.

Stanovení přístupných živin bylo stanoveno podle Mehlicha 3. Přístupné živiny jsou živiny dostupné rostlinám. Tyto mohou být v půdním roztoku, v sorpčním půdním komplexu nebo vázané v jílových minerálech či organické hmotě. Půdní vzorky byly vyluhovány v extrakčním roztoku, který obsahoval

- 0,2 mol.l<sup>-1</sup> CH<sub>3</sub>COOH
- 0,015 mol.l<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>F
- 0,013 mol.l<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub>
- 0,25mol.l<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>
- a 0,001 mol.l<sup>-1</sup> EDTA

Stanovení fosforu z výluhu bylo provedeno spektrofotometricky při vlnové délce 690nm. Obsah vápníku a hořčíku a draslíku byl stanoven pomocí plamenové atomové absorpční spektrofotometrie.

Bod vadnutí představuje minimální mez fyziologicky dostupné vody v půdě. Tento se stanovuje při hodnotě sacího tlaku pF 4,18 a je ovlivněn zejména fyzikálními vlastnostmi půdy, viz obrázek 27. Stanovení bodu vadnutí bylo provedeno výpočtem z hodnoty vodního potenciálu, měřeného přístrojem WP4T water potential meter, firmy Decagon. Měření vodního potenciálu probíhalo za postupného vysoušení vzorků tak, že ve chvíli kdy vodní potenciál dosáhl hodnoty mezi pF 3,0-4,0, byla stanovena vlhkost vzorku. Podruhé byla vlhkost stanovena při pF v rozmezí 4,5-5,0. Získané výsledky byly použity v regresní rovnici k určení vlhkosti vzorku při hodnotě pF 4,18, která je udána v procentech a je považována za bod vadnutí.



Obr.27 Bod vadnutí (FRV 2017)

### 5.3 Nepřímé metody mapování půdní variability

K mapování půdní variability, byly vedle vzorkování půdy použity nepřímé metody. Výsledky všech metod byly vzájemně porovnány. Použité nepřímé metody jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab.5: Nepřímé metody mapování půdní variability na pozemku Oulehle

Nepřímé metody	
Metody	Použitá data
Měření elektrické vodivosti	Ukazatel fyzikálních vlastností půdy
Stanovení výnosového potenciálu	Procentuální vyjádření vegetačního indexu
Mapování výnosů	Reálné výnosy z let 2013-2015
Dálkový průzkum Země	Letecké snímky

#### 5.3.1 Měření elektrické vodivosti

Měření elektrické vodivosti půdy bylo provedeno za použití přístroje CMD-1 společnosti GF Instruments, který pracuje na principu elektromagnetické indukce. Stanovením vodivosti půdy

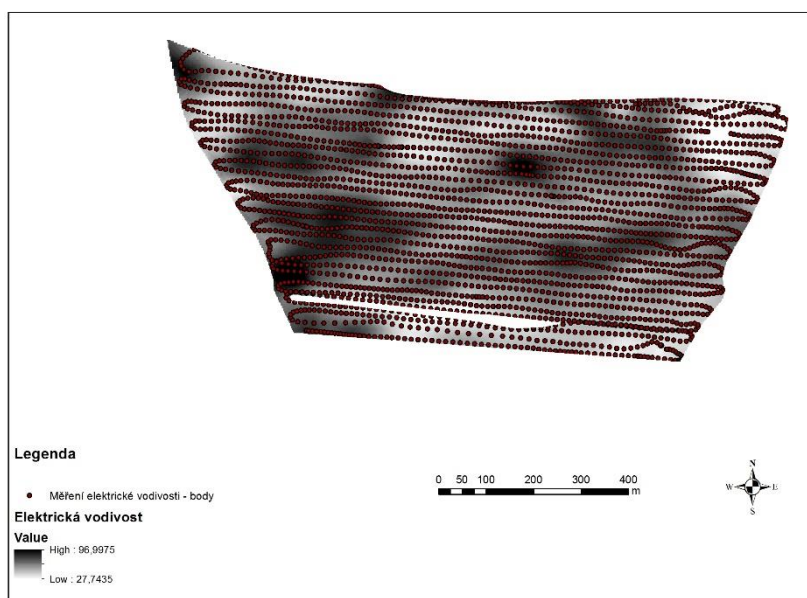
je možné určit rozdíly v geofyzikálních vlastnostech půdy, které ovlivňují aplikované elektromagnetické pole. Tato metoda je neinvazivní a umožňuje kontinuálně měřit elektrickou vodivost do hloubky 1,5m a to i během vegetace.

Tento přístroj byl připevněn na plastových saních a tažen na laně za vozidlem po pozemku. Přejezdy pozemku byly ve vzdálenosti cca 25 m od sebe. K záznamu pozice byl použit GNSS přijímač Trimble CFX-750 s přesností 2-3 m.



Obr.28 Měřící souprava (Foto V. Lukas)

Na obrázku č. 29 jsou zobrazeny jednotlivé body záznamu elektrické vodivosti na pozemku Oulehle.



Obr.29 Body záznamu elektrické vodivosti



### 5.3.2 Stanovení výnosového potenciálu

Výnosový potenciál je procentuální ukazatel variability pozemku, který hodnotí jednotlivé body na pozemku navzájem. Výstupem jsou tedy hodnoty, které udávají, která místa na pozemku jsou potenciálně výnosově podprůměrná a která nadprůměrná. Vstupní data pochází z družicových (Landsat 5) snímků porostů za období 8 let. Na základě těchto dat jsou identifikovány průměrné, podprůměrné a nadprůměrné zóny v rámci pozemku (Řezník et al. 2016). Tento ukazatel tedy neslouží k porovnání různých pozemků navzájem.

Původní data jsou získána v rozlišení 30m, pro potřeby výnosového potenciálu upravena na 5m na pixel.

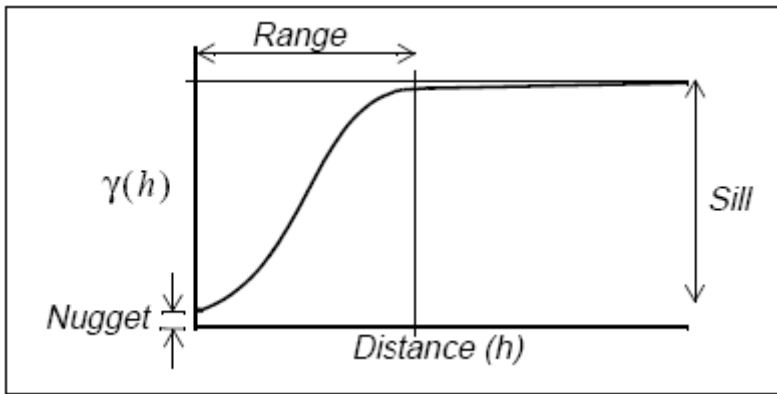
## 5.4 Statistické zpracování výsledků

Zpracování a vyhodnocení získaných bodových dat bylo provedeno v programu ArcGIS 10.5 ESRI.

Výsledky chemických analýz půdy byly statisticky zpracovány v programu Excel 2016-MS Office. Pro jednotlivé charakteristiky byl stanoven průměr, medián, směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient, minimální a maximální hodnota a šikmost. Souvislost mezi výsledky byla hodnocena v korelační matici.

Prostorové interpolace byly provedeny metodou běžného krigingu (ordinary kriging). V případě, že šikmost dat přesáhla rozmezí -1 a 1, byla provedena detailnější analýza daného souboru dat. Pokud se jednalo o odlehlé výsledky (outliers), byly tyto vyloučeny z dalšího zpracování. V případě že se jednalo o ucelená data, byla provedena logaritmická transformace (Kerry a Oliver, 2007) a běžný kriging, s následným výpočtem variogramu.

V rámci hodnocení variogramu byl posuzován jeho rozsah (range), který určuje, do jaké vzdálenosti existuje prostorová závislost. Dále byl hodnocen poměr *nugget:sill*. Pomocí této hodnoty je možné hodnotit intenzitu prostorové závislosti. Cambardella a Karlen (1999) hodnotí prostorovou závislost jako silnou, je-li poměr  $nugget:sill \leq 25\%$ , jako střední je-li poměr v rozmezí 25-75%, a jako slabou, je-li vyšší.



Obr.30 Variogram, (Quicksurf 2017)

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 6.1 Výsledky laboratorních analýz půdních vzorků

Data z laboratorních analýz půdních vzorků byla statisticky zpracována. V tabulce č. 6 jsou uvedeny základní výsledky základních statistických analýz. V příloze č. 1 je korelační matice.

Tab.6 Statistické ukazatele výsledků laboratorních analýz půdních vzorků

	K [mg.kg <sup>-1</sup> ]	P [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Mg[mg.kg <sup>-1</sup> ]	Ca [mg.kg <sup>-1</sup> ]	pH
Průměr	239	35	308	11321	6,95
Medián	239	32	279	7125	7,03
Směrodatná odch.	61	13	117	9404	0,31
Rozptyl	3691	170	13631	88429645	0,09
Variační koeficient	25	38	38	83	4,40
Šikmost	0,49	0,71	2,85	1,55	-0,90
Minimum	107	20	177	3190	5,96
Maximum	416	71	911	40200	7,40

Vysoký variační koeficient, 83 % vykazují data obsahu Ca. Z hlediska obsahu vápníku je pozemek Oulehle silně nevyrovnaný (ÚKZÚZ, 2016). Nevyrovnaný je obsah hořčíku a draslíku, které mají variační koeficient shodně 38 %. Obsah fosforu je vyrovnaný. Z hlediska hodnot pH je pozemek vyrovnaný.

Tab.7 Kritéria pro hodnocení variačního koeficientu (ÚKZÚZ 2016)

výměra pozemku (ha)	variační koeficient (%) – pozemek					
	vyrovnaný		nevyrovnaný		silně nevyrovnaný	
	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca	pH	P, K, Mg, Ca
do 20,0	do 5	do 20	6 – 12	21 – 50	nad 12	nad 50
20,1 - 30,0	do 6	do 25	7 – 15	26 – 60	nad 15	nad 60
nad 30,0	do 7	do 30	8 – 20	31 – 65	nad 20	nad 65

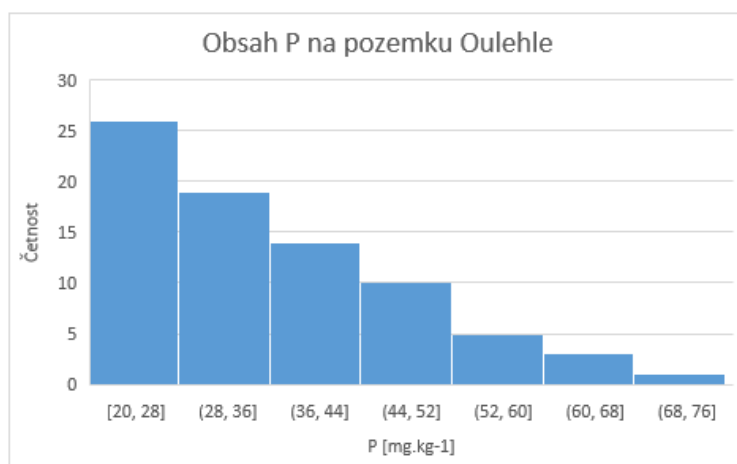
Šikmost K, P a pH je v rozmezí -1 až 1, data lze považovat za rovnoměrně rozložená (Kerry a Oliver 2007). Vyšší šikmost vykazují data Mg a Ca. V případě hořčíku se jedná o odlehle výsledky. Šikmost dat vápníku je způsobená vysokými rozdíly v obsahu vápníku na pozemku Oulehle.

### 6.1.1 Hodnocení obsahu přístupného fosforu

Obsah fosforu na pozemku Oulehle je převážně nízký, do 50 mg.kg-1. Pouze v několika vzorcích byl obsah fosforu vyhovující, tedy v rozmezí 51-80 mg.kg-1 (ÚKZÚZ, 2016). Variabilita obsahu fosforu je nízká, pozemek je v tomto ohledu vyrovnaný.

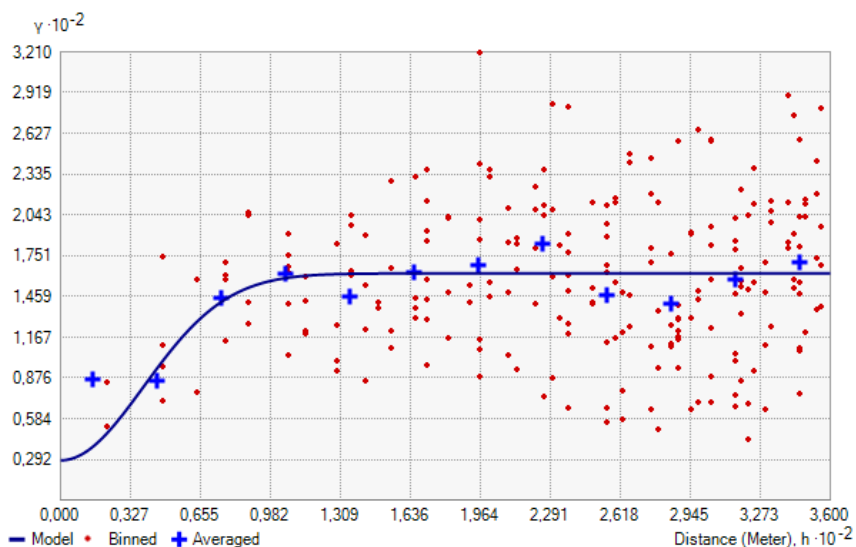
Tab.8 Hodnocení obsahu P na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)

Obsah	Fosfor (mg.kg-1)
Nízký	do 50
vyhovující	51-80
Dobrý	81-115
Vysoký	116-185
velmi vysoký	nad 185

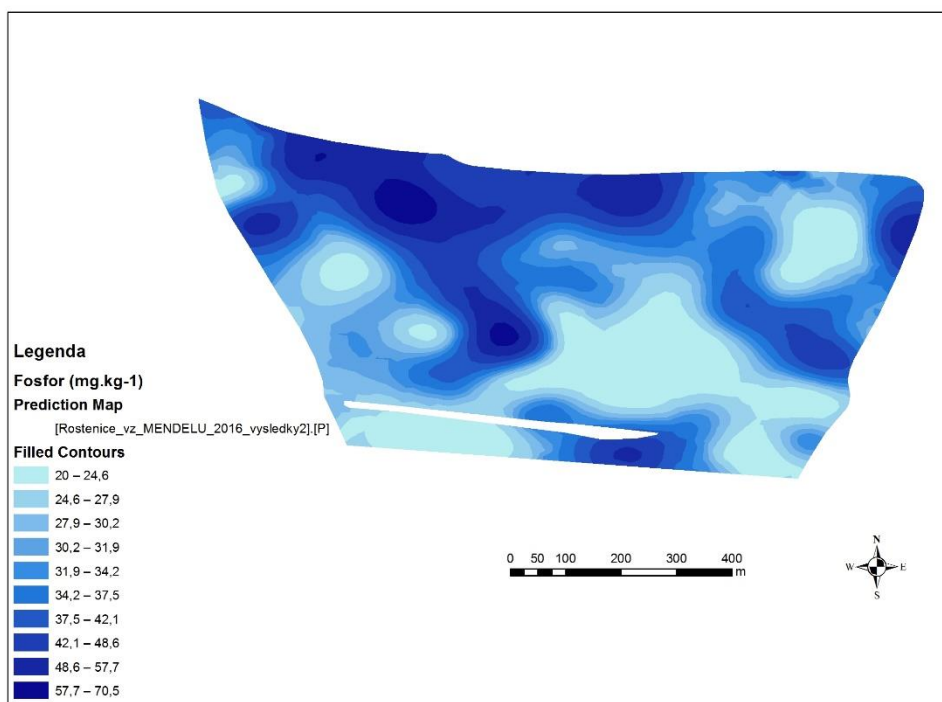


Obr.31 Obsah P na pozemku Oulehle, četnost

Pro obsah fosforu byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu (ordinary kriging) a výpočet variogramu, viz níže. Prostorová závislost obsahu P existuje do vzdálenosti 94 m. Na základě hodnocení poměru *nugget:sill* lze považovat prostorovou závislost P na pozemku Oulehle za střední.



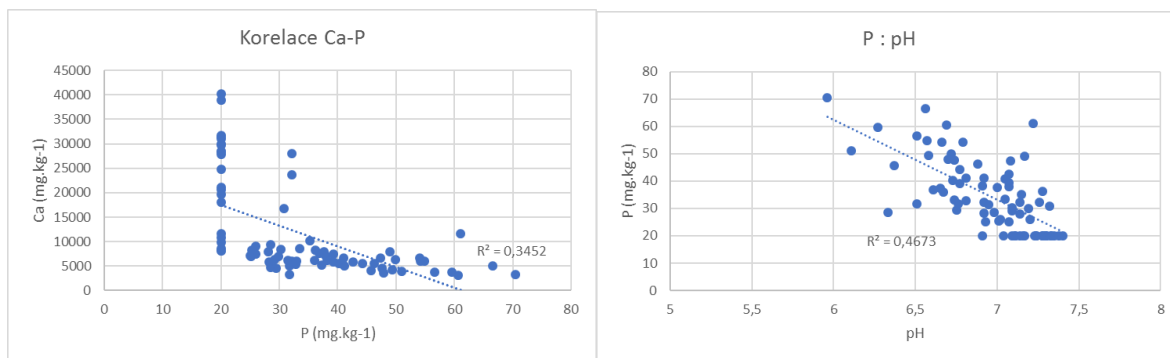
obr.32 Oulehle, obsah P, graf.: Variogram, lag size 30



Obr.33 Prostorová variabilita obsahu P

Při statistickém hodnocení obsahu fosforu byla zjištěna jeho nepřímá korelace s obsahem vápníku a pH (viz příloha č.1). Jelikož vodorozpustný fosfor je vyplavován, a tedy jeho obsah je na erozně poškozených místech nižší (Camargo et al., 2013), lze z této korelace usuzovat, že příčinou nízkého obsahu fosforu a vysokého obsahu vápníku (viz kap. 6.1.4) je eroze. Vyplavování fosforu je umocněno také tím, že zatímco při nízkém pH tvoří fosfor komplexy s hliníkem, které jsou ve vodě obtížně rozpustné, při pH půdy nad 5,5 se fosfáty postupně váží

na vápník. Vápenaté fosfáty jsou nejlépe rozpustné ve vodě při pH 7,2 (Thomason, 2017). Z toho důvodu je nejnižší obsah fosforu právě na místech s nejvyšším pH a nejvyšším obsahem vápníku. Důvodem několika stejných hodnot fosforu na úrovni 20mg.kg-1 (viz obr. 32) je kvantitativní, resp. detekční limit použitého spektrofotometru, protože stanovení obsahu živin v blízkosti těchto limitů je obtížné a zatížené vyšší chybou.



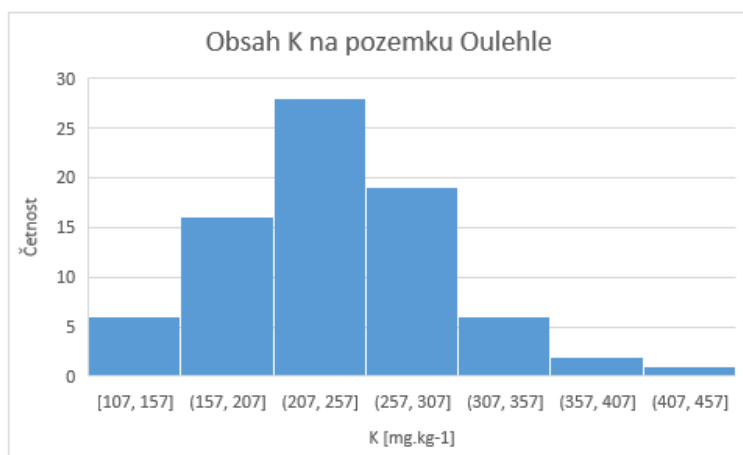
Obr.34 Bodový graf obsahu P a Ca (vlevo), resp. pH (vpravo)

### 6.1.2 Hodnocení obsahu přístupného draslíku

Obsah draslíku na pozemku Oulehle byl značně variabilní. Hodnoty se dle metodiky ÚKZÚZ (2016) pohybovaly od nízkých po vysoké. Rozložení zjištěných hodnot na pozemku je normální, se šikmostí 0,49, viz histogram níže.

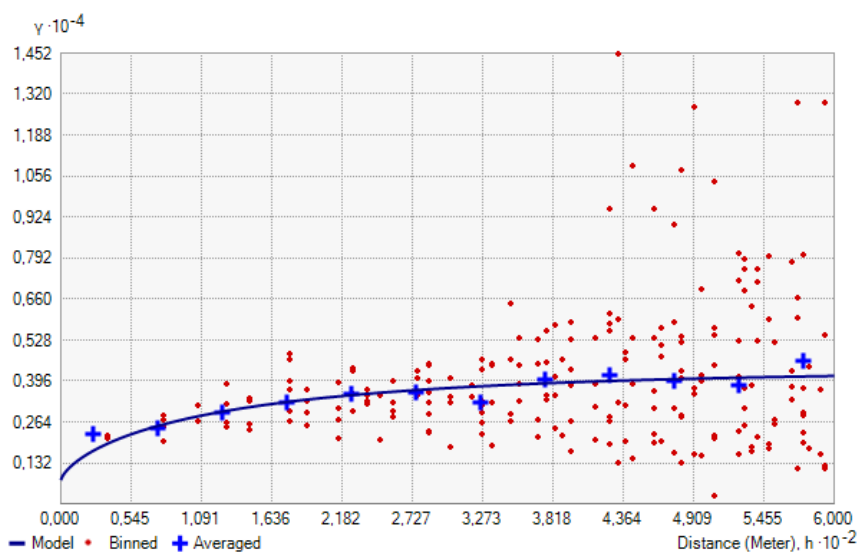
Tab.9 Hodnocení obsahu K na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)

	Draslík (mg.kg-1)		
	půda		
Obsah	lehká	střední	těžká
nízký	do 100	do 105	do 170
vyhovující	101-160	106-170	171-260
dobrý	161-275	171-310	261-350
vysoký	276-380	311-420	351-510
velmi vysoký	nad 380	nad 420	nad 510

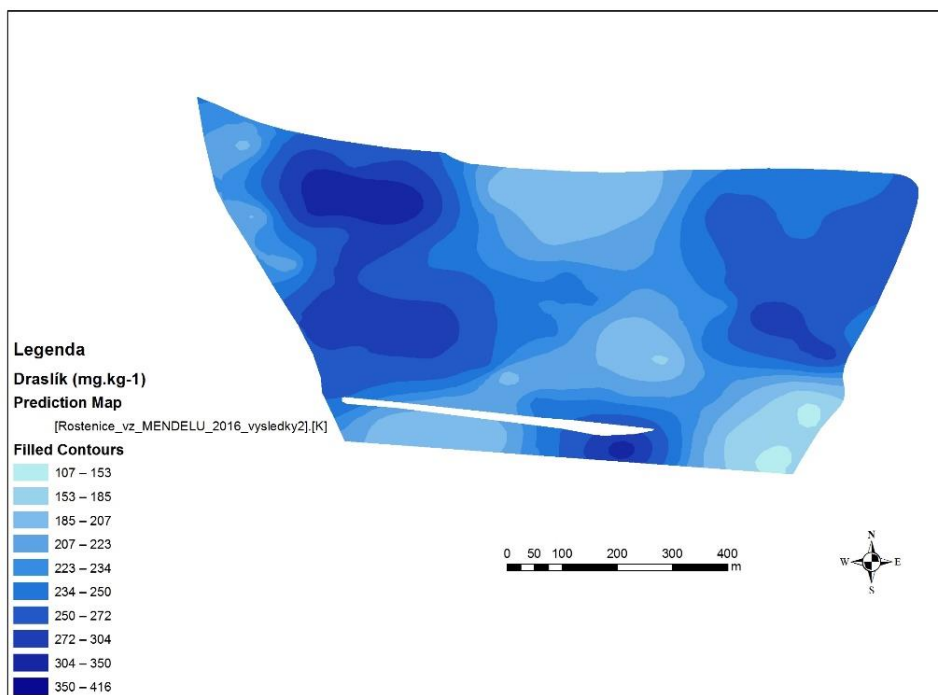


Obr.35 Obsah K na pozemku Oulehle, četnost

Pro obsah draslíku byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu (ordinary kriging) a výpočet variogramu, viz níže. Prostorová závislost je existuje do vzdálenosti 600 m. Dle poměru *nugget:sill* se jedná o silnou prostorovou závislost.

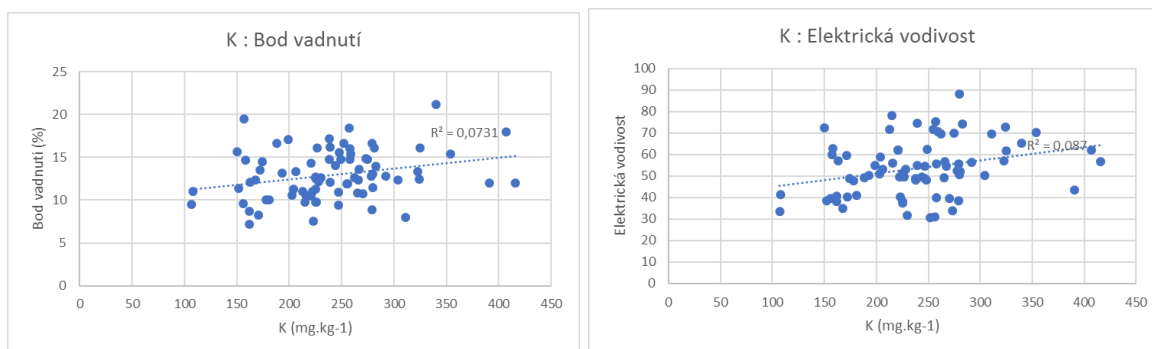


Obr.36 Oulehle, obsah K, Variogram, lag size 50



Obr.37 Mapa obsahu draslíku

Obsah draslíku souvisí zejména s obsahem jílových částic, KVK a obsahem vody (Mody a Bell, 2006), potažmo s bodem vadnutí. Tyto korelace byly spíše slabé, ale zřejmé. KVK nebyla hodnocena ve vzorcích s extrémně vysokým obsahem vápníku a data tedy neobsahují reálné hodnoty. To mohlo ovlivnit výsledky.



Obr. 38 Korelace mezi obsahem K a bodem vadnutí (vlevo), resp. elektrickou vodivostí (vpravo)



### 6.1.3 Hořčík

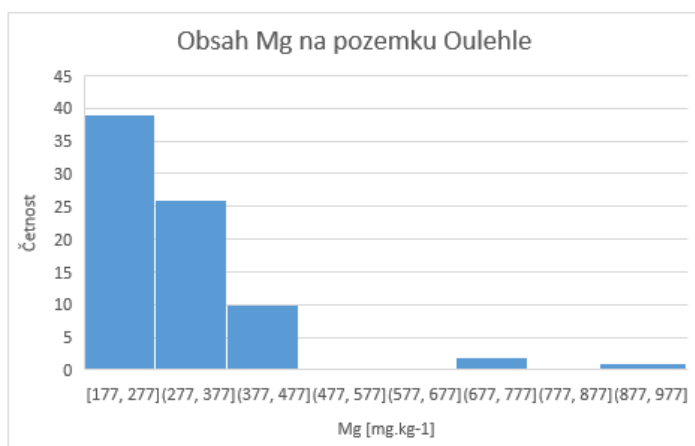
Obsah hořčíku na pozemku Oulehle byl velmi variabilní. Dle metodiky ÚKZÚZ (2016) lze jeho obsah hodnotit jako vyhovující až velmi vysoký.

Tab.10 Hodnocení obsahu Mg na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)

Obsah	Hořčík (mg.kg-1)		
	půda		
	lehká	střední	těžká
nízký	do 80	do 105	do 120
vyhovující	81-135	106-160	121-220
dobrý	136-200	161-265	221-330
vysoký	201-285	266-330	331-460
velmi vysoký	nad 285	nad 330	nad 460

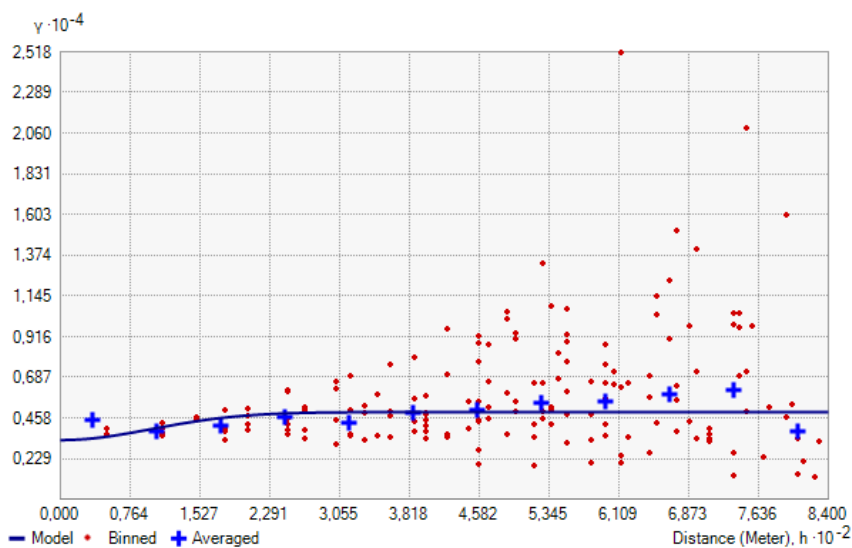
Data obsahu hořčíku obsahovala odlehlé výsledky, které byly z dalšího hodnocení vyloučeny. Viz histogram na obr. 39. Hodnota šikmosti po odstranění odlehlých výsledků dosahovala 0,68 a data tedy byla vhodná pro provedení běžného (ordinary) krigingu.

Obsah hořčíku byl porovnán s obsahem draslíku a vápníku v jednotlivých vzorcích, protože tyto živiny mají antagonistický vztah, který ovlivňuje KVK (Jakobsen, 1993). Zatímco poměr draslíku k hořčíku se pohyboval v běžně doporučeném rozmezí do 1,5, poměr vápníku k hořčíku byl ve všech případech vysoký. To může způsobovat zhoršenou dostupnost hořčíku pro rostliny. Korelační analýza neprokázala negativní korelaci mezi obsahem hořčíku a vápníku, přičemž obsah hořčíku na pozemku je vyhovující. Při pohledu na mapy je ale patrné, že některé oblasti s nižším obsahem hořčíku korespondují s oblastmi vysokého obsahu vápníku. Neplatí to ale plošně, což je patrné způsobeno rozdílností dalších půdních parametrů.

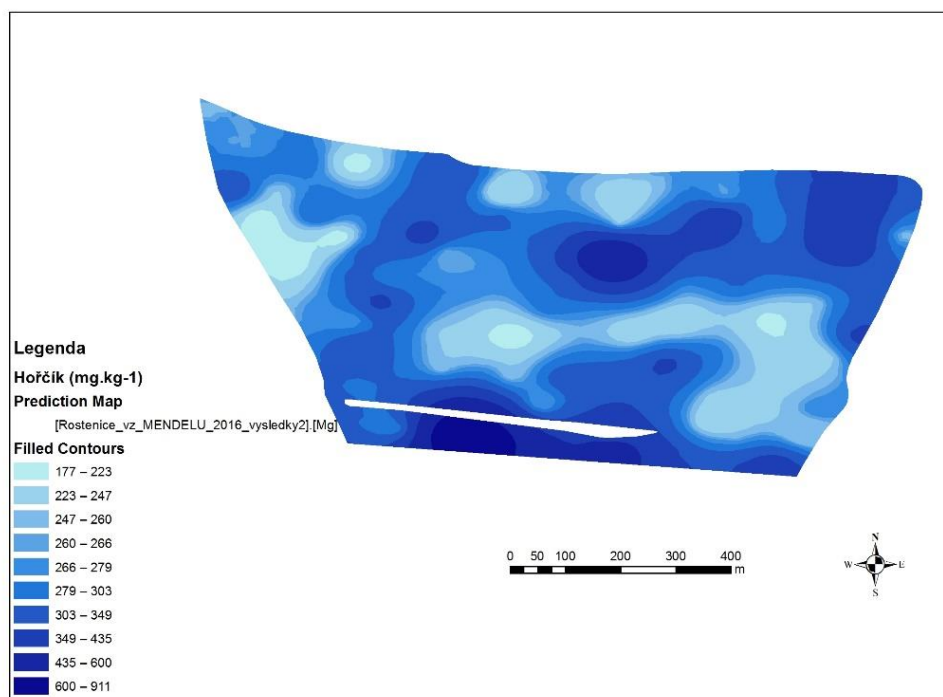


Obr.39 Obsah Mg, histogram

Pro obsah hořčíku byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu (ordinary kriging) a výpočet variogramu, viz níže.



Obr.40 Variogram obsahu hořčíku



Obr.41 Obsah Mg na pozemku Oulehle

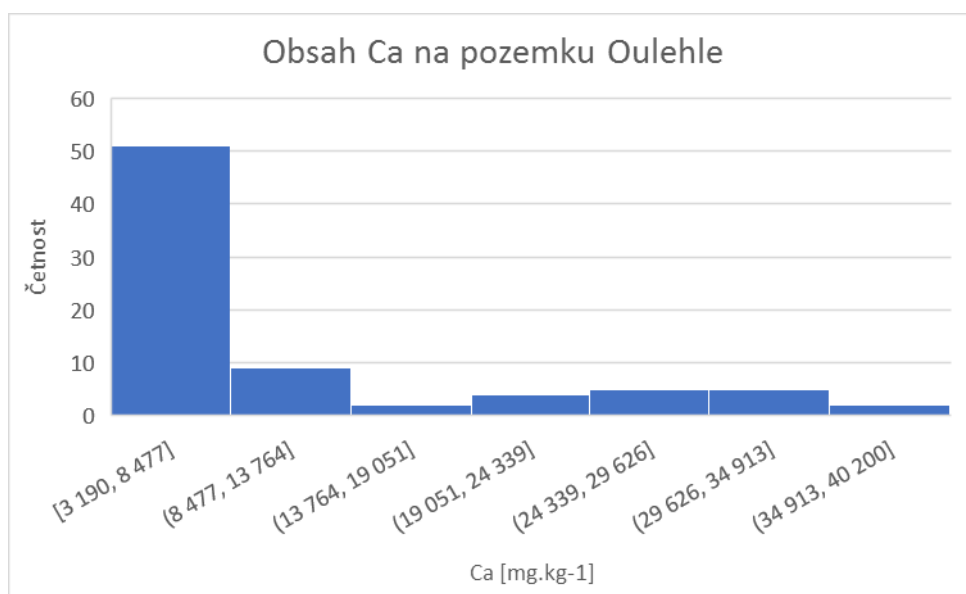
## 6.1.4 Vápník

Analýza obsahu vápníku na pozemku Oulehle přinesla překvapivé výsledky. Dle metodiky ÚKZÚZ (2016) lze obsah Ca hodnotit jako dobrý až velmi vysoký. Rozložení dat je ale netypické, viz histogram níže.

Tab.11 Hodnocení obsahu Ca na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)

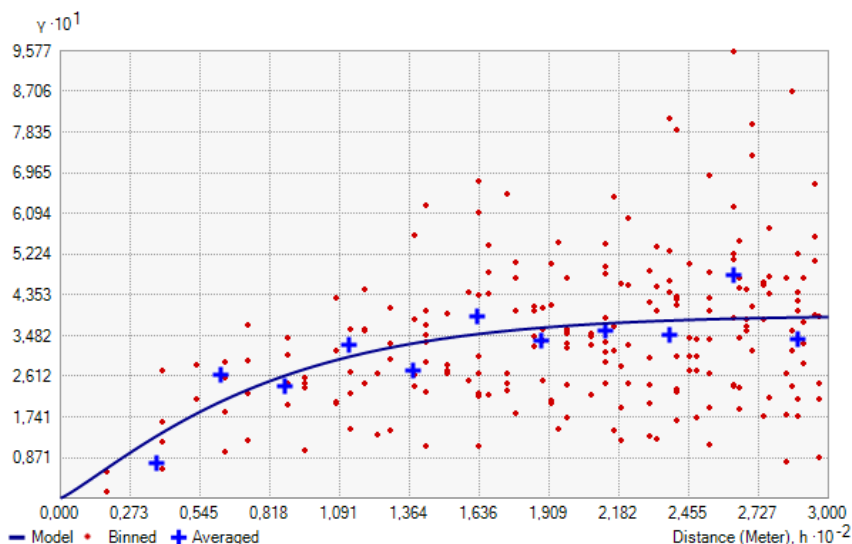
	Vápník (mg.kg-1)		
	půda		
Obsah	lehká	střední	těžká
nízký	do 1000	do 1100	do 1700
vyhovující	1001-1800	1101-2000	1701-3000
dobrý	1801-2800	2001-3300	3001-4200
vysoký	2801-3700	3301-5400	4201-6600
velmi vysoký	nad 3700	nad 5400	nad 6600

Z histogramu je patrné, že pozemek je vysoce heterogenní. Část vzorků měla hodnoty obsahu Ca v řádech tisíců mg.kg-1, zatímco některé vzorky měly mnohonásobně vyšší obsah Ca, v řádech desetitisíců mg.kg-1.



Obr.42 Obsah Ca, četnost

Pro obsah vápníku byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu (ordinary kriging) s logaritmickou transformací dat, z důvodu šikmosti mimo doporučený rozsah. Po provedení logaritmické transformace byla šikmost v doporučeném rozmezí (Kerry a Oliver, 2007). Výsledný variogram je na obr. 43. Hodnocení prostorové závislosti je v tomto případě, vzhledem ke specifickým obsahům Ca problematičké.

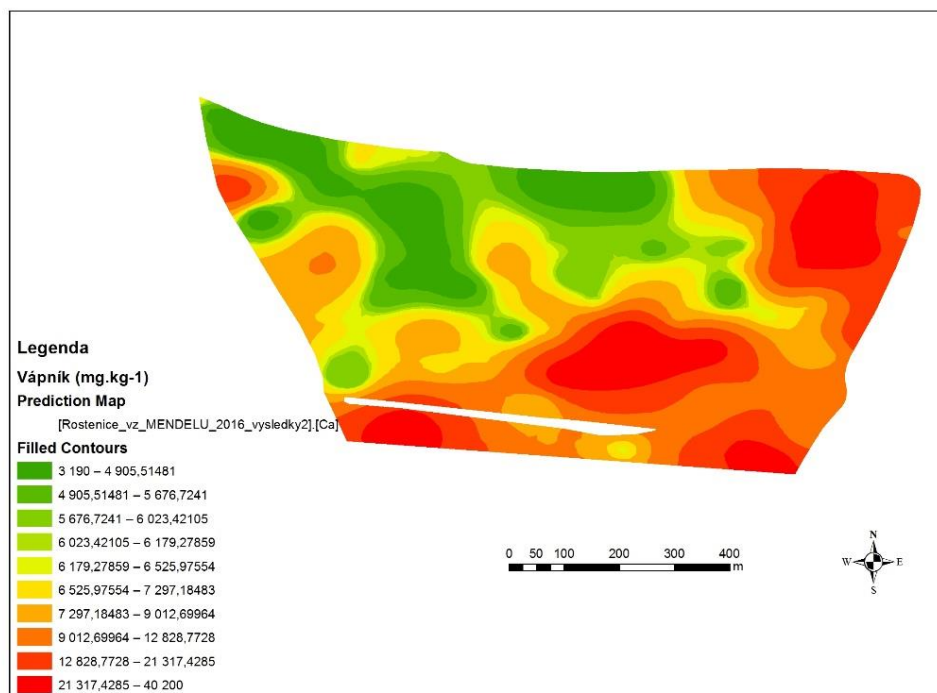


Obr.43 Variogram, obsah Ca na pozemku Oulehle

Takto netypické hodnoty obsahu vápníku neodpovídají běžným hodnotám pro ornici (ÚKZÚZ, 2016). Na základě posouzení dostupných snímků a prostorového rozložení vzorků s vysokým obsahem vápníku lze usuzovat na odhalení vápencového podloží, patrně způsobené erozí.



Obr.44 Letecký snímek pozemku Oulehle



*Obr.45 Obsah vápníku*

Místa, která jsou postižena erozí pouze částečně korespondují s lokálními rozdíly v nadmořské výšce. Nejsou to nejvyšší body, ale jedná se o místa s prudším klesáním. Patrně také došlo k rozšíření půdy s vysokým obsahem vápníku na širší plochu v důsledku agrotechnických úprav, např. orby. Již na leteckých snímcích z roku 1953 je vidět prosvítající světlejší půda na stejných místech jako dnes, zejména v severovýchodním rohu pozemku. V té době byl pozemek Oulehle rozdělen na několik menších dílů. Eroze způsobená nesprávnými agrotechnickými zásahy je za takové situace spíše nepravděpodobná, protože se dá předpokládat že rozdílné plodiny, brázdy mezi poli a lehčí mechanizace fungovaly ve vztahu k erozi preventivně. Vysoký obsah vápníku v těchto místech ale vypovídá o tom, že se jedná o nižší vrstvu půdního profilu, a nikoliv o pedogeneticky jinou ornici.



Obr.46 Oulehle v roce 1953, ortofoto

### 6.1.5 Obsah oxidovatelného uhlíku (Cox)

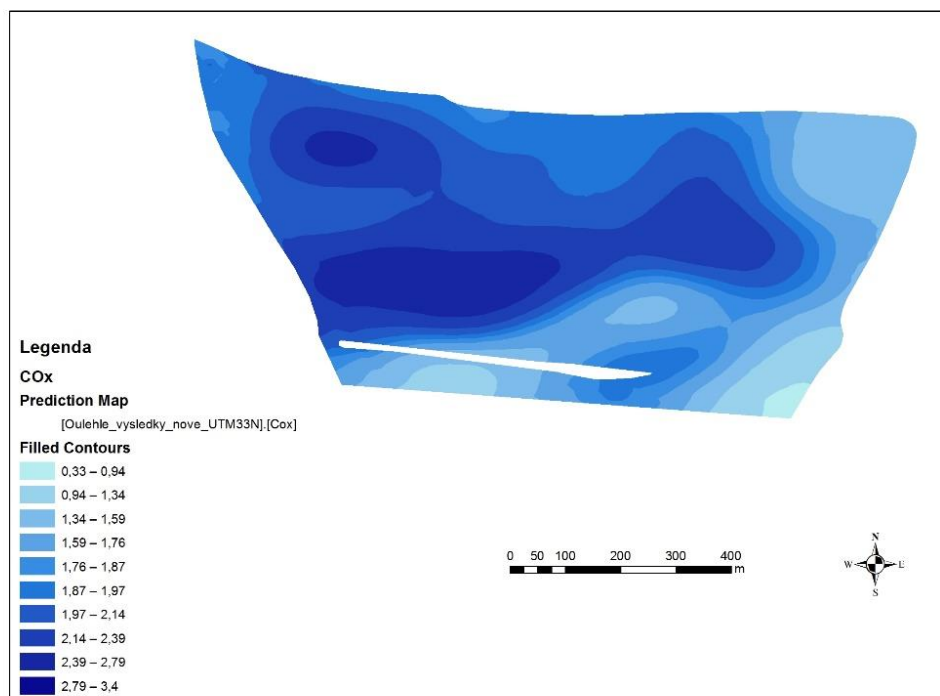
Rozložení dat je normální, šikmost -0,28. Tato data jsou tedy vhodná pro běžný kriging. V tabulce č. 12 jsou statistické údaje.

tab.12 Statistické údaje Cox

Cox	
min	0,33
max	3,4
průměr	1,93
medián	1,95
směrodatná odchylka	0,56
variační koeficient	0,29

Na výsledné mapě (obr. 47) je patrné, že nižší obsah oxidovatelného uhlíku je v místech s vysokým obsahem vápníku, tedy v místech poškozených erozí. Z obsahu Cox lze dle Sáňky a Materny (2004) odvodit obsah organických látek v půdě. V případě půd, které jsou předmě-

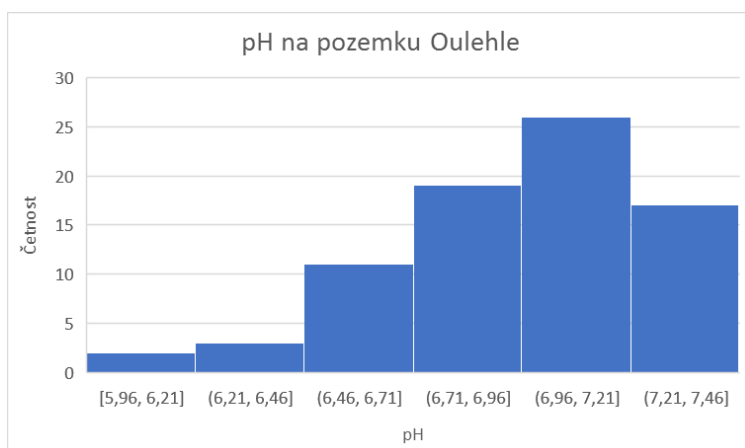
tem tohoto výzkumu můžeme zanedbat obsah fulvokyselin a vztáhnout obsah Cox přímo k výživnosti půd. Po přepočtu Cox na obsah humusu pomocí koeficientu 1,724 lze hodnotit jeho obsah na pozemku Oulehle v rozmezí velmi nízký až velmi dobrý (Sáňka a Materna, 2004).



obr.47 Obsah oxidovatelného uhlíku

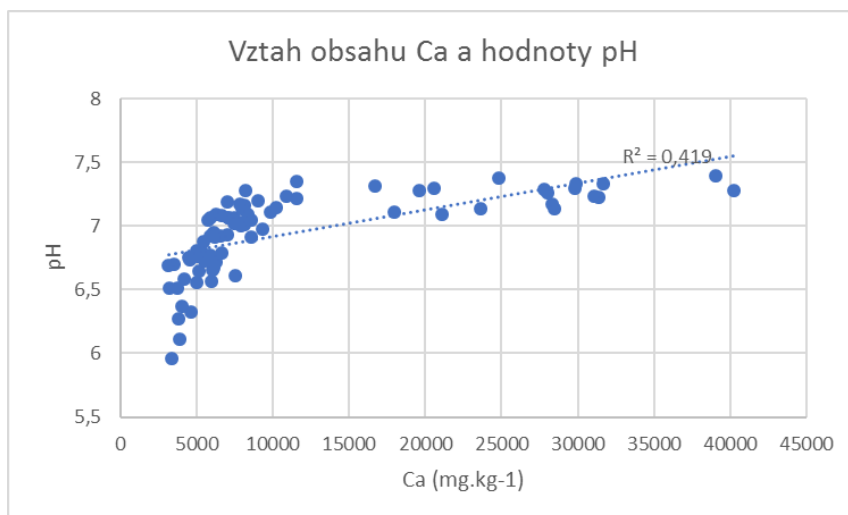
## 6.1.6 pH

Výměnná reakce půdy (pH) na pozemku Oulehle je dle variačního koeficientu vyrovnané (ÚKZÚZ, 2016). Přesto je zde jistá variabilita, která koresponduje s dalšími ukazateli chemicko-fyzikálních vlastností půdy. Negativní korelace je patrná ve vztahu k obsahu fosforu. Pozitivní korelace je s obsahem vápníku. Přesto, v porovnání s vysokou heterogenitou obsahu vápníku i dalších minerálních látek se zdá být nízká heterogenita pH na pozemku překvapivá.



Obr.48 Histogram pH

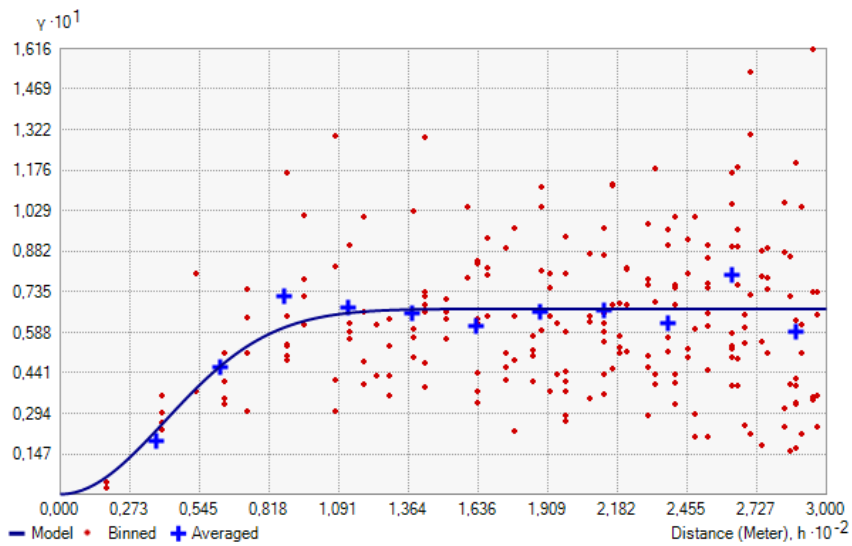
Na následujícím grafu je vidět korelace mezi obsahem vápníku a pH. Z rozložení dat je viditelná pufrací schopnost vápníku. S narůstajícím obsahem Ca se zvyšuje pH, které ale po přechodu do neutrálního až mírně zásaditého prostředí zůstává téměř konstantní, mezi 7-7,5, i když obsah Ca nabývá mnohonásobně vyšších hodnot.



Obr.49 Korelace mezi obsahem Ca a pH

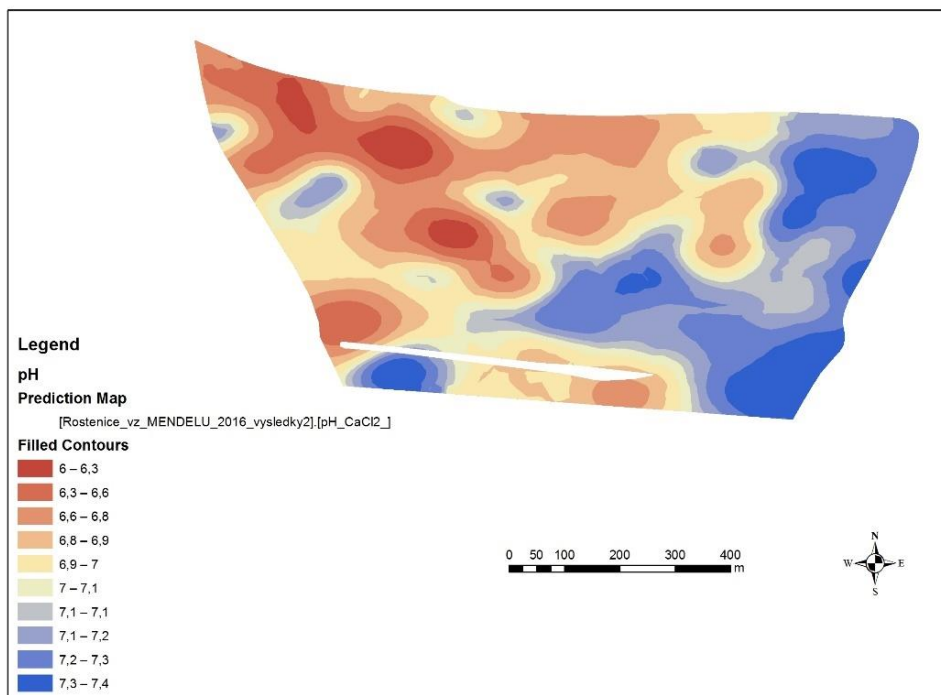
Pro hodnoty pH byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu a variogram, viz obr. 50.





Obr.50 Variogram pH

Rozložení oblastí s vyšším pH odpovídá svým rozložením oblastem s vysokým obsahem vápníku, který pH půdy zvyšuje. Pozitivní korelaci potvrzuje také regresní analýza.

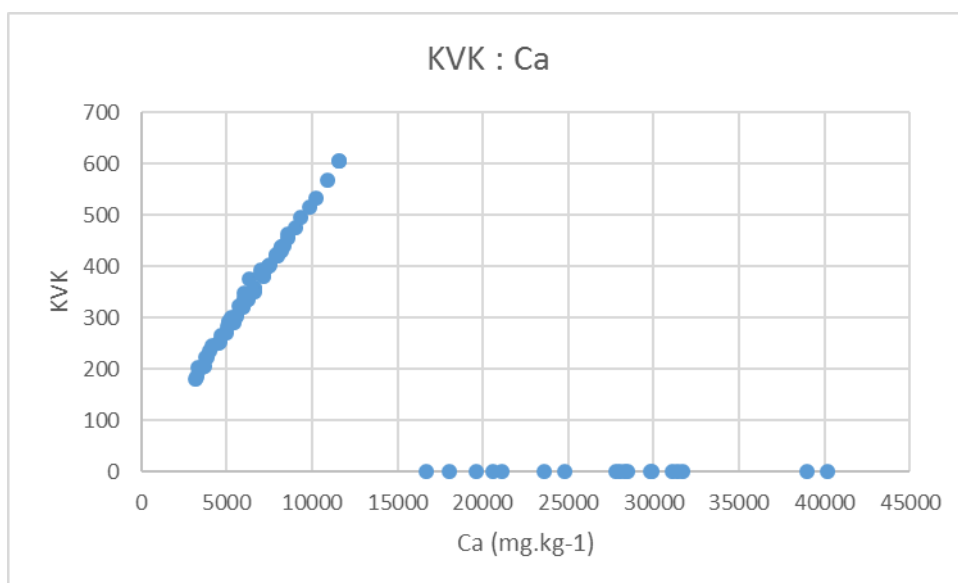


Obr.51 Mapa pH

### 6.1.7 Kationtová výměnná kapacita

Data kationtové výměnné kapacity (KVK) neobsahovala pro místa s obsahem Ca nad 11 600mg.kg<sup>-1</sup> žádné hodnoty, resp. 0 (viz obr. 52). Laboratoř nevyhodnotila vzorky, kde KVK nabývala nereálně vysokých hodnot. KVK se stanovuje součtem obsahu půdních kationtů vázaných na sorpční komplex. V tomto případě kationty Ca<sup>2+</sup> byly v tak vysokých koncentracích, že KVK byla hodnocena jako téměř nelimitovaná. Tyto kationty se ale vzájemně ovlivňují a velmi důležitý je jejich vzájemný poměr, který se v praxi hodnotí kvůli stanovení potřeby vápnění. Pro použití v korelační matici byla chybějící data nahrazena jednotně hodnotou 700mmol.kg<sup>-1</sup> půdy. Tato hodnota odpovídá horní hranici KVK pro vzorky s nejvyšším obsahem Ca, u kterých byla KVK hodnocena. Použití nulových hodnot nebo vynechání těchto vzorků by dramaticky zkreslilo výsledky.

KVK na pozemku Oulehle je vysoká, při porovnání s tabulkou č.13 (ÚKZUZ, 2016). Značí těžkou půdu s vysokým obsahem jílovitých částic, s velmi dobrou sorpční schopností.

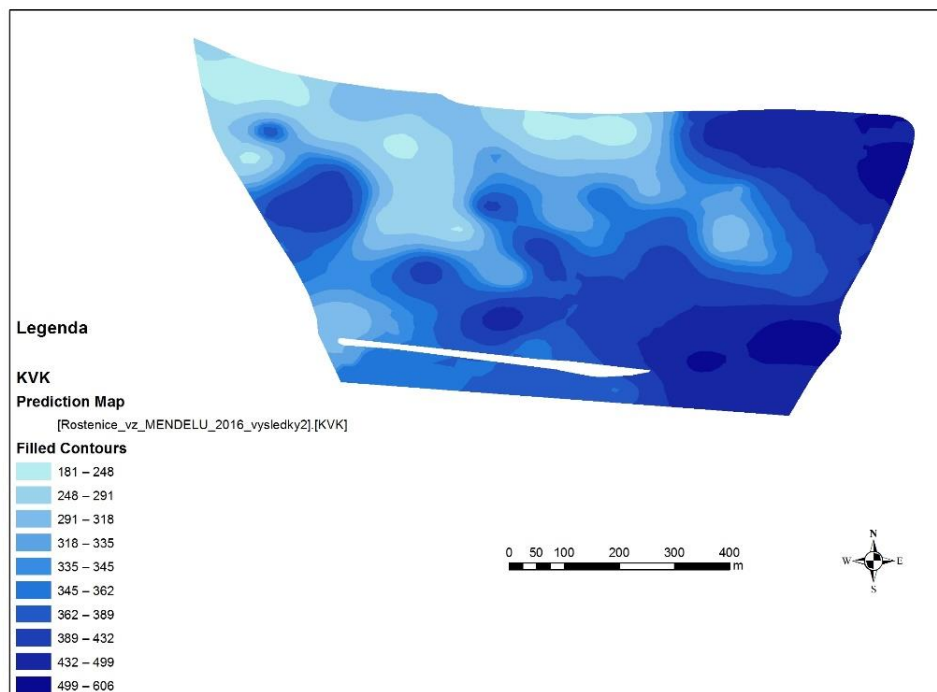


Obr.52 KVK na pozemku Oulehle

Tab.13 Kritéria hodnocení KVK (ÚKZÚZ, 2016)

Hodnocení	Hodnota KVK (mmol.kg <sup>-1</sup> půdy)	Charakteristika půd
nizká - N	pod 120	Půdy spíše lehčího charakteru, živiny jsou v sorpčním komplexu slaběji poutány a snadno se vyplavují, doporučuje se hnojit častěji v menších dávkách.
střední - S	120 - 180	Půdy střední, živiny jsou lépe poutány, na některých půdách je možné i uplatňovat zásobní hnojení (max. však na 2 roky).
vysoká - V	nad 180	Půdy těžší ho charakteru, s vysokým obsahem jílovitých částic, velmi dobrá sorpční schopnost, je vhodné hnojit zásobně na několik let.

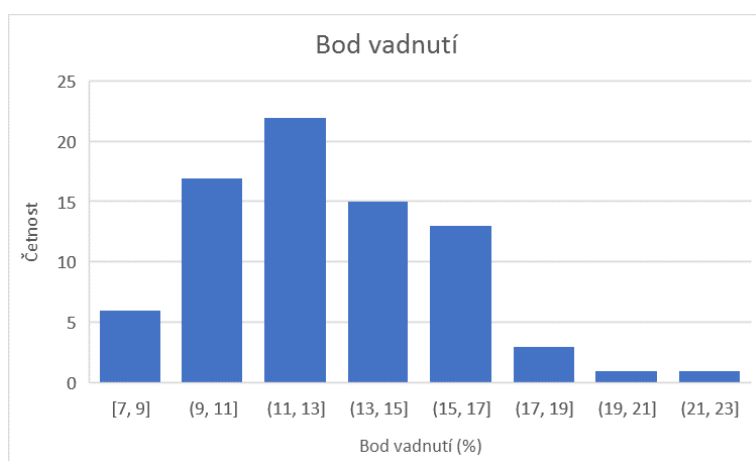
Pro KVK byla provedena prostorová interpolace metodou běžného krigingu a vypočítán variogram. Ze vstupních dat byly předem vyfiltrovány nulové hodnoty, které způsobovaly zcela jiné prostorové rozložení KVK. Z výsledné mapy je zřejmé že vysoké hodnoty KVK jsou na místech, kde je vysoký obsah vápníku. Při hodnocení mapy je také třeba přihlídnout k faktu, že KVK na místech, kde dosahuje nejvyšších hodnot je pravděpodobně vyšší, než udává legenda.



Obr.53 KVK na pozemku Oulehle

### 6.1.8 Bod vadnutí

Data bodu vadnutí byla normálně rozložená (viz histogram, obr. 54), statistické údaje jsou uvedeny v tabulce č. 14.

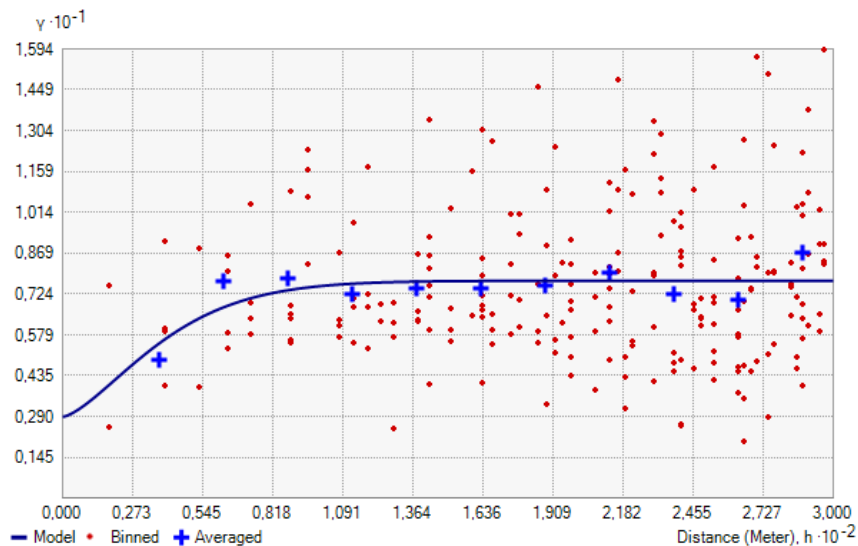


Obr.54 Bod vadnutí, četnost

Tab.14 Statistické údaje, bod vadnutí

Bod vadnutí	
průměr	12,9
medián	12,6
směrodatná odchylka	2,85
variační koeficient	0,22
Šikmost	0,36
Minimum	7,16
Maximum	21,2

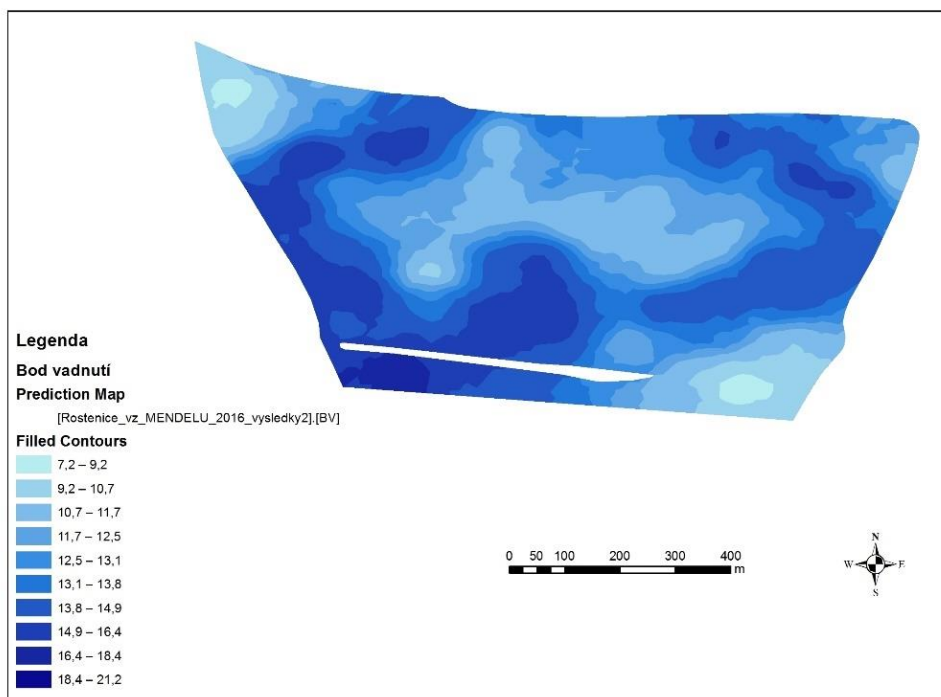
Data bodu vadnutí mají šikmost 0,36, jsou tedy vhodná pro běžný kriging a výpočet variogramu.



Obr.55 Bod vadnutí, variogram

Variabilita hodnot bodu vadnutí odpovídá celkové heterogenitě pozemku, ačkoliv ne zcela reflektuje rozložení, které bylo podobné u ostatních měřených parametrů. Také hodnocení korelace s ostatními parametry neprokázalo žádnou výraznou spojitost. Při hodnocení těchto dat je třeba mít na paměti, že metoda, která byla použita má své limity. Vodní potenciál byl měřen z porušených vzorků, a pro výpočet bodu vadnutí byly použity pouze dvě měření při různých vlhkostech. Kvalita výsledků je tedy diskutabilní a tento aspekt bude v porovnávání těchto výsledků zohledněn.

Z druhé strany, hodnota bodu vadnutí je ovlivněna fyzikálními vlastnostmi půdy, obsahem organických látek, aktivitou půdních organismů, které tvoří půdní agregáty a celou řadou dalších aspektů. Nelze tedy vztahovat hodnotu bodu vadnutí k jednotlivým parametrům.



Obr. 56 Bod vadnutí, mapa

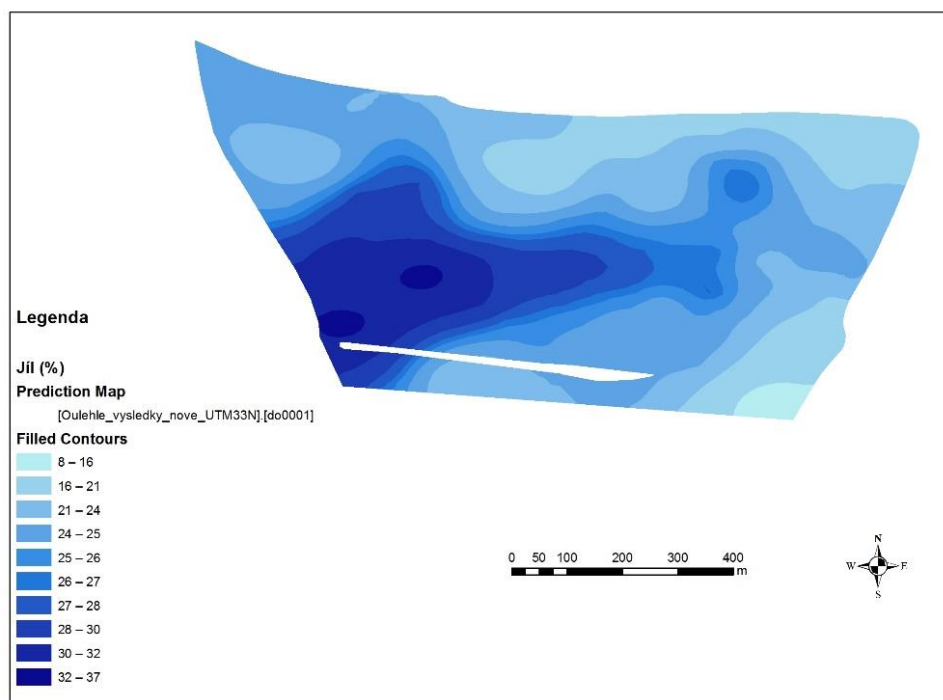
### 6.1.9 Půdní zrnitost

Základní statistické údaje o půdních zrnitostních frakcích jsou v tabulce č. 15. Vysoký variační koeficient je pouze u největších frakcí, nad 0,25mm, tedy částice větší než jemný písek. Obsah této frakce vykazuje korelaci s nadmořskou výškou (viz. příloha č.1).

Tab.15 Půdní zrnitost, statistika

Půdní zrnitost (%)									
Průměr zrn (mm)	>0.25	<0.05	<0.01	<0.002	< 0.001	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.002	0.002-0.001
min	0,72	0,12	0,17	0,19	0,22	0,25	0,20	0,21	0,23
max	28,30	80,80	66,70	44,90	37,30	47,42	32,90	26,10	11,50
průměr	8,69	66,38	46,27	30,29	23,96	22,85	20,22	16,00	6,39
medián	6,39	69,80	47,50	31,60	25,58	21,46	20,48	15,58	6,32
Sm. odch.	6,60	12,92	10,66	7,70	6,81	7,14	5,34	4,19	1,75
Var. koef.	0,76	0,19	0,23	0,25	0,28	0,31	0,26	0,26	0,27

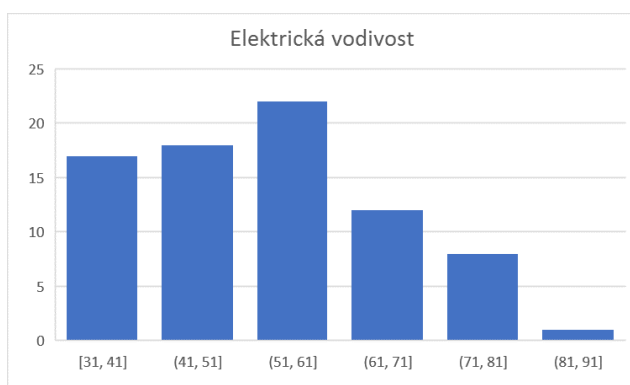
Obsah jílu, tedy částic < 0,001 mm koreluje s elektrickou vodivostí. O něco slabší korelaci můžeme vidět mezi elektrickou vodivostí a obsahem prachových frakcí (0,001-0,05mm). Tato korelace roste se zmenšující se velikostí zrn. Na obrázku č. 57 je mapa obsahu jílu na pozemku Oulehle. Tato frakce je nejvýznamnější, protože má největší reaktivní plochu a zvyšuje tak sorpční schopnost půdy. Podle Hiemstry et al. (2010) se tato plocha běžně pohybuje mezi 3-30m<sup>2</sup>/g půdy. V případě ferrihydritu je to až 600m<sup>2</sup>/g.



Obr.57 Obsah jílu, mapa

## 6.2 Výsledky měření elektrické vodivosti půdy

Rozložení dat elektrické vodivosti je normální (viz histogram na obr. 58). Základní statistické údaje jsou v tabulce č.16.

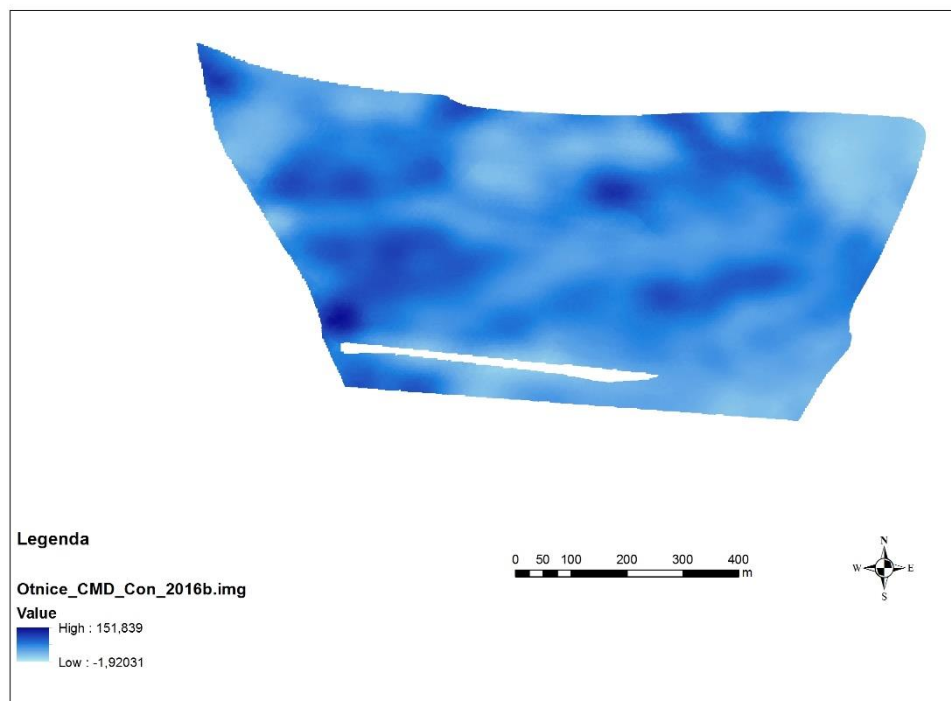


Elektrická vodivost $[mS.m^{-1}]$	
Průměr	53,7
Medián	52,3
směrodatná odchylka	12,4
variační koeficient	0,23
Šikmost	0,31
Minimum	30,6
Maximum	88,1

Obr.58 Elektrická vodivost ( $mS.m^{-1}$ )

Tab.16 Statistické údaje, elektrická vodivost

Šikmost dat elektrické vodivosti potvrzuje vhodnost použití běžného krigingu. Následující mapa zobrazuje výsledky měření elektrické vodivosti na pozemku Oulehle. Z rozložení jsou patrné souvislé vrstvy, které částečně korespondují s předchozími výsledky.



Obr.59 Elektrická vodivost, mapa



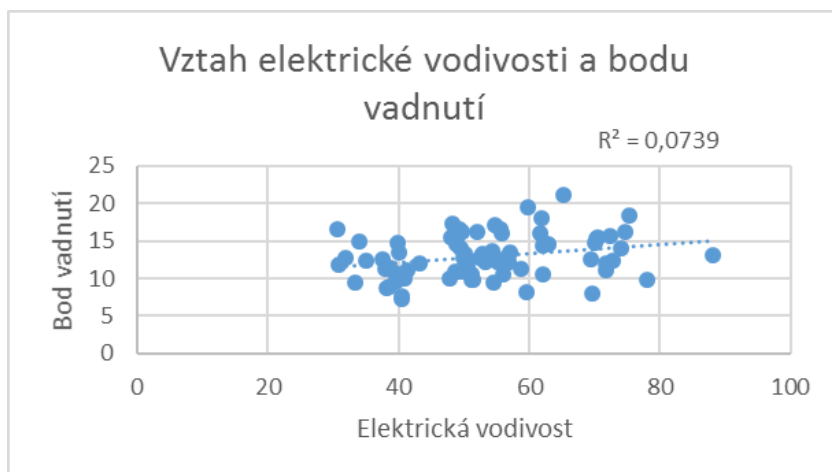
### 6.3 Porovnání přímých a nepřímých metod

Měření elektrické vodivosti je nepřímá metoda hodnocení půdních parametrů. Výsledky byly statisticky porovnány s obsahy živin, Cox, pH, KVK, nadmořskou výškou, bodem vadnutí, výnosovým potenciálem a výnosy z let 2013-2015. Korelace jsou v tab. č. 17. V příloze č. 1 je korelační tabulka, která zahrnuje také korelace s jednotlivými zrnitostními frakcemi.

Tab.17 Korelační matice zahrnující obsahy živin (K, P, Mg, Ca), kationtovou výměnnou kapacitu (KVK), pH, bod vadnutí (BV), elektrickou vodivost (EV), výnosový potenciál (VP), výnosy z let 2013-2015, obsah oxidovatelného uhlíku (C<sub>ox</sub>) a nadmořskou výšku (NM).

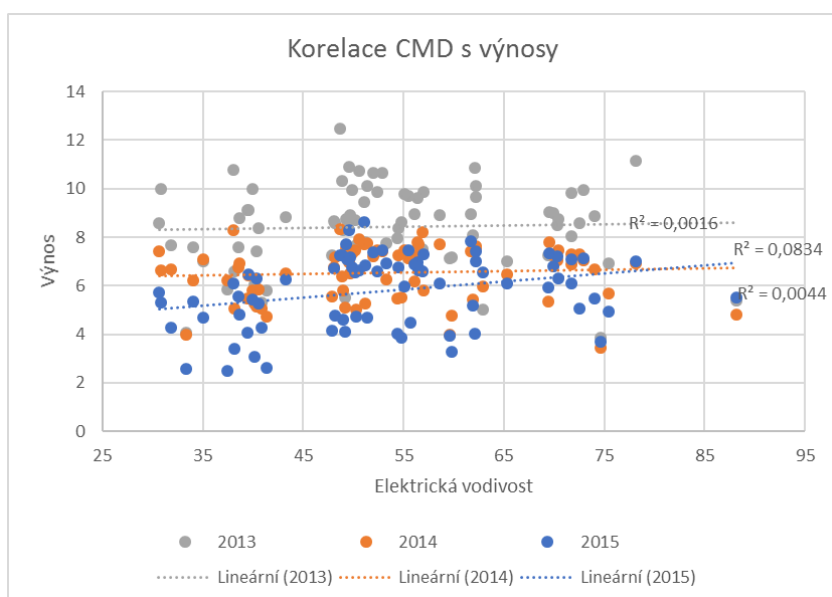
	K	P	Mg	Ca	KVK	pH	BV	EV	VP	Vyn2013	Vyn2014	Vyn2015	Cox	NV (m)
K	1,00													
P	0,36	1,00												
Mg	-0,04	-0,29	1,00											
Ca	-0,35	-0,59	0,38	1,00										
KVK	-0,33	-0,68	0,34	0,89	1,00									
pH	-0,43	-0,68	0,20	0,65	0,81	1,00								
BV	0,27	0,06	-0,05	0,10	0,00	-0,02	1,00							
EV	0,29	-0,09	-0,03	-0,26	-0,27	-0,21	0,27	1,00						
VP	0,07	-0,03	0,23	0,26	0,28	0,23	-0,04	-0,40	1,00					
Vyn2013	0,24	-0,01	-0,06	-0,07	-0,02	0,02	-0,01	0,07	0,13	1,00				
Vyn2014	0,27	0,11	-0,12	-0,19	-0,13	-0,04	-0,06	0,04	0,19	0,69	1,00			
Vyn2015	0,41	0,05	-0,13	-0,31	-0,24	-0,11	-0,04	0,29	0,15	0,63	0,60	1,00		
Cox	0,60	0,35	-0,34	-0,63	-0,63	-0,53	0,19	0,36	-0,07	0,28	0,32	0,57	1,00	
NV (m)	0,03	0,16	0,18	0,02	-0,12	-0,32	0,06	-0,14	-0,13	-0,31	-0,37	-0,42	-0,04	1,00

Korelace elektrické vodivosti s obsahem jednotlivých živin, pH a KVK nebyla výrazná. Korelace s bodem vadnutí je patrná, ale jde o slabou korelaci (viz obr. 60). Výrazná korelace byla pozorována s jemnými půdními frakcemi, zejména jílem (<0,001mm), viz příloha č. 1. K podobným výsledkům dospěli také Revil a Glover (1998), kteří porovnávali elektrickou vodivost půdních zrnitostních frakcí.



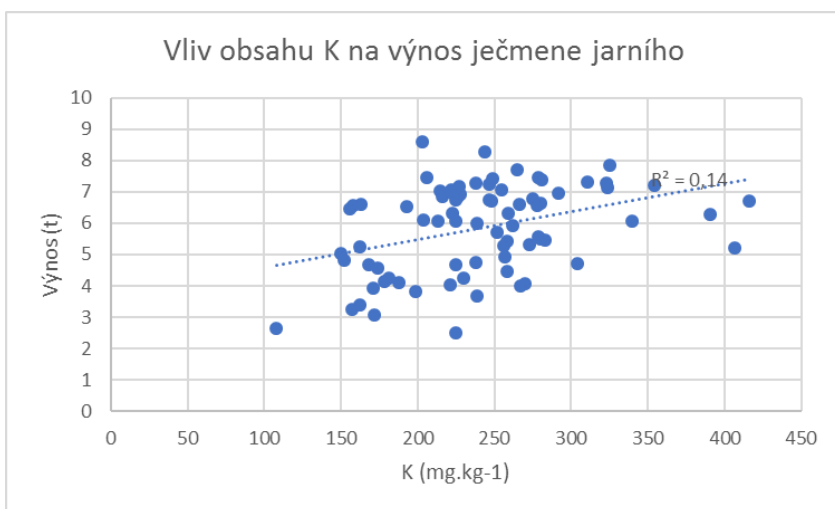
Obr.60 Korelace mezi elektrickou vodivostí a bodem vadnutí

Měření elektrické vodivosti bylo dále porovnáno s výnosy z let 2013, 2014 a 2015. Korelace je výraznější pouze pro výnosy z roku 2015. To je v souladu se závěry řady podobných experimentů (Kitchen et al. 1999; Corwin et al. 2003). Takový výsledek nemusí být ukazatelem nepřesnosti měření elektrické vodivosti. Elektrická vodivost je ovlivněna zrnitostí půdy, vlhkostí, obsahem organických látek a solí. Nerovnost výnosu mohla být způsobena nevyrovnaností některé z živin, například draslíku, jehož zásoby se pohybovaly od nízkých po vysoké. Pozitivní korelaci mezi elektrickou vodivostí a výnosy kukuřice, pšenice a prosa ukázal např. výzkum Johnson et al. (2001).



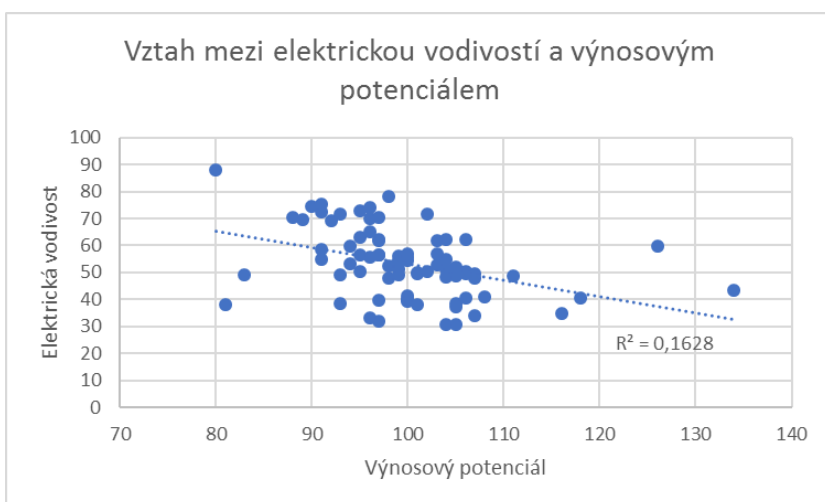
Obr61 Korelace elektrické vodivosti s výnosy z let 2013-2015

Korelační analýza výnosů a obsahu draslíku potvrzuje souvislost obsahu draslíku v půdě s výnosy ječmene jarního v roce 2015. Slabá korelace je patrná také mezi měřením elektrické vodivosti a obsahu draslíku v půdě. Z těchto výsledků je patrné, že výše výnosů je ovlivněna celou řadou parametrů, které měření elektrické vodivosti ne zcela pokrývá. Na vině ale může být právě rozdílná heterogenita různých parametrů, které takto zkreslují výsledky měření elektrické vodivosti, stejně jako faktory ovlivňující výnos, které nejsou spojeny s půdními podmínkami.



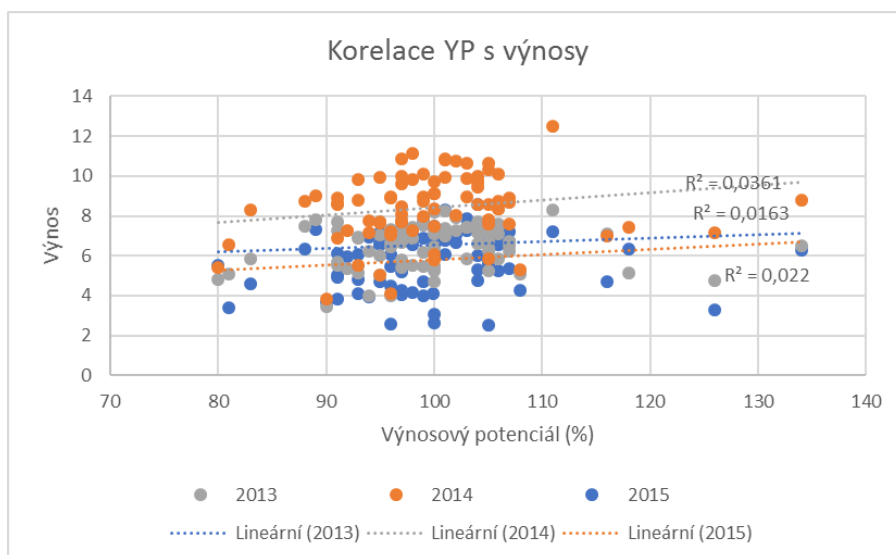
Obr.62 Korelace mezi obsahem draslíku a výnosem z roku 2015

Korelace mezi výnosovým potenciálem a elektrickou vodivostí je patrná z grafu, viz obr. 63.



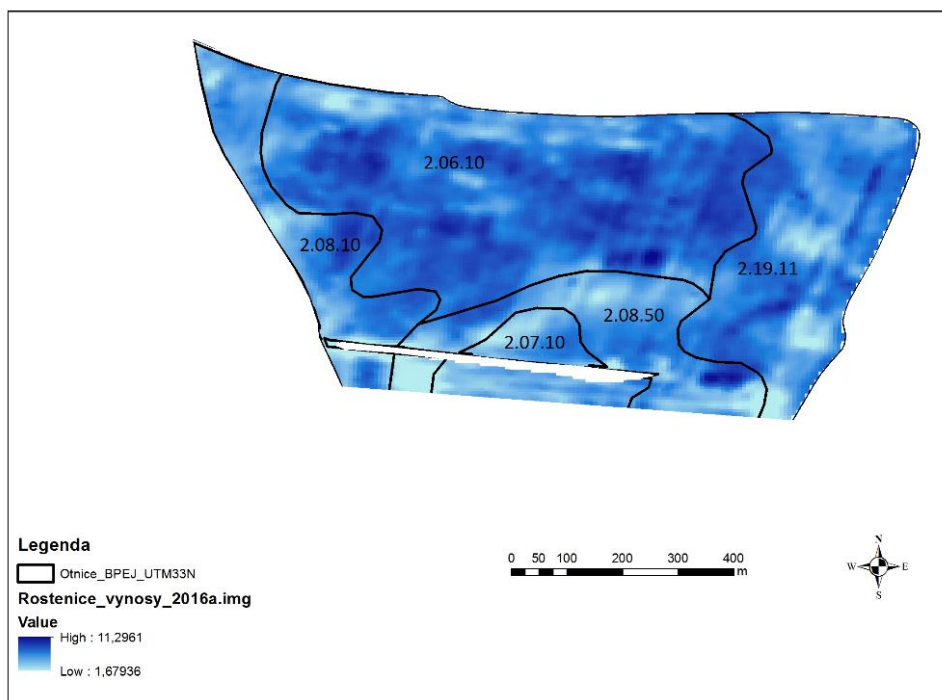
Obr.63 Korelace mezi výnosovým potenciálem a elektrickou vodivostí

Nutno ale dodat, že korelace mezi výnosovým potenciálem a výnosy je slabší, podobná jako korelace výnosů s elektrickou vodivostí. Obě metody jsou tedy nepřesné, ačkoliv vychází z hodnocení jiných parametrů. Výnosový potenciál je počítán z dat za posledních 8 let, může se tedy jednat o nesoulad výnosů v předchozích letech, případně nepřesné stanovení vegetačních indexů vycházejících z dat z dálkového průzkumu Země.



Obr.64 Korelace výnosového potenciálu s výnosy

Všechny mapy byly porovnány s rozložením BPEJ. Z výsledků je jasné, že toto rozložení je nepřesné, protože nekopíruje prostorové rozvrstvení ukazatelů půdní kvality. Na obrázku níže je mapa výnosů z roku 2016 s vyznačenými hranicemi BPEJ. Hranice jednotlivých BPEJ nijak nekorrespondují se zónami různých výnosů. BPEJ 2.08.50, která je výnosově slabší a pokrývá erozně poškozená místa je klasifikována jako hluboká modální černozem, což prokazatelně neodpovídá realitě.



Obr.65 Hranice BPEJ na podkladu výnosové mapy

Ačkoliv se na základě těchto výsledků měření elektrické vodivosti neukazuje jako vhodný podklad pro agrotechnické rozhodování, nemusí tak tomu být. Pozemek Oulehle je velmi specifický, protože má v některých místech extrémně vysoký obsah vápníku a patrně nízký obsah organické hmoty. Získaná data jsou zkreslována řadou různých faktorů, které ovlivňují měření elektrické vodivosti. Proto nelze tento pozemek považovat za reprezentativní k hodnocení nepřímých metod. Elektrická vodivost je dána zejména zrnitostí půdy (pozitivní korelace s jílem, viz příloha 1.) a vlhkostí. Nepřímo také obsahem organických látek, který souvisí jak s velikostí půdních částic, tak vlhkostí. Místa, kde byla elektrická vodivost vyšší, korespondují s těmi, kde je vysoký obsah vápníku. Taková místa mají vysokou KVK a reagují dobře na hnojení umělými hnojivy. Naproti tomu místa s nižší vodivostí odpovídají místům, která kde je hluboká černozem, bohatá na organické látky, která je vysoce úrodná. Mohlo se tedy stát, že souběh těchto dvou faktorů změnil výnosy tak, že v porovnání s měřením elektrické vodivosti neukazují jasnou souvislost. Ta by se ale mohla objevit, pokud by v rámci experimentu na pozemek nebyla aplikována žádná hnojiva. Korelace mezi výnosy navzájem je patrná, nechává ale prostor pro určitou variabilitu.

Jako podklad pro agronomické rozhodování a tvorbu aplikačních map je nejvhodnější kombinovat více metod a výsledky měření interpretovat s přihlédnutím k místním podmínkám. V takovém případě je měření elektrické vodivosti vhodným ukazatelem prostorové půdní heterogenity. Na základě měření elektrické vodivosti lze pozemek rozdělit do zón s různými nároky na agrotechnické zásahy a případně provést doplňující vzorkování v těchto zónách, pro stanovení půdních vlastností. Soubor takto získaných dat může sloužit jako výborný podklad pro tvorbu aplikačních map.

## 7 ZÁVĚR

Prostorová variabilita půdy na pozemku Oulehle je ve většině porovnávaných parametrů vysoká, v některých případech až extrémně. Právě to mohlo být důvodem nejednoznačných výsledků získaných za použití nepřímých metod. Zejména vzorky z erozně poškozených míst, které měly vysoký obsah vápníku, výrazně zkreslily výsledky přímých metod, např. výpočtu kationtové výměnné kapacity, a patrně i nepřímých. Půda s extrémně vysokým obsahem vápníku, místy až  $30\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  má natolik pozmeněné chemické i fyzikální vlastnosti, že může reagovat na provedené agrotechnické zásahy jinak než se očekává. V takovém případě nemusí elektrická vodivost odpovídat skutečné agronomické hodnotě půdy. V Česku je mnoho pozemků, které jsou podobně variabilní, ať už je to způsobeno erozí či jinými faktory. O to důležitější je tuto heterogenitu co nejpřesněji zjišťovat a zohledňovat při vytváření aplikačních map pro každý pozemek.

Pro použití v zemědělské praxi je nejlepší kombinovat všechny dostupné zdroje informací o kvalitě půdy. Tedy agronomické záznamy, výnosové mapy a výsledky agrochemického zkoušení půd s leteckými snímky a senzorovými metodami. Při vyhodnocování těchto dat je vhodné zohlednit znalost místních podmínek a praktické zkušenosti. Data získaná nepřímými metodami měření půdní heterogenity mohou být velmi cennou složkou celkové charakteristiky pozemku, pokud jsou správně interpretována.

Na pozemku Oulehle je třeba upravit agrotechnické zásahy v souladu se zjištěnou heterogenitou. V opačném případě bude na některých místech docházet k nadužívání hnojiv a souvisejícímu poškození půdy a kontaminaci spodních vod, zatímco výživný stav erozí poškozených ploch bude stále nedostatečný. Ideální by byla aplikace organických hnojiv na tato poškozená místa, nebo nejlépe osetí zlepšující plodinou, např. vojtěškou na období několika let.

V rámci budoucího výzkumu by bylo zajímavé provést geologický průzkum, který by mohl odhalit příčiny eroze. Vhodným doplňkem by byla analýza organických látek v různých hloubkách, která by se dala porovnat s měřením elektrické vodivosti v těchto hloubkách a také zrnitostním profilem půdy. Takto komplexní data by pomohla osvětlit nejednoznačné výsledky současně dostupných dat. Zajímavým doplňkem by bylo měření emisí skleníkových plynů, protože je pravděpodobné, že takto heterogenní pozemek bude velmi variabilní i v tomto parametru, zvláště pokud je na něm uplatňován jednotný agrotechnický přístup.

## 8 LITERATURA

- Adamchuk, V.I, J.W Hummel, M.T Morgan and S.K Upadhyaya, 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. vol. 44, no. 1, pp. 71-91. Online: doi:10.1016/j.compag.2004.03.002. ISSN:0168-1699
- AgilSpace, 2017. AgilSpace. *Agilspace.com* [online] [accessed. 18 . March 2017]. Online: <http://www.agilspace.com/geoservice.php?pc=cosmo>
- ArcData, 2017. *Družicová data* [online] [accessed. 18 . March 2017]. Online: [http://chrome-extension://ecnphlgnajanjncmbpancdjoidceilk/content/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fdownload.arcdata.cz%2Fdoc%2Fdruzicova\\_data.pdf](http://chrome-extension://ecnphlgnajanjncmbpancdjoidceilk/content/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fdownload.arcdata.cz%2Fdoc%2Fdruzicova_data.pdf)
- BAG, O.O., 2017. YARA N-Sensor: System Precyzyjnego & Zmiennego Nawożenia Azotem • Korzystna Cena - BAG Polska. *Bagpolska.pl* [online] [accessed. 19 . March 2017]. Online: <http://bagpolska.pl/produkty/precyzyjne-nawozenie/yara-n-sensor/>
- Bauer, M.E. and J.E. Cipra, 1973. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. In: [online]. B.m.: NASA. Goddard Space Flight Center Symp. on Significant Results obtained from the ERTS-1, Vol. 1, Sect. A and B; p 205-212; (SEE 19730019475) [accessed. 18 . March 2017]. Retrieved z: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19730019500>
- Bedord, Laurie, 2017. Veris Technologies Unveils On-The-Go Soil Sensors. *Successful Farming* [online] [accessed. 11 . March 2017]. Online: <http://www.agriculture.com/news/technology/veris-technologies-unveils-tool-that-allows-you-to-map-soil-while-planting>
- Bongiovanni, R. and J. Lowenberg-Deboer, 2004. Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture* [online]. vol. 5, no. 4, pp. 359-387. Online: doi:10.1023/b:prag.0000040806.39604.aa ISSN: 1573-1618
- Brazier, Richard E., Elizabeth R. Dixon, Phillip J. Murray, Christopher J. A. Macleod, William Roberts, Roland Bol and Sabine Peukert, 2012. Understanding spatial variability of



soil properties: A key step in establishing field- to farm-scale agro-ecosystem experiments. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* [online]. vol. 26, no. 20, pp. 2413-2421. Online: doi:10.1002/rcm.6336 ISSN:1097-0231

Camargo, Livia Arantes, José Marques, Gener Tadeu Pereira and Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni, 2013. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. *CATENA* [online]. vol. 100, pp. 100-106. Online: doi:10.1016/j.catena.2012.07.016. ISSN:0341-8162

Cambardella, C.A. and D.L. Karlen, 1999. Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters. *Precision agriculture*. vol. 1, no. 1, pp. 5-14. ISSN:1573-1618

Chiles, Jean-Paul and Pierre Delfiner, 2013. *Geostatistics: Modeling Spatial uncertainty*. European journal of Soil Science. Volume 64. Issue 2. ISSN:1351-0754

Clay, David and Francis J. Pierce, 2007. *GIS applications in agriculture, volume One (book/CD Rom)*. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis. ISBN: 0849375266

Clay, David and John Francis Shanahan, 2011. *GIS applications in agriculture*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN:1420078801

Corwin, D.L. and S.M. Lesch, 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. vol. 46, number 1-3, pp. 11-43. Online: doi:10.1016/j.compag.2004.10.005. ISSN:0168-1699

Corwin, D. L., Lesch, S. M., Shouse, P. J., Soppe, R. and Ayars, J. E., 2003, Identifying Soil Properties that Influence Cotton Yield Using Soil Sampling Directed by Apparent Soil Electrical Conductivity. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95, no. 2, p. 352. DOI 10.2134/agronj2003.0352. American Society of Agronomy. ISSN: 1435-0645.

Doolittle, James A. and Eric C. Brevik, 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma* [online]. vols. s 223–225, pp. 33–45 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.geoderma.2014.01.027. ISSN:0016-7061

- EPA, US, 2017. *Understanding global warming potentials* [online] [accessed. 25 . February 2017]. Online: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Fieldsout, 2017. FieldScout pH 600 & 400 Meters | Spectrum Technologies. *Specmeters.com* [online] [accessed. 18 . March 2017]. Online: <http://www.specmeters.com/nutrient-management/ph-and-ec-meters/ph/fieldscout-ph-600-and-400-meters/>
- FRV, UTB, 2017. Ucebnice.Remediace.CZ. *Ucebnice.remediace.cz* [online] [accessed. 6 . April 2017]. Online: <http://ucebnice.remediace.cz/default.asp?oid=03010500001&fid=154>
- Gebbers, R. and V. I. Adamchuk, 2010. Precision Agriculture and Food Security. *Science* [online]. vol. 327, no. 5967, pp. 828-831. Online: doi:10.1126/science.1183899. ISSN:1095-9203
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* [online]. vol. 89, number 1-2, pp. 1-45. Online: doi:10.1016/s0016-7061(98)00078-0. ISSN:0016-7061
- Gostomski, Rom, 2017. Electromagnetic Surveys - EM38 Mk2 and EM31 Mk2 - Sandberg GPR. *Groundpenetratingradar.co.uk* [online] [accessed. 11 . March 2017]. Online: <http://www.groundpenetratingradar.co.uk/methods/electromagnetic-surveys.html#!prettyPhoto>
- Hanrahan, Grady, Deepa G. Patil and Joseph Wang, 2004. Electrochemical sensors for environmental monitoring: design, development and applications. *Journal of Environmental Monitoring* [online]. vol. 6, no. 8, p. 657. Online: doi:10.1039/b403975k. ISSN:1464-0325
- He, Z. L., N. K. Fageria and V. C. Baligar, 2001. NUTRIENT USE EFFICIENCY IN PLANTS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [online]. vol. 32, number 7-8, pp. 921-950. Online: doi:10.1081/css-100104098. ISSN:1532-2416

- Hedlund, Katarina and Alwyn Williams, 2013. Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Applied Soil Ecology* [online]. vol. 65, pp. 1–7 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.apsoil.2012.12.019. ISSN:0929-1393
- Heege, Hermann J, 2013. *Precision in crop farming: Site specific concepts and sensing methods: Applications and results*. Dordrecht: Springer. ISBN:9400794452
- Hengl, Tomislav, 2009. *A practical guide to geostatistical mapping*. 1st ed. Amsterdam: University of Amsterdam. ISBN:9090249818
- Hiemstra, Tjisse, Antelo, Juan, Rahnemaie, Rasoul and Riemsdijk, Willem H. van, 2010, Nanoparticles in natural systems I: The effective reactive surface area of the natural oxide fraction in field samples. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2010. Vol. 74, no. 1, p. 41-58. DOI 10.1016/j.gca.2009.10.018. Elsevier BV. ISSN:0016-7037
- Hutchings, Michael J., Elizabeth A. John and Dushyantha K. Wijesinghe, 2003. TOWARD UNDERSTANDING THE CONSEQUENCES OF SOIL HETEROGENEITY FOR PLANT POPULATIONS AND COMMUNITIES. *Ecology* [online]. vol. 84, no. 9, pp. 2322-2334. Online: doi:10.1890/02-0290. ISSN:0012-9658
- Innovativegis, 2017. Further Reading for Book IV, Topic 4. *Innovativegis.com* [online] [accessed. 12 . March 2017]. Online: [http://www.innovativegis.com/basis/BeyondMappingSeries/BeyondMapping\\_IV/Topic4/FurtherReading4.htm](http://www.innovativegis.com/basis/BeyondMappingSeries/BeyondMapping_IV/Topic4/FurtherReading4.htm).
- ISRIC, 2017. ICRAF/ISRIC spectral library | ISRIC World Soil Information. *Isric.org* [online] [accessed. 12 . March 2017]. Online: <http://www.isric.org/data/icrafisric-spectral-library>
- Jakobsen, Svend Tage, 1993. Interaction between Plant Nutrients: III. Antagonism between Potassium, Magnesium and Calcium. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* [online]. vol. 43, no. 1, pp. 1-5. Online: doi:10.1080/09064719309410223. ISSN:0906-4710

- Johnson, Cinthia K., Doran, John W., Duke, Harold R., Wienhold, Brian J., Eskridge, Kent M. and Shanahan, John F., 2001, Field-Scale Electrical Conductivity Mapping for Delineating Soil Condition. *Soil Science Society of America Journal*. 2001. Vol. 65, no. 6, p. 1829. DOI 10.2136/sssaj2001.1829. Soil Science Society of America. ISSN:0361-5995
- Kang, Manjit S and Surinder S Banga, 2013. *Combating Climate Change: An agricultural perspective*. 1st ed. London: CRC Press. ISBN:1466566701
- Kenya, Nairobi 00100, Old Naivasha Road, International Livestock Research Institute, Sophie Zechmeister-Boltenstern, Ralf Kiese, Michael Dannenmann, Elizabeth M Baggs and Klaus Butterbach-Bahl, 2013. Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls?. *The Royal society publishing. Biological sciences*. [online]. vol. 368, no. 1621, p. 20130122 [accessed. 7 . February 2017]. Online: doi:10.1098/rstb.2013.0122. ISSN:0962-8452
- Kerry, R. and M.A. Oliver, 2007. Determining the effect of asymmetric data on the variogram. I. Underlying asymmetry. *Computers & Geosciences* [online]. vol. 33, no. 10, pp. 1212-1232. Online: doi:10.1016/j.cageo.2007.05.008. ISSN:0098-3004
- Kitchen, N. R., Sudduth, K. A. and Drummond, S. T., 1999, Soil Electrical Conductivity as a Crop Productivity Measure for Claypan Soils. *jpa*. 1999. Vol. 12, no. 4, p. 607. DOI 10.2134/jpa1999.0607. American Society of Agronomy. ISSN:1435-0645
- Klement, Vladimír, Michaela Smatanová and Karel Trávník, 2012. *Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice* =. 1st ed. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. ISBN:9788074010620
- Knadel, Maria, Anton Thomsen, Kirsten Schelde and Mogens Humlekrog Greve, 2015. Soil organic carbon and particle sizes mapping using vis-NIR, EC and temperature mobile sensor platform. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. vol. 114, pp. 134-144. Online: doi:10.1016/j.compag.2015.03.013. ISSN:0168-1699

- Laba, Magdeline and Philippe C. Baveye, 2015. Moving away from the geostatistical lamppost: Why, where, and how does the spatial heterogeneity of soils matter?. *Ecological Modelling* [online]. vol. 298, pp. 24–38 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.03.018. ISSN:0304-3800
- Labguide, 2017. Fluorochromy | LabGuide.cz – Průvodce laboratoří. *Labguide.cz* [online] [accessed. 18 . March 2017]. Online: <http://labguide.cz/fluorochromy/>
- Lanscientific, 2017. Buy Sell high technology Lanscientific X3G700K handheld XRF soil spectrometer - lanscientific. *Lanscientific.sell.ecer.com* [online] [accessed. 12 . March 2017]. Online: <http://lanscientific.sell.ecer.com/pz527de9e-sell-high-technology-lanscientific-x3g700k-handheld-xrf-soil-spectrometer.html>
- LeadingFarmers.cz, 2017. eShop > LeadingFarmers.cz. *Leadingfarmers.cz* [online] [accessed. 26 . March 2017]. Online: <http://www.leadingfarmers.cz/shop/?ix=1874&link=>
- Lina, Geng, Chen Yiyin, Li Najia, Yang Chao, Wang Hongfeng, Liu Shuduan, Xu Chen, Wang Daibin and Jiang Houlong, 2016. Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. *EURASIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE (EJSS)* [online]. vol. 5, no. 1, p. 62 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.18393/ejss.2016.1.062-073. ISSN:2147-4249
- Lucà, F and G Buttafuoco, 2016. The Contribution of Geostatistics to Precision Agriculture. *Ann Agric Crop Sci.* vol. 1, no. 2, p. 1008. ISSN:0570-1783
- Lukas, V., 2010. Mapování variability pozemků. *Zemědělec*. vol. 2010, no. 33, pp. 11-12. ISSN:1211-3816
- Lukas, Vojtěch, Lubomír Neudert and Jan Křen, 2011. *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: Metodika pro praxi*. 1st ed. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN:8073755629

- Lukas, Vojtěch, Pavel Gnip, Tamara Dryšlová, Lubomír Neudert, Pavel Ryant and Vladimír Smutný, 2011. *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství: Metodika pro praxi*. 1st ed. Brno: Mendelova univerzita v Brně.  
ISBN:9788073755614
- Lyseng, Ron, 2011. New machine acts as soil lab on wheels. *The western producer* [online]. [accessed. 3 . April 2017]. Online: <http://www.producer.com/2011/08/new-machine-acts-as-soil-lab-on-wheels/>
- Marchant, Ben, Thomas Bishop and Margaret Oliver, 2013. *Precision agriculture for sustainability and environmental protection*. London, United Kingdom: Taylor and Francis.  
ISBN:0415504406
- Menz, Gunter, Roland Gerhards and Erich-Christian Oerke, 2010. *Precision crop protection - the challenge and use of heterogeneity*. Dordrecht: Springer. ISBN:9048192765
- Minasny, Budiman, Alex B. McBratney and Raphael A. Viscarra Rossel, 2010. *Proximal soil sensing*. B.m.: Springer Nature. ISBN:9400732880
- Moldan, Bedřich, 2015. *Podmaněná planeta*. B.m.: Charles University in Prague, Karolinum Press. ISBN:9788024629995
- Moody, P. W. and M. J. Bell, 2006. Availability of soil potassium and diagnostic soil tests. *Australian Journal of Soil Research* [online]. vol. 44, no. 3, p. 265. Online: doi:10.1071/sr05154. ISSN:0004-9573
- Mulla, David J., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* [online]. vol. 114, no. 4, pp. 358-371. Online: doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009. ISSN:1537-5110
- Next instruments, 2017. [online] [accessed. 19 . March 2017]. Online: [http://chrome-extension://ecnphlgnajanjnkcmpancdjoidceilk/content/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.nextinstruments.net%2Ffiles%2F4814%2F2536%2F3350%2F2015\\_CropScan\\_3000H\\_On\\_Combine\\_Analyser\\_Brochure\\_4\\_x\\_1P\\_V3.pdf](http://chrome-extension://ecnphlgnajanjnkcmpancdjoidceilk/content/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.nextinstruments.net%2Ffiles%2F4814%2F2536%2F3350%2F2015_CropScan_3000H_On_Combine_Analyser_Brochure_4_x_1P_V3.pdf)

- Nocita, Marco, Antoine Stevens, Bas van Wesemael, David J. Brown, Keith D. Shepherd, Erick Towett, Ronald Vargas and Luca Montanarella, 2014. Soil spectroscopy: an opportunity to be seized. *Global Change Biology* [online]. vol. 21, no. 1, pp. 10-11. Online: doi:10.1111/gcb.12632. ISSN:1365-2486
- Novotný, Ivan a Vopravil, Jan 2013. *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek*. 1st ed. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN:9788087361214
- Nowak, Peter and Francis J. Pierce, 1999. Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy* [online]. vol. 67, pp. 1–85 [accessed. 17 . January 2017]. Online: doi:10.1016/S0065-2113(08)60513-1. ISSN:0065-2113
- Oliver, M.A. and Z.L. Carroll, 2005. Exploring the spatial relations between soil physical properties and apparent electrical conductivity. *Geoderma* [online]. vol. 128, number s 3–4, pp. 354–374 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.geoderma.2005.03.008. ISSN:0016-7061
- Pavel, Eva Kunzová and Jan Klír, 2008. *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. 2nd ed. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN:9788087011614
- Pechanec, V., K. Rejšek, A. Mráz, J. Svobodová, H. Kiliánová and V. Vranová, 2017. *Nasazení multispektrálních optických senzorů pro monitorování vlastností půdy*. 1st ed. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN:9788024451114
- Portmann, Robert W., John S. Daniel and A. R. Ravishankara, 2009. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): The dominant Ozone-Depleting substance emitted in the 21st century. *Science* [online]. vol. 326, no. 5949, pp. 123-125 [accessed. 25 . February 2017]. Online: doi:10.1126/science.1176985. ISSN:1095-9203
- Quicksurf, 2017. QuickSurf Utilities. *Transport.polymtl.ca* [online] [accessed. 9 . April 2017]. Online: [http://www.transport.polymtl.ca/civ1120/quicksurf\\_manual/373.htm](http://www.transport.polymtl.ca/civ1120/quicksurf_manual/373.htm)
- Ravilious, Corinna, Valerie Kapos, Roland Hiederer and Jorn P W Scharlemann, 2009. *Updated global carbon map data and methods why produce a global map of terrestrial carbon*

- stocks? Why produce a global map of terrestrial carbon stocks?* [online]. [accessed. 20 . February 2017]. Online: <http://old.unep-wcmc.org/media-library/2010/10/05/ebab7f39/Updated%20Global%20Carbon%20Map%20Poster.pdf>
- Rhoades, J. D., N. A. Manteghi, P. J. Shouse and W. J. Alves, 1989. Soil Electrical Conductivity and Soil Salinity: New Formulations and Calibrations. *Soil Science Society of America Journal* [online]. vol. 53, no. 2, p. 433. Online: doi:10.2136/sssaj1989.03615995005300020020x. ISSN:1435-0661
- Řezník, T., Lukas, V., Charvát, K., Charvát Jr., K., Horáková, Š., Křivánek, Z. and Herman, L., 2016, MONITORING OF IN-FIELD VARIABILITY FOR SITE SPECIFIC CROP MANAGEMENT THROUGH OPEN GEOSPATIAL INFORMATION. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2016. Vol. XLI-B8, p. 1023-1028. DOI 10.5194/isprs-archives-xli-b8-1023-2016. Copernicus GmbH. ISSN:2194-9034
- Sáňka, M., Materna, J., 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *edice Planeta 2004, Odborný časopis pro životní prostředí*. ročník 12. č.11/2004. ISSN:1213-3393
- Schulin, Rainer, Karim C. Abbaspour, Zongxue Xu, Xiuying Wang, Ligia B. Azevedo, Junguo Liu, Hong Yang and Wenfeng Liu, 2016. Global assessment of nitrogen losses and trade-offs with yields from major crop cultivations. *Science of The Total Environment* [online]. vol. 572, pp. 526–537 [accessed. 20 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.093. ISSN:0048-9697
- Sharma, Seema B, Riyaz Z Sayyed, Mrugesh H Trivedi and Thivakaran A Gobi, 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus* [online]. vol. 2, no. 1, p. 587. Online: doi:10.1186/2193-1801-2-587. ISSN: 2193-1801
- Smil, Vaclav, 2001. *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*. Cambridge, MA: MIT Press (MA). ISBN:0262693135
- Stafford, John V., 2015. *Precision agriculture: 2015*. Netherlands: Wageningen Academic Publishers. ISBN:9789086862672



- Thomason, Wade, 2017. Understanding Phosphorus Behavior in Soils. *Noble Foundation* [online] [accessed. 11 . April 2017]. Online: <https://www.noble.org/news/publications/ag-news-and-views/2002/january/understanding-phosphorus-behavior-in-soils/>.
- ÚKZÚZ, 2016. Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2017 až 2022.
- Vazques, A.A., P. Dahle, P. Abrahamsen, A. Skorstad and F. Geordsen, 2009. COHIBA user manual version 1.4.1. *Nr.no* [online] [accessed. 19 . March 2017]. Online: [https://www.nr.no/files/sand/Cohiba/cohiba\\_manual\\_0.html](https://www.nr.no/files/sand/Cohiba/cohiba_manual_0.html)
- Vernier, 2017. Potassium Ion-Selective Electrode > Vernier Software & Technology. *Vernier.com* [online] [accessed. 18 . March 2017]. Online: <https://www.vernier.com/products/sensors/ion-selective-electrodes/k-bta/>
- Vlcek, VUMOP-v.v.i., 2017. WAKPP. *Wakpp.vumop.cz* [online] [accessed. 11 . March 2017]. Online: <http://wakpp.vumop.cz/>
- VUMOP, 2017. Souhrnné mapy VUMOP. *Mapy.vumop.cz* [online] [accessed. 26 . March 2017]. Online: <http://mapy.vumop.cz/>
- Walter, Christian, Valérie Viaud, Didier Michot, Alex McBratney, Budiman Minasny and Marine Lacoste, 2014. High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape. *Geoderma* [online]. vol. 213, pp. 296–311 [accessed. 7 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.geoderma.2013.07.002. ISSN:0016-7061
- Webster, R. and M.A. Oliver, 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *CATENA* [online]. vol. 113, pp. 56–69 [accessed. 19 . February 2017]. Online: doi:10.1016/j.catena.2013.09.006. ISSN: 0341-8162
- Wijesinghe, Dushyantha K., Elizabeth A. John and Michael J. Hutchings, 2003. TOWARD UNDERSTANDING THE CONSEQUENCES OF SOIL HETEROGENEITY FOR PLANT POPULATIONS AND COMMUNITIES. *Ecology* [online]. vol. 84, no. 9, pp. 2322-2334. Online: doi:10.1890/02-0290. ISSN:1939-9170

Yara, 2017. Yara. *Yara.com* [online] [accessed. 19 . March 2017]. Online:

[http://yara.com/products\\_services/fertilizers/support\\_services/support\\_tools/](http://yara.com/products_services/fertilizers/support_services/support_tools/)

Zimdahl, Robert L., 2015. *Six chemicals that changed agriculture*. United States: Academic Press. ISBN:0128005610

Zákon č. 156/1998 Sb. *Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd* (zákon o hnojivech) v aktuálním znění

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- obr. 1 Zásoby organického uhlíku ve světových půdách (Scharlemann et al. 2009)*
- obr. 2 Pole v k.ú. Morkůvky (Google earth, dostupné online dne 20.2.2017)*
- obr. 3 Prostorová interpolace (Innovativegis.com, 2017)*
- obr. 4 Porovnání tří druhů krigingu (Vazques et al. 2009)*
- obr. 5 Půdní mapa z roku 1963, k.ú. Morkůvky (Vlček, 2017)*
- obr. 6 BPEJ kód (Novotný a Vopravil 2013)*
- obr. 7 Půdní typy v Česku (VUMOP, 2017)*
- obr. 8 Dráhy elektrické vodivosti půdy (Corwin a Lesch, 2005, podle Rhoades 1989)*
- obr.9 Přístroj na měření elektromagn. vodivosti, Geonics EM38 Mk2 (Gostomski, 2017)*
- obr. 9 Veris iScan (Bedord, 2017)*
- obr. 10 Elektromagnetické spektrum (Labguide.cz, 2017)*
- obr. 11 Vytváření spektrálních databází pro spektroskopické měření. (Nocita et al., 2014),*
- obr. 12 Rentgenový spektrometr Lanscientific X3G 700K (Lanscientific, 2017)*
- obr.13 Ruční penetrometr (Lukas, Neudert and Křen, 2011)*
- obr.14 Iontově selektivní elektroda k měření koncentrace K, K-BTA (Vernier.com, 2017)*
- obr. 15 ISFET přístroj na měření pH FieldScout pH 400 (Specmeters.com, 2017)*
- obr.16 Veris MSP3 (LeadingFarmers.cz 2017)*
- obr.17 Družice Sky-Med COSMO (Agilspace.com, 2017)*
- obr.18 Yara N-sensor (BAG 2017)*
- obr.19 N-tester (Yara 2017)*
- obr.20 NIR spektroskopická analýza zrna (Next instruments 2017)*
- obr.21 Oulehle (online na webu katastru nemovitostí, nahlizenidokn.cuzk.cz, 30.3.2017)*
- obr.22 Mapa půdních typů ČR s vyznačením pozemku Oulehle (mapy.geology.cz, 30.3.2017)*
- obr. 23 Překryv pozemku Oulehle s BPEJ (eagri.cz, 30.3.2017)*
- obr.24 Oulehle, holá půda (maps.google.com, 30.3.2017)*
- obr. 25 Oulehle, porost (eagri.cz, 30.3.2017)*
- obr.26 Schéma odběru vzorků na pozemku Oulehle*
- obr.27 Bod vadnutí (FRV 2017)*
- obr.28 Měřicí souprava (Foto V. Lukas)*
- obr.29 Body záznamu elektrické vodivosti*

*obr.30 Variogram, (Quicksurf 2017)*

*obr.31 Obsah P na pozemku Oulehle, četnost*

*obr.32 Oulehle, obsah P, graf.: Variogram, lag size 30*

*obr.33 Prostorová variabilita obsahu P*

*obr.34 Bodový graf obsahu P a Ca (vlevo), resp. pH (vpravo)*

*obr.35 Obsah K na pozemku Oulehle, četnost*

*obr.36 Oulehle, obsah K, Variogram, lag size 50*

*obr.37 Mapa obsahu draslíku*

*obr. 38 Korelace mezi obsahem K a bodem vadnutí (vlevo), resp. elektrickou vodivostí (vpravo)*

*obr.39 Obsah Mg, histogram*

*obr.40 Variogram obsahu hořčíku*

*obr.41 Obsah Mg na pozemku Oulehle*

*obr.42 Obsah Ca, četnost*

*obr.43 Variogram, obsah Ca na pozemku Oulehle*

*obr.44 Letecký snímek pozemku Oulehle*

*obr.45 Obsah vápníku*

*obr.46 Oulehle v roce 1953, ortofoto*

*obr.47 Obsah oxidovatelného uhlíku*

*obr.48 Histogram pH*

*obr.49 Korelace mezi obsahem Ca a pH*

*obr.50 Variogram pH*

*obr.51 Mapa pH*

*obr.52 KVK na pozemku Oulehle*

*obr.53 KVK na pozemku Oulehle*

*obr.54 Bod vadnutí, četnost*

*obr.55 Bod vadnutí, variogram*

*obr. 56 Bod vadnutí, mapa*

*obr.57 Obsah jílu, mapa*

*obr.58 Elektrická vodivost, histogram*

*obr.59 Elektrická vodivost, mapa*

*obr.60 Korelace mezi elektrickou vodivostí a bodem vadnutí*

*obr.61 korelace elektrické vodivosti s výnosy z let 2013-2015*

*obr.62 Korelace mezi obsahem draslíku a výnosem z roku 2015*

*obr.63 Korelace mezi výnosovým potenciálem a elektrickou vodivostí*

*obr.64 Korelace výnosového potenciálu s výnosy*

*obr.65 Hranice BPEJ na podkladu výnosové mapy*

## 10 SEZNAM TABULEK

- Tab. 1* Roční spotřeba živin a množství aplikovaných hnojiv (Baligar et al., 2001)
- Tab. 2* Agrochemické zkoušení zemědělských půd v ČR (Klement et al., 2012)
- Tab.3* Informace o pozemku Oulehle (online na [eagri.cz](http://eagri.cz), 30.3.2017)
- Tab.4* Plošné zastoupení BPEJ na pozemku Oulehle (dostupné online na [eagri.cz](http://eagri.cz), 30.3.2017)
- Tab.5* Nepřímé metody mapování půdní variability na pozemku Oulehle
- Tab.6* Statistické ukazatele výsledků laboratorních analýz půdních vzorků
- Tab.7* Kritéria pro hodnocení variačního koeficientu (ÚKZÚZ 2016)
- Tab.8* Hodnocení obsahu P na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)
- Tab.9* Hodnocení obsahu K na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)
- Tab.10* Hodnocení obsahu Mg na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)
- Tab.11* Hodnocení obsahu Ca na orné půdě (ÚKZÚZ, 2016)
- Tab.12* Statistické údaje Cox
- Tab.13* Kritéria hodnocení KVK (ÚKZÚZ, 2016)
- Tab.14* Statistické údaje, bod vadnutí
- Tab.15* Půdní zrnitost, statistika
- Tab.16* Statistické údaje, elektrická vodivost
- Tab.17* Korelační matice

# 11 PŘÍLOHY

Příloha 1. Korelační matice

	K	P	Mg	Q	KVK	pH	BV	EV	VP	Vyn2013	Vyn2014	Vyn2015	Cox	nad 0,25	do 0,05	do 0,01	do 0,002	do 0,001	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	0,002-0,001	NV (m)		
K	1,00																								
P	0,36	1,00																							
Mg	-0,04	-0,29	1,00																						
Q	-0,35	-0,59	0,38	1,00																					
KVK	-0,33	-0,68	0,34	0,89	1,00																				
pH	-0,43	-0,68	0,20	0,65	0,81	1,00																			
BV	0,27	0,06	-0,05	0,10	0,00	-0,02	1,00																		
EV	0,29	-0,09	-0,03	-0,26	-0,27	-0,21	0,27	1,00																	
VP	0,07	-0,03	0,23	0,26	0,28	0,23	-0,04	-0,40	1,00																
Vyn2013	0,24	-0,01	-0,06	-0,07	-0,02	0,02	-0,01	0,07	0,13	1,00															
Vyn2014	0,27	0,11	-0,12	-0,19	-0,13	-0,04	-0,06	0,04	0,19	0,69	1,00														
Vyn2015	0,41	0,05	-0,13	-0,31	-0,24	-0,11	-0,04	0,29	0,15	0,63	0,60	1,00													
Cox	0,60	0,35	-0,34	-0,63	-0,63	-0,53	0,19	0,36	-0,07	0,28	0,32	0,57	1,00												
nad 0,25	-0,07	0,47	-0,33	-0,51	-0,57	-0,53	-0,14	-0,04	-0,29	-0,22	-0,10	-0,23	0,17	1,00											
do 0,05	0,30	-0,31	0,12	0,26	0,25	0,20	0,25	0,34	0,16	0,29	0,22	0,44	0,26	-0,71	1,00										
do 0,01	0,31	-0,23	-0,05	0,15	0,10	0,04	0,25	0,48	0,02	0,22	0,15	0,34	0,31	-0,42	0,86	1,00									
do 0,002	0,38	-0,05	-0,11	-0,11	-0,16	-0,18	0,15	0,54	-0,11	0,21	0,21	0,41	0,45	-0,20	0,74	0,91	1,00								
do 0,001	0,41	0,06	-0,18	-0,27	-0,31	-0,30	0,15	0,57	-0,16	0,18	0,21	0,42	0,53	-0,06	0,64	0,84	0,97	1,00							
0,25-0,05	-0,34	-0,15	0,25	0,27	0,35	0,37	-0,17	-0,42	0,14	-0,12	-0,18	-0,31	-0,57	-0,25	-0,50	-0,67	-0,78	-0,81	1,00						
0,05-0,01	-0,01	-0,17	0,32	0,22	0,29	0,32	0,02	-0,24	0,27	0,14	0,13	0,20	-0,08	-0,58	0,30	-0,23	-0,30	-0,33	-0,81	1,00					
0,01-0,002	0,05	-0,44	0,09	0,52	0,51	0,41	0,31	0,14	0,24	0,13	-0,01	0,06	-0,08	-0,62	0,68	0,70	0,35	0,22	-0,33	0,30	1,00				
0,002-0,001	0,01	-0,41	0,22	0,56	0,52	0,38	0,05	0,09	0,13	0,17	0,06	0,12	-0,13	-0,58	0,60	0,59	0,44	0,20	-0,33	0,30	-0,19	-0,01	1,00		
NV (m)	0,03	0,16	0,18	0,02	-0,12	-0,32	0,06	-0,14	-0,13	-0,31	-0,37	-0,42	-0,04	0,52	-0,33	-0,11	-0,08	-0,06	-0,18	-0,12	0,05	0,59	-0,11	1,00	

*Legenda ke korelační matici*

K	Draslík
P	Fosfor
Mg	Hořčík
Ca	Vápník
KVK	Kationtová výměnná kapacita
pH	pH
BV	Bod vadnutí
EV	Elektrická vodivost
VP	Výnosový potenciál
Vyn2013	Výnos 2013
Vyn2014	Výnos 2014
Vyn2015	Výnos 2015
Cox	Obsah oxidovatelného uhlíku
nad 0.25	Obsah částic o průměru nad 0,25mm
do 0.05	Obsah částic o průměru do 0,05mm
do 0.01	Obsah částic o průměru do 0,01mm
do 0.002	Obsah částic o průměru do 0,002mm
do 0.001	Obsah částic o průměru do 0,001mm
0.25-0.05	Obsah částic o průměru mezi 0,25-0,05mm
0.05-0.01	Obsah částic o průměru mezi 0,05-0,01mm
0.01-0.002	Obsah částic o průměru mezi 0,01-0,002mm
0.002-0.001	Obsah částic o průměru mezi 0,002-0,001mm
NV (m)	Nadmořská výška