

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

**Hodnocení variability půdních vlastností na základě
měření elektrické vodivosti půdy**

Eliška Votavová

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Eliška Votavová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Hodnocení variability půdních vlastností na základě měření elektrické vodivosti půdy.

Název anglicky

Evaluation of soil variability based on measuring the soil electrical conductivity.

Cíle práce

Cíl práce bude ověřit nové možnosti mapování variability půdy pomocí měřicích platform osazených na strojích pro zpracování půdy a setí.

Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bude představovat literární rešerši k danému tématu. V praktické části bude hodnocena úroveň variability zemědělských pozemků na základě měření vodivosti půdy pomocí galvanicky kontaktní metody měření. Měřicí platforma bude přímo součástí stroje. Jako srovnávací metoda bude použita sonda půdní vodivosti EM 38 MK2. Bude hodnocena úroveň shody mezi získanými soubory dat.

Doporučený rozsah práce

50 – 55 stran včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

variabilita půdy, vodivost půdy, GIS, mapování.

Doporučené zdroje informací

HEEGE H.J. ed. Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results, Springer, 2013. ISBN 978-94-007-6759-1.

RATAJ V., GALAMBOŠOVÁ J., MACÁK M., NOZDROVICKÝ L. Presné polnohospodárstvo: systém – stroje – skúsenosti, 1. vyd. Praha: Profi Press, 2014. 157 s. ISBN 978-80-86726-64-9.

R.A.Viscarra Rossel, A. Mcratney, B. Minasny (Eds.), Proximal Soil Sensing, Netherlands: Springer Netherlands, 2010, ISBN 978-90-481-8858-1.

Sborník 10th European Conference on Precision Agriculture. 1. vydání. Wageningen: Wageningen Academic Publishers The Netherlands, 2015. 752 s. ISBN: 978-90-8686-267-2.

Sborník 9th European Conference on Precision Agriculture. 1. vydání. Wageningen: Wageningen Academic Publishers The Netherlands, 2013. 823 s. ISBN: 978-90-8686-113-2.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2016

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci „Hodnocení variability půdních vlastností na základě měření elektrické vodivosti půdy“ vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne 31. 3. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování práce.

Dále bych ráda poděkovala rodině za trpělivost během celého mého studia, zaměstnavateli za podmínky umožňující dokončení studia a přátelům za jejich bezmeznou podporu.

Hodnocení variability půdních vlastností na základě měření elektrické vodivosti půdy

Evaluation of soil variability based on measuring the soil electrical conductivity

Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo ověření nových možností mapování variability půdy pomocí měřících platforem osazených na strojích pro zpracování půdy. V kapitole „Půda“ jsou popsány typy půd v České republice, příčiny variability půdy a metody prostorových interpolací. Kapitola „Mapování prostorové variability pozemků“ se věnuje způsobu určování variability půdních vlastností pomocí přímých a nepřímých metod, výběru míst pro odběr půdních vzorků, způsoby měření elektrické vodivosti půdy a přehledu možností mapování, především pomocí On-the-go senzorů. Poslední část literární rešerše je nazvaná „Geografický informační systém“, kde jsem popsala účel a využití tohoto systému v precizním zemědělství. Následuje praktická část diplomové práce, která se zabývá hodnocením úrovně variability zemědělských pozemků na základě měření vodivosti půdy pomocí galvanicky kontaktní metody měření a její následné srovnání při použití sondy půdní vodivosti EM 38 MK2. V závěru je následné shrnutí práce a hodnocení úrovně shody mezi získanými soubory dat.

Summary

The aim of this diploma thesis was to verify the new capabilities for mapping variability of soil using measurement platforms mounted on machines for tillage. The chapter “Soil” describes types of soil in the Czech Republic, the causes of soil variability and the methods of spatial interpolation. The chapter “Mapping Spatial Variability of Land” focuses on the method of determining the variability of soil properties through direct and indirect methods, selection of locations for collection of soil samples, methods of measuring electrical conductivity and an overview of options for mapping, mainly via on-the-go sensors. The last part of the literary research is entitled “Geographic Information System” where I have described the purpose and uses of this system in precise farming. The subsequent practical part of the diploma thesis focuses on evaluation of the level of variability of farm land based on measuring of soil conductivity via a galvanic contact method of measuring and its subsequent comparison during use of an EM 38 MK2 soil conductivity probe. The conclusion contains a summary of the thesis and evaluation of the level of agreement between the obtained data files.

Klíčová slova:

- Variabilita půdy
- Vodivost půdy
- GIS
- Mapování

Keywords:

- Variability of soil
- Conductivity of soil
- GIS
- Mapping

1. Úvod.....	9
2. Půda.....	10
2.1. Klasifikace půd.....	11
2.1.1. Typy půd v České republice	11
2.2. Variabilita půd.....	12
2.2.1. Příčiny variability a její význam.....	13
2.3. Metody prostorových interpolací	15
2.3.1. Formát a rozmístění zdrojových dat	16
2.3.2. Rozdělení metod prostorové interpolace	17
2.3.3. Kriging.....	21
3. Mapování prostorové variability pozemků.....	24
3.1. Mapování variability půdních vlastností	24
3.2. Vzorkování půdy	28
3.3. Nepřímé metody identifikace variability půdy	29
3.3.1. On-the-go senzory	29
3.3.2. Měrná elektrická vodivost	32
3.3.3. Mapování půdy pomocí měrné vodivosti	33
3.3.4. Mapování půdy pomocí snímkování.....	34
3.4. Senzory pro měření elektrické vodivosti půdy	36
4. Geografický informační systém	41
4.1. Technologie využívané v precizním zemědělství.....	42
4.2. Aplikace grafických dat.....	42
5. Cíl práce	45
6. Metodika	45
6.1. Postup měření.....	47
6.2. Informace o pozemku	47
7. Zpracování dat	49
7.1. Ekonomické zhodnocení práce.....	60
8. Závěr	62
9. Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	63
9.1. Seznam obrázků	63
9.2. Seznam tabulek	64
9.3. Seznam grafů.....	64
10. Seznam použitých zdrojů	65

1. Úvod

Již naši předkové si uvědomovali, že jejich pozemky nejsou vždy vyrovnané a ani výnosy plodin nejsou na všech místech stejné. Každý majitel pozemku dobře znal svoje pole a věděl, ve které části je pole úrodnější, na níž při správném hospodaření dosáhne nejvyšších výnosů a které části jsou méně úrodné, a tudíž se na nich nevyplatí intenzivně hospodařit. Tato vědomost o rozmanitosti pozemku vycházela z dlouhodobé tradice péče o krajinu a předávání statků z generace na generaci.

K velké změně došlo v dobách vzniku zemědělských podniků, které hospodaří na rozsáhlých územích, kde pro dodržení diferencovaného přístupu chybí nejen generační vztah k půdě, ale také potřebné technické vybavení. Z tohoto důvodu bylo ještě v nedávné době s ohledem k velké výměře zemědělských podniků až neuskutečnitelné ošetřovat rozdílné části pozemku. Zvrat v tomto smýšlení nastal až s bouřlivým rozvojem výpočetní techniky a vývojem globálních navigačních satelitních systémů, které umožnily identifikaci a lokalizaci rozdílů v rámci pozemků. S tímto vývojem vznikl i nový způsob hospodaření nazývaný, precizní zemědělství.

Precizní zemědělství je mezinárodně ujednocený název pro směry využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století. Hlavním cílem tohoto směru je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám stanoviště, přičemž zásadou je provádět pěstební zásahy na správném místě, se správnou intenzitou a ve správný čas. Identifikace a stanovení zmiňované variability je předpokladem pro aplikace precizního zemědělství.¹

Jak již bylo řečeno, jedním z hlavních úkolů technologií precizního zemědělství jsou variabilní zásahy při hospodaření. Tyto zásahy zvyšují výnosnost rostlinné produkce, zvyšují kvalitu produktů, zajišťují ochranu přírodních zdrojů a životního prostředí. Přestože, se pojem precizní zemědělství rozšířil, zatím jen část zemědělců, využívá této technologie. Bohužel tento fakt platí i s ohledem na dostupné prostředky, umožňující variabilní aplikace.

¹ LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1

V současné době platí tedy skutečnost, že uplatnění poznatků v této oblasti nedoznalo takového rozšíření, jako v jiných oblastech výzkumu a vývoje.²

2. Půda

Půda patří mezi životně důležité, těžko obnovitelné přírodní zdroje a je jednou ze základních složek životního prostředí, jejíž produkční a mimoprodukční funkce jsou nezastupitelné. Je jedním z nejdůležitějších přírodních zdrojů a základní podmínka pro existenci lidstva. Můžeme říci, že půda je srdcem terestrických ekosystémů včetně agroekosystémů a je s ní nerozlučně spjata výroba produktů potřebných k obživě. Půda je přírodní útvar, který se vyvinul z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků. Její stavba s ložením je výsledkem působení klimatu a živých organismů žijících v půdě i mimo ni.³

Do složení půdy lze zahrnout čtyři hlavní složky. Minerální neboli anorganické a organické složky, vodu a vzduch. Organickou složku tvoří živé organismy, zejména rostliny a půdní organismy, jejichž odumřelé zbytky jsou zdrojem půdního humusu. Minerální složka půdy je tvořena především různými druhy nerostů jako například křemenem.

Půdní typy nebo půdní druhy se dělí podle zastoupení jednotlivých složek. Mezi dva základní typy můžeme dělit půdy minerální a organické, podle toho, zda převažuje minerální či organická složka. Minerální půdy většinou obsahují 1-6 % organických látek, zatímco organické půdy obsahují více než 50 % těchto látek. V České republice je velice pestré zastoupení různých druhů půd. Většina již je minerálních, což znamená, že asi 45 % zaujímá minerální složka, 5 % tvoří organická složka a zbývajících 50 % představuje voda a vzduch. Naopak organické půdy (půdy rašelinišť) se vyskytují zejména v boreálních a mírných oblastech Severní Ameriky, Asie i Evropy, především v lokalitách zamokřených, bažinatých s mělkou hladinou podzemní vody. Následně pak ve vyšších oblastech s vysokým poměrem srážek a mírou výparu vody z rostlin.⁴

² Odborný a stavovský týdeník Zemědělec [online] Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

³ JANDÁK, J., E. POKORNÝ a A. PRAX. P doznalství. třetí přeprac. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, [2010]. ISBN 978-80-7375-445-7

⁴ ŠARAPATKA, B. Pedologie. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. 235 s. ISBN 80-7067-590

2.1. Klasifikace půd

Základní klasifikačním měřítkem půd je jejich genetický typ. Půdní profil, jejichž zákonité uspořádání se vyznačuje určitou kombinací půdních vrstev, se vyznačuje různě zbarvenými půdními horizonty s rozdílnými vlastnostmi. Kombinace půdních vrstev nazývaná stratigrafie zahrnuje skupinu půd, jejichž genetický půdní typ je stejný. Výsledek toho je kvalitativně specifický typ půdotvorného procesu, který se vyvíjel v podobných klimatických podmínkách na určité skupině substrátů.⁵

2.1.1. Typy půd v České republice

Nejvíce rozšířeným půdním typem v České republice jsou kambizemě. Kambizemě tvoří 45 % půd a nacházejí se různých nadmořských výškách. Jsou využívány k zemědělským i lesnickým účelům. Nejvíce se na těchto půdách pěstují méně náročné plodiny, jako jsou například řepa, píce a řepka. Ve vyšších polohách jsou využívány na pastviny.

Dalším rozšířeným typem u nás je hnědozemě. Jsou také velmi kvalitní a slouží pro zemědělské účely především pro pěstování obilovin a řepy. V současné době jsou zastoupeny asi na 13 % zemědělské půdy.

Mezi jednoznačně nejkvalitnější půdu patří černozemě. Obsahují vysoce kvalitní humus a patří k těm neúrodnějším. Mají hnědavě tmavošedý až šedočerný humusový horizont. Tvoří 11 % našich zemědělských půd a pěstuje se na nich pšenice, kukuřice, cukrová řepa, vinná réva, ovoce a zelenina, chmel. Nachází se v nížinách, v oblastech s teplejším podnebím s menším množstvím srážek.

Pseudogleje jsou půdy dlouhodobě a pravidelně zamokřené, kdy se střídá zamokření a vysušování půdy. Převládají sušší stavy a zabírají 7 % půd nacházejících se nejčastěji v rovinatějších územích. Jsou méně úrodné, a proto se využívají především jako louky.

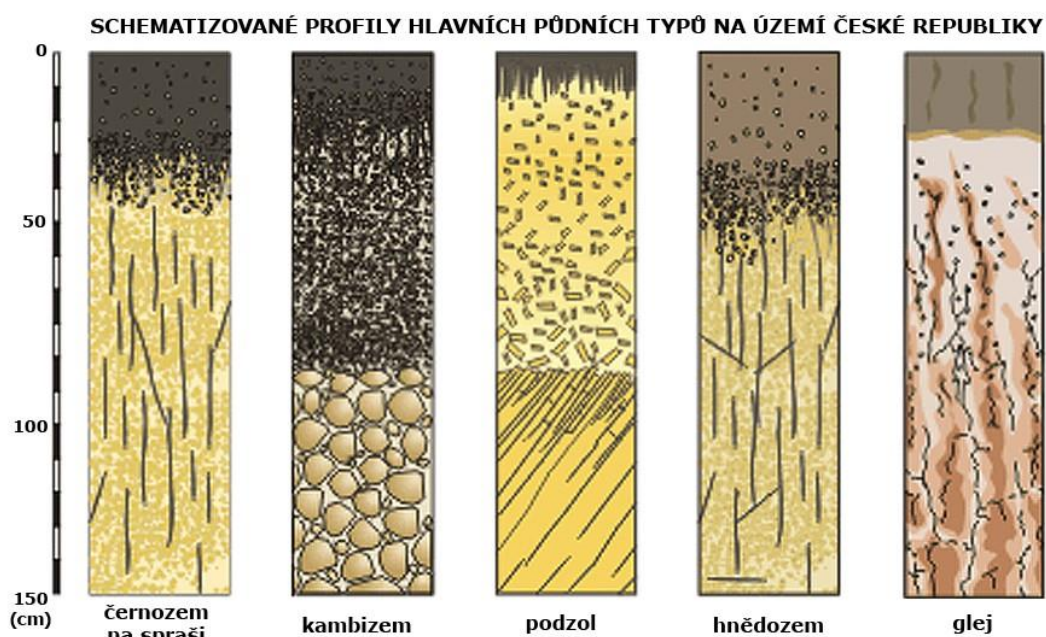
Fluvizemě jsou typickými půdami podél vodních domů a jejich zastoupení činí 6 % zemědělské půdy. Tento druh půl má různorodé vlastnosti díky kolísající hladině podzemní vody a důsledku toho se liší i v úrodnosti.

⁵ POKORNÝ, E. a B. ŠARAPATKA. Půdoznalství pro ekozemědělce. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, [2003]. Příručka ekologického zemědělce ; 2003/4. ISBN 80-7084-295-4.

V rovinných terénech na plochých částech úpatí svahů do nadmořské výšky cca 600 m n.m. nalezneme světle zbarvené luvizemě, které tvoří 5 % zemědělské půdy. Obsahují méně živin, ale i přesto jsou využívány k pěstování méně náročných plodin, ale i lesnicky.

Poslední zde zmiňovaný typ půdy jsou gleje. Gleje jsou trvale podmáčené půdy, jejich výměra činí 4 % půd a vyskytují se v nížinách. Jejich zemědělská hodnota je velmi nízká, ale mají velký význam při zadržování vody v krajině.⁶

Obrázek 1 - Schematizované profily hlavních půdních typů na území České republiky



Zdroj: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puda>

2.2. Variabilita půd

Variabilitu v určitém měřítku vykazují každá složka ekosystémů, kterou je možné interpretovat v čase i prostoru a to jak matematicky, statisticky, tak i geograficky. Variabilita pedosféry je velmi vysoká ve srovnání s ostatními složkami ekosystémů. Vyplývá to z její složité stavby a mnoha faktorů, které se na vývoji půd podílejí.

⁶ ŠARAPATKA, B. Pedologie. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. 235 s. ISBN 80-7067-590

Obrázek 2 - Faktory podílející se vývoji půd



Zdroj: <http://pedologie.czu.cz/dokumenty/sbornik2004.pdf>

Můžeme říci, že v širším pojetí je variabilita půd v pozadí každého průzkumu půd. Jedná se tedy v zásadě o zachycení a interpretaci variability půd ve dvou rovinách. V rovině obecné čímž se rozumí kvantifikace a interpretace širokého spektra půdních vlastností. V druhé rovině se jedné kvantifikace a interpretace specifické půdní vlastnosti, jako je například stav živin. Výsledky průzkumu půdy a tedy zachycení variability slouží:

- k poskytování podkladů pro management v krajině
- k poskytování strategických informací
- k poskytování rámce pro provozování monitorizačních sítí
- k poskytování rámce extrapolaci výsledků lokálních studií
- k využití globální a národních variability půd

Klasifikace půd je prostředkem k vyjádření jejich variability, čili definování rozsahu charakteristik a parametrů, které jsou společné pro určitou skupinu půd.⁷

2.2.1. Příčiny variability a její význam

Variabilitu půd, kromě dvou zmiňovaných rovin, můžeme chápat také ve dvou směrech – jako prostorovou a časovou. V případě prostorové variability vykazuje sledovaný znak změny v rámci plochy pozemku (při zohlednění například hloubky půdy

⁷ PEDOLOGICKÉ DNY 2004 Sborník z konference na téma PEDODIVERZITA [online] Dostupné z: <http://pedologie.czu.cz/dokumenty/sbornik2004.pdf>

i v trojdimenzionálním prostoru). Příklad typický pro prostorovou variabilitu může být variabilita výnosu v rámci jedné plodiny na pozemku nebo utužení půdy. Příčinami zmiňované variability mohou být heterogenita půdního prostředí, rozdílná intenzita obhospodařování pozemků a bioticky škodlivé vlivy. Můžeme tedy říci, že prostorová variabilita se projevuje v různorodosti vlastností jednotlivých částí pozemku, způsobené variabilitou v prostorové distribuci fyzikálních a chemických vlastností půdy, a následně variabilitou v produktivitě rostlin a jejich výnosů.

Časová variabilita naproti tomu představuje změny znaku v čase. Jako příčinu můžeme považovat povětrnostní podmínky, které zásadně ovlivňují vývoj sledovaného jevu. Projevuje se ročníkovými diferencemi, ať už půdních charakteristik, tak výnosy. Jako příklad lze zmínit množství nadzemní biomasy nebo stupeň napadení plodiny škůdci.⁸

Oba dva druhy variability nemůžeme od sebe striktně oddělit, jelikož se vzájemně prolínají. Při aplikaci agronomicky významných ukazatelů, zjistíme, že vykazují rozdílnou úroveň prostorové a časové variability, ale vždy musíme zohlednit obě dvě. Například obsah mineralizovaného dusíku v půdě je vysoce dynamickou veličinou, zatímco zrnitost půdy lež z krátkodobého hlediska považovat za relativně neměnnou. Na proveditelnost precizního zemědělství má proto velký vliv druh variability půdy a porostů. Mnoho odborníků udává, že čím vyšší je prostorová závislost obhospodařované půdní vlastnosti, tím vyšší je potenciál precizního hospodaření. Tím, jak se zvyšuje časová složka prostorové variability, se také úměrně zvyšuje stupeň obtížnosti. Příkladem toho můžeme vzít hnojení. Látky jako draslík nebo fosfor mají nízkou časovou variabilitu, a proto je jejich provádění snadné. Oproti tomu například dusík má časovou složku variability větší než prostorová komponenta, a proto je hnojení dusíkem v precizním zemědělství mnohem složitější.⁹

⁸ Principy pořizování, hodnocení a využívání dat pro aplikace precizního hospodaření [online]
Dostupné z: http://konference.agrobiologie.cz/2002-09-25/087_Lipavsky-Slejska.pdf

⁹ PIERCE, F.J., NOWAK, P., DONALD, L.S. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, vol. 67, p.1-85. ISSN 0065-2113

Obrázek 3 - Faktory ovlivňující variabilitu výnosu a možnost jejich nápravy

obtížná	choroby	počasí
	organická hmota	zrnitost půdy infiltrace vody
náprava	zasolení	meliorace
snadná	škůdci	eroze půdy
	deficit N	plevelle
	odrůda	reliéf terénu
	nízká	vysoká
	variabilita výnosu	

Zdroj: Adamchuk et al., 2010

Pozn. Vlastní zpracování autora, 2016

Důsledek nevyrovnanosti pozemku se projevuje především na výnose. Na první pohled je ovšem patrný i pouhým okem na porostu plodin. Earl et al. (1996) in Godwin a Miller (2003) rozdělují výnos ovlivňující faktory do dvou skupin – na pěstitelem málo a více ovlivnitelné. Do první skupiny, tedy pěstitelem málo ovlivnitelné, spadají vlastnosti pro daný pozemek z krátkodobého hlediska neměnné, jako je půdní zrnitost, klima a topografie. Do druhé skupiny, tedy pěstitelem více ovlivnitelné můžeme zařadit půdní strukturu, dostupnost půdní vláhy, zásobenost živinami, pH půdy, zaplevelení a výskyt chorob a škůdců. Vlastnost prostorové variability v první skupině stačí zjišťovat pouze při vstupním posouzení, zatímco pro druhou skupinu se doporučuje jej zjišťovat průběžně. Adamchuk et al. (2010) uvádějí na Obrázku 3 výčet faktorů ovlivňujících výnos plodiny se znázorněním vlivu na variabilitu výnosu a možnosti jejich kontroly (převzato).¹⁰

2.3. Metody prostorových interpolací

¹⁰ LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1

Prostorová interpolace je procedura odhadu neznámých hodnot ze známých hodnot v okolí. K jejímu popisu jsou využívány geostatické metody. Jedná se o specifické metody zpracování dat měřených v prostoru či v ploše. Úkolem interpolace je určit vhodnou funkci $y=f(x)$, která v daných (tzv. uzlových) bodech nabývá známých hodnot. Vycházíme z předpokladu, že pozorování získaná v bližší vzdálenosti od sebe jsou více relevantní, než když pozorujeme vzdálenosti větší. Zároveň předpokládáme, že případná závislost prostorové proměnné sledované ve dvou místech vyplývá ze vzdálenosti těchto míst a nikoli místa, kde k měření došlo.¹¹

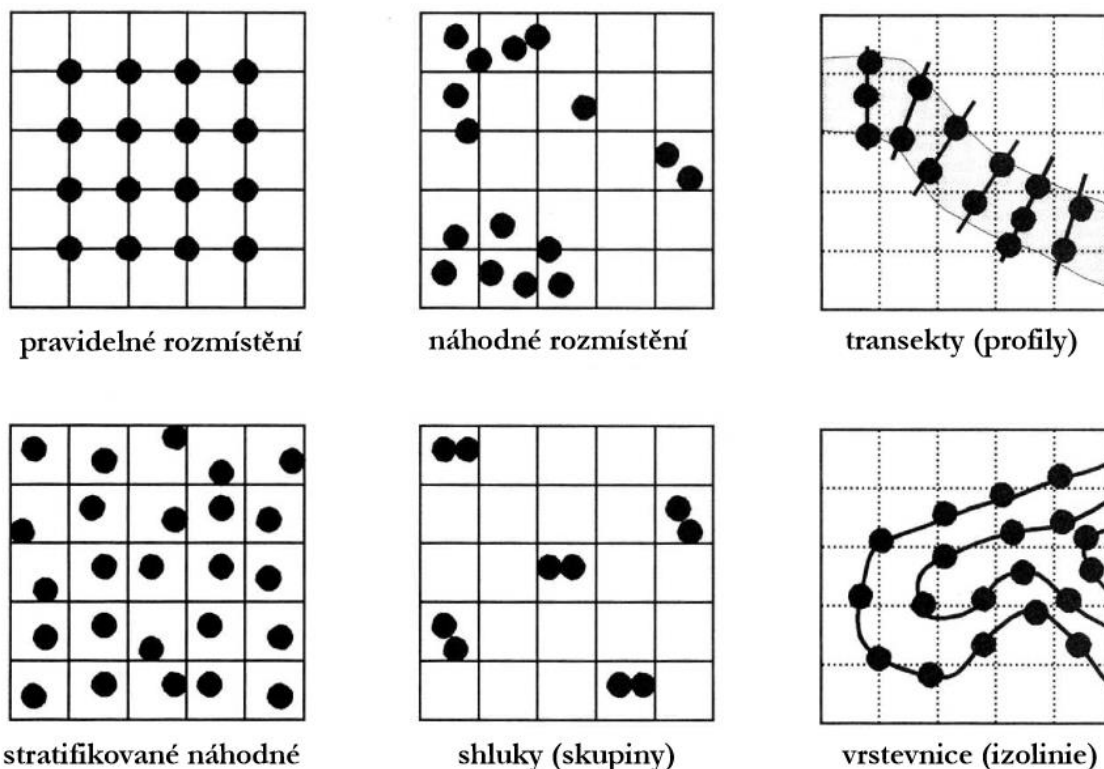
2.3.1. Formát a rozmístění zdrojových dat

Nejdůležitějším kritériem při volbě vhodné interpolační metody je rozmístění (prostorová lokalizace) vstupních dat. Některé interpolační metody při nevhodném rozmístění vstupních dat poskytují chybné výsledky až do takových rozměrů, kdy je nelze použít vůbec. Na obrázku číslo 4 vidíme rozmístění vstupních dat, se kterými se v praxi nejčastěji setkáváme. Při nerozhodnosti můžeme použít jako vhodný kompromis mezi pravidelným a náhodným rozmístěním stratifikované náhodné rozmístění, kdy je zajištěno pokrytí celé zájmové oblasti, většinou rozdělené v pravidelném rastru. Shluky neboli skupiny nejčastěji využíváme při analýze prostorové variability. Interpolace na profilech a izoliniích se vyznačuje svými specifickými problémy, zvláště pokud je vyžadována extrapolace nebo je množství dat nedostačující.¹²

¹¹ HLÁSNY, T. Geografické informačné systémy: Priestorové analýzy. 1. vyd. Poniky: Čižmárová - Partner, 2007. 160 s. ISBN 978-80-8093-029-5

¹² Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č. 6 [online] Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis2.pdf

Obrázek 4 - Nejčastěji aplikované rozmístění vstupních dat



Zdroj: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis2.pdf

Mezi další aspekty ovlivňující úspěšnost interpolace je například způsob prezentace spojitých polí, dostupné datové zdroje pro interpolaci, vymezení přirozených a administrativních hranic studovaných ploch a dostupnost bodů měření vně studované plochy. Předpokladem úspěšné prostorové interpolace je existence dostatečně reprezentativního vzorku měřených dat, vhodné vlastnosti měřené veličiny a typ dat, teoretické i empirické znalosti o povaze prostorové diferenciacce studovaného jevu, podstaty použitelných interpolačních metod a v neposlední řadě výběr nejvhodnější metody.¹³

2.3.2. Rozdělení metod prostorové interpolace

Pro úspěšnou aplikaci je nezbytné určení správné metody. Mezi základní metody prostorové interpolace patří:

¹³ Metody prostorové interpolace [online] Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1431/jaro2006/Z6101/um/Prostor_model_geost_7.pdf

- metody lokální a globální
- metody exaktní a aproximující
- metody spojité a zlomové
- metody deterministické a stochastické

Existují však různá hlediska, podle kterých můžeme interpolační metody rozdělovat.

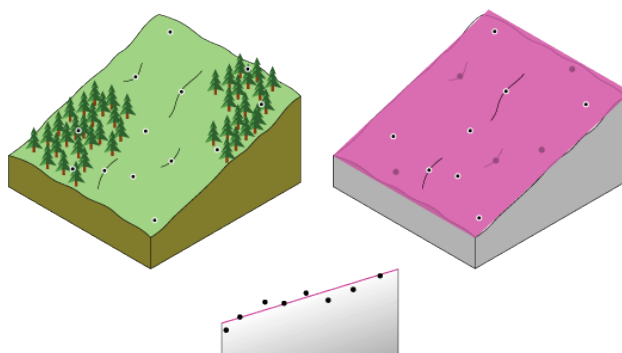
Lokální a globální metody

Princip lokálních metod je aplikace algoritmu výpočtu opakovaně na malou část z celkového počtu bodů. Výsledek lokální oblasti ovlivňují pouze změny vstupních hodnot.

Naproti tomu globální metody zahrnují do výpočtu odhadu všechny měřené body. Jedna matematická funkce je použita k popisu zkoumaného jevu na celém zájmovém území. Výsledný odhad v celé lokalitě ovlivní změna jediného vstupního bodu.

Globální polynomní interpolace naznačuje hladký povrch, který je definován matematickou funkcí (polynomem) na vstupním bodu odběru vzoru. Globální polynomní povrch se postupně mění a zachytí v hrubém měřítku vzor v datech. Konceptně můžeme globální interpolaci vzít jako kus papíru a montáž nasimulovat mezi vyvýšenými. Tento postup je znázorněn na obrázku 5 pro sadu vzorových bodů převýšením přijatých na mírně svažitém kopci.

Obrázek 5 - Naznačení globální polynomní interpolace



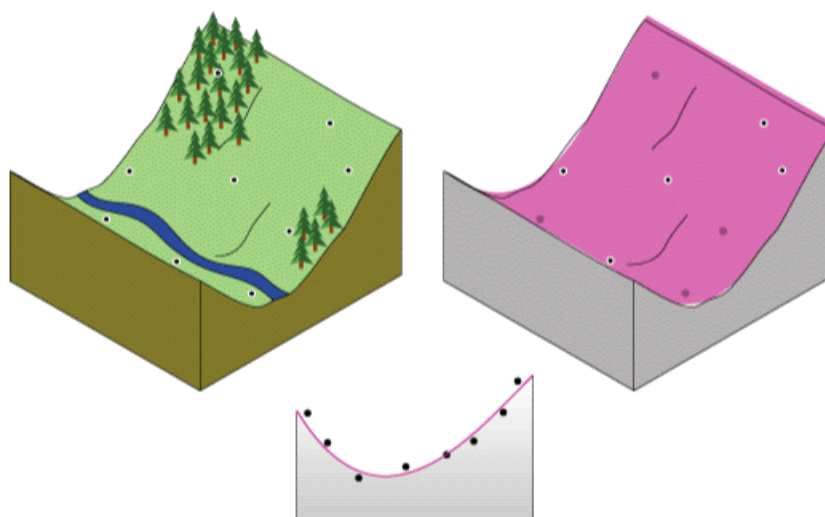
Zdroj:

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Global_Polynomial_interpolation_works

Tento princip nemůže fungovat, například v krajině obsahující údolí. Přidáním termínu matematického vzorce vytvoříme podobný výsledek, ale s tzv. ohybem v rovině. Plochá

rovina je v prvním řádu polynomu lineární. Umožnění po dobu jedné zatáčky, je druhý řád polynomu kvadratický, do druhého ohybu třetího řádu krychlový. Následující obrázek ukazuje koncepčně druhý řád polynomu zabudovaný do údolí.¹⁴

Obrázek 6 - Naznačení globální polynomní interpolace s ohybem v rovině



Zdroj:

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Global_Polynomial_interpolation_works

Metody exaktní a aproximující

Exaktní metody přesně respektují původní naměřené hodnoty, na kterých je interpolace založena. Výsledný odhad protíná všechny body, u kterých je hodnota známa. V opačném případě se jedná o aproximující metody.

Metody deterministické a stochastické

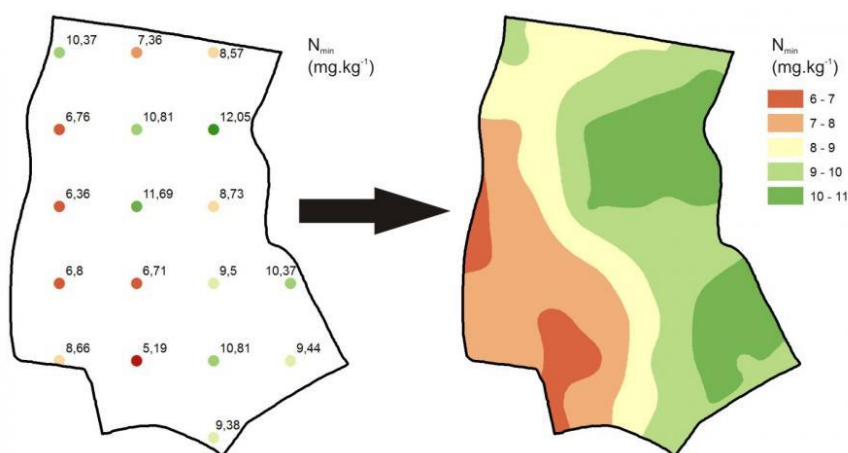
Interpolace prováděná přímo z naměřených hodnot vstupních bodů provádějí deterministické metody. Není zde využita teorie pravděpodobnosti a výsledný odhad bude pokaždé vypočten stejný.

¹⁴ How Global Polynomial interpolation works [online] Dostupné z: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Global_Polynomial_interpolation_works

Stochastické metody zahrnují prvek náhodnosti. Výsledná prostorová predikce je chápána jako jedna z mnoha, která mohla být vytvořena. Na předpokladu prostorové závislosti mezi vstupními body je metoda založena.¹⁵

Metody prostorové interpolace se používají na místech, která nejsou vzorkováním pokryta. Představují, jak již bylo zmíněno metody odhadu hodnot sledovaného znaku mezi místy pozorování.

Obrázek 7 - Postup tvorby celoplošné mapy N_{min} prostorovými interpolacemi z bodových dat půdního vzorkování



Zdroj: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3327&typ=html

Použití interpolačních technik má podle Doberse (2002) význam v těchto případech:

- na místech, kde nejsou vlivem velikosti rastru půdního vzorkování, výpadku senzorů nebo při ztrátě dat dostupná empiricky zjištěná data
- jsou zjištěna nepravidelná bodová data a je potřeba vyhotovit na základě pravidelného rastru mapy
- z důvodu nepřesnosti měření, kdy při zohlednění vedlejších hodnot mohou být tyto nepřesnosti sníženy.¹⁶

¹⁵ HLÁSNY, T. Geografické informačné systémy: Priestorové analýzy. 1. vyd. Poniky: Čižmarová - Partner, 2007. 160 s. ISBN 978-80-8093-029-5

¹⁶ DOBERS, E. S. Methoden der Standorterkundungen als Grundlage des DGPS gestützten Ackerbaus : Eine Fallstudie aus dem Lössgebiet des Mittleren Fläming. PhD. Thesis, Institut für Bodenwissenschaft, Universität Göttingen, Göttingen, 2002. 226.

Spojité půdní mapy jsou výsledkem prostorových interpolací z dat půdního vzorkování, jejichž podoba může být značně ovlivněna volbou interpolačního postupu. Závislost přesnosti prostorových map půdních vlastností, kromě interpolační metody, závisí na faktorech, jako je například hustota vzorkování a konfigurace směsných vzorků.¹⁷

2.3.3. Kriging

Kriging je jedna z nejběžněji používaných interpolačních metod pro tvorbu spojitých prostorových map. Je založena na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot. U této metody váhy nezávisí pouze na vzdálenosti mezi měřenými body a předpovědním místem, ale také na předpovědaných hodnotách, okolo kterých jsou v prostoru měřené body uspořádány. Pro výpočet vah při použití prostorové variability, musíme určit tzv. prostorovou závislost.

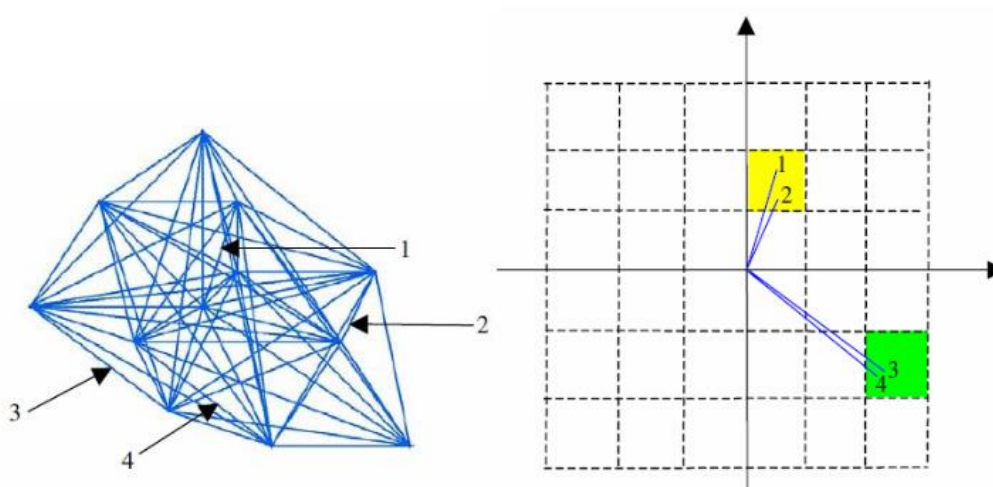
Prostorovou autokorelaci neboli závislost vyjadřuje semivariogram vzhledem ke vzdálenosti a směru působení. Výpočet empirického semivariogramu se zapisuje ve tvaru:

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

kde $\gamma(h)$ je odhadovaná semivariance pro vzdálenost h , $n(h)$ je počet párů měřených bodů oddělených vzdáleností h , $z(.)$ je měřená hodnota v bodě $(.)$. Pro výpočet empirického semivariogramu je nutné zaprvé určit vzdálenost všech párů měřených bodů.

¹⁷ GOTWAY, C. A., FERGUSON, R. B., HERGERT, G. W., PETERSON, T. A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. Soil Science Society of America Journal. 1996, vol.60, no. 4, pp. 1237-1247. ISSN 03615995

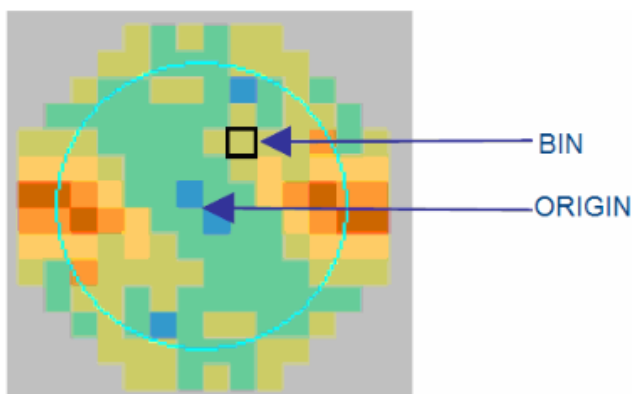
Obrázek 8 - Vzdálenosti všech párů a směry a vzdálenosti párů



Zdroj: http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovych_dat_v_GIS.pdf

Z obrázku č. 8 vyplývá, že s rostoucím počtem měřených bodů prudce stoupá i počet vzdáleností a tím pádem i obtížnost výpočtu. Tento problém je vyřešen seskupením hodnot. Vzdálenosti mezi měřenými body jsou transformovány do skupiny na základě jejich vzdálenosti a směru, jak nám ukazuje obrázek č. 8. Touto metodou nám vzniká síť, jejíž buňky tvoří základ pro výpočet reprezentantů vzdáleností jednotlivých skupin. Tímto způsobem jsou pak řešeny výpočty těchto vzdáleností. Dle výše zmíněného vzorce se poté provede výpočet empirické semivariance pro reprezentující vzdálenost každé skupiny. Nesmíme zapomenout, že vzdálenost párů je počítána obousměrně, proto je nutné výraz vydělit dvěma. Tímto je tedy dána jedna hodnota pro každou skupinu, která je barevně odlišena kódem od ostatních, jak nám ukazuje obrázek č. 9.

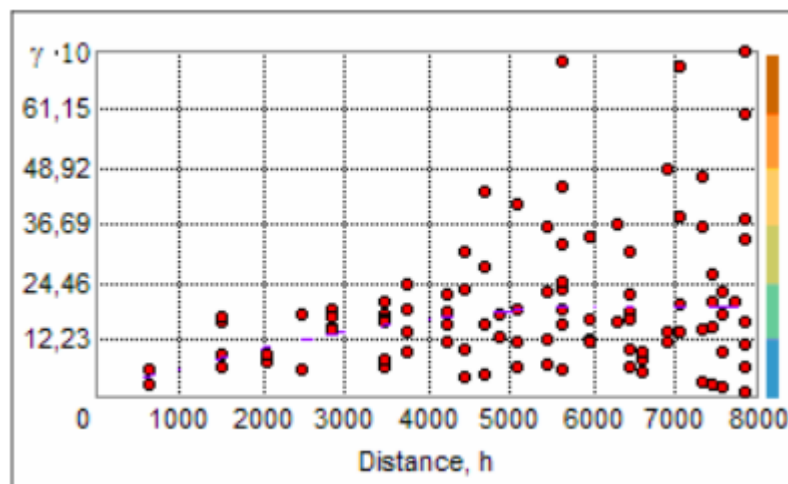
Obrázek 9 - Barevné kódování empirického semivariogramu



Zdroj: http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovych_dat_v_GIS.pdf

Modrá a zelená barva nám vyjadřují nižší hodnoty, červená a oranžová symbolizují vyšší hodnoty semivariace.

Obrázek 10 - Empirický semivariogram



Zdroj: http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovych_dat_v_GIS.pdf

Na obrázku č. 10 můžeme vidět hodnoty empirického semivariogramu pro každou skupinu zobrazené pomocí červené tečky. Na ose y je vynesena semivariance, na ose x vzdálenost od počátku ke středu buňky.

Z grafu na zmíněném obrázku je vidět, že prostorová autokorelace splňuje základní geostatický princip, tedy že jevy, které jsou v prostoru k sobě blíže, se více podobají než ty, které jsou rozptýleny v prostoru ve větší vzdálenosti.

Po tomto kroku následuje vytvoření modelu pomocí empirického semivariogramu. Tento proces můžeme vyjádřit jako spojnici mezi prostorovým popisem určitého jevu a prostorovou predikcí. Cílem tohoto modelu je předpověď hodnot v neměřených místech.¹⁸

¹⁸ KŘIKAVOVÁ, Interpolace odových dat v GIS [online]
Dostupné z: http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovych_dat_v_GIS.pdf

3. Mapování prostorové variability pozemků

Rozdílné obhospodařování jednotlivých pozemků nebo jejich částí s cílem dosáhnou zvýšené efektivity využívání materiálních vstupů, kterými jsou například hnojiva, pesticidy, pohonné hmoty a další, je hlavním úkolem precizního zemědělství. Dosáhnout zvýše efektivity a následné výnosnosti lze pouze v případě, že variabilitu pozemků umíme správně a efektivně stanovit. Prvním a zároveň kritickým krokem představuje mapování stanoviště. Je to právě nevyrovnanost stanoviště, která ač v mnohých případech není patrná pouhým okem, nám ovlivňuje výnosnost jednotlivých plodin. Jak již bylo řečeno na začátku, faktory ovlivňující výnos můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na méně či více ovlivnitelné. Do skupiny méně ovlivnitelných spadají vlastnosti pro daný pozemek, které jsou velmi těžko změnitelné, jako je například zrnitost, klima a topografie. Ovlivnit však můžeme dostupnost půdní vláhy, zásobenost živinami, pH půdy, stupeň zaplevelení a výskyt chorob a škůdců.

Prostorovou variabilitu vlastností, neboli mapování pozemků, musí být pro správné učení, přesně lokalizováno pomocí GPS přijímače. Výsledkem toho jsou poté mapy půdních nebo porostních podmínek, z kterých lze po uplatnění příslušných kritérií vytvořit mapy aplikační. Podle těchto map jsou následně prováděny operace, jako hnojení, ochrana rostlin nebo zpracování půdy.

3.1. Mapování variability půdních vlastností

Variabilita půdních podmínek je způsobena celou řadou faktorů, jejichž vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V měřítku regionální má převahu vliv klimatických faktorů, způsob, jakým je využita půda, vegetační pokryv charakteristiky povrchu krajiny. Nejdůležitějšími faktory ovlivňující variabilitu na úrovni pole je především, jaký půdní typ převládá, reliéf terénu, předplodina a v neposlední řadě předchází způsob hospodaření. Dále v rozšířeném spektru mohou mít vliv směr řádků porostu, způsob aplikace živin, technologie zpracování půdy a stupeň utužení půdy. Jelikož mapování prostorové variability půdy je náročné, provádíme ho hlavně u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Jedná se především o korekci hnojení (stanovení

obsahu živin v půdě) a vápnění půd (pH půdy), protože oblast výživy a hnojení rostlin má hlavní vliv na dosažení nejvyšších přínosů případně výnosů.¹⁹

Jak již bylo řečeno, úkolem precizního zemědělství je získání potřebných dat a dílčích informací o obhospodařovaném území. Ty se získávají především z odběrů půdních vzorků a jejich následnou analýzou. Pro výběr míst pro vzorkování jsou používány následující dvě metody:

- a) **Matematická metoda** – Tato metoda spočívá v tom, že se pole či pozemek rozdělí na pravidelnou čtvercovou síť. Určení velikosti čtverce je individuální podle velikosti pole. Následný způsob odběr vzorků se řídí metodami Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského.
- b) **Po předběžné analýze** – Při této metodě jsou místa pro odběr vzorků určena až na základě předběžné analýzy, která určuje základní půdní vlastnosti. K tomu se využívá spektrální analýza sady satelitních a leteckých snímků nebo výsledků z měření elektromagnetické vodivosti půdy.

Pro obě metody jsou body zaměřeny pomocí souřadnic GPS, a pro další zpracování se z nich vychází. Jedná se například o sledování změn v čase a pro porovnání jednotlivých výsledků.

Dalším kritériem pro zjištění přesné informace o stavu a vlastnosti pozemku je hustota vzorkování. Hustota závisí nejen na půdním typu a druhu, členitosti terénu a způsobu hospodaření, ale důležitost hraje i účel využití dat. Jako příklad jsou naprosto dostačující 1 - 3 vzorky na hektar pro variabilní dávkování hnojiv. Aplikace variabilního hospodaření je využíváno relativně krátce, a z tohoto důvodu jsou zatím hodnoty v převážné většině půdních bloků velice různorodé. Na jednom pozemku můžeme tedy objevit místa s vysokou koncentrací živin, ale i s výrazně malým podílem. Jelikož jsou pozemky takto různorodé, není optimální celé pole hnojit stejnou dávkou.²⁰

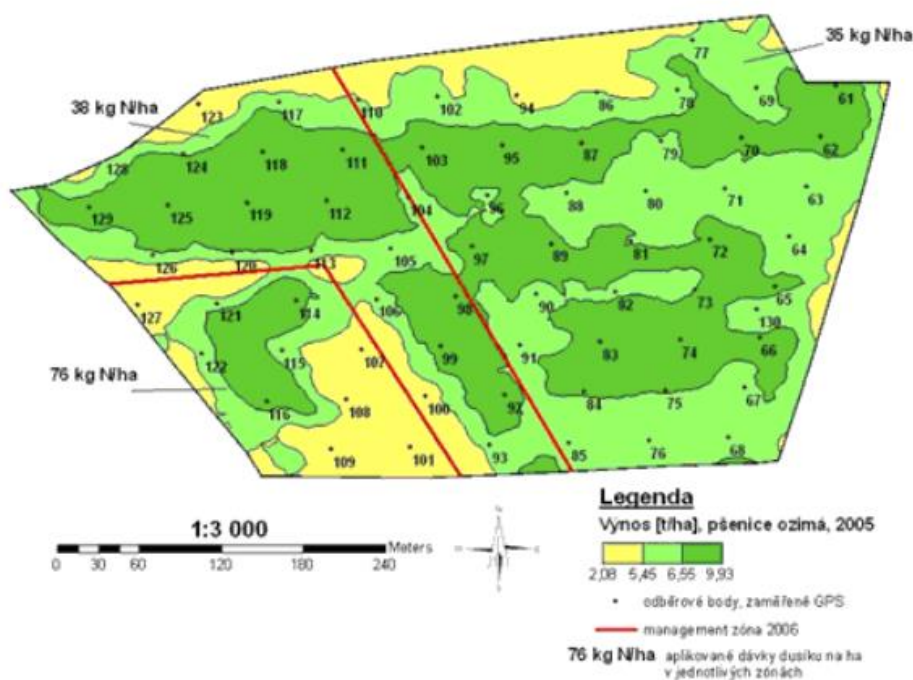
Pro určování obhospodařovaného území se používá letecká fotogrammetrie nebo dální průzkum Země (DPZ), kde je snímací kamera připevněna na letadle, respektive na družici.

¹⁹ Odborný a stavovský týdeník Zemědělec, Mapování variability pozemků [online]
Dostupné z: <http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/>

²⁰ MJM Litovel, a.s. [online] Dostupné z: <http://www.mjm.cz/prefarm-sber-a-zpracovani-dat.php>

Tyto metody se využívají při rozsáhlejší mapování a k ucelení datové sady o vlastnostech obdělávaného území. Snímky se získávají především z leteckého snímkování v rámci projektu AICS (Integrated Administration Control System). Tyto snímky jsou poté velice cenným zdrojem informací o půdě a o plodinách pěstovaných na těchto pozemcích. Všechny tyto získané informace poté můžeme využít ke stanovení odběrových míst vzorků.²¹

Obrázek 11 - Ukázka výnosové mapy pšenice ozimé



Zdroj: <http://www.vurv.cz/index.php?key=section&id=294>

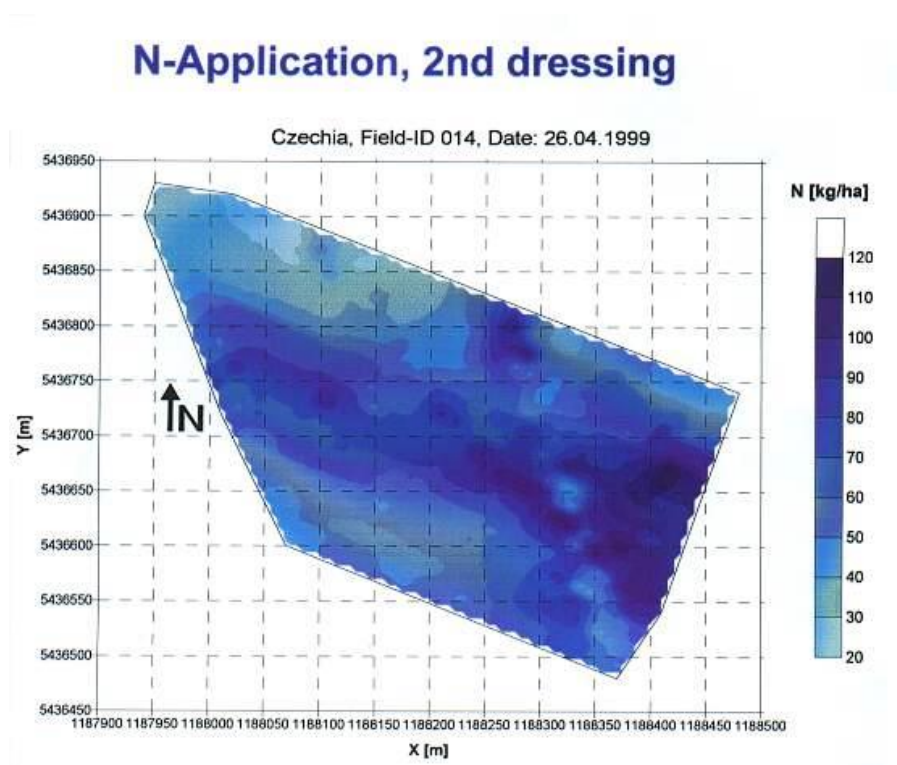
Na obrázku č. 11 je ukázka výnosové mapy pšenice ozimé, která svědčí o vysoké variabilitě pozemku. Jedná se o zmapování aktuálního výnosu při sklizni plodiny. Data o aktuálním výnosu jsou spojena s údaji o poloze pozemku a zaznamenána prostřednictvím Geografického informačního systému (GIS) do mapy. Získávat takto informace o výnosu z každého hektaru půdy můžeme s použitím sklízecích mlátiček vybavených speciálními sklízňovými čidly a monitory. Takovýchto čidel existuje celá řada, optická, paprsková,

²¹ SOBOTA, Využití geodetického svěru dat v precizním zemědělství [online] Dostupné z: http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/dp/2009/Sobota__Vyuziti_geodetickeho_sberu_dat_v_preciznim_ze_medelstvi__BP.pdf

vlhkostní, nárazová, kapacitní nebo mechanická. Hlavním rozdílem mezi uvedenými je princip, podle kterého získávají údaje o sklizené plodině. [19]

Výnosové mapy jsou sice velice užitečné a poskytují pěstiteli ucelený přehled o plodině, ale plnohodnotně nenahradí odebrání vzorků. Výnosová mapa nám sice ukáže, kde je jaký výnos, ale neřekne nám proč tomu tak je, a jakým způsobem bychom mohli na nízkovýnosových částech podíl zvýšit. Pro stanovení a následné dodání potřebných živin do půdy, do částí, kde je jejich nedostatek, se používají tzv. aplikační mapy. Aplikační mapa nám přesně ukáže, kde v jakých místech jaké množství určité látky a my tím můžeme přesně určit, kolik je potřeba živiny do půdy vpravit.

Obrázek 12 - Aplikační mapa dusíku



Zdroj: <http://www.leadingfarmers.cz/svc/preview.asp?uri=/shared/yara/precise/n-diag.jpg&body=Aplika%C4%8Dn%C3%AD+mapa+dus%C3%ADku>

3.2. Vzorkování půdy

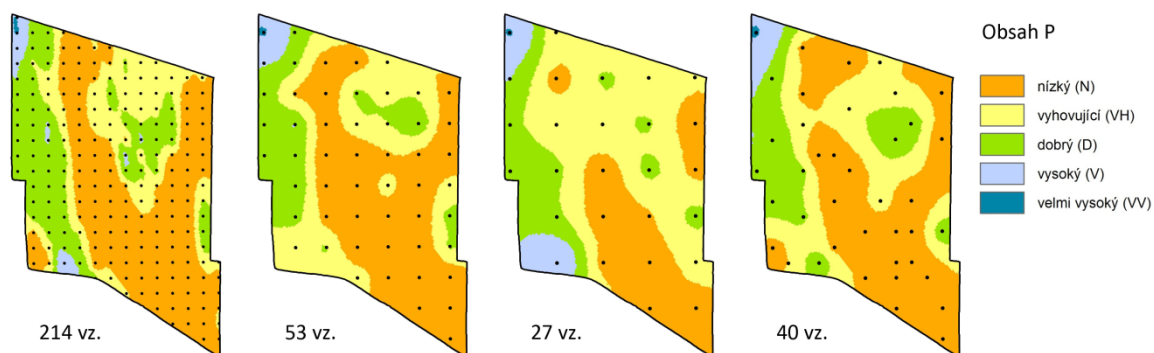
Vzorkování půdy je tradičním způsobem získávání informací o půdních vlastnostech. Rozhodujícím parametrem pro zachycení prostorové variability je hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku. Čím vyšší zvolíme počet odběrů, tím detailnější bude mapování, ale samozřejmě s vyššími náklady. V precizním zemědělství se pohybuje hustota vzorkování v rozmezí na jeden vzorek 1-5ha a závisí na úrovni variability pozemku. Další význam podobně jako hustota má rozmístění odběrových bodů na pozemku. Vzorkování představuje výběr vzorku z celkové populace jedinců, které budou měřeny. Volba rozmístění vzorkování se určuje podle známé variability pozemku. Pokud variabilitu pozemku neznáme, rozmístění vzorků se nejčastěji uskutečňuje v pravidelné síti, anebo náhodnými body.

Pokud máme k dispozici informace o pozemku, můžeme provést umístění bodů k odběru na základě leteckého nebo dražického snímku dané lokality nebo výsledku měření elektrické vodivosti půdy. Cílené vzorkování, kdy odebíráme vzorky pouze na určitých místech, můžeme provést i dle výnosových map, jelikož očekáváme, že variabilita výnosu odpovídá variabilitě půdních podmínek. Nevhodnější je však kombinovat oba uvedené způsoby a dosáhnout tak snížení počtu vzorků při zachování výsledné přesnosti půdních map. Pozemek lze rozdělit na tzv. zóny, což jsou homogenní oblasti podobných půdních vlastností reflektujících měřitelné pomocné atributy. Pro půdní vzorkování tak stanovíme průměrnou hodnotu půdní vlastnosti uvnitř každé zóny. Tento způsob má za následek snížení počtu odběru a tím šetření nákladů. Stanovení počtu zón, jejich tvar a velikost závisí na stupni variability pozemku. Zónové vzorkování sice vede k snížení počtu odběrů, ale vyžaduje více času pro jeho naplánování. Za nejlepší strategii v odebírání vzorků se považuje v případě nízké variability použití pravidelné sítě vzorkování a při variabilitě vysoké použít zónové vzorkování.²²

²² Dinkins, C. P., Jones, C. Soil Sampling Strategies. Agriculture and Natural Resources (Fertilizers). 2008,4 [online]

Dostupné z: <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>

Obrázek 13 - Vliv hustoty vzorkování



Zdroj: <http://docplayer.cz/5780326-Variabilita-pudnich-vlastnosti-a-aplikace-zasobniho-hnojeni-v-preciznim-zemedelstvi-vojtech-lukas-a-kolektiv.html>

3.3. Nepřímé metody identifikace variability půdy

Nepřímé metody identifikace variability půdy pracují na principu senzorového měření. Čidla identifikují změnu sledované půdní vlastnosti, která je s ní úzce spjata a je možné ji převést do elektronického záznamu. Velkou výhodou této senzorové techniky je, že její náklady jsou fixní, může tedy měřit ve velkém časovém i prostorovém měřítku a měření můžeme v terénu opakovat vícekrát. Nevýhoda nepřímých metod spočívá v nižší přesnosti oproti přesnějším laboratorním rozborům, ale můžeme ji vyvážit intenzivním prostorovým pokrytím. Používané senzory jsou založeny na nejrůznějších principech. V současné době jsou nejvíce rozšířené a v praxi používané elektrické, elektromagnetické a mechanické. Měřicí zařízení umožňující zjišťování půdních vlastností během jízdy nazýváme jako on-the-go přístroje. Pro relativně přesné stanovení půdních rozdílů jsou využívány elektrické a elektromagnetické metody, které určují tyto odlišnosti prostřednictvím vodivosti půdy, kdy změna půdního prostředí ovlivňuje procházející elektrický proud nebo elektromagnetické pole. Přístroje využívající elektrický proud narušují povrch půdy, jsou tzv. invazivní.²³

3.3.1. On-the-go senzory

On-the-go senzory patří mezi nepřímé metody identifikace půdní variability. Jedná se o měřicí senzory, které jsou součástí stroje, a měření probíhá během jeho pohybu. Jednou

²³ Odborný a stavovský týdeník Zemědělec [online] Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

z předností těchto senzorů je možnost měření určitých půdních vlastností a následné převedení do datového záznamu. Jak již bylo řečeno, mají nižší přesnost, kterou vyvažuje intenzivní prostorové pokrytí. Mezi další výhody tohoto způsobu mapování patří jeho rychlost a relativně nízká nákladovost. Právě drahá nákladovost a časová náročnost při fyzickém odebrání půdních vzorků v laboratořích vede k velkému rozšíření této neinvazivní metodě, která snímá povrch půdy a reaguje na její požadované vlastnosti ze vzdálenosti do 2 m. Jedná se o dlouhodobě perspektivní řešení a právě z toho důvodu roste oblíbenost této metody a investují se do ní nemalé finanční prostředky.²⁴

Hlavní směr a cíl precizního zemědělství je založen na myšlence, že hlavní příspěvky pro rozdíly ve výnosech, proto také rozdílné vstupy na základě rozdílných půdních podmínek by mohli být cestou, jak k dané problematice přistupovat. Mnozí pěstitelé shromažďují výnosová data za dané období, ale efektivitu rozhodovacího procesu můžeme zaručit až na základě vysoké kvality informací o prostorové variabilitě půdy, kterou limitují výnosy v určitých částech pole. Nejvíce limitující je právě nemožnost generovat dostatek informací.

Plošná aplikace hnojiv nebo vápnění bez ohledu na variabilitu půdy je často nevhodná a samozřejmě vede i k ekonomickým ztrátám. Proto se také očekává od těchto senzorů zvýšení efektivity ve smyslu snížení nákladů na vstupy. Potenciál senzorů je založen na velké hustotě vzorkování a nízké pořizovací ceně za data, a ačkoli mnoho senzorů je komerčně dostupných, stále je zde snaha o vývoj nových prototypů.

Pro určování polohy a lokalizaci strojů na pozemku se využívají navigační systémy GPS (Global Positioning System) a staly se tak nejpoužívanějšími senzory v zemědělství. Díky nim můžeme určit nejen zeměpisnou šířku a délku ale například získat informace o nadmořské výšce. Tyto data jsou pak následně využita pro výpočet sklonu svahu a další modelace terénu jako odtok vody, akumulace vody a případné erozní ohrožení.

V případě, že je přijímač polohy spojen s měřicí ústřednou a je zaznamenávána poloha všech vzorků a měření, lze vytvářet mapy, které následně můžeme porovnávat s dalšími prostorově

²⁴ CHRISTY, C. D. Realtime measurement of soil attributes using on the go near infrared reflectance spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture. 2008, vol. 61, no. 1, pp. 1019. ISSN 0168-1699

vztaženými daty a informacemi.²⁵ On-the-go systému můžeme podle principu měření rozčlenit do následujících skupin:

- elektromagnetické a elektrické senzory měřící elektrickou rezistivitu, konduktivitu, kapacitu nebo induktanci ovlivněnou složením půdy
- radiometrické a optické senzory využívající elektromagnetického záření pro detekci energie reflektované půdními částicemi
- mechanické senzory měřící odporovou sílu při pronikání půdou
- akustické senzory kvantifikující zvuk produkovaný nářadím v interakci s půdou
- pneumatické senzory zjišťující schopnost injektovat vzduch do půdy
- elektrochemické senzory využívající iontově selektivních membrán pro stanovení aktivity vybraných iontů (H^+ , K^+ , NO_3^- , Na^+ , atd.).²⁶

Tabulka 1 - Úroveň detekce vybraných půdních vlastností pomocí on-the-go senzorů

Půdní vlastnost	Elektrické a elektromag.	Optické a radiometrické	Mechanické	Akustické	Elektro-chemické
Půdní zrnitost (podíl jílu, prachu a písku)	dobrá	vyhovující		slabá	
Obsah půdní org. hmoty nebo C_{ox}	slabá	dobrá			
Půdní voda (vlhkost)	dobrá	dobrá			
Zasolení půdy	vyhovující				Slabá
Utuzení půdy (obj. hmotn.)			dobrá	slabá	
Hloubková variabilita - rozlišení vrstev	slabá		vyhovující	slabá	
pH půdy		slabá			Dobrá
Obsah nitrátů v půdě	slabá	slabá			Vyhovující
Obsah ostatních živin (P)		slabá			Vyhovující
KVK	vyhovující	vyhovující			

Zdroj: Adamchuk et al., 2008

²⁵ Odborný a stavovský týdeník Zemědělec [online] Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

²⁶ ADAMCHUK, V. I., FERGUSON, R. B., HERBERT, G. W. Soil Heterogeneity and Crop Growth, In: Oerke, E. C. et al.(eds.) Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity, pp. 3 - 16, Dordrecht; Heidelberg [u.a.]: Springer, 2010. ISBN 9789048192762

3.3.2. Měrná elektrická vodivost

Pojmem měrná elektrická vodivost nebo ji také můžeme nazývat konduktivita, se rozumí fyzikální veličina, která popisuje schopnost látky vést elektrický proud. Dobrým vodičem je látka, která má vysokou hodnotu právě konduktivity, naopak špatně vodící látky mají tuto hodnotu nízkou. Měrná elektrická vodivost závisí nejen na množství a druhu rozpuštěných látek v roztoku, ale také na jeho teplotě a označujeme ji písmenem G .²⁷

Celá řada průmyslových odvětví využívá měřiče elektrické vodivosti. Například v chemickém průmyslu se používají při měření koncentrace jednosložkových roztoků kyselin, louhů a solí organických i anorganických kyselin. Pro potravinářský průmysl je důležité měření koncentrace čistících roztoků používaných u myček láhví a při čištění technologických zařízení v pivovarech a mlékárnách, které je prováděno právě na principu elektrické vodivosti. Tuto technologii můžeme objevit i například v cukrovarnictví při měření obsahu minerálních látek rozpuštěných v cukerné šťávě, u textilního průmyslu ke kontrole vody pro přípravu barvicích lázní a mnoho dalších.

Pro naše účely použití v zemědělství slouží měření elektrické vodivosti půdy pro určení salinity půdy, protože příliš zasolená půda není vhodná pro pěstování téměř žádných plodin.²⁸

Měrná elektrická vodivost G je definovaná jako převrácená hodnota měrného odporu R , tedy $G = \frac{1}{R}$, který je definován jako podíl intenzity elektrického pole a proudové hustoty. Mezinárodní jednotkou měrné vodivosti podle soustavy SI je siemens na metr. V případě měrné vodivosti roztoku se vyjadřuje v $S \cdot \text{cm}^{-1}$, $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ nebo $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Elektrony přenášejí elektrický náboj u kovových vodičů. U elektrolytů je zprostředkován prostřednictvím iontů rozpuštěných látek a na stupni disociace je závislá vodivost roztoku. Při rozkladu na ionty se štěpí jen část molekul z daného množství látky a ostatní zůstávají nedisociované. Stupněm disociace nazýváme poměr počtu disociovaných molekul vůči celkovému počtu ve vodném

²⁷ KOČMAN, KAREL. Speciální technologie obrábění. 3. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 227s

²⁸ Anonym, Měření koncentrace roztoků pomocí elektrické vodivosti. [online] Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1396/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/E3-Elektricka%20vodivost%20kapalin.pdf

roztoku a označujeme je písmenem a. Disociace je děj, při kterém dochází molekul nebo solí na menší molekuly, ionty nebo radikály.²⁹

3.3.3. Mapování půdy pomocí měrné vodivosti

Mapování půdy spočívá na principu sensorového měření pomocí čidel. Většinou se jedná o jeden či více párů kovových disků tzv. elektrod, které prořezávají svrchní vrstvu půdy. První disk vysílá elektrický proud a druhý měří jeho změnu při průchodu půdou. Hloubku měření nám určuje vzdálenost mezi elektrodami. Mezi nejznámější a nejpoužívanějším přístrojem pracujícím na elektrické vodivosti půdy je Veris 3100 (Veris Technologies, USA).

Obrázek 14 - Sensorové měření přístrojem Veris 3100



Zdroj: <http://www.veristech.com/the-sensors/v3100>

Dalším typem mapování půdy jsou přístroje, využívající elektromagnetické vodivosti. Tento typ je zcela bezkontaktní. Princip měření je podobný pomocní elektrického proudu, pouze půdou prochází elektromagnetické pole. Velkou výhodou tohoto způsobu mapování je využití na kamenitých půdách nebo během vegetace. Nejčastěji využívaným přístrojem je EM38 (Geonics Limited, Kanada). V České republice se vyrábí obdobný přístroj CMD brněnskou firmou GF Instruments, s.r.o. Měření těmito přístroji se provádí buď ručně nesením přístroje po pozemku, nebo tažením za vozidlem.

²⁹ Anonym, Automatizace [online] Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php=597>

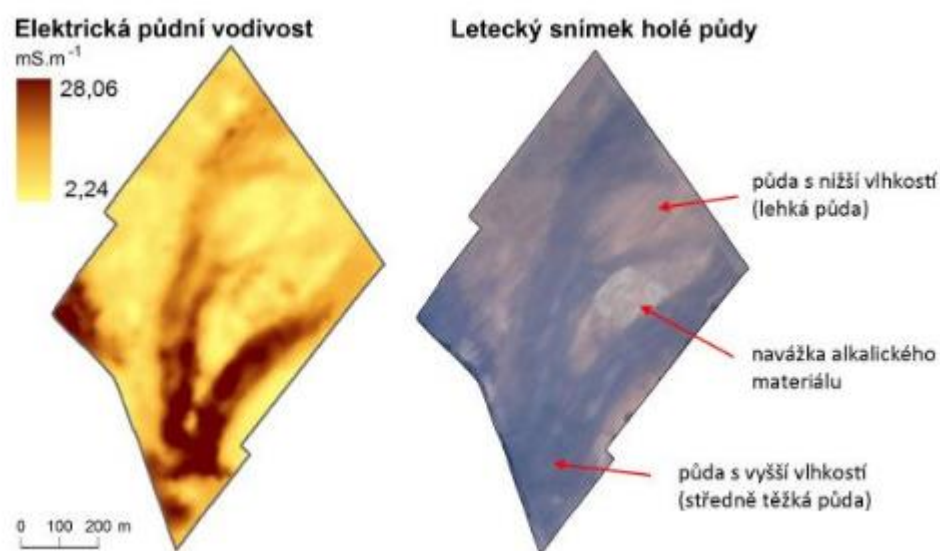
Působení mnoha půdních faktorů ovlivňuje elektrickou vodivost. Jsou jimi například vlhkost půdy, zrnitost a zasolení, objemová hmotnost, obsah organické hmoty, kationtová výměnná kapacita a mnoho dalších. Právě všechny tyto vlastnosti znesnadňují použití zmíněných senzorů. Bohužel lze jen velmi špatně jednotlivé půdní faktory v dané lokalitě kvantifikovat bez dalšího průzkumu. S tím souvisí také nejednoznačná vazba mezi elektrickou vodivostí a výnosem plodin. Například dostupnost půdní vláhy je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících elektrickou vodivost půdy, kde je limitujícím prvkem výnos. U těchto pozemků lze očekávat vyšší korelace. Toto zmiňované komplexní působení lze využít jinak, například pro předběžnou analýzu variability pozemku, která zahrnuje širokou škálu půdních vlastností a lze určit oblasti se značně rozdílnými půdními podmínkami, nebo ji můžeme použít jako podklad pro optimalizaci půdního vzorkování. Elektrickou vodivost půdy můžeme považovat za relativně neměnnou z krátkodobého hlediska. Vymezení identifikovaných oblastí je přibližně stejné, pouze absolutní hodnoty naměřené vodivosti se mění a to v závislosti na ročním období a tedy i na vlhkosti půdy. Měření odporu předmětu pronikajícího půdou pracuje na principu mechanických senzorů. Poměrně často používanou metodou je penetrometrické měření utužení půdy, které nám umožňuje určit vertikální zhutnění půdy. Princip této metody spočívá v tlaku vyvinutém pro zatlačení hrotu přístroje do půdy v jednotlivých hloubkách. Tlak je zaznamenán a přepočten na penetrační odpor. Měření s těmi přístroji nelze provádět za jízdy a tedy je nelze považovat za on-the-go přístroje. Naopak typ měření jako například tahového odporu je nutné provádět za pohybu a technické vybavení pro jeho zjišťování se v posledních letech stává doplňkovou výbavou traktorů.

3.3.4. Mapování půdy pomocí snímkování

Dálkový průzkum leteckým nebo družicovým snímkováním je další způsob mapování půdní variability. Pro tuto metodu se využívá spektrálních vlastností půdy, tedy její odrazivosti. Princip spočívá v tom, že při vyšší vlhkosti půdy, vyšším podílu jílovitých částic nebo vyšším obsahu organické hmoty se odrazivost snižuje. Proto se na první pohled vlhčí, těžší či humózní půda zdá tmavší. Barevné zbarvení půdy pak způsobuje výskyt oxidů železa. Výhodou této metody mapování půdy je její plošná výkonnost a velké pokrytí. Při tomto způsobu lze během krátkého okamžiku zmapovat rozsáhlé území a zachytit přitom každou jeho část. To nám následně eliminuje interpolaci dat. Ač by se tento způsob zdál ideální, má velkou nevýhodu spočívající v tom, že během dálkového snímkování zjišťujeme odrazivost

pouze několikamilimetrové svrchní vrstvy půdy, zatím co pomocí měření elektrické vodivosti mohou být identifikovány i rozdíly nacházející se několik metrů pod povrchem půdy. Z tohoto důvodu je mapování pomocí leteckého nebo družicového snímkování velmi nevhodné v oblastech, kde se vrchní vrstva půdy liší od nižších vrstev. Může to být způsobené například vápněním v případě, kdy je půda zpracovávána pouze na části pozemku.

Obrázek 15 - Mapa elektrické půdní vodivosti a letecký snímek pozemku o výměře 52 ha



Zdroj: <http://docplayer.cz/5780326-Variabilita-pudnich-vlastnosti-a-aplikace-zasobniho-hnojeni-v-preciznim-zemedelstvi-vojtech-lukas-a-kolektiv.html>

Snímkování přímo vegetace můžeme použít pro mapování variability půdy pouze v případě, kdy variabilita porostu odpovídá variabilitě půdy. U biotického poškození rostlin toto neplatí. Využitelnost dálkového průzkumu značně usnadňují aktuální a historické snímky v podobě webových služeb či obrazů. V neposlední řadě je třeba ještě zmínit zvláštní část dálkového průzkumu pomocí termálního snímkování, které měří teplotu půdy. I zde ale nesmíme zapomenout na vliv interakcí více půdních faktorů, přičemž nejvýraznější je vlhkost půdy.³⁰

³⁰ Odborný a stavovský týdeník Zemědělec, Mapování variability pozemků [online]
Dostupné z: <http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/>

3.4.Senzory pro měření elektrické vodivosti půdy

Pro měření elektrické vodivosti půdy se využívají elektrické a elektromagnetické metody umožňující rychlé a relativně přesné stanovení rozdílů v půdě. Tyto metody využívají geofyzikální vlastnosti půdního substrátu, kdy změnu jeho prostřední ovlivňuje procházející elektrický proud v podobě elektrické rezistivity půdy nebo elektromagnetické pole pomocí elektromagnetické indukce.³¹

Corwin a Lesch (2005) rozdělují senzory pro měření elektrické vodivosti půdy na tři typy:

- invazivní elektrodové senzory měřící elektrickou rezistivitu (ER)
- neinvazivní senzory elektromagnetické indukce (EMI)
- senzory TDR (time domain reflektometry).³²

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, nejčastěji využívané invazivní senzory měrného elektrického odporu jsou měřicí přístroje Veris 3100. Neinvazivní senzory na principu elektromagnetické indukce se nejčastěji využívají Geonics EM38. Níže v tabulce jsou uvedeny jednotlivé odlišnosti v principu měření, tak jak je uvádí Lück et al. (2002).³³

³¹ LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1

³² CORWIN, D. L., LESCH, S. M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. Computers and Electronics in Agriculture. 2005,vol. 46, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 103-133. ISSN 0168-1699

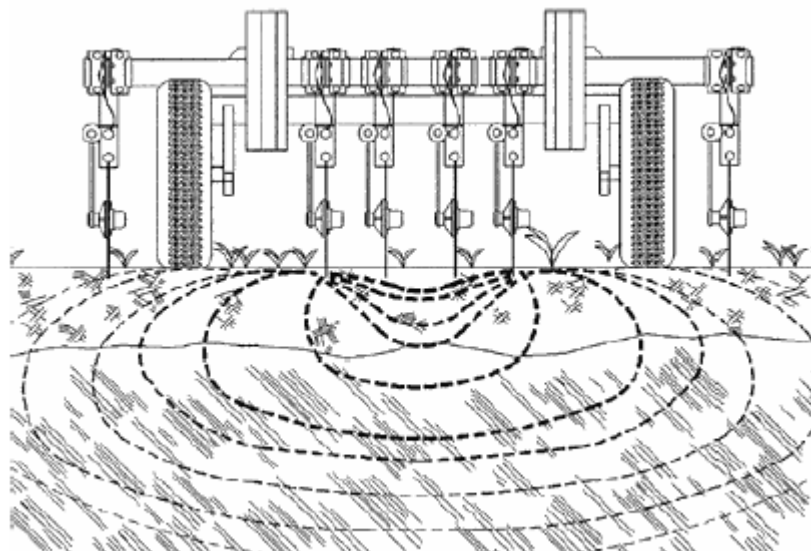
³³ KEITH MOUNT LIMING [online] Dostupné z: <http://mountliming.co.uk/precision-farming/ec-soil-scanning/>

Tabulka 2 - Srovnání senzorů měřící elektrickou vodivost půdy na principu elektromagnetické indukce a elektrického odporu

senzory EMI (EM38)	senzory ER (Veris 3100)
bezkontaktní způsob měření	vyžaduje kontakt elektrod s půdou
malý, lehký a příruční měřicí přístroj	velký a obtížně přepravitelný přístroj
pevně daná měřicí geometrie a tím také pevně přednastavená hloubka měření	nastavitelná hloubka měření pomocí geometrie elektrod
jedna, max. 2 (EM38DD) současně měřitelné hloubky	v současnosti může být měřeno více hloubek
nutná kalibrace přístroje – zjišťovány jsou relativní změny, ne absolutní hodnoty	měřeny jsou absolutní hodnoty – metoda se hodí pro zjišťování časově proměnlivých veličin
zohlednění teploty půdy při měření	bez zjišťování teploty
citlivost na kov v povrchové vrstvě půdy	kovové struktury v povrchové vrstvě nezpůsobují rušení
elektricky dobře vodivé struktury se zobrazují zřetelněji než málo vodivé	vysoce ohmické vrstvy se zobrazují zřetelněji než dobře vodivé struktury
umožňuje měření do výšky porostu 20 cm bez jeho poškození	způsob měření předpokládá narušení povrchové vrstvy půdy

Zdroj: Lück at al., 2002

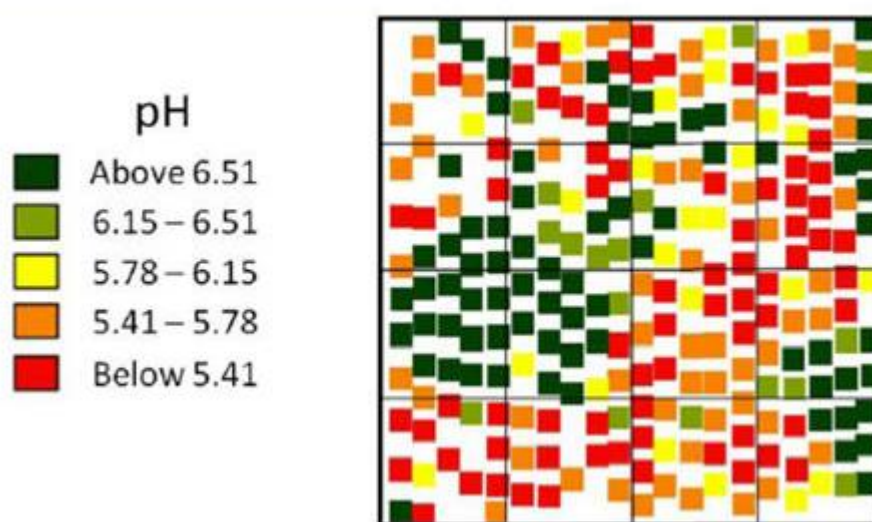
Obrázek 16 - Princip měření elektrické vodivosti půdy



Zdroj: Barbosa et Overstreet, 2011

Princip měření senzorem Veris 3100, tak jako všechny přístroje měřící elektrickou rezistivitu půdy narušují povrch půdy. Jak již bylo řečeno, kovové disky (elektrody) prořezávají svrchní vrstvu půdy, přičemž vždy jeden disk elektrický proud vysílá a druhá měří jeho změnu při průchodu půdou. Jelikož tyto přístroje jsou velice těžké, měření je prováděno tažením za vozidlem.³⁴

Obrázek 17 - Ilustrace naměřených vzorků pH půdy senzorem Veris



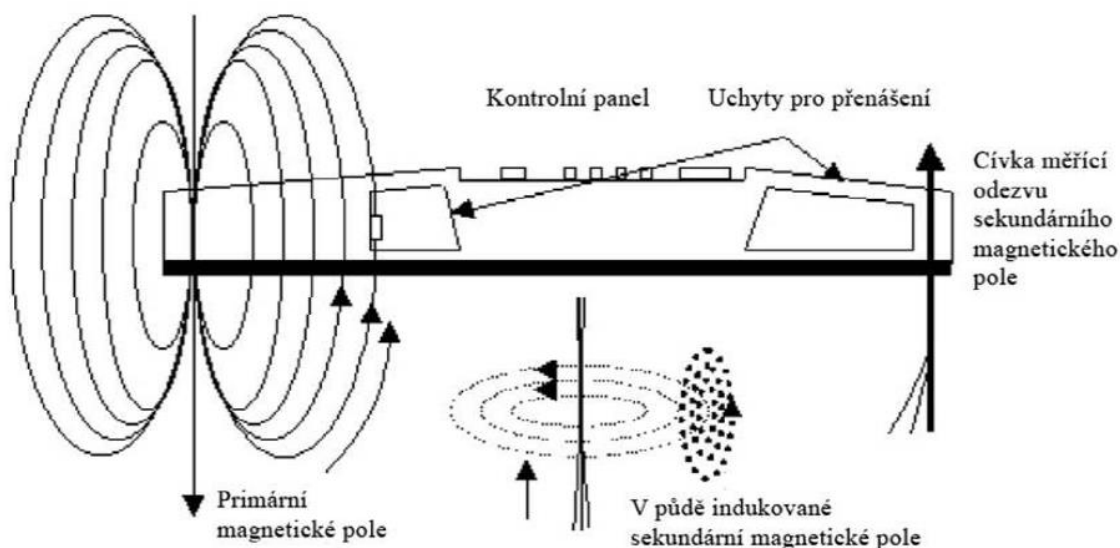
Zdroj: <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/soil-sensing-mgmt-zones/>

Měření založené na elektromagnetické indukci je bezkontaktní. V případě tohoto měření půdou prochází pouze elektromagnetické pole. Výhoda je tedy na kamenitých površích a během růstu vegetace. Měřící přístroj se skládá ze dvou cívek, které jsou od sebe v přesně definované vzdálenosti, jak můžeme vidět na obrázku č. 18. První cívka indukuje primární elektromagnetické pole, které se vysílá směrem do půdy. K vytvoření sekundární elektromagnetického pole dochází na základě fyzikálně-chemických vlastností půdy. Druhá

³⁴ LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1

cívka je umístěna na druhém konci měřícího přístroje a měří odezvu obou polí. Z jejich vzájemného porovnání se stanoví výsledná elektrická vodivost půdy v hodnotách $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$.³⁵

Obrázek 18 - Princip měření elektrické vodivosti půdy přístrojem EM38



Zdroj: Lesch *et al.*, 2005

Pro metodu elektromagnetické indukce je nejčastěji používaný přístroj EM38 (Geonics Limited, Kanada). V České republice je možné využít obdobný přístroj CMD (GF Instruments, s.r.o.). Oba zmíněné přístroje můžeme použít pro měření v horizontálním nebo vertikálním dipólu měření v závislosti na jeho poloze. Při měření ve vertikálním směru proniká signál do hloubky 1,5 – 2 m a při horizontálním směru je signál zaznamenán v rozmezí 0,75 – 1m. Měření se provádí buď ručním nesením přístroje po pozemku, nebo je možné uchytit měřící zařízení za vozidlo.³⁶

³⁵ LÜCK, E., EISENREICH, M., DOMSCH, H. Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft: Innovative methods for precision agriculture. Stoffdynamik in Geosystemen. 2002, vol. 7, pp. 1-155. ISSN 0949-4731

³⁶ LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1

Obrázek 19 - Měření půdy přístrojem EM38 taženým za terénní čtyřkolkou

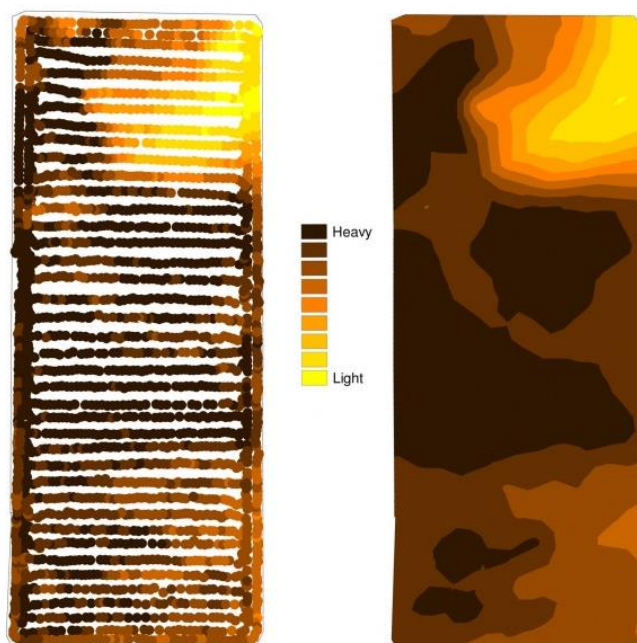


Zdroj: <http://mountliming.co.uk/precision-farming/ec-soil-scanning/>

Na níže uvedeném obrázku č. 20 obě mapy ukazují rozdíly půdních typů v rámci jediného pole. Obraz na levé straně zobrazuje aktuální trasu skeneru, který byl stimulován na 12 metrových intervalech a každá tečka představuje měření hloubky. Tvarovaný obrázek na pravé straně ukazuje zóny řízení do oblasti, která může být použita pro změnu množství osiva, vyvrtanou v každé zóně, jakož i zón, které mohou být použity pro odběr vzorků půdy pro variabilní použití fosfátu a potaše. Tato data se pak vkládají do systému traktoru a s použitím regulátoru se provádějí přesnější aplikace například aplikace hnojiva.³⁷

³⁷ KEITH MOUNT LIMING [online] Dostupné z: <http://mountliming.co.uk/precision-farming/ec-soil-scanning/>

Obrázek 20 - Přesné zobrazení měřené trasy přístrojem EM38 a následný výstup v podobě mapy pozemku



Zdroj: <http://mountliming.co.uk/precision-farming/ec-soil-scanning/>

4. Geografický informační systém

Geografický informační systém (GIS) je systém, pomocí kterého získáváme a analyzujeme potřebná geografická data k vytváření modelů prezentovaných především v podobě různých map.

Základem pro provádění diferencovaných agrotechnických zásahů, tedy aplikace precizního zemědělství je lokalizace pomocí satelitní navigace a její následná analýza v geograficko-informačním systému, která za poslední léta prodělala obrovský rozvoj. Pomocí využití satelitní navigace máme k dispozici informace v reálném čase, což nám umožňuje nejen analýzu půdy, porostů a výnosů pěstovaných plodin ale získané informace nám dovolují vrátit se na místa, které potřebující individuální péči.

V zemědělství nám GIS umožňuje velké zefektivnění práce například při zjišťování variability pozemku, kde jsou využívány různé prostředky pro odběr vzorků, diagnostiku a mapování, jako například vodivost půdy, vlhkost půdy, penetrometrický odpor apod. Všechna získaná data jsou následně zpracována v GIS.

Ve zmíněném systému jsou analyzovány i informace získané z tzv. dálkového průzkumu země, což je další technologie využívaná v precizním zemědělství. Jde o proces získávání, přenosu a interpretace dat a informací o vlastnostech objektů prostřednictvím zařízení použitých na dálku jako například z letadel a družic.

4.1. Technologie využívané v precizním zemědělství

Technologie využívající GIS můžeme chápat ve třech rovinách:

1. Softwarový soubor programů pro správu a analýzu prostorových dat, jako jsou například ARC/INFO, TOPOL nebo AGROCOM,
2. Aplikaci určité organizační jednoty, kterou můžeme využívat jako součást řízení například správy Národního parku nebo Registr půdy- LPIS (Land Parcel Identification System),
3. Technologii, tedy jako funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, dat a pracovních postupů.

Pro potřeby precizního zemědělství je důležitá analytická funkce systému GIS. Její síla spočívá ve schopnosti prostorové analýzy, syntézy poznatků a modelování a právě těmito specifiky se odlišuje od ostatních. Geografický informační systém v sobě sjednocuje kartografické, databázové a analytické aspekty, které se navzájem doplňují a kombinují, a proto je tak používán v nepostradatelný v precizním zemědělství.

4.2. Aplikace grafických dat

Klíčovým prvkem precizního zemědělství jakožto i ostatních geografických informačních systémů jsou data, nositel informace a zároveň významná komponenta. Tyto data jsou vlastně informace o zemském povrchu a entitách. Entita může být konkrétní nebo abstraktní objekt, o kterém je v databázi uložena určitá informace. Podle rozměrů objektů entit je můžeme rozdělit na čtyři typy:

Bezrozměrné

Bezrozměrné objekty jsou vlastně body, které mají definovanou polohu v prostoru, ale nemají definovanou délku ani plochu. Pro potřeby precizního zemědělství se jimi vyjadřují například místa odběru půdních vzorků nebo jiné vrty či body.

Jednorozměrné

Jako jednorozměrné můžeme označit úseky čas, které mají konečnou délku, ale nemají plochu. Toto zobrazení se pro potřeby zemědělství využívá pro zobrazení dráhy pohybu nebo linie odvodňovacích drenáží apod.

Dvourozměrné

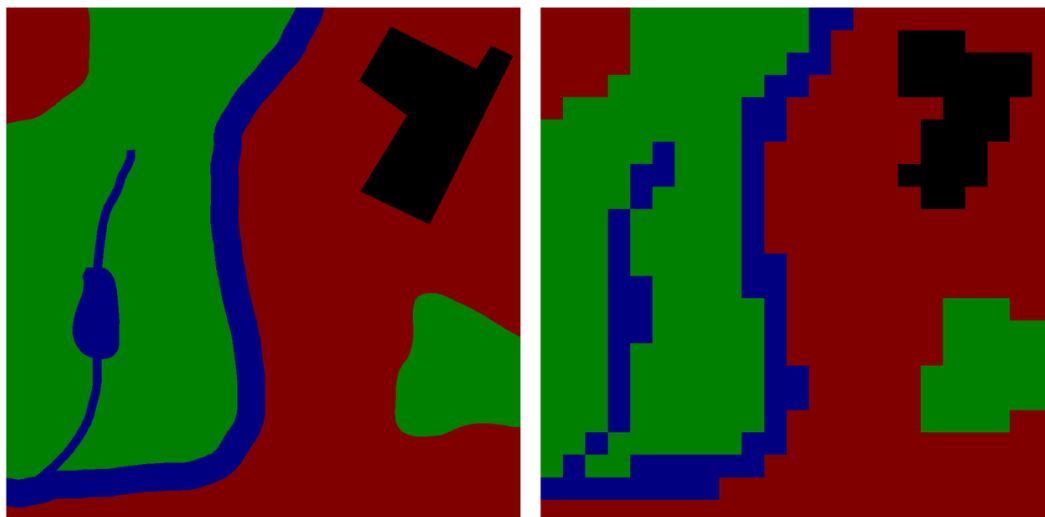
Dvourozměrné zobrazení neboli polygony, mají délku a šířku a jde to tzv. plochy, tedy podobají se liniím, ale tvar série souřadnic uzavírá polygon. Jsou určeny pro zobrazení území kraje, rybníků, lesních pozemků, ale i ohnisek plevelů nebo zamokření.

Trojrozměrné

Objekty, které mají délku, šířku a hloubku jsou nazývány trojrozměrné, tedy 3D. Analýza a zpracování v trojrozměrných datových modelech vyžaduje speciální 3D GIS systémy. Zobrazení pomocí 3D se využívá pro prezentaci výškových dat, zobrazení zásoby živin v půdě v závislosti na hloubce nebo sklonu terénu.

Grafická data nám popisují prostorové umístění ve zvoleném souřadnicovém systému a vzájemný vztah objektů. Formáty digitálních dat mohou být vektorová nebo rastrová. Tyto formáty od sebe odlišují jednotlivé systémy a každý z nich je určený pro určitý typ informací a analýz.

Obrázek 21 - Ilustrace rozdílu mezi vektorovou a rastrovou mapovou vrstvou



Zdroj:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Geografick%C3%BD_informa%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m#/media/File:Raster_vector_gis.png

Vektorovým způsobem jsou nejčastěji vyjádřena geodata, kdy každý prvek je prezentován geometrickým tvarem (bodem, linií nebo polygonem). Rastrová data v GIS můžeme vnímat jako typ digitální obrazu, kde nejmenší jednotkou je pixel nebo buňka obrazu. Pravidelné uspořádání celého rastru pokrývají obrazové body, které představují řádky a sloupce obrazu. Rastrová data mohou být prezentována běžnými obrazovými data, například digitální fotografií, nebo mohou vyjadřovat určitou abstrakci reality, například v tzv. digitálním modelu reliéfu je prostřednictvím rastru vyjádřena jeho nadmořská výška. Prostřednictvím rastru být tedy vyjádřeny i informace o nějaké fyzikální veličině, jako pH půdy nebo srážkové údaje.

Rozlišení každého rastru v prostoru je dáno rozměry každého pixelu vyjádřeného hodnotou, která odpovídá skutečnosti například rozlišení mapy je 0,5 metru/1 pixel. V geografickém informačním systému je nezbytné pro práci s rastry, aby byl každý lokalizován, tedy aby bylo známo jeho prostorové umístění vyjádření v souřadném systému.³⁸

³⁸ BRODSKÝ LUKÁŠ, 2003, Využití geostatických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd, ČZU Agronomická fakulta, ISBN 80-213-1100-2

5. Cíl práce

Cílem této práce je ověřit nové možnosti mapování variability půdy na základě jejich elektrické vodivosti pomocí měřících platforem osazených na strojích pro zpracování půdy. V dnešní době jsou běžně na trhu přístroje a senzory pro sledování půdní variability pozemku. Tyto přístroje jsou ovšem drahé a jednoúčelové. Pomocí měřících platforem, které jsou součástí stroje, je možné použít jednoduchou metodu k měření elektrické vodivosti v kombinaci s pracovními stroji, kdy měření probíhá přímo při práci a nahradit tak tyto drahé přístroje.

6. Metodika

Vzhledem k tomu jaký význam má k mapování půdních podmínek vodivost byla zkoušena kontaktní metoda, kdy měřící elektrody byly součástí stroje. Měřící elektronika byla osazena na modulárních secích strojích Falcon firmy Farnet, a.s. Česká Skalice.

Obrázek 22 - Secí stroj Falcon firmy Farnet, a.s



Zdroj: Farnet, a.s.

Jako elektrody byla využita řada předních kypřících dlát. Tato dláta bylo zapotřebí před instalací galvanicky odizolovat. K tomu posloužili plastové desky vložené mezi slupici

a rám stroje. Elektronika byla vyvinuta na katedře Zemědělských strojů a katedře Využití strojů České zemědělské univerzity v Praze.

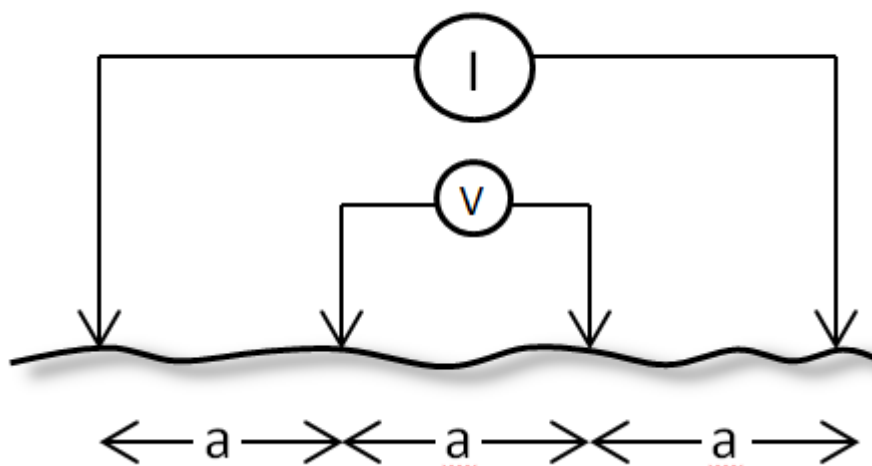
Obrázek 23 - Secí stroj Falcon při práci



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Koncepce zapojení elektrod vycházela z publikace Milsom 2003³⁹, kde je uvedené zapojení označováno jako Wennerova řada. Zapojení odpovídá schématu na obrázku 24, kdy jednotlivá dláta tvořila dvojici napěťových a proudových elektrod. Vzdálenost mezi elektrodami (a) byla 0,45 m.

Obrázek 24 - Schéma zapojení elektrod u stroje Falcon



Zdroj: Milsom J. (2003): Resistivity methods. Field Geophysics, third edition. John Wiley & Sons Ltd, 232 s. ISBN 0-470-84347-0.

Pozn. Vlastní zpracování autora, 2016

³⁹ Milsom J. (2003): Resistivity methods. Field Geophysics, third edition. John Wiley & Sons Ltd, 232 s. ISBN 0-470-84347-0.

6.1.Postup měření

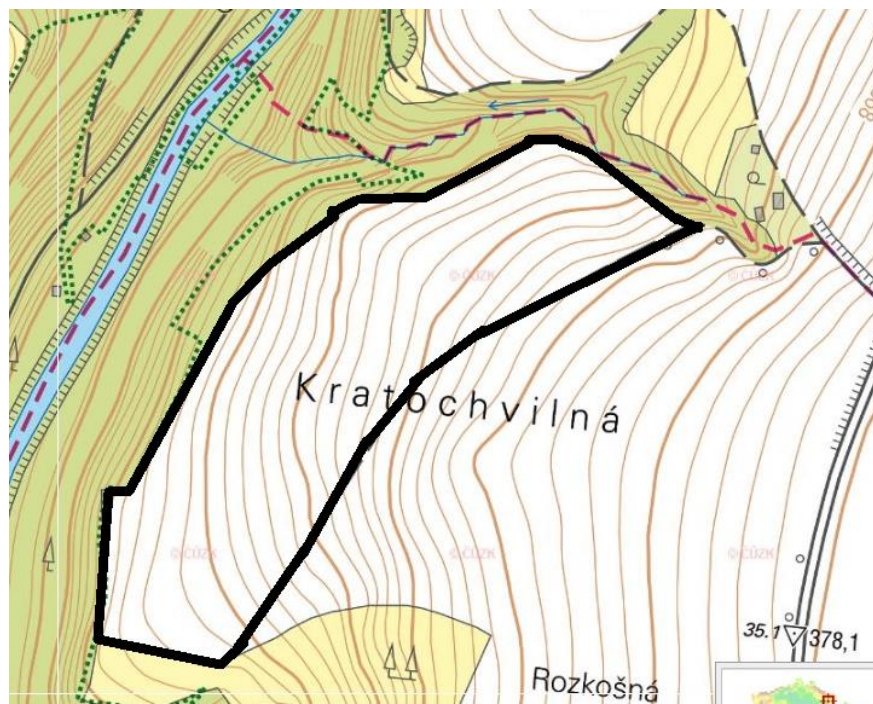
Účelem měření bylo ověřit, zda je možné běžně nabízený stroj na měření vodivosti půdy EM 38 MK2 nahradit pomocí měřicí elektroniky, která je osazena na běžně využívaných strojích pro zpracování půdy. Hodnoty proudu a napětí na výstupu z elektrod byly ukládány do měřicí ústředny společně s údaji o poloze s přijímači GPS. Interval ukládání byl zvolen 5 sekund. Měření probíhalo během setí kukuřice. Na uvedeném stejném pozemku byla ve stejný termín měřena vodivost půdy pomocí sondy EM 38 MK2. Jedná se o geofyzikální přístroj od společnosti Geonics limited. Takto sonda v současné době představuje standard při popisu variability půdního prostředí a data z této sondy byla použita jako validační soubor. Sonda půdní vodivosti byla tažena pomocí terénní čtyřkolky a data byla ukládána společně s informacemi o poloze z GPS přijímače do měřicí ústředny. Po naměření byla data před hodnocením upravena.

Ze souborů byly odstraněny hodnoty, které byly zaznamenány při otáčení soupravy a vyhlubování a zahlubování přístroje, případně chybné extrémní hodnoty. Takto připravená data byla následně zpracována pomocí geostatistických metod. Ke zpracování byly využity programy ArcGIS 10.2 (ESRI, Red lands, USA), Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) a nástroje GS⁺ for Windows.ink (Gamma Design Software, LLC, Michigan, USA), Microsoft office (Microsoft Corporation, Redmond, USA).

6.2.Informace o pozemku

K měření byl vybrán pozemek, který obhospodařuje ZD Žernov. Pozemek se nachází v KÚ Žernov u České Skalice, GPS 50° 2' 30" N 16° 3' E. Výměra pozemku je 9,7 ha. Nejvyšší část pozemku leží v nadmořské výšce 358 m.n.m. a dále se svažuje až k nejnižší výšce 320 m.n.m. Na pozemku převládá Hnědozem Luvická, která ve vrchní části přechází v Kambizem. Na uvedeném pozemku je uplatňována bezorebná technologie.

Obrázek 25 - Vyznačený sledovaný pozemek Žernov



Zdroj: map. Geoportál. Gov. Cz/web/guest/map

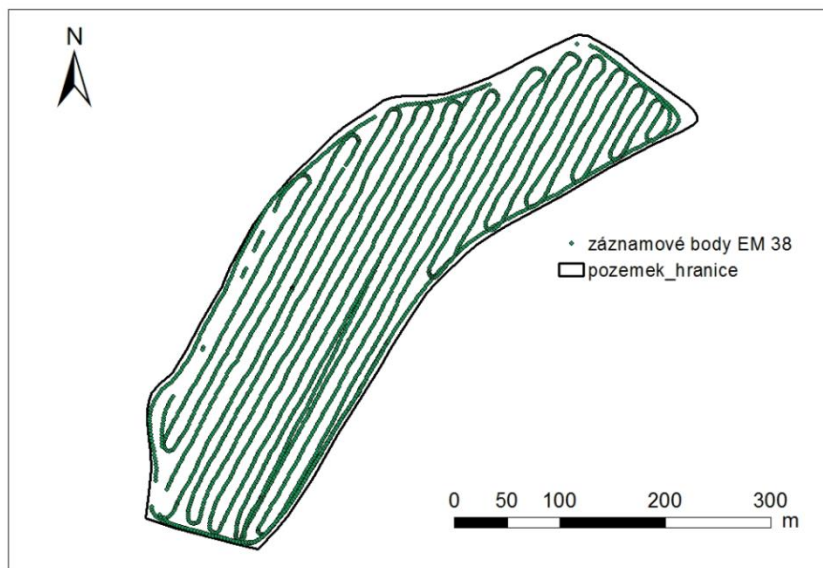
7. Zpracování dat

Pro úpravu dat bylo použito tzv. geostatistických metod. Nejprve pro aplikaci geostatistické analýzy přecházelo zjištění základních statistických ukazatelů jako je aritmetický průměr, medián, rozptyl a směrodatná odchylka. Tyto ukazatele slouží k určení středních hodnot, okolo kterých se jednotlivé hodnoty pohybují a zda naše statistické rozdělení hodnot je normální. U geostatistických metod je požadavek normality rozdělení hodnot poněkud benevolentnější nebo u klasických statistických metod. Ze souboru byly vyloučeny hodnoty menší nebo větší než trojnásobek směrodatné odchylky, která byla odečtena nebo přičten ke střední hodnotě.⁴⁰

Abychom mohli posoudit úroveň normality, použili jsme histogramy četností a jejich parametry šikmost a špičatost. Výsledky měření jsme poté slovně zhodnotili.

Měření vodivosti půdy probíhalo sondou EM 38 MK2 a upraveným secím strojem firmy Falcon na pozemku v obci Žernov. Pomocí sondy EM 38 MK2 byla data zaznamenávána ve dvou hloubkách a to v hloubce 1m a 0,5m vždy po 1 sekundě. Rozmístění jednotlivých jízd s vyznačením záznamu je zobrazeno na obrázku 26.

Obrázek 26 - Záznam trasy měření na pozemku strojem Falcon

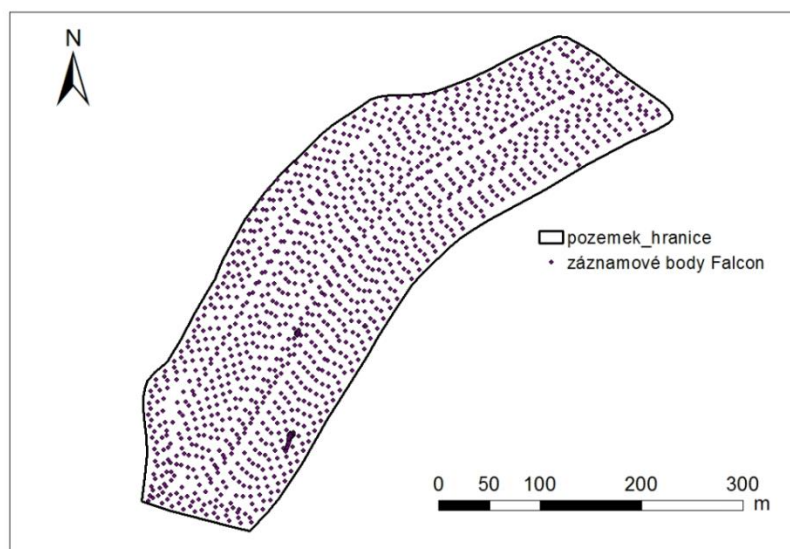


Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

⁴⁰ Brodský Lukáš, 2003, Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd, ČZU Agronomická fakulta, ISBN 80-213-1100-2

Záznamy pomocí upraveného secího stroje Falcon byly zaznamenávány po 5 sekundách. Na obrázku 27 jsou vidět záznamové body měření.

Obrázek 27 - Záznam trasy měření na pozemku strojem Falcon



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Naměřené hodnoty byly shrnuty pomocí nástrojů popisné statistiky v následujících tabulkách.

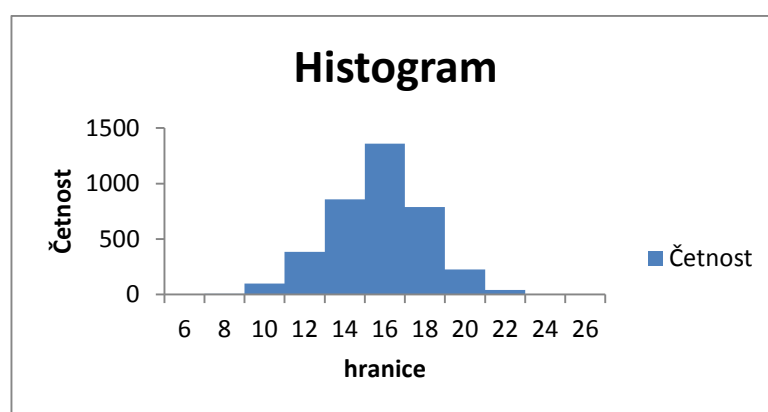
Tabulka 3 - Data vodivosti měřené pomocí sondy EM38 na pozemku Žernov v hloubce 1 m

CV1m	
Stř. hodnota	14,694
Chyba stř. hodnoty	0,038
Medián	14,766
Modus	14,492
Směr. odchylka	2,336
Rozptyl výběru	5,460
Špičatost	0,147
Šikmost	-0,109
CV %	18,828
Minimum	6,133
Maximum	24,961
Součet	55353,833
Počet	3767

Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

V tabulce 3 jsou uvedena data měřená pomocí sondy EM 38 MK2 v hloubce 1 m. Popis střední hodnoty statistických souborů je určen aritmetickým průměrem (střední hodnotou) a mediánem. Jak můžeme vidět, v minimu a maximu hodnot je výrazný rozdíl a to svědčí o variabilitě pozemku. Podle Granadose (2002) data vykazují normální rozdělení, pokud se šikmost pohybuje v rozmezí hodnot -2 až 1. Šikmost neboli koeficient asymetrie nám vyjadřuje asymetrii od normálního rozdělení. Dle vypočtené hodnoty můžeme považovat šikmost za normální. Popis disperze, variability, okolo střední hodnoty je určen parametrem rozptylu a jeho druhou odmocninou, směrodatnou odchylkou. Variační koeficient (CV) jako relativní hodnota šířky disperze hodnot okolo střední hodnoty umožňuje porovnání různých souborů dat měření.⁴¹

Graf 1 - Histogram četnosti pro měření v hloubce 1 m



Zdroj: *Vlastní zpracování autora, 2016*

Graf 1 znázorňuje histogram měřených půdních vlastností v hloubce 1 m sondou EM 38 MK2. Z grafu je vidět velká variabilita pozemku, kdy vodivost v rozmezí 14 až 16 mS/m dosazuje největší část měřeného pozemku.

⁴¹ Brodský Lukáš, 2003, Využití geostatických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd, ČZU Agronomická fakulta, ISBN 80-213-1100-2

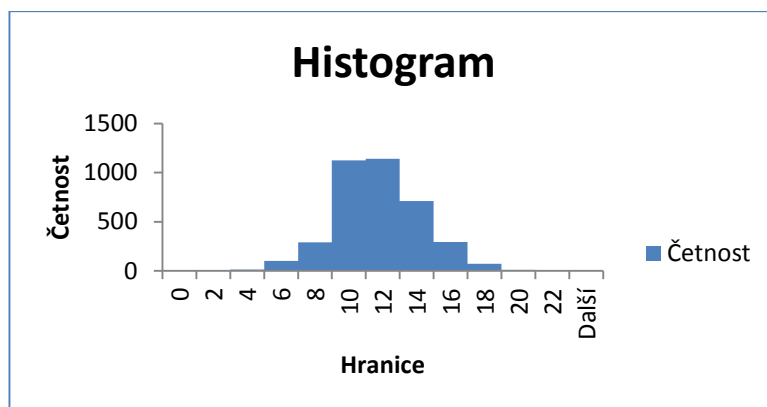
Tabulka 4 - Data vodivosti měřené pomocí sondy EM38 na pozemku Žernov v hloubce 0,5 m

CV05m	
Stř. hodnota	10,723
Chyba stř. hodnoty	0,040
Medián	10,547
Modus	10,078
Směr. odchylka	2,482
Rozptyl výběru	6,161
Špičatost	0,397
Šikmost	0,120
CV %	20,664
Minimum	0,469
Maximum	21,133
Součet	40300,319
Počet	3758

Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

V tabulce 4 jsou uvedené naměřené hodnoty tytéž sondy v hloubce 1 m. Hodnocení minima a maxima vymezují kategorie, do kterých statistické soubory dat spadají. Při srovnání dat se nám nijak zásadně neliší hodnocení variability při měření v hloubce 0,5 m. Při bližším zkoumání je vidět, že v hloubce 0,5 m je rozdíl přesnosti jen vyšší a tudíž lze říci, že měření v této hloubce je přesnější. Šikmost se nám také nachází v tolerančním rozmezí.

Graf 2 - Histogram četnosti pro měření v hloubce 0,5 m



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Jak je patrné z grafu 2, při měření v hloubce 0,5 jsou rozdíly variability pozemku větší. Nejvyšší hodnoty vodivosti v rozmezí od 10 do 14 mS/m byly naměřeny při 2267 měřeních z celkového počtu 3758 záznamů na sledovaném pozemku.

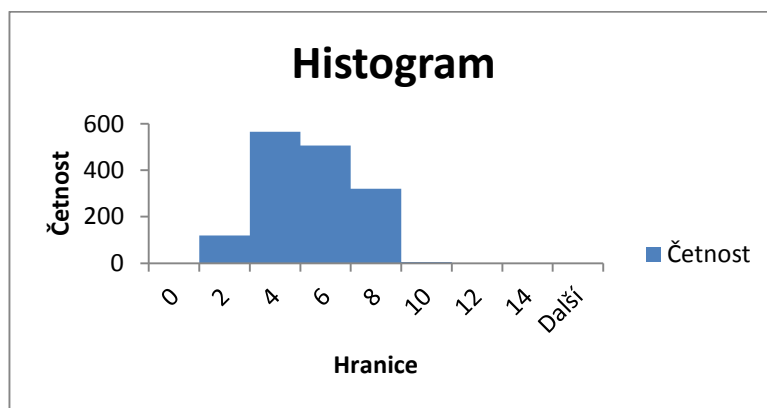
Tabulka 5 - Data vodivosti z pozemku Žehrov měřená strojem Falcon

Vodivost	
Stř. hodnota	4,289
Chyba stř. hodnoty	0,042
Medián	4,281
Modus	6,416
Směr. odchylka	1,639
Rozptyl výběru	2,688
Špičatost	-0,082
Šikmost	0,017
Variační koeficient (%)	13,456
Minimum	0,047
Maximum	13,504
Součet	6520,689
Počet	1520

Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Při srovnání předchozích dat Variačního koeficientu s tabulkou 3, kde je zaznamenáno měření půdní vodivosti osazené na secím stroji Falcon, je přibližně o 5 % odlišné, než měření pomocí sondy v 0,5 m.

Graf 3 - Histogram četnosti měření pomocí stroje Falcon



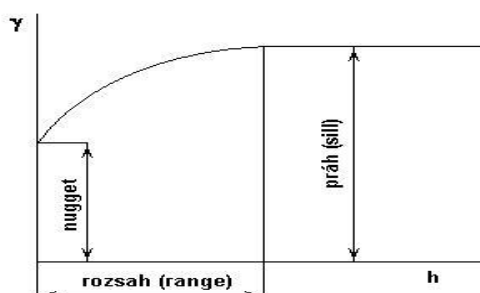
Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Histogram vytvořený na základě měření strojem Falcon společnosti Farmet na první pohled ukazuje vyrovnanější hodnoty četnosti naměřených dat. Je to způsobeno nižším počtem měření a nižší změřenou maximální hodnotou. To nám však nezkrusuje výsledky měření, jelikož se jedná o relativní hodnotu šířky disperze hodnot okolo střední hodnoty měření, můžeme tento údaj považovat za srovnatelný.

Popisem průběhu variogramu se zabývá mnoho autorů (Wackernage, 1989; Heisel et al., 1999; Valla et al., 2000; Ilsemann et al., 2001; Granados et al., 2002; Brodský a Vaněk, 2003)⁴². Mezi základní parametry variogramu patří:

- *Práh variogramu (sill) C_0+C* je maximální hodnota semivariance, která při dalším zvyšování vzdálenosti zůstává konstantní.
- *Rozsah variogramu (range) A_0* je vzdálenost, kde semivariance dosáhne hodnoty prahu. Do tohoto bodu se projevuje prostorová závislost mezi jednotlivými hodnotami v daných bodech.
- *Zbytkový rozptyl (nugget) C_0* je hodnota semivariance při vzdálenosti bodů blízké 0. Zbytkový rozptyl je přisuzován chybám při měření a variabilitě na nižší úrovni, než je nejmenší vzdálenost mezi dvěma měřenými body. Na obrázku 28 je vyobrazen obecný průběh variogramu a popis základních parametrů variogramu.

Obrázek 28 - Obecný průběh variogramu



Zdroj: Brodský Lukáš, 2003, *Využití geostatických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd*, ČZU Agronomická fakulta, ISBN 80-213-1100-2

Čím vyšší je podíl zbytkového rozptylu z celkové hodnoty prahu, tím slabší je zjištěná prostorová závislost dané proměnné. V krajním případě je hodnota zbytkového rozptylu rovna hodnotě prahu. Takový variogram se potom nazývá „pure nugget“. Dalšími jevy může být například pokles („hole effect“) nebo nárůst semivariance.

⁴² Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O. (2000): Pedagogické praktikum ČZU Praha, 148 s.

Rozdělení prostorových závislostí do tří tříd najdeme například v práci Granados et al. (2002) a Cambardella a Karlen (1999)⁴³. Míra prostorové závislosti je vyjádřena poměrem mezi hodnotou nuggetu ku celkovému prahu (sill) variogramu. Pokud je tento poměr ≤ 25 % hovoříme o silné prostorové závislosti. Hodnoty větší než 25 % až do 75 % vyjadřují středně silnou prostorovou závislost. Hodnoty nad 75 % vyjadřují prostorově nezávislá data. Jestliže je poměr roven 100 % hovoříme o, již zmíněném, pure nuggetu.

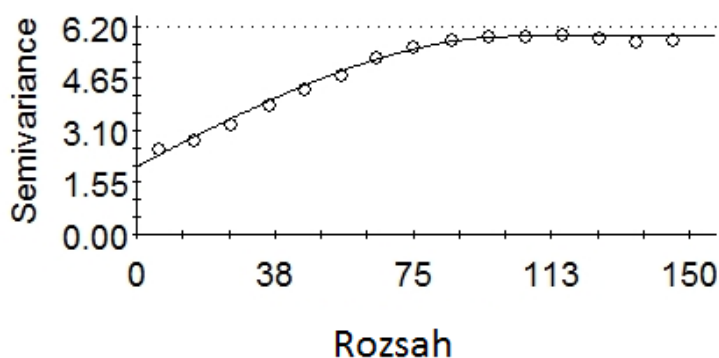
Tabulka 6 - Parametry modelových variogramů

Měření	EM 38 MK2 - 1 m	EM 38 MK2 - 0,5 m	Secí stroj Falcon
Zbytkový rozptyl Co	1,02	2,03	0,126
Prah Co+C	5,997	5,908	1,882
Rozsah A0 (m)	108	105	63
Co/(Co+C) (%)	17	34	7

Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Z tabulky 3 nám vyplývá, že přístroj EM 38 MK2 měřený v 1m a Secí stroj Falcon je prostorová závislost silná. Pro senzor EM 38 MK2 měřený v 0,5 m střední. Z tabulky je také patrné, že o významnou část je menší rozsah variogramu u měření pomocí sondy EM 38 MK2 (v obou případech). Jednotlivé variogramy jsou uvedeny na obrázcích 28, 29 a 30.

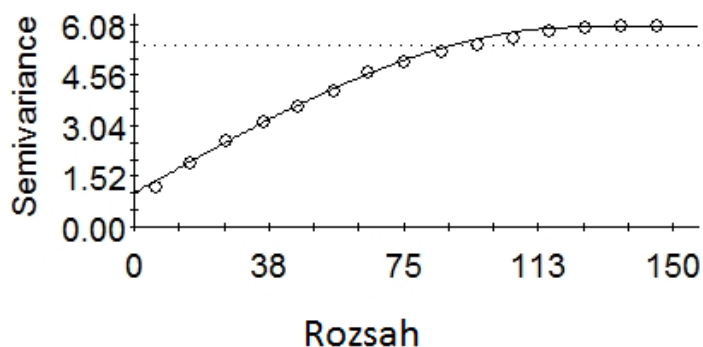
Obrázek 29 - Variogram souborů dat EM 38 MK2 při měření v hloubce 0,5 m



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

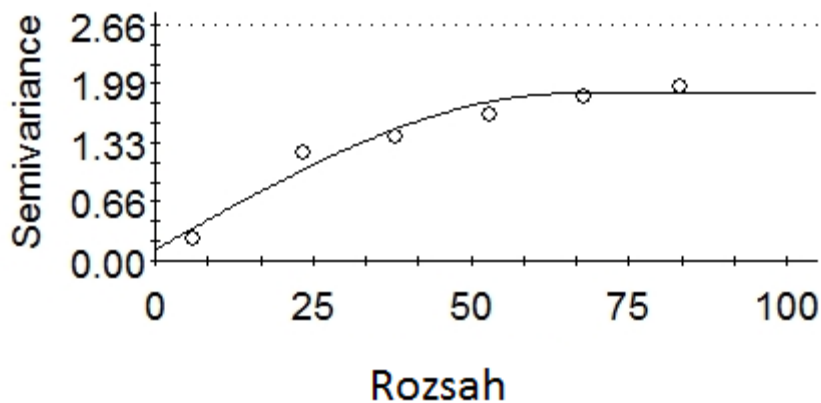
⁴³ CAMBARDELLA, C. A., KARLEN, D L. (1999) Spatial Analysis of Soil fertility Parameters. Precision Agriculture

Obrázek 30 - Variogram souborů dat EM 38 MK2 při měření v hloubce 1 m



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Obrázek 31 - Variogram souborů dat secího stroje Falcon

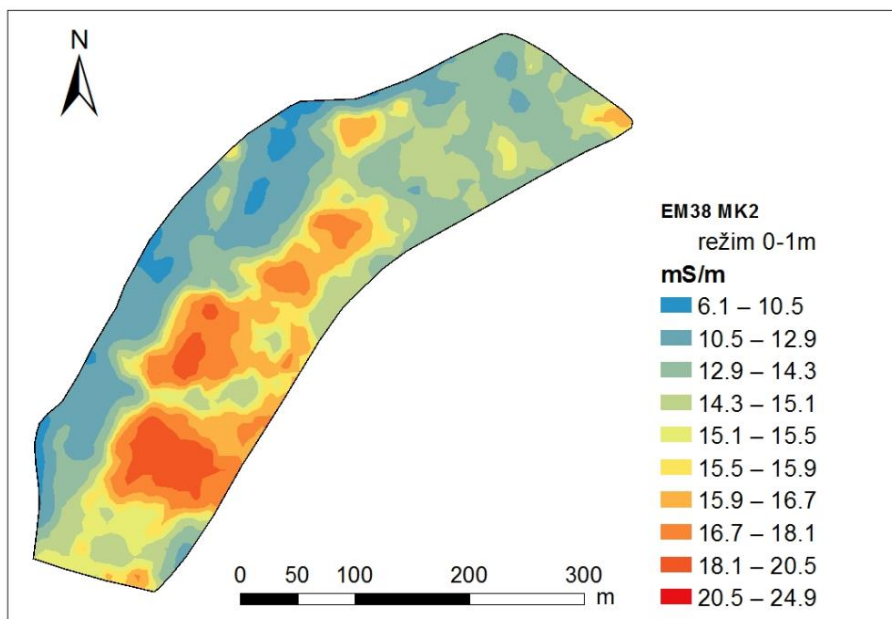


Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Jelikož jsme pro všechna tři měření mohli Variogramy vytvořit, tedy je popsat uzavřeným modelem, je tím vyjádřena jejich silná prostorová závislost a následné grafické znázornění variability pomocí mapy bude značně přesné.

Mapy vizuálně ilustrují prostorové rozložení hodnot měřených půdních vlastností. Prezentované mapy jsou sestrojeny interpolační metodou Kriging. Mapy zobrazující mapovanou variabilitu pozemku pomocí sondy EM 38 MK2 jsou zobrazeny na obrázcích 31 a 32. V mapách se objevují barvy od tmavě modré do tmavě červené, které nám na desetihodnotové stupnici vyjadřují míru vodivosti v mS/m.

Obrázek 32 - Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 1 m (autor)

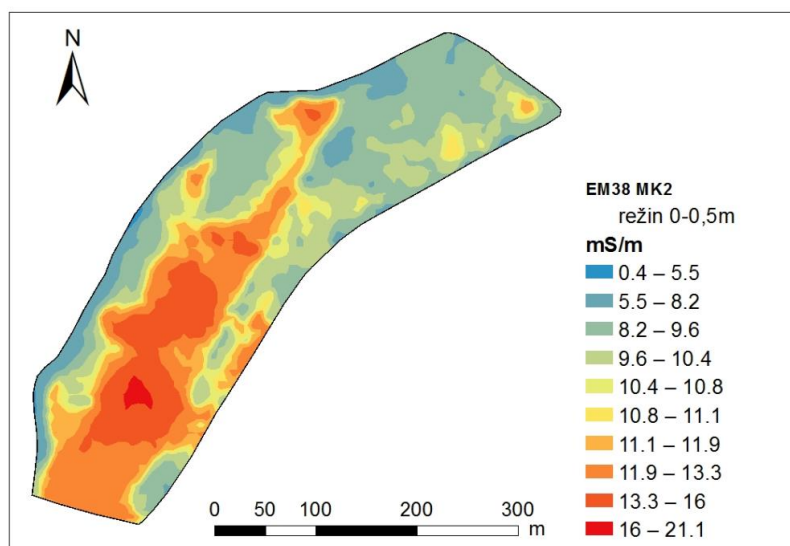


Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Z mapy (obrázek 31) je patrné, že největší měrná vodivost byla naměřena v jihovýchodní části pozemku. Naopak nejnižší vodivost byla naměřena na jihozápadní až západní části pozemku.

Obrázek 29 Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 0,5 m (autor)

Obrázek 33 - Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 0,5 m

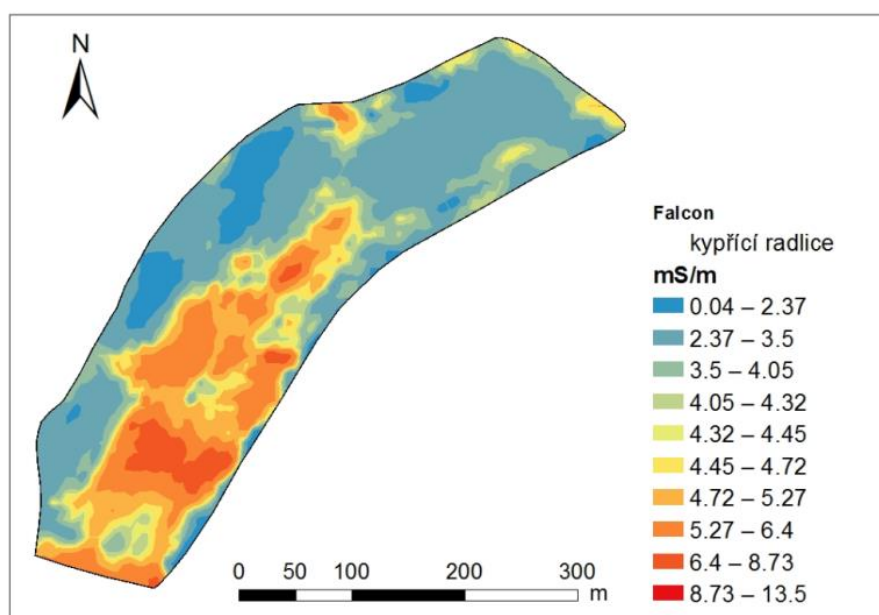


Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

Na obrázku 32 vidíme mapu vodivosti stejného pozemku s rozdílem, že měření probíhalo v hloubce 0,5 m. Při porovnání obou map si můžeme všimnout vyšší míry vodivosti při mělkém měření.

Vodivost byla měřena a následně znázorněna také secím strojem Falcon. Variabilitu impulzů naměřených zmíněným strojem zobrazuje obrázek 33.

Obrázek 34 - Mapa impulzů napěťových elektrod secího stroje Falcon



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

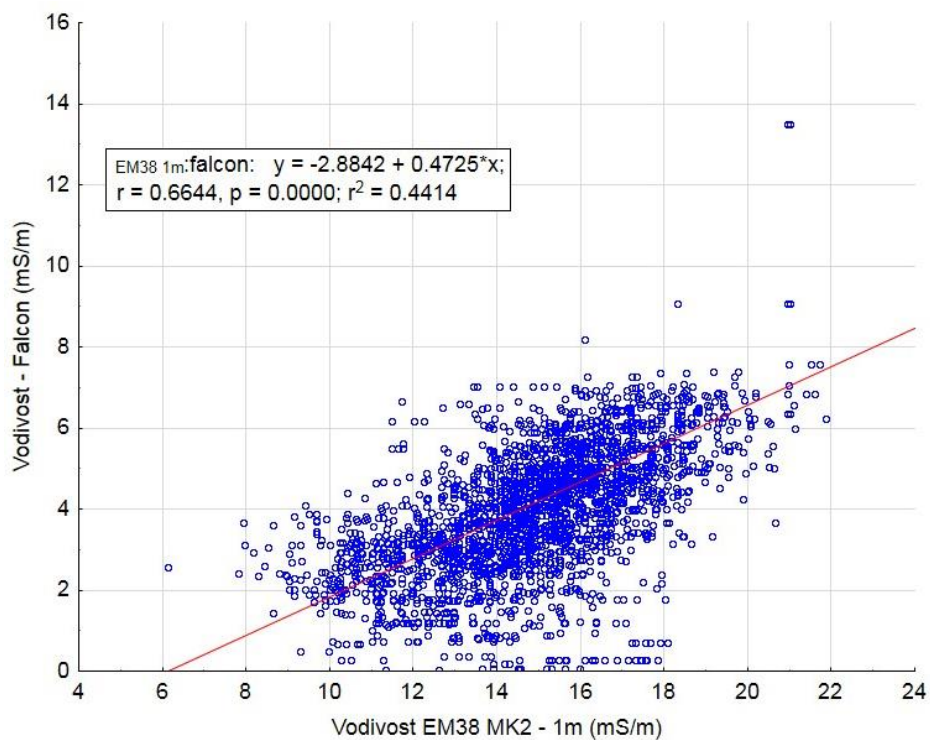
Při porovnání výsledků zobrazení naměřených hodnot stroje Falcon a sondy EM 38 MK2 se grafické znázornění více podobná měření v hloubce 0,5 m i když ne úplně přesně. Grafické znázornění podpořilo závěr z hodnocení statistických metod, kde jsem uvedla, že pro srovnání zaznamenané variability půdního prostředí se strojem Falcon je vhodnější a přesnější použít hodnoty z měření 0,5 hloubky.

Nyní po takto graficky znázorněné variabilitě pozemku by bylo vhodné v rámci každé zastoupené hodnoty měrné vodivosti provést bodové vzorkování pro určení půdních vlastností.

Pro porovnání výsledků závislosti měření pomocí sondy EM 38 MK2 a secího stroje Falcon jsme provedli analýzu regrese a korelace pro obě měřené hloubky. Závislost výsledků s hloubkovým měřením sondy v 1 m nám znázorňuje graf č. 5.

Koeficient determinace $R^2 = 0,4414$ a koeficient korelace $R = 0,6644$. Při porovnání hodnot lze považovat závislost za statisticky významnou.

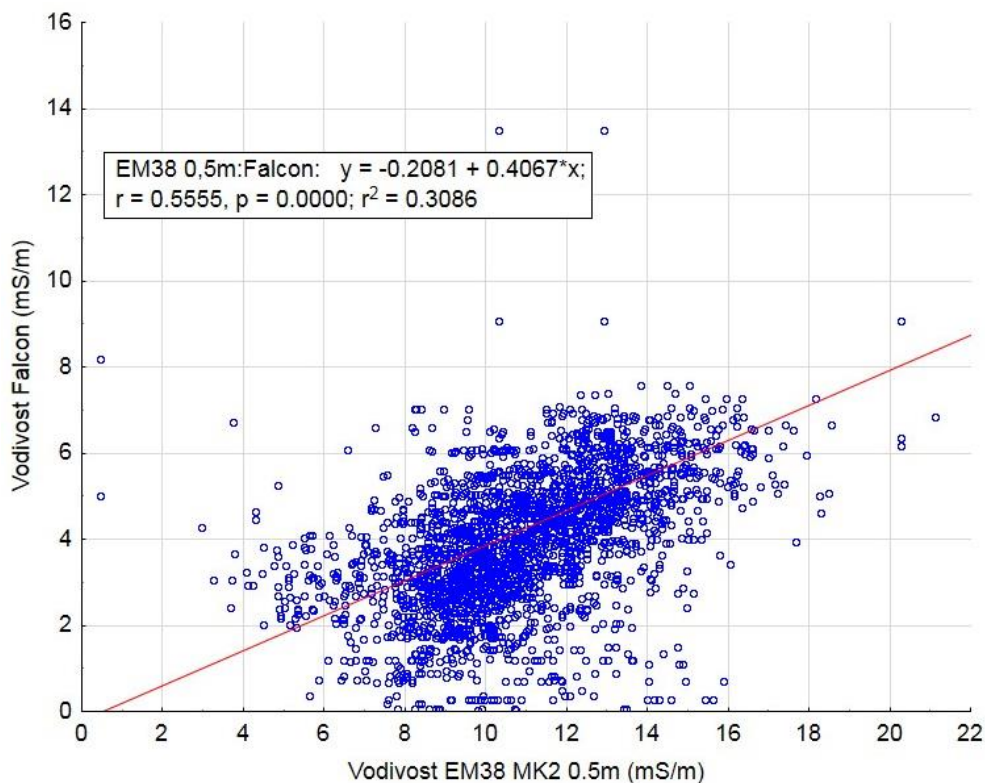
Graf 4 - Závislost hodnot sondy EM38



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

V grafu 5 je zobrazena závislost výsledků měření sondy EM 38 MK2 v hloubce 0,5 m a stroje Falcon. Koeficient determinace $R^2 = 0,3086$ a koeficient korelace $R = 0,5555$. I v tom případě při porovnání hodnot lze závislost považovat za statisticky významnou.

Graf 5 - Závislost hodnot sondy EM38 měřené v hloubce 0,5 m a stroje Falcon



Zdroj: Vlastní zpracování autora, 2016

7.1. Ekonomické zhodnocení práce

V diplomové práci jsem srovnávala dva přístroje na měření variability půdního prostředí. Prvním z nich byla samostatná sonda EM 38 MK2. Druhým z porovnávaných přístrojů byla měřicí elektronika, která je osazena na běžně využívaných strojích pro zpracování půdy.

Jak dokazují na provedených měřeních a následné zobrazení prostřednictvím modelů map nebo grafů, dokáže například sečí stroj upravený pomocí měřicí elektroniky zaznamenávat rozdíl variability půdního prostředí stejně dobře jako zmíněná sonda.

Při bezkontaktním měření pomocí sondy je nutné měření provádět buď tažením za čtyřkolkou, nebo ji při měření nést. Tento způsob měření výrazným způsobem navyšuje náklady na měření, jelikož již k tak velké částce na pořízení sondy, která se pohybuje okolo 500 000 Kč, musíme ještě připočítat náklady na pořízení taženého zařízení a mzdu pracovníka, který bude měření provádět.

Oproti tomu náklady na výrobu senzoru se pohybují okolo 50 000 Kč. Tedy je to desetkrát méně pouze při pořízení sondy. Nesmíme zapomenout, že významné snížení nákladů spočívá také v tom, že nepotřebujeme nákup tažného zařízení a další náklady na jeho provoz, a tedy ani speciálního zaměstnance, jelikož vše probíhá v rámci standardní a plánované práce stroje.

Z uvedených informací o pořízení přístroje na měření vodivosti zatím jednoznačně vyplývá, že nejekonomičtější řešení je výroba senzoru, který bude osazen například na kypřiči nebo jiném pracovním stroji.

Budoucí vývoj senzoru, který je součástí stroje, dle mého názoru bude mít u zemědělců velký ohlas a pomůže tak rozšířit povědomí o potřebě mapování půdní variability.

8. Závěr

Má diplomová práce se zabývá hodnocením variability půdních vlastností na základě měření elektrické vodivosti půdy. Pro porovnání dat byl použit standardně prodávaný senzor pro měření elektrické vodivosti EM 38 MK2 a sonda elektrické vodivosti, která je osazena na modulárních secích trojích Falcon firmy Farmet, a.s. Česká Skalice.

Cílem bylo ověřit nové možnosti mapování variability půdy právě pomocí sondy elektrické vodivosti a dokázat, že je možné současné sondy nahradit měřicími přístroji, které mohou být osazeny na jakémkoli pracovním stroji.

První srovnání proběhlo při vyhodnocení naměřených dat pomocí nástrojů popisné statistiky. Zde bylo zjištěno, že při určení střední hodnoty každého měření se minimální a maximální hodnoty v poměru podobají. Presentované mapy interpolační metodou Kriging je dokazují, že lze v plné míře sondy nahradit senzory. Lehká odlišnost změřených dat byla způsobena technickými rozdílnost měřících přístrojů. Při porovnání výsledků analýzou regrese a korelace obou měřících přístrojů byla vždy závislost zjištěna statisticky významná pro obě hloubky. V kapitole ekonomické zhodnocení bylo jasně prokázáno, že nákup sondy elektrické vodivosti je v současné době bezkonkurenčně výhodnější. Na druhou stranu, na vývoji senzoru se stále pracuje a není zdaleka ukončen. Je tedy otázkou, jak výhodné bude pořízení tohoto senzoru a kolik budou konečné náklady na vývoj, jelikož od toho se cena odvíjí. V současné době ale jde o významný krok dopředu v praktikování precizního zemědělství.

9. Seznam obrázků, tabulek a grafů

9.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schematizované profily hlavních půdních typů na území České republiky.....	12
Obrázek 2 - Faktory podílející se vývoji půd.....	13
Obrázek 3 - Faktory ovlivňující variabilitu výnosu a možnost jejich nápravy	15
Obrázek 4 - Nejčastěji aplikované rozmístění vstupních dat	17
Obrázek 5 - Naznačení globální polynomní interpolace	18
Obrázek 6 - Naznačení globální polynomní interpolace s ohybem v rovině	19
Obrázek 7 - Postup tvorby celoplošné mapy Nmin prostorovými interpolacemi z bodových dat půdního vzorkování.....	20
Obrázek 8 - Vzdálenosti všech párů a směry a vzdálenosti párů	22
Obrázek 9 - Barevné kódování empirického semivariogramu	22
Obrázek 10 - Empirický semivariogram	23
Obrázek 11 - Ukázka výnosové mapy pšenice ozimé.....	26
Obrázek 12 - Aplikační mapa dusíku.....	27
Obrázek 13 - Vliv hustoty vzorkování	29
Obrázek 14 - Senzorové měření přístrojem Veris 3100.....	33
Obrázek 15 - Mapa elektrické půdní vodivosti a letecký snímek pozemku o výměře 52 ha	35
Obrázek 16 - Princip měření elektrické vodivosti půdy.....	37
Obrázek 17 - Ilustrace naměřených vzorků pH půdy senzorem Veris.....	38
Obrázek 18 - Princip měření elektrické vodivosti půdy přístrojem EM38	39
Obrázek 19 - Měření půdy přístrojem EM38 taženým za terénní čtyřkolkou.....	40
Obrázek 20 - Přesné zobrazení měřené trasy přístrojem EM38 a následný výstup v podobě mapy pozemku	41
Obrázek 21 - Ilustrace rozdílu mezi vektorovou a rastrovou mapovou vrstvou	43
Obrázek 22 - Secí stroj Falcon firmy Farnet, a.s.....	45
Obrázek 23 - Secí stroj Falcon při práci.....	46
Obrázek 24 - Schéma zapojení elektrod u stroje Falcon.....	46
Obrázek 25 - Vyznačený sledovaný pozemek Žernov.....	48
Obrázek 26 - Záznam trasy měření na pozemku strojem Falcon	49
Obrázek 27 - Záznam trasy měření na pozemku strojem Falcon	50
Obrázek 28 - Obecný průběh variogramu	54
Obrázek 29 - Variogram souborů dat EM 38 MK2 při měření v hloubce 0,5 m	55
Obrázek 30 - Variogram souborů dat EM 38 MK2 při měření v hloubce 1 m	56

Obrázek 31 - Variogram souborů dat secího stroje Falcon	56
Obrázek 32 - Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 1 m (autor)	57
Obrázek 33 - Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 0,5 m	57
Obrázek 34 - Mapa impulzů napěťových elektrod secího stroje Falcon.....	58

9.2. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Úroveň detekce vybraných půdních vlastností pomocí on-the-go senzorů	31
Tabulka 2 - Srovnání senzorů měřící elektrickou vodivost půdy na principu elektromagnetické indukce a elektrického odporu	37
Tabulka 3 - Data vodivosti měřené pomocí sondy EM38 na pozemku Žernov v hloubce 1 m	50
Tabulka 4 - Data vodivosti měřené pomocí sondy EM38 na pozemku Žernov v hloubce 0,5 m	52
Tabulka 5 - Data vodivosti z pozemku Žehrov měřená strojem Falcon	53
Tabulka 6 - Parametry modelových variogramů.....	55

9.3. Seznam grafů

Graf 1 - Histogram četnosti pro měření v hloubce 1 m	51
Graf 2 - Histogram četnosti pro měření v hloubce 0,5 m	52
Graf 3 - Histogram četnosti měření pomocí stroje Falcon	53
Graf 4 - Závislost hodnot sondy EM38.....	59
Graf 5 - Závislost hodnot sondy EM38 měřené v hloubce 0,5 m a stroje Falcon.....	60

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] ADAMCHUK, V. I., FERGUSON, R. B., HERBERT, G. W. Soil Heterogeneity and Crop Growth, In: Oerke, E. C. et al. (eds.) Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity, pp. 3 - 16, Dordrecht; Heidelberg [u.a.]: Springer, 2010. ISBN 9789048192762
- [2] Anonym, Automatizace. [online]
Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php=597>
- [3] Anonym, Měření koncentrace roztoků pomocí elektrické vodivosti. [online]
Dostupné z:
http://eso.vscht.cz/cache_data/1396/www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/E3-Elektricka%20vodivost%20kapalin.pdf
- [4] BRODSKÝ LUKÁŠ, 2003, Využití geostatických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd, ČZU Agronomická fakulta, ISBN 80-213-1100-2
- [5] CAMBARDELLA, C. A., KARLEN, D. L. (1999) Spatial Analysis of Soil fertility Parameters. Precision Agriculture
- [6] CORWIN, D. L., LESCH, S. M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. Computers and Electronics in Agriculture. 2005, vol. 46, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 103-133. ISSN 0168-1699
- [7] DINKINS, C. P., JONES, C. Soil Sampling Strategies. Agriculture and Natural Resources (Fertilizers). 2008,4 [online]
Dostupné z:
<http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>
- [8] DOBERS, E. S. Methoden der Standorterkundungen als Grundlage des DGPS gestützten Ackerbaus : Eine Fallstudie aus dem Lössgebiet des Mittleren Fläming. PhD. Thesis, Institut für Bodenwissenschaft, Universität Göttingen, Göttingen, 2002. 226.
- [9] GOTWAY, C. A., FERGUSON, R. B., HERGERT, G. W., PETERSON, T. A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters.

- Soil Science Society of America Journal. 1996, vol.60, no. 4, pp. 1237-1247. ISSN 03615995
- [10] HLÁSNY, T. Geografické informačné systémy: Priestorové analýzy. 1. vyd. Poniky: Čižmárová - Partner, 2007. 160 s. ISBN 978-80-8093-029-5.
- [11] How Global Polynomial interpolation works [online]
Dostupné z:
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Global_Polynomial_interpolation_works
- [12] CHRISTY, C. D. Realtime measurement of soil attributes using on the go near infrared reflectance spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture. 2008, vol. 61, no. 1, pp. 1019. ISSN 0168-1699
- [13] JANDÁK, J., E. POKORNÝ a A. PRAX. *P doznalství*. třetí přeprac. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, [2010]. ISBN 978-80-7375-445-7.
- [14] KAVKA, M., RYBKA, A., KUMHÁLA, F., PŘIDAL, P., PROŠEK, V. Technické prostředky pro zjištění parametrů polního prostředí a cílené aplikace vstupů. Luhačovice, 1999. Část Precizní zemědělství. s. 63 – 68. ISBN 80–902411–5–X.
- [15] KEITH MOUNT LIMING [online]
Dostupné z: <http://mountliming.co.uk/precision-farming/ec-soil-scanning/>
- [16] KOČMAN, KAREL. Speciální technologie obrábění. 3. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 227s
- [17] KŘIKAVOVÁ, Interpolace odových dat v GIS [online]
Dostupné z:
http://maps.fsv.cvut.cz/diplomky/2009_BP_Krikavova_Interpolace_bodovych_dat_v_GIS.pdf
- [18] LÜCK, E., EISENREICH, M., DOMSCH, H. Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft: Innovative methods for precision agriculture. Stoffdynamik in Geosystemen. 2002, vol. 7, pp. 1-155. ISSN 0949-4731
- [19] LUKAS, V., a kol, 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-562-1.
- [20] Metody prostorové interpolace [online]
Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1431/jaro2006/Z6101/um/Prostor_model_geost_7.pdf

- [21] MJM Litovel, a.s. [online]
Dostupné z: <http://www.mjm.cz/prefarm-sber-a-zpracovani-dat.php>
- [22] Odborný a stavovský týdeník Zemědělec [online]
Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>
- [23] Odborný a stavovský týdeník Zemědělec, Mapování variability pozemků [online]
- [24] Dostupné z: [http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/PEDOLOGICKÉ DNY 2004 Sborník z conference na téma PEDODIVERZITA](http://zemedelec.cz/mapovani-variability-pozemku/PEDOLOGICKÉ_DNY_2004_Sbornik_z_conference_na_téma_PEDODIVERZITA) [online]
Dostupné z: <http://pedologie.czu.cz/dokumenty/sbornik2004.pdf>
- [25] PIERCE, F.J., NOWAK, P., DONALD, L.S. Aspects of Precision Agriculture. Advances in Agronomz. 1999, vol. 67, p.1-85. ISSN 0065-2113
- [26] POKORNÝ, E. a B. ŠARAPATKA. Půdoznalství pro ekozemědělce. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, [2003]. Příručka ekologického zemědělce ; 2003/4. ISBN 80-7084-295-4.
- [27] Principy pořizování, hodnocení a využívání dat pro aplikace precizního hospodaření [online]
Dostupné z: http://konference.agrobiologie.cz/2002-09-25/087_Lipavsky-Slejska.pdf
- [28] SOBOTA, Využití geodetického svěru dat v precizním zemědělství [online]
Dostupné z:
http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/dp/2009/Sobota_Vyuziti_geodetickeho_sberu_dat_v_preciznim_zemedelstvi_BP.pdf
- [29] ŠARAPATKA, B. Pedologie. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. 235 s. ISBN 80-7067-590
- [30] Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č. 6 [online]
Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis2.pdf
- [31] VALLA M., KOZÁK J., NĚMEČEK J., MATULA S., BORŮVKA L., DRÁBEK O. (2000): Pedagogické praktikum ČZU Praha.