

METODIKA PRO PRAXI

Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství

Lukas V. a kol.

Poděkování:

Metodika vznikla za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, jako součást řešení výzkumného projektu 2B06124 „Snižování dopadů a rizik na životní prostředí a získávání informací pro kvalifikované rozhodování metodami precizního zemědělství“ a Výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“.

© Mendelova univerzita v Brně, 2011

ISBN 978-80-7375-562-1

VOJTĚCH LUKAS, LUBOMÍR NEUDERT, JAN KŘEN

Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství

METODIKA PRO PRAXI

Mendelova univerzita v Brně

2011

Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství

Metodika se zaměřuje na postupy zjišťování prostorové variability zemědělských pozemků a porostů polních plodin jako podkladu pro uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. precizního zemědělství. Precizní zemědělství představuje individuální péči o jednotlivé části pozemků na základě přesných znalostí heterogenity půdních vlastností a stavu porostů. Metodika popisuje v současnosti používané postupy mapování heterogenity půdních podmínek a výživného stavu porostů. Značná část je věnována moderním metodám, využívající senzorová měření a jejich porovnání s tradičními postupy.

Mapping of soil and crop variability in precision agriculture

Methodology is focused on procedures of investigation of spatial variability of agricultural fields and crop stands as a source for application of site specific management, so called precision agriculture. Precision agriculture means individual maintenance of particular parts of arable land based on precise knowledge of heterogeneity of soil properties and state of crop stands. In present, methodology describes methods of mapping of soil conditions and nutritional state of crop stands. Essential part is dedicated to modern approaches, used sensor techniques and their comparison with standard methods.

Oponenti:

Ing. Jan Hrubý, CSc. - Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o.

Ing. Josef Svoboda - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

Metodiku schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský pod č.j. 197-14/KÚ/UKZUZ/2011

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

OBSAH

I.	Cíl metodiky.....	6
II.	Vlastní metodika.....	7
1.	Úvod.....	7
2.	Prostorová variabilita pozemků a její hodnocení	8
2.1.	Příčiny variability a její význam.....	8
2.2.	Metody prostorových interpolací	9
3.	Mapování půdních podmínek	11
3.1.	Dostupné mapové podklady a historie užívání pozemků	12
3.2.	Půdní vzorkování	13
3.3.	Nepřímé metody identifikace variability půdy	14
4.	Mapování stavu porostů	23
4.1.	Tradiční metody mapování variability porostů	24
4.2.	Nepřímé metody hodnocení stavu porostů	24
III.	Srovnání novosti postupů	30
IV.	Popis uplatnění certifikované metodiky	30
V.	Seznam použité související literatury	31
VI.	Seznam publikací, které předcházely metodice	33

I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je informovat odbornou veřejnost a zemědělskou praxi o možnostech praktického využívání různých postupů zjišťování prostorové variability zemědělských pozemků a porostů polních plodin jako podkladu pro uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. precizního zemědělství. Precizní zemědělství představuje individuální péči o jednotlivé části pozemků na základě přesných znalostí heterogenity půdních vlastností a stavu porostů. Princip diferencovaných agrotechnických zásahů umožní optimalizovat a zefektivnit spotřebu materiálových vstupů do pěstebních technologií a tím snížit negativní dopady na životní prostředí, což povede ke zvýšení trvalé udržitelnosti pěstebních systémů polních plodin a zvýšení kvality produkce. Kromě informací z odborné literatury zahrnuje předkládaná metodika výsledky a doporučení na základě poznatků získaných v letech 2004 – 2010.

II. VLASTNÍ METODIKA

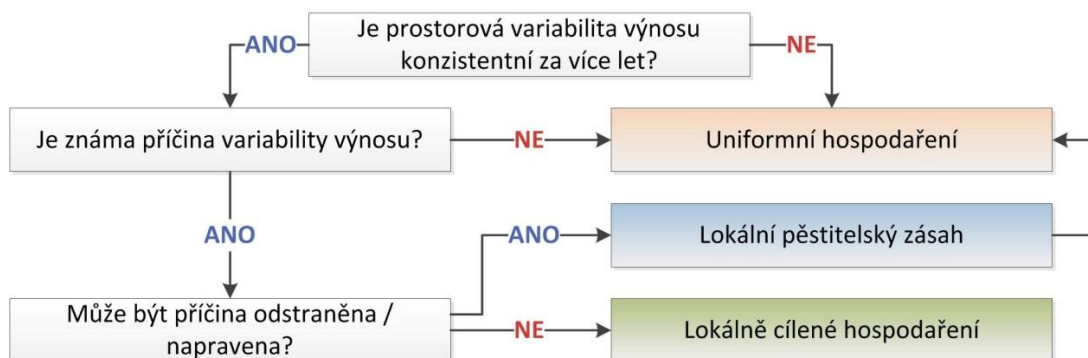
1. Úvod

Již naši předkové si uvědomovali, že jejich pozemky nejsou vždy vyrovnané a výnosy plodin nejsou na všech místech stejné. Každý sedlák svoje pole dobře znal a věděl, která jeho část je úrodnější, na níž lze správným hospodařením dosáhnout vyšších výnosů, a na kterých se nevyplatí intenzivně hospodařit, protože jsou úrodné méně. Tento vztah k půdě vycházel z dlouhodobé tradice péče o krajinu a předávání zemědělských usedlostí z generace na generaci. Změnami v naší nedávné historii došlo ke vzniku nových zemědělských podniků hospodařících na rozsáhlých územích, kde pro dodržení tohoto diferencovaného přístupu chyběl nejen zmiňovaný generační vztah k půdě, ale také potřebné technické vybavení. Získání znalostí o tom, jak ošetřovat rozdílné části pozemku, je při tradičním přístupu velmi náročné a s ohledem k větší výměře zemědělských podniků mnohdy až neuskutečnitelné. Až bouřlivý rozvoj výpočetní techniky a vývoj globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) umožnily identifikaci a lokalizaci rozdílů v rámci pozemků pro nově vznikající způsob hospodaření, nazývaný precizní zemědělství.

Precizní zemědělství (*precision agriculture*) je mezinárodně ujednocený název pro směry využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století. Hlavním cílem je přizpůsobení pěstebních operací aktuálním podmínkám stanoviště, přičemž zásadou je provádět pěstební zásahy na **správném místě**, se **správnou intenzitou** a ve **správný čas**. Předpokladem je, že zmiňovanou variabilitu umíme identifikovat a stanovit.

Právě nevyrovnanost pozemků je základním předpokladem pro využití tohoto způsobu hospodaření, neboť bez ní má koncept precizního zemědělství jen pramalý význam. Jinými slovy pozemky, které se jeví jako relativně vyrovnané, není nutné obhospodařovat diferencovaně, lze použít tradiční celoplošně uniformní přístup. Znalost variability určitého agronomicky významného znaku (např. zásoba živin v půdě, zaplevelení) pak představuje základní vstupní informaci pro diferencované provádění pěstebních operací (variabilní aplikace hnojiv, herbicidů). Dle Pierce et al. (1999) je identifikace variability prvním a kritickým krokem v precizním zemědělství, neboť nelze při hospodaření zohlednit variabilitu, pokud ji neznáme (Pierce et al., 1999).

Častým indikátorem heterogenity pozemků bývá rozdílná úroveň dosaženého výnosu plodiny zjištěná z výnosových map. Způsob možného rozhodování dle variability výnosu na pozemku je znázorněn na Obr. 1. Adamchuk et al. (2010) uvádějí, že pokud není známa příčina rozdílného výnosu v rámci pozemku, je vhodné provádět pěstební zásahy uniformně. Lokálně cílené hospodaření lze doporučit, pokud prostorové struktury rozdílů výnosu jsou konzistentní po více let a odpovídají některým z agronomicky významných jevů (zásoba živin, topografie terénu, historie užívání pozemku, ...).



Obr. 1 Schéma rozhodování o uplatnění postupů precizního zemědělství na základě variability výnosových dat (Adamchuk et al., 2010, upraveno)

2. Prostorová variabilita pozemků a její hodnocení

2.1. Příčiny variability a její význam

Zmiňovanou variabilitu pozemků lze chápat ve dvou směrech – jako prostorovou a časovou. V případě prostorové variability vykazuje sledovaný znak změny v rámci plochy pozemku (při zohlednění např. hloubky půdy i v trojdimenzionálním prostoru). Typickým příkladem může být variabilita výnosu v rámci jedné plodiny na pozemku nebo utužení půdy. Příčinami prostorové variability mohou být heterogenita půdního prostředí, rozdílná intenzita obhospodařování pozemků a bioticky škodlivé vlivy.

Časová variabilita naproti tomu představuje změny znaku v čase. Příčinou je zpravidla průběh povětrnostních podmínek, který zásadně ovlivňuje vývoj sledovaného jevu. Jako příklad lze zmínit množství nadzemní biomasy nebo úroveň napadení plodiny škodlivými organismy.

Oba dva druhy variability se vzájemně prolínají a jejich výsledný projev je dostatečně znám. Různé agronomicky významné ukazatele vykazují rozdílnou úroveň prostorové a časové variability. Obsah mineralizovatelného dusíku v půdě je vysoce dynamickou veličinou, zatímco zrnitost půdy lze z krátkodobého hlediska považovat za relativně neměnnou. Význam vlivu druhu variability půdy a porostů na proveditelnost precizního zemědělství zdůrazňují Pierce et al. (1999). Uvádají, že čím vyšší je prostorová závislost obhospodařované půdní vlastnosti, tím vyšší je potenciál precizního hospodaření. Stupeň obtížnosti se zvyšuje tím, jak se zvyšuje časová složka prostorové variability. Např. vápnění nebo P a K hnojení mají nízkou časovou variabilitu, a proto je jejich provádění snadné. Naproti tomu u N může být časová složka variability větší než prostorová komponenta, a proto je N hnojení v precizním zemědělství mnohem složitější. Problematiku zachycení prostorové variability lze na současné úrovni znalostí precizního zemědělství považovat za zvládnutou a v praxi použitelnou, zatímco zohlednění časové variability je zatím ve fázi výzkumu.

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

Obr. 2 Faktory ovlivňující variabilitu výnosu a možnost jejich nápravy (Adamchuk et al., 2010, upraveno)

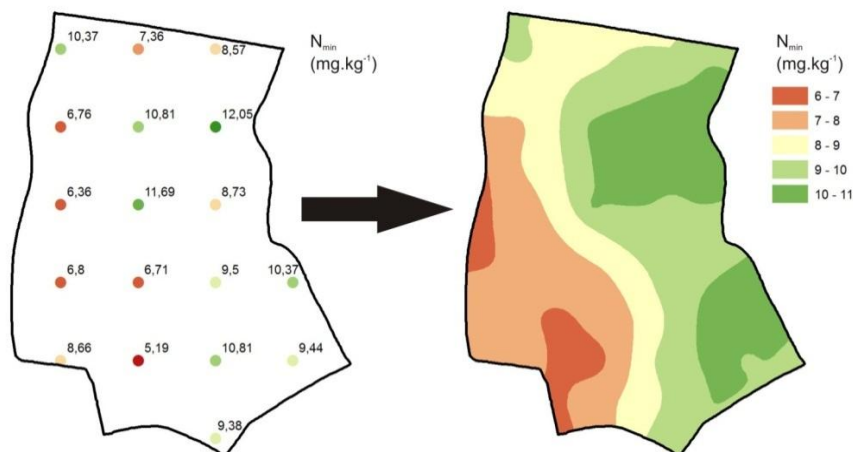
Důsledky nevyrovnanosti stanoviště mohou být patrné pouhým okem na porostu plodin, ale nejvýrazněji se následně projevují na výnose. Earl et al. (1996) in Godwin a Miller (2003) rozdělují výnos ovlivňující faktory do dvou skupin – na pěstitelem málo a více ovlivnitelné. Do první skupiny spadají vlastnosti pro daný pozemek víceméně neměnné, jako je půdní zrnitost, klima a topografie. Do druhé lze zařadit půdní strukturu, dostupnost půdní vláhy, zásobenost živinami, pH půdy, zaplevelení a výskyt chorob a škůdců. Prostorovou variabilitu vlastností v první skupině stačí zjišťovat pouze při vstupním posouzení, zatímco pro druhou skupinu je doporučeno jej provádět průběžně. Adamchuk et al. (2010) uvádějí na Obr. 2 výčet faktorů ovlivňujících výnos plodiny se znázorněním vlivu na variabilitu výnosu a možnosti jejich kontroly (náprava).

2.2. Metody prostorových interpolací

Pro popis prostorové variability jsou využívány geostatistické metody. Název geostatistika byl poprvé použit francouzským matematikem G. Matheronem v roce 1962 a je dodnes celosvětově užíván jako označení disciplíny zahrnující specifické metody zpracování dat měřených v prostoru či v ploše (Kraus, 2007). Klasická statistika nahlíží na jednotlivé hodnoty jako na náhodné odchylky od celkového průměru a jejím prvotním cílem je popsat parametry celého souboru. Geostatistické metody berou v úvahu prostorovou závislost hodnot a snaží se najít zákonitosti v prostorovém rozložení.

Vychází se z předpokladu, že pozorování získaná v bližší vzdálenosti od sebe jsou si více podobná než pozorování ve větší vzdálenosti od sebe. Zároveň se předpokládá, že případná závislost prostorové proměnné sledované ve dvou místech vyplývá ze vzdálenosti těchto míst a nikoliv místa, kde k měření došlo (Kraus, 2007).

Prostorové interpolace představují metody odhadu hodnot sledovaného znaku mezi místy pozorování, tzn. na místech, která nejsou vzorkováním pokryta. Jejich použití je nutné zejména při diskrétním mapování, např. bodovém půdním vzorkování.



Obr. 3 Postup tvorby celoplošné mapy N_{min} prostorovými interpolacemi z bodových dat půdního vzorkování.

Podle Doberse (2002) má použití interpolačních technik význam v těchto případech:

- na některých místech nejsou dostupná empiricky zjištěná data vlivem velikosti rastru půdního vzorkování, výpadku senzorů nebo při ztrátě dat,
- bodová data jsou v prostoru zjištěna nepravidelně a je potřeba vyhotovit mapy s pravidelným rastrem,
- jednotlivá měření jsou nepřesná, zohledněním vedlejších hodnot mohou být tyto nepřesnosti sníženy.

Výsledkem prostorových interpolací z dat půdního vzorkování jsou spojité půdní mapy, jejichž podoba může být značně ovlivněna volbou interpolačního postupu. Kromě interpolační metody závisí přesnost prostorových map půdních vlastností na faktorech, jako je hustota vzorkování a konfigurace směsných vzorků (Gotway et al., 1996).

Nejběžněji používanými interpolačními metodami pro tvorbu spojitých prostorových map je *kriging* a metoda *inverse distance weighting (IDW)*. U obou metod jsou hodnoty nevzorkovaných míst počítány váženým průměrem z hodnot okolních měřených bodů (Robinson a Metternicht, 2006). Liší se ale ve způsobu výpočtu vah.

Kriging je geostatistickou metodou pojmenovanou po jihoafrickém důlním inženýru D. G. Krige. Metoda je založena na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot. Váhy pro predikci hodnot jsou určeny dle variogramu, který popisuje změnu prostorové závislosti se vzdáleností a směrem tak, aby se minimalizovala chyba odhadu. Kriging představuje spolehlivou metodu pro predikci půdních vlastností, přičemž prostorovou variabilitu sledované půdní charakteristiky vysvětluje pomocí variogramu a s každou predikcí stanovuje její rozptyl.

Prvním krokem je zkoumání dat pro identifikaci prostorové struktury, což je reprezentováno empirickým variogramem. Matematická funkce, kterou je experimentální variogram proložen, pak určuje váhu hodnot predikovaných na nevzorkovaných místech. Výpočet a modelování činí tuto metodu výpočetně náročnější. Výhodou krigingu je možnost určení odhadu rozptylu predikované hodnoty – tedy stanovení chyby odhadu. Možnost odhadnout výsledný rozptyl krigingových odhadů bez předchozí znalosti skutečných hodnot lze využít pro návrh optimální hustoty vzorkovací sítě na

základě zvolené míry nepřesnosti (Oliver a Webster, 1991 in Borůvka, 2001). Charakteristickým rysem krigingu je vyhlazování lokálních extrémů nadhodnocením nízkých hodnot a podhodnocením vysokých (Goovaerts, 1998).

Je několik typů *krigingu*, jejich podrobnější popis lze nalézt v publikacích zaměřených na geostatistické interpolační metody (Goovaerts, 1997; Isaaks a Srivastava, 1989; Webster a Oliver, 2007).

U metody **inverzního vážení vzdálenosti (IDW - Inverse distance weighting)** jsou data vážena dle vzdálenosti bodu od ostatních sousedících bodů. Způsob výpočtu vah každého bodu je inverzně proporcionalní k vzdálenosti od bodu odhadu (Brodský, 2004). Čím blíže jsou měřené body k interpolovaným bodům, tím vyšší je váha jejich hodnot. S rostoucí vzdáleností klesá síla váhy a interpolovaná hodnota se přibližuje hodnotám ostatních bodů. IDW patří mezi přesné interpolátory a je metodou výpočetně nenáročnou, kterou lze použít i na rozsáhlé datové soubory, protože na rozdíl od krigingu není nutné vypočítat a modelovat variogram. Také se jedná o metodu snadno parametrizovatelnou, neboť jediným parametrem nutným pro výpočet je hodnota p (*power*). Tento parametr určuje, jak rychle se hodnoty vah snižují k nule se zvyšující se vzdáleností od bodu odhadu. Běžně se hodnoty p pohybují od 1 do 5.

IDW nemůže stanovit rozptyl predikovaných hodnot, tzn., že nelze odhadnout chybu predikce. Dalším omezením je, že parametrizace je nastavena uniformně na celou sledovanou oblast bez uvážení distribuce dat. Častým jevem při použití této metody je výskyt tzv. očí (*bull eyes*) ve výsledných mapách, což jsou okrouhlé a lokálně velmi ohraničené struktury (Gotway et al., 1996).

Pro **hodnocení interpolačních metod**, resp. odchylky predikovaných hodnot od původní datové vrstvy doporučují Isaaks a Srivastava (1989) metodu *cross-validation*. Tato metoda umožňuje porovnávat dopad rozdílných variogramů a metod na výsledek interpolace. Hlavním principem je vyjmutí jednoho datového bodu ze souboru dat a výpočet predikce na jeho místě zvoleným modelem, příp. metodou. Tímto způsobem je hodnocení provedeno v celém datovém souboru. Vybrán je postup s nejnižší dosaženou odchylkou, tzn. nejvyšší přesností predikce.

3. Mapování půdních podmínek

Variabilita půdních podmínek je způsobena celou řadou faktorů, jejichž vliv se mění s ohledem na prostorové měřítko sledování. V regionálním měřítku převládá vliv klimatických faktorů, způsob využití půdy, vegetační pokryv a charakteristiky povrchu krajiny. Na úrovni pole jsou hlavními faktory ovlivňujícími variabilitu půdní typ, reliéf terénu, předplodina a předchozí způsob hospodaření. Ve větším měřítku pak mohou mít vliv směr řádků porostu, způsob aplikace živin, technologie zpracování půdy a stupeň utužení půdy. Další faktory, jako je voda a člověk, mohou způsobit příznivé i nežádoucí změny v půdě a podílet se na zvýšení půdní proměnlivosti (Borůvka, 2001). Brodský et al. (2001) zmiňují vliv historického scelování pozemků s rozdílným způsobem hospodaření na půdní variabilitu.

Mapování prostorové variability půdy je prováděno u těch půdních vlastností, které jsou nezbytné pro agronomické rozhodování. Nejčastěji se jedná o agrochemické půdní vlastnosti pro korekci hnojení (obsah živin v půdě), vápnění půd (pH půdy), příp. ovlivňující zpracování půdy (fyzikální vlastnosti půdy, reliéf terénu). S ohledem na množství materiálních vstupů umožňuje právě oblast výživy a hnojení rostlin dosažení nejvyšších přínosů.

3.1. Dostupné mapové podklady a historie užívání pozemků

Jedním ze základních zdrojů informací o prostorové variabilitě půdy a jejích vlastnostech jsou půdní mapy. Využitelnost těchto map je dána jejich aktuálností, dostupností v digitální podobě pro implementaci do geografických informačních systémů (GIS) a měřítkem, které představuje detailnost zachycení prostorových jevů.

Základní mapové podklady o půdních vlastnostech vycházejí z „Komplexního průzkumu půd ČSSR“, který probíhal v letech 1961 – 1971. Výstupem byly mapové materiály v měřítku 1:10000 a průvodní zprávy o půdních podmínkách a zúrodňovacích opatřeních na úrovni tehdejších zemědělských podniků. Tyto materiály se po doplnění terénním průzkumem staly základem pro vytvoření map bonitace zemědělského půdního fondu na základě BPEJ jednotek. V digitální podobě nabízí tyto a další (ohroženost erozí, hydrologické charakteristiky, ...) mapy Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., ve vektorovém formátu shapefile nebo formou přístupu k WMS (web map service) v měřítku 1:5000. Digitální půdní mapy také nabízí Česká zemědělská univerzita v Praze v rámci geodatabáze PUGIS (měřítko 1:50000).



Obr. 4 Okno mapové aplikace Registr půdy pro farmáře (iLPIS) s výběrem zobrazení mapových podkladů

Kromě mapových podkladů o půdních vlastnostech mohou být pro popis a identifikaci příčiny heterogenity pozemků využity informace o jejich užívání. Zdrojem informací o vlastnících půdy je katastr nemovitostí (KN), vedený Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním; údaje o užívání pozemku eviduje Registr půdy (LPIS) spravovaný Ministerstvem zemědělství. Oba mapové podklady jsou pro pracovníky v zemědělství snadno dostupné přes mapovou aplikaci registru půdy pro farmáře

(iLPIS) v rámci Portálu farmáře (<http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/>), či formou WMS služeb. Kromě těchto map lze v uvedené aplikaci zobrazit celou řadu dalších podkladů s vazbou na hospodaření na půdě – např. zakres aplikačních pásem Nitrátové směrnice, informace o omezení v rámci GAEC, aktuální ortofotomapsu ČR a spoustu dalších.

Oblast pedologie, která se zabývá tvorbou geograficky vztažených informací o půdě s využitím polních a laboratorních měření, se nazývá **digitální mapování půdy** (*Digital Soil Mapping*). Kromě informací o půdních charakteristikách získávaných tradičním půdním průzkumem začleňuje také údaje o reliéfu terénu a data nepřímého měření fyzikálních veličin. Digitální mapování je charakterizováno jako prediktivní, neboť využívá metod pro odhad hodnot půdních vlastností na místech, kde nejsou tyto charakteristiky známy (Borůvka, 2009). Nezbytnou součástí je tvorba a kalibrace predikčních modelů kombinací výsledků laboratorních rozborů půdy a již zmiňovaných nepřímých (senzorových) dat, které jsou blíže popsány v kapitole 3.3).

3.2. Půdní vzorkování

Tradičním způsobem získávání informací o půdních vlastnostech je vzorkování půdy. Představuje výběr podmnožiny (vzorku) jedinců z celkové populace, které budou měřeny. Měření prováděné na tomto vzorku je následně podkladem pro stanovení vlastností nebo parametrů celkové populace. Vzorkování je základní podstatou jakéhokoliv terénního výzkumu v půdních vědách, neboť měření celé populace je v praxi nemožné. Pro zachycení prostorové variability je rozhodujícím parametrem hustota vzorkování a rozmístění odběrových bodů po pozemku. Vyšší počet odběrů umožňuje provést detailnější mapování, ale samozřejmě s vyššími náklady. Vzorkování o nižším počtu vzorků je méně nákladné, nemusí však zachytit některé lokální rozdíly. Hustota vzorkování je odvislá od úrovně variability pozemku, ale zpravidla se v precizním zemědělství pohybuje v rozmezí jeden vzorek na 1-5 ha.

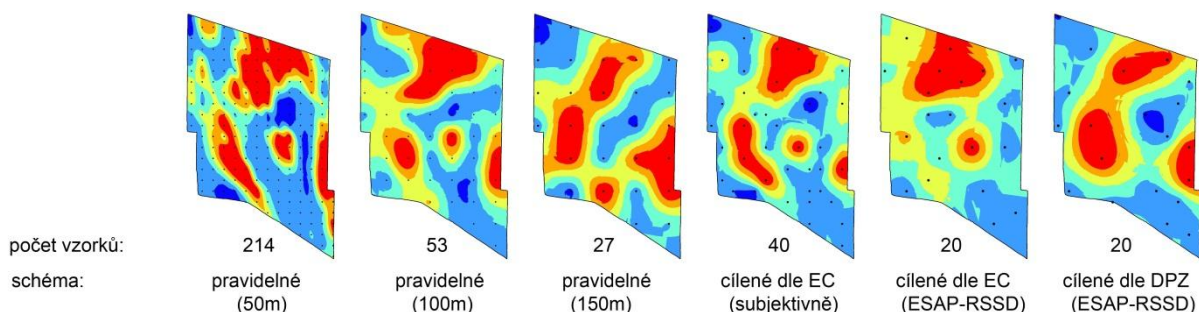


Obr. 5 Odběr smíšeného vzorku půdy

Podobně jako hustota má význam také rozmístění odběrových bodů v rámci pozemku. Je definována celá řada rozmístění vzorkování tzv. schémat (např. Wollenhaupt et al., 1997), které se ale v zásadě liší podle toho, zda je při jejich návrhu alespoň přibližně známá variabilita pozemku. Pokud není, je rozmístění vzorků nejčastěji v **pravidelné síti** anebo **náhodné**. Pokud informace o pozemku je k dispozici, je rozmístění provedeno na základě tohoto podkladu. Příkladem může být umístění bodů

odběru na základě leteckého nebo družicového snímku dané lokality, výsledků měření elektrické vodivosti půdy, znalosti topografie pozemku nebo dle výnosových map (pokud očekáváme, že variabilita výnosu odpovídá variabilitě půdních podmínek). Tento způsob je někdy nazýván jako **cílené vzorkování**. Lze tak vhodně kombinovat výhody obou způsobů mapování (půdního vzorkování, sensorové měření) a dosáhnout tak snížení počtu vzorků při zachování výsledné přesnosti půdních map. Předpokládá se, že pozemek lze dle snadno měřitelných pomocných atributů reflektujících rozdíly v půdních vlastnostech rozdělit na homogenní oblasti, nazývané zónami. Půdním vzorkováním je pak stanovena průměrná hodnota půdních vlastností uvnitř zóny, což vede ke snížení celkového počtu odběrů – v homogenních oblastech je počet vzorků nižší než v oblastech s vyšší variabilitou. Na rozdíl od vzorkování v síti počet zón a jejich tvar a velikost závisí na stupni variability pozemku. Postup zónového vzorkování obecně vede k nižšímu počtu vzorků oproti pravidelné síti, ale vyžaduje více času pro jeho naplánování. Nejlepší strategií je nejprve stanovit úroveň variability na pozemku a v případě, že je nízká, použít vzorkování v pravidelné síti, při vysoké variabilitě použít zónové vzorkování (Dinkins a Jones, 2008).

V rámci výzkumu prováděného na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně bylo porovnáváno pravidelné a cílené vzorkování pH půdy. Rozmístěním odběrových bodů na základě dálkového průzkumu Země (DPZ) nebo výsledků měření elektrické vodivosti půdy (EC) bylo dosaženo až 48% redukce půdních vzorků v porovnání s pravidelnou sítí při použití speciálního algoritmu a 25% redukce u subjektivní optimalizace. Pro optimalizaci rozmístění odběrových bodů byl použit volně dostupný program ESAP-RSSD (Lesch, 2005). Principem optimalizace je výběr vzorků, které pokrývají celé rozpětí hodnot EC (či jiné sensorově měřené veličiny) a fyzicky jsou od sebe co nejvíce vzdáleny (Minasny et al., 2007). Při volbě hustoty sítě je možné volit mezi návrhem 6, 12 a 20 bodové sítě.



Obr. 6 Porovnání rozdílné hustoty a schéma vzorkování pH půdy na 52ha pozemku (EC – elektrická vodivost půdy; DPZ – dálkový průzkum Země)

3.3. Nepřímé metody identifikace variability půdy

Nepřímé metody pracují na principu sensorového měření. Čidla identifikují změnu sledované půdní vlastnosti nebo vlastnosti, která je s ní úzce vázána a kterou je možné převést do elektronického záznamu. Sensorová technika má fixní náklady, může měřit ve velkém prostorovém i časovém měřítku a umožňuje opakované měření přímo v terénu. Nevýhodou nepřímých metod je vždy nižší přesnost stanovení sledovaného jevu v porovnání s přesnými laboratorními rozbory. Tato nižší přesnost je ale vyvážena intenzivním prostorovým pokrytím. Sensory pracují na nejrůznějších principech, v současnosti lze ale za nejvíce rozšířené v praxi považovat elektrické, elektromagnetické a mechanické. Přístroje umožňující zjišťování informací o půdních vlastnostech během jízdy jsou

označovány jako *on-the-go*. Výhodami *on-the-go* systémů je zvýšená hustota měření, rychlost mapování a relativně nízká nákladovost. Nižší přesnost měření polních senzorů v porovnání s laboratorními postupy vyvažuje intenzivní prostorové pokrytí (Christy, 2008).

On-the-go systémy zjišťování plošné variability půdních podmínek lze podle principu měření rozčlenit do následujících skupin (Adamchuk et al., 2004):

- elektrické a elektromagnetické senzory měřící elektrickou rezistivitu, konduktivitu, kapacitu nebo induktanci ovlivněnou složením půdy
- optické a radiometrické senzory využívající elektromagnetického záření pro detekci energie absorbované/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.)

V současnosti lze za nejvíce rozšířené v praxi považovat elektrické a elektromagnetické metody.

Tab. 1 Úroveň detekce vybraných půdních vlastností pomocí *on-the-go* senzorů (Adamchuk et al., 2008)

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			

Měření elektrické vodivosti půdy (EC – electrical conductivity)

Elektrické a elektromagnetické metody umožňují rychlé a relativně přesné stanovení rozdílů v půdním substrátu dle jeho vodivosti. Využívají geofyzikálních vlastností půdy, kdy změna půdního prostředí ovlivňuje procházející elektrický proud (elektrická rezistivita půdy - ER) nebo elektromagnetické pole (elektromagnetická indukce - EMI).

Corwin a Lesch (2005) rozdělují on-the-go zařízení pro měření elektrické vodivosti půdy na tři typy:

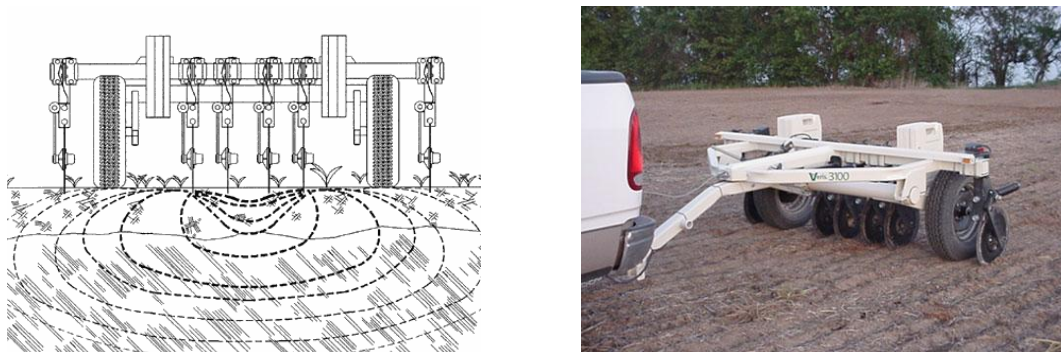
- invazivní elektrodové senzory měřící elektrickou rezistivitu (ER)
- neinvazivní senzory elektromagnetické indukce (EMI)
- senzory TDR (time domain reflectometry).

V současnosti v precizním zemědělství jsou nejčastěji používané invazivní senzory měrného elektrického odporu (např. měřicí přístroj Veris-3100) a neinvazivní senzory elektromagnetické indukce (např. Geonics EM-38). Odlišnosti v principu měření a v jejich aplikaci uvádí např. Lück et al. (2002), (viz tab. 2). Souhrnný přehled celosvětově dostupných geofyzikálních přístrojů nabízí např. Allen et al. (2007).

Tab. 2 Porovnání senzorů měřících elektrickou vodivost půdy na principu elektromagnetické indukce (EMI) a elektrického odporu (ER) (Lück et al., 2002)

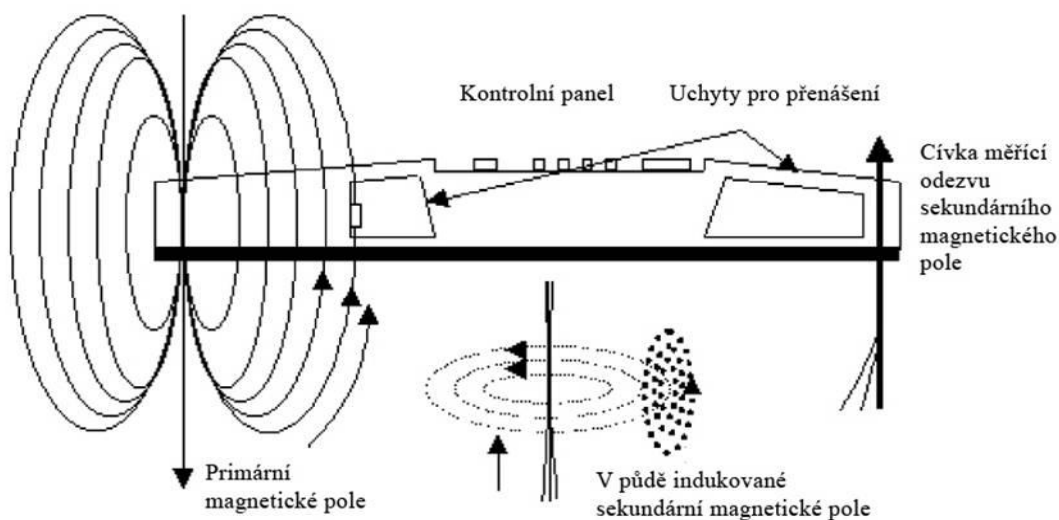
senzory EMI (EM38)	senzory ER (Veris 3100)
bezkontaktní způsob měření	vyžaduje kontakt elektrod s půdou
malý, lehký a příruční měřicí přístroj	velký a obtížně přepravitelný přístroj
pevně daná měřicí geometrie a tím také pevně přednastavená hloubka měření	nastavitelná hloubka měření pomocí geometrie 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

Přístroje měřící **elektrickou rezistivitu** půdy (ER) jsou invazivní, tzn. narušující povrch půdy. Zpravidla se jedná o jeden či více párů kovových disků - elektrod, které prořezávají svrchní vrstvu půdy, přičemž jeden disk elektrický proud vysílá a zatímco druhý měří jeho změnu při průchodu půdou. Vzdálenost mezi elektrodami určuje hloubku měření. Nejznámějším *on-the-go* zařízením pracujícím na tomto principu je Veris 3100 (Veris Technologies, USA). S ohledem na hmotnost tohoto typu přístroje je měření prováděno tažením za vozidlem.



Obr. 7 Princip měření elektrické vodivosti půdy ER přístrojem Veris 3100 a foto přístroje při měření (www.veristech.com)

Měření využívající **elektromagnetické indukce** (EMI) je bezkontaktní, půdou prochází pouze elektromagnetické pole. Výhodou je tedy provádění měření na kamenitých půdách nebo během vegetace. Měřicí přístroje sestávají ze dvou cívek, které jsou od sebe v přesně definované vzdálenosti (viz Obr. 8). První cívka indukuje primární elektromagnetické pole, které je vysíláno směrem do půdy. V půdním prostředí dochází na základě fyzikálně-chemických vlastností půdy k vytvoření sekundárního elektromagnetického pole. Druhá cívka umístěná na opačném konci měřicího přístroje měří odezvu obou polí a z jejich vzájemného porovnání je stanovena výsledná elektrická vodivost půdy v hodnotách [$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$] (Lück et al., 2000).



Obr. 8 Princip měření elektrické vodivosti půdy EMI přístrojem EM38 (Lesch et al., 2005)

Nejčastěji používaným je přístroj EM38 (Geonics Limited, Kanada), v našich končinách je možné využít obdobný přístroj CMD (GF Instruments, s.r.o.). Oba přístroje jsou konstruovány pro měření v horizontálním nebo vertikálním módu (dipólu) měření v závislosti na poloze přístroje při měření. V homogenním půdním profilu proniká signál vertikálního módu do hloubky 1,5 – 2 m, při horizontálním měření je signál zaznamenáván z nižších hloubek (0,75 – 1 m). Vlastní měření je prováděno ručně nesením přístroje po pozemku nebo tažením za vozidlem.



Obr. 9 Měření EC půdy přístrojem CMD taženým za terénní čtyřkolkou a detail na plastovou konstrukci aparatury s měřícím přístrojem

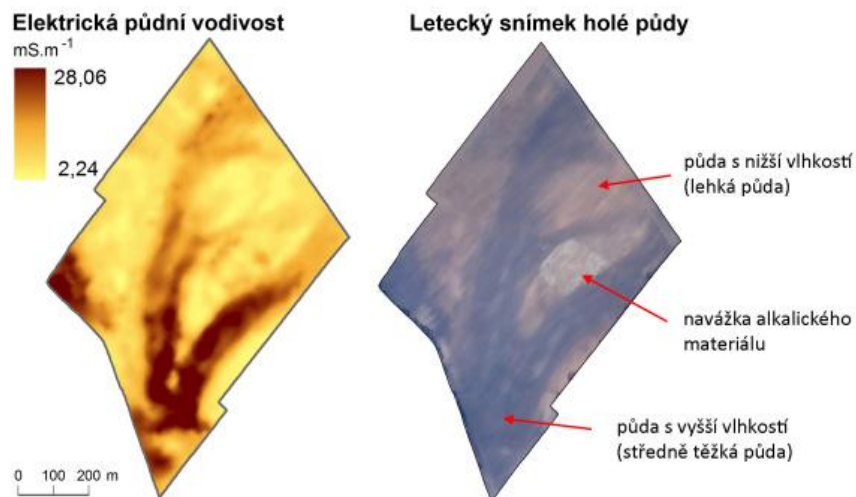
Elektrická vodivost půdy je ovlivňována působením mnoha půdních faktorů. Mezi nejvýznamnější patří vlhkost půdy, zrnitost půdy a zasolení půdy, dále to může být také objemová hmotnost, obsah organické hmoty, kationtová výměnná kapacita a další. Dle Schmidhaltera et al. (2002) jsou nižší hodnoty elektrické vodivosti ($5 - 15 \text{ mS.m}^{-1}$) typické pro písčité půdy, zatímco vyšší hodnoty ($30 - 60 \text{ mS.m}^{-1}$) reprezentují jílovité půdy. Mezi nimi leží hlinité půdy. Velmi vysoké hodnoty (nad 60 mS.m^{-1}) poukazují převážně na vliv vyššího obsahu vody, často v kombinaci s vyšším obsahem jílu a organické hmoty, či dodatečný vliv zvýšeného zastoupení solí v půdním roztoku. V řadě případů také naměřené hodnoty EC vykazují vztah s agrochemickými vlastnostmi půdy. Spíše ale než o přímý vliv obsahu živin v půdě na elektrickou vodivost půdy se jedná o sekundární vazbu agrochemických vlastností na základní půdní charakteristiky ovlivňující EC půdy (Lukas et al., 2009). Naopak nenalezení vazby EC s obsahem živin nemusí nutně znamenat nepoužitelnost EC při mapování živinného stavu půdy. Měření EC může být využito pro mapování půdních vlastností, které představují klíčové faktory ovlivňující změny v koncentraci živin, a tímto způsobem na pozemku definovat oblasti s obdobnou půdní zásobeností (Heiniger et al., 2003).

Tab. 3 Hodnoty korelačního koeficientu mezi výsledky měření EC půdy, dálkovým průzkumem a vybranými půdními charakteristikami na 52ha pozemku

	pH	P	K	Mg	Ca	humus	jíl
EC	0.536	-0.565	-0.487	0.516	0.215	0.502	0.482
DPZ*	0.564	-0.563	-0.521	0.525	0.284	0.556	0.505

*DPZ – letecký snímek holé půdy ve viditelném spektru (RGB) po analýze hlavních komponent (PCA)

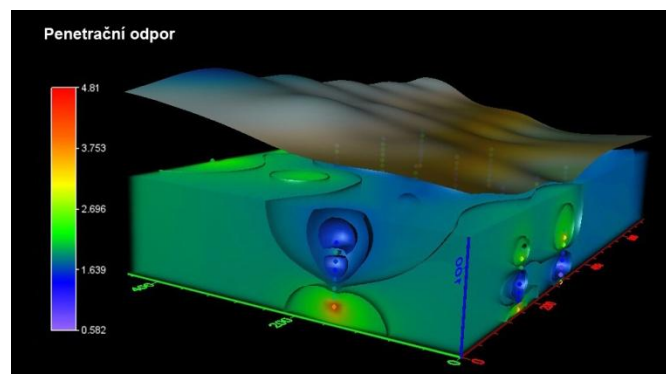
Právě komplexní působení mnoha půdních vlastností znesnadňuje rozšíření těchto senzorů v praxi, neboť bez dalšího průzkumu lze jen obtížně jednotlivé půdní faktory na dané lokalitě kvantifikovat. Podobně nejednoznačná je také vazba mezi elektrickou vodivostí a výnosem plodin. Vyšší korelace lze očekávat na pozemcích, kde je výnos limitujícím prvkem některý z hlavních faktorů ovlivňujících elektrickou vodivost půdy – např. dostupnost půdní vláhy. Na druhou stranu zmiňované komplexní působení lze využít pro předběžnou analýzu variability pozemku, která bude zahrnovat široké spektrum půdních vlastností a může identifikovat oblasti se značně rozdílnými půdními podmínkami či sloužit jako podklad pro optimalizaci půdního vzorkování.



Obr. 10 Mapa elektrické půdní vodivosti a letecký snímek pozemku o výměře 52 ha vykazují podobné rozložení

Elektrická vodivost půdy je z krátkodobého hlediska relativně neměnná - vymezení identifikovaných oblastí je přibližně stejné, mění se pouze absolutní hodnoty naměřené vodivosti v závislosti na ročním období, resp. vlhkosti půdy. V řadě studií je doporučováno provádět měření při vlhké půdě, neboť v suchých podmínkách klesá vodivost půdního profilu, která vede ke slabšímu vztahu mezi EC_a a zrnitostí půdy, či je snížena variabilita měření.

Mechanické senzory pracují na principu měření odporu předmětu pronikajícího půdou. Často používanou metodou je penetrometrické měření utužení půdy, které umožňuje stanovit vertikální zhutnění půdy. Tlak vyvinutý pro zatlačení hrotu přístroje do půdy je v jednotlivých hloubkách zaznamenáván a přepočten na penetrační odpor. Tyto přístroje již nelze považovat za *on-the-go*, neboť měření nelze provádět za jízdy. Naopak měření tahového odporu je nutné provádět za pohybu a technické vybavení pro jeho zjišťování se v současnosti již stává doplňující výbavou traktorů. Podobně jako u elektrické vodivosti je zde patrný vliv více půdních faktorů, zcela dominantní vliv mají ale zrnitost půdy, fyzikální vlastnosti půdy (objemová hmotnost, pórovitost) a vlhkost půdy. Informace o utužení půdy je přímo využitelná pro návrh nápravného zpracování půdy (místo a hloubka provedení zásahu).



3D vizualizace zhutnění půdy do hloubky 80 cm na 38 ha pozemku se zobrazením reliéfu terénu

Mapování zhutnění půdy

Zhutnění půd je na mnohých stanovištích vážnou příčinou podstatného zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti půd. Zhutnění se projevuje zvýšením objemové hmotnosti, snížením pórovitosti, změnou v podílech velikostních skupin pórů. Vlivem zhutnění půdy v ornici i podorničí se výnosy plodin snižují v závislosti na stupni zhutnění a dalších faktorech (průběhu počasí, vlhkosti půdy, použité agrotechnice) a to v rozmezí u obilnin o 10 – 20 %, u kukuřice o 10 – 15 %, luskovin o 15 – 20 %, u brambor o 20 – 25 %, u cukrovky o 20 – 30 %. Utužení půdy nejenom snižuje výši výnosu, ale také nepříznivě ovlivňuje jakost produkce. Tak např. u cukrové řepy se cukernatost bulev snížila v průměru o 15 %, olejnatost semen řepky olejky až o 8 % (Javůrek a Vach, 2008)



Obr. 11 Zpomalení infiltrace vody na utužených částech pozemku

Stanovení zhutnění

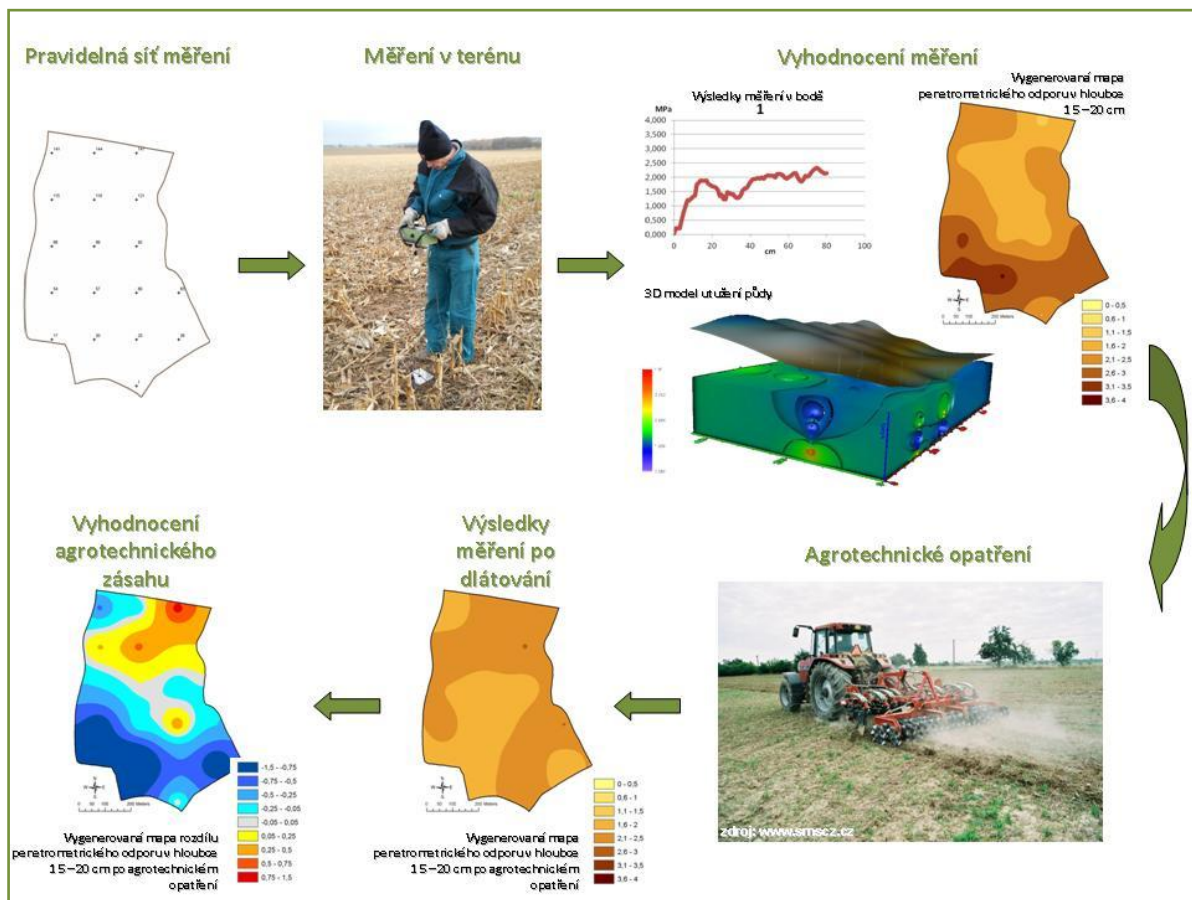
Nejjednodušším indikátorem, pomocí kterého zjistíme určité utužení ornice či podorničí, je pouhé pozorování stavu pozemku. Na takto postižených půdách vidíme místa se stagnující vodou po deštích nebo při jarním tání (viz. Obr. 12). Pozorujeme špatné vzcházení a deficitní růst porostu, deformace kořenů, případně zažloutlou barvu listů. Také povrch půdy mívá za sucha škrálopky a trhliny.



Obr. 12 Měření penetrometrického odporu ručním penetrem

Poměrně spolehlivá a přesná metoda je odběr neporušených vzorků půdy. Pomocí této metody stanovujeme kritické vlastnosti půdy pro zhutnění, jako jsou: objemová hmotnost, pórovitost,

vzdušnost a propustnost. Odběr Kopeckého fyzikálních válečků je však pracovně i časově velmi náročný a pro technologie precizního zemědělství prakticky nevhodný.



Obr. 13 Příklad postupu měření a vyhodnocení utužení půdy

V praxi se dnes běžně setkáváme s metodou penetrometrie. Pomocí této metody zjišťujeme výskyt, hloubku a stupeň zhuštění půdy. Penetrometrie znamená měření odporu půdy proti vnikání kužele penetrometrické sondy. Závislost mezi velikostí odporu půdy a stupněm zhuštění je přímá, závisí však na okamžité vlhkosti půdy, což je pochopitelně třeba zohlednit. Penetrometry jsou konstruovány ruční i na traktor, ale nejvíce užívané jsou penetrometry ruční, které registrují odpor v MPa. Konstrukce penetrometrů by měla odpovídat standardu ASAE (1999a,b). Moderní ruční penetrometry mají instalovány i elektronickou výbavu s možností počítačového zpracování dat. U některých je zabudován i přijímač GPS signálu a také sonda na měření vlhkosti půdy.

Zjišťování odporu půdy je nejlépe uskutečnit na jaře (koncem dubna), kdy je půdní profil rovnoměrně provlhlý (není většinou nutná korekce podle vlhkosti půdy). Tato metoda však není příliš vhodná pro měření v kamenitých půdách a rašeliništích. Na pozemcích s vyrovnaným druhem půdy by vzdálenost mezi jednotlivými sondami neměla přesahovat 100 m. Na heterogenních pozemcích je třeba vzdálenost mezi jednotlivými sondami zkrátit, nejmenší počet sond na menších pozemcích by měl činit alespoň 10. Je možné měřit v pravidelné odběrové síti nebo v nepravidelné stanovené na základě předchozích informací o půdní heterogenitě. Pokud je penetrometr vybaven přijímačem GPS signálu, kdy můžeme kromě údajů o měření zaznamenat i souřadnice, lze měřit náhodně dle subjektivního rozhodnutí na základě situace na pozemku. Z naměřených dat lze vytvořit mapy 2D

nebo 3D. Na základě provedené analýzy naměřených hodnot lze vypracovat aplikační mapu pro prováděné kypření. Hloubka kypření je dána hloubkou zjištěného škodlivého ztuhnutí. Podle toho volíme dlátování nebo hloubkové meliorační kypření. Zvláštní pozornost je třeba věnovat souvratím.

Hodnoty kritických vlastností ztuhnělých půd stanovil Lhotský (2000). Limity jsou uvedeny v přehledné přiložené tabulce. Při vlhkosti pod nebo nad uvedený interval je nutné korigovat kritické hodnoty penetračního odporu korekčním faktorem vlhkosti. Podle Šimona et al. (1989) se pohybuje kolem hodnoty $\pm 0,25$ MPa na každé $\pm 1\%$ vlhkosti (hmotnostní) mimo daný interval (jen v těsné blízkosti).

Tab. 4 Mezní hodnoty kritických vlastností ztuhnělých půd (Lhotský, 2000)

Fyzikální vlastnosti půdy	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV – JH 75 - 46	H 45 - 39	PH 38 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysušení ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objemová)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimální vzdušná kapacita (% objemová)	10	10	10	10	10	10
Penetrační odpor půdy (MPa)	2,8 – 3,2	3,3 – 3,7	3,8 – 4,2	4,5 – 5,0	5,5	> 6,0
Při vlhkosti % hmotnostních	28 - 24	24 – 20	18 - 16	15 -13	12	10

Legenda: J – jíl, JV – půda jílovitá, JH – půda jílovitohlinitá, H – půda hlinitá, PH – půda písčitohlinitá, HP – půda hlinitopísčitá, P – půda písčitá

Škodlivé ztuhnutí můžeme také zjistit měřením tahového odporu půdy celého stroje pro zpracování půdy. Pro sledování tahového odporu se použije tříbodový rám, který je osazen tenzometrickými můstky ve všech třech bodech závěsu a je vložený mezi traktor a kypřič. Lze též měřit odpor půdy přímo na radličce. Měřicí systém obsahuje dále přijímač družicového naváděcího signálu GPS, přijímač diferenčního signálu, tenzometrický dynamometr a měřící jednotku vybavenou softwarem pro zpracování a přenos dat.

Dálkový průzkum Země

Specifickým způsobem mapování půdní variability je **dálkový průzkum** leteckým nebo družicovým snímkováním. V tomto případě je využíváno spektrálních vlastností půdy – její odrazivosti. Odrazivost půdy se snižuje při vyšší vlhkosti půdy, vyšším podílu jílovitých částic a obsahu organické hmoty. Proto se vlhčí, těžší, či humózní půda jeví tmavší. Výskyt oxidů železa pak způsobuje barevné zbarvení půdy.

Výhodou dálkového průzkumu je jeho plošná výkonnost a celoplošné pokrytí. Rozsáhlé území lze zmapovat během krátkého okamžiku a přitom bude zachycena každá část sledovaného území. To eliminuje následnou interpolaci dat. Nevýhodou je komplexní působení zmiňovaných faktorů a v porovnání s elektrickou vodivostí hloubkový dosah měření a nutnost absence vegetačního krytu.

Zatímco pomocí měření elektrické vodivosti mohou být identifikovány rozdíly i několik metrů pod povrchem půdy, v případě dálkového snímkování zjišťujeme odrazivost pouze několikamilimetrové svrchní vrstvy půdy. To může ztěžovat mapování na pozemcích, kde se vrchní vrstva půdy liší od nižších, kde je povrch půdy pokryt jiným materiálem (např. po vápnění) nebo v případech zpracování půdy pouze na části pozemku (rozdílná vlhkost).



Obr. 14 Příklad leteckého snímku pořízeného při předsetové přípravě půdy. Použití snímku pro identifikaci prostorové variability půdy znemožňuje zpracování půdy pouze na části pozemku

Snímky vegetace lze pro mapování variability půdy využít pouze v případě, kdy variabilita porostu odpovídá variabilitě půdy. To například neplatí u biotického poškození rostlin. Využitelnost dálkového průzkumu značně zvyšuje dostupnost aktuálních a historických snímků v podobě webových služeb, či obrazových archívů. Zvláštní částí dálkového průzkumu je termální snímkování, které měří teplotu půdy. I zde je ale obdobný vliv interakcí více půdních faktorů, přičemž nejvýrazněji se projevuje vlhkost půdy.

Značný vliv na prostorovou variabilitu půdních podmínek má také **relief terénu**. Mapování je použitelné zejména pro identifikaci vláhových poměrů na pozemku a návrh zpracování půdy s ohledem na možné erozní ohrožení. K těmto účelům lze využít jednoduché měření pomocí GPS nebo digitální výškový model (DEM), který je v nižším prostorovém rozlišení dostupný bezplatně (např. radarová data Aster GDEM) nebo s vyšším rozlišením za úhradu (Český úřad zeměměřický a katastrální; Geodis, s.r.o., a další).

4. Mapování stavu porostů

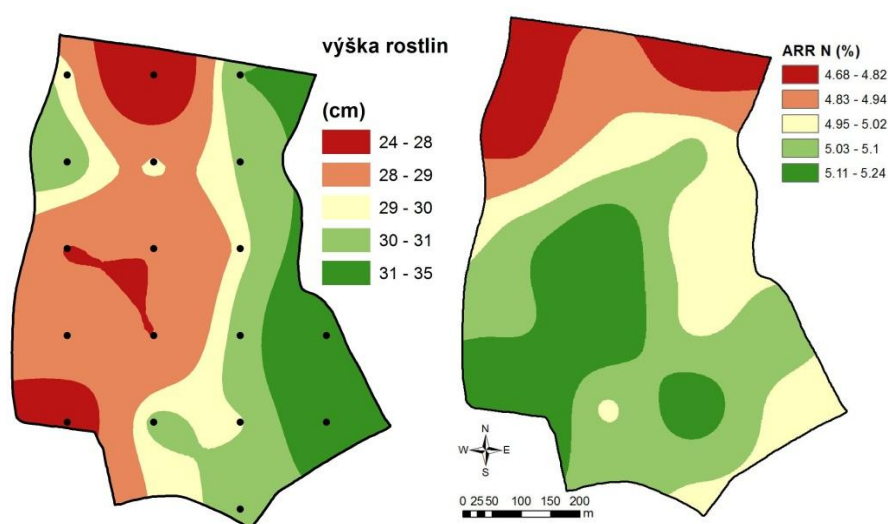
Variabilitu porostu ovlivňuje zejména heterogenita půdních podmínek, rozdílná intenzita obhospodařování pozemků a výskyt škodlivých činitelů. Zatímco řada půdních vlastností je z krátkodobého hlediska neměnná a jejich mapování je možné provést jednou za delší časové období,

porostní parametry jsou mnohem dynamičtější a je nutné je sledovat několikrát během vegetačního období v závislosti na četnosti provádění pěstebních operací.

Pod rozdílnou intenzitou hospodaření lze spatřovat vliv nevyrovnaného a nevhodného zakládání porostů, hnojení, aplikace pesticidů, apod. Společně s biotickým poškozením rostlin tyto faktory prostorovou variabilitu zvyšují. To vše se projevuje na celkové nákladnosti a náročnosti mapování a je jedním z důvodů, proč jsou pro hodnocení porostů využívány nepřímé sensorové metody mnohem více než v případě mapování půdních vlastností.

4.1. Tradiční metody mapování variability porostů

Metody tradičního mapování polních plodin se liší dle účelu použití. Pro stanovení výživného stavu je prováděn odběr rostlinného materiálu a následný laboratorní anorganický rozbor rostlin (ARR) s cílem korekce dávky hnojiv dle obsahu živin v rostlinách. Hodnocení porostů a kontrola výnosotvorných procesů je prováděna v rámci agrobiologické kontroly (ABK), jejíž podstatou je přesné sledování a kontrola růstu a vývoje rostlin v porostu na podkladě makrofenologických a mikrofenologických pozorování. Další tradiční metodou může být mapování zaplevelení formou terénního průzkumu, hodnocení poškození rostlin škůdci a chorobami a další postupy, které v kombinaci s prostorovou lokalizací mohou sloužit jako podklad pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů. Charakteristickým rysem je, podobně jako u vzorkování půdy, vysoká náročnost a nákladnosti tohoto způsobu mapování, proto je možné jej provádět jen na určitých místech - bodech pozemku. Celoplošné mapy sledovaného znaku jsou pak výsledkem prostorových interpolací z bodových dat. Také v tomto případě má zásadní roli hustota bodů měření, jejich rozmístění po pozemku a četnost pozorování.

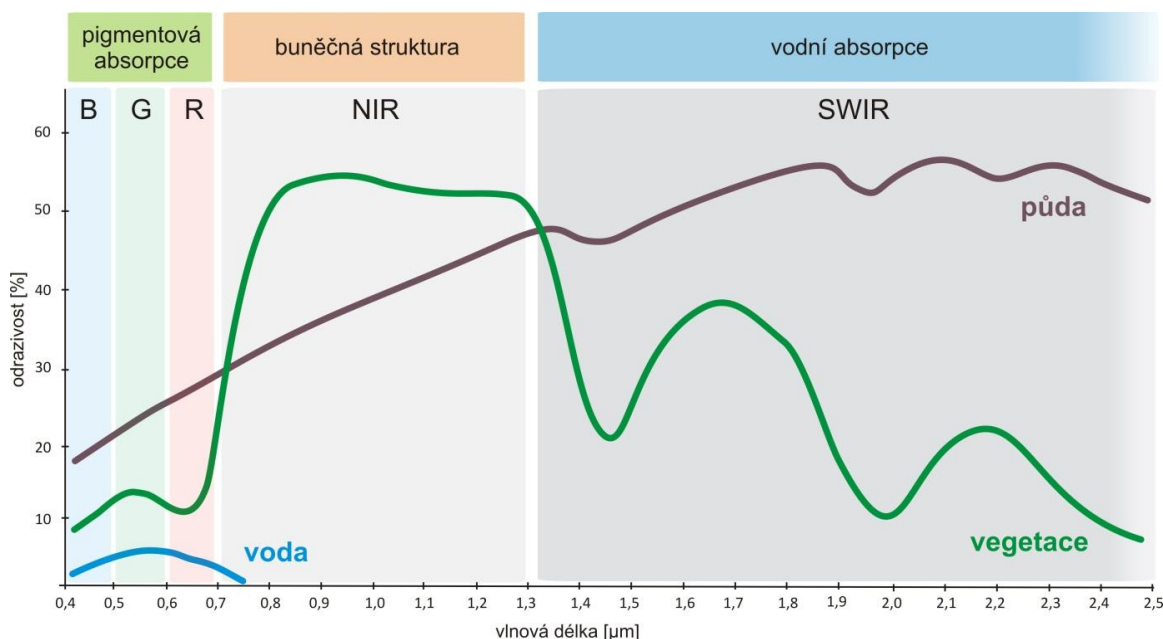


Obr. 15 Mapa výšky rostlin a obsahu N z anorganického rozboru rostlin (ARR) v porostu pšenice ozimé (DC37) v roce 2010. Body na obrázku vlevo znázorňují odběrová/měřená místa na pozemku (výměra 38 ha)

4.2. Nepřímé metody hodnocení stavu porostů

Z agronomického hlediska jsou nejvýznamnějšími sledovanými vlastnostmi hustota porostu, výživný stav rostlin, poškození rostlin (stres, napadení škodlivými činiteli) a zaplevelení. Senzory pro detekci

změn těchto vlastností využívají rozličných fyzikálních principů, v praxi jsou nejčastěji používány čidla měřící spektrální vlastnosti rostlin.



Obr. 16 Spektrální chování vegetace, půdy a vody ve vybrané části elektromagnetického záření (400 - 2500 nm)

Rostliny totiž vykazují specifickou odrazivost v jednotlivých pásmech elektromagnetického záření. Modrá a červená část záření jsou v převážné většině spotřebovávány při procesu fotosyntézy, část zeleného spektra je odrážena (proto se nám rostliny jeví jako zelené). V blíže infračerveném spektru (NIR) je většina záření odrážena. NIR je pro lidské oko neviditelné, pro jeho záznam je nutné speciální detekční zařízení. Zjednodušeně lze říci, že odrazivost ve viditelném záření podává informaci o stavu fotosyntetického aparátu, zatímco v NIR o množství biomasy. Na tzv. multispektrálním snímku, který zahrnuje všechna tato pásma, se pak vegetace bude v modré a červené části jevit jako velmi tmavá až černá, v zeleném šedá a v NIR bude světlá až bílá. Takto je popsána zdravá vegetace, rostliny trpící stresem (nebo stárnoucí) vykazují změny odrazivosti – přibývá odrazivost v červeném spektru (rostliny žloutnou) a naopak se snižuje odrazivost v NIR. Principu porovnávání odrazivosti v jednotlivých spektrech je určujícím rysem většiny přístrojů používaných k hodnocení stavu porostů. Sensorové měření dokáže poměrně spolehlivě detekovat porostní rozdíly (nedostatečná výživa, vodní stres, napadení rostlin), obvykle ale není schopno určit přesnou příčinu identifikovaného stresu.

Podobně jako u půdních senzorů je možné přístroje dělit na **on-the-go** (někdy také nazývány jako **online** metody), které poskytují výsledky stanovování průběžně při jízdě po pozemku, a **offline metody**, do kterých je možné zařadit kontaktní bodové měření porostu a dálkový průzkum.

Zřejmě nejpoužívanějším bezkontaktním **on-the-go** přístrojem v praxi je Yara N-Sensor pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv. Přístroj je umístěn na kabině traktoru (aplikátoru) a během jízdy měří odrazivost porostu, na základě které provede stanovení aplikační dávky, a rozmetadlem aplikuje hnojivo. Všechny tyto operace probíhají kontinuálně v čase bez výraznější prodlevy. Nová generace N-Sensor ALS je vybavena xenonovými výbojkami pro práci za horších světelných podmínek. Na podobném principu pracuje i řada dalších přístrojů, např. Topcon CropSpec, který používá laserem

indukovanou odrazivost, a nebo NTech GreenSeeker využívající LED záření. Laserové záření využívá také přístroj Fritzmeier MiniVeg, který ale měří fluorescenci chlorofylu. Rostliny nevyužijí všechno přijaté záření pro fotosyntézu, část je vyzařována v podobě fluorescence zpět do prostředí. Čím je rostlina více stresována, tím hůře funguje fotosyntetický aparát a podíl vyzařovaného záření se zvyšuje. Úroveň fluorescence pak odpovídá zdravotnímu a výživnému stavu rostlin.



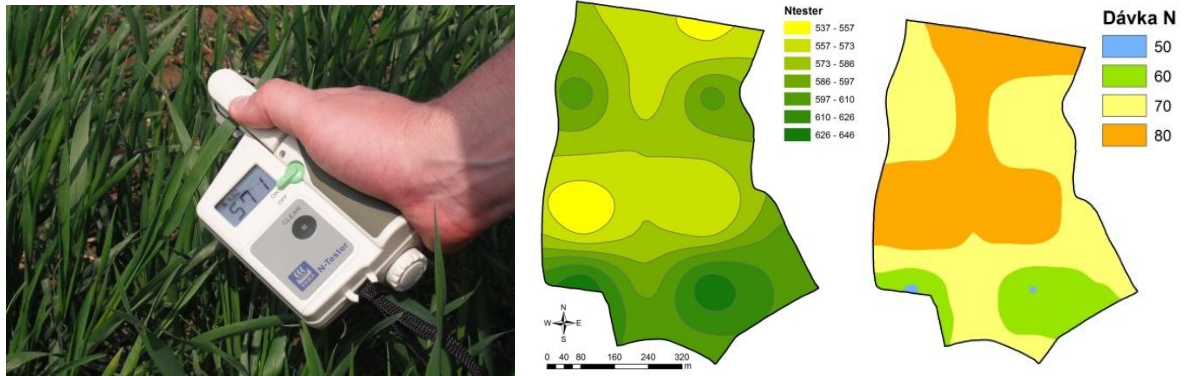
Obr. 17 Yara N-sensor namontovaný na kabině traktoru a instalace několika NTech GreenSeeker přístrojů na ramenu postřikovače

Zcela odlišného způsobu měření využívá Claas CropMeter, který stanovuje mechanicky hustotu porostu a z ní odvozuje aplikační dávku hnojiv nebo regulátorů růstu a fungicidů. Na předním závěsu traktoru je umístěna příčná tyč na kyvadle, které je vedeno porostem. Úhel vychýlení kyvadla pak odpovídá hustotě porostu.



Obr. 18 Přístroje Fritzmeier MiniVeg (vlevo) a Claas Cropmeter (vpravo) namontované na předním závěsu traktoru. Foto: www stránky výrobců.

Offline metody lze charakterizovat časovým oddělením jednotlivých procesů; měření, jeho vyhodnocení a aplikace tedy nejsou prováděny průběžně pojezdem po pozemku. Typickým příkladem je kontaktní měření rostlin nebo dálkový průzkum. Na rozdíl od online metod umožňuje při stanovení dávky hnojení zohlednit celou řadu doprovodných faktorů.



Obr. 19 Měření výživného stavu rostlin N-testerem a příklad aplikační mapy N hnojení z měření N-testerem

Příkladem přístroje pro **kontaktní měření rostlin** je Yara N-tester. Ten na základě odrazivosti listu sepnutého mezi měřícími klapkami odvozuje obsah chlorofylu. Z něj je po zohlednění odrůdových rozdílů v daném roce stanovena dávka hnojení plodiny. Pro mapování prostorové variability se sledování provádí na více místech pozemku. Je nutné si uvědomit, že toto měření nezohledňuje hustotu porostu, která má pro řadu agrotechnických zásahů význam. Podobný princip měření využívá také řada kapesních přístrojů PlantPen a N-pen od české firmy Photon Systems Instruments.

Optimalizace N hnojení pomocí přístroje N-Tester

Stanovení dávky N je provedeno z korekci pro odrůdy plodiny z každoročně aktualizovaných tabulek

(pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý)

Příklad:
Pšenice ozimá, odrůda Batis, produkční hnojení - odnožování (EC31)

1. Hodnota odečtena na N-Testeru **635**

2. Odečtení korekce z tabulek dle odrůdy a růstové fáze
Batis, EC31 = **+10**

Hydro N-Tester® - gezielter düngen - Winterweizen					
N-Tester einschalten und Messwert für Sortenkorrektur					
<ul style="list-style-type: none"> • Standortwahl • Messung von mind. 30 vertikalen und jüngsten Blättern • Blattfläche, die von der vertikalen Probe des Sortagen überdeckt • Fahrbahn ist bei Oberer der Blattoberfläche (Nur bei Sortenkorrektur) • Messwert ablesen • Den abgelesenen Wert von dem in der Tabelle aufgeführten Sortenwert korrigieren. Sortenkorrekturwerte 2002 (gelbes oder für diesen Jahr) 					
Sorte	Korrekturwert	Sorte	Korrekturwert	Sorte	Korrekturwert
EC	EC	EC	EC	EC	EC
30/32	30/32	30/32	30/32	30/32	30/32
Andrit	-10	Andrit	-10	Andrit	-10
Batis	+10	Batis	+10	Batis	+10
Beaver	-10	Beaver	-10	Beaver	-10

3. Korigovaná hodnota

$$635 + 10 = 645$$

4. Odečtení doporučené N dávky

40 kg N

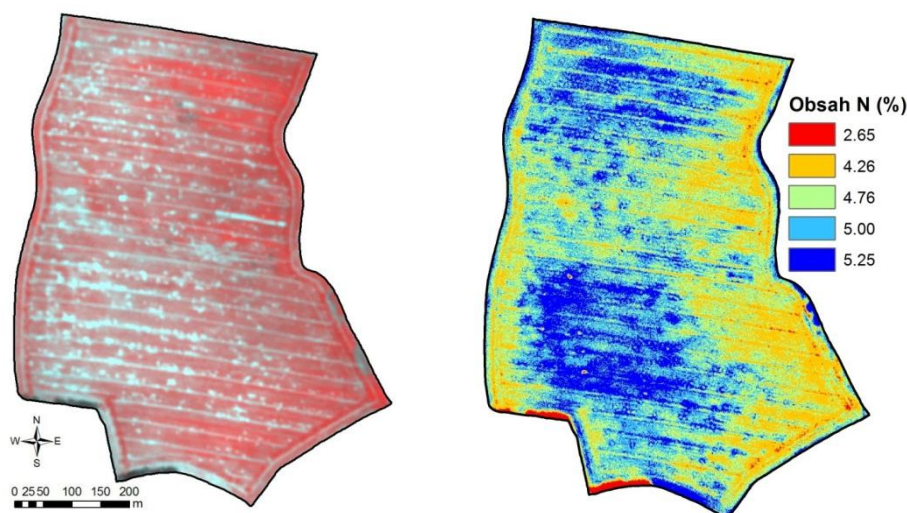
N-Düngeempfehlung 2002 zum Schossen und Ährenschieben Winterweizen	
Schossen (EC 30/32)	Ährenschieben (EC 37/31)
Messwert kg N/ha	Messwert kg N/ha
> 700	> 700
700 - 670	700 - 691
669 - 655	689 - 665
654 - 640	665 - 651
635 - 620	650 - 635
619 - 600	635 - 621
599 - 575	620 - 601
574 - 550	600 - 575
549 - 525	575 - 550
< 525	< 525

Obr. 20 Postup stanovení doporučené dávky hnojení pomocí přístroje Yara N-tester

Při **dálkovém průzkumu** je využíváno již popisovaného způsobu měření odrazivosti porostů a jeho kvantifikace v podobě tzv. vegetačních indexů. Nejpoužívanějším indexem je NDVI, který hodnotí porost poměrem odrazivosti v červeném (R) a NIR spektru podle vzorce:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NDVI kombinuje oba významné parametry – stav rostlin a množství biomasy na jednotce plochy. Zároveň umožňuje odlišení vegetace od ostatních objektů (půda, zástavba, voda). Pro zemědělce je toto mapování již nějakou dobu nabízeno společností MJM Litovel, a.s. formou služby NitroSensing jako podklad pro dusíkaté hnojení.



Obr. 21 Multispektrální snímek porostu pšenice ozimé (DC 37) na 38 ha pozemku (vlevo) a predikce obsahu N v rostlinách na základě NDVI a NIR(vpravo)

Výhody dálkového průzkumu v podobě plošné výkonnosti a celoplošného pokrytí pozemku již byly popisovány u mapování půdy. Méně příznivou vlastností je časová prodleva mezi měřením a vlastním provedením zásahu - aplikací. Zejména u aplikace dusíkatých hnojiv je s ohledem na dynamiku N v rostlinách nutné tuto prodlevu co nejvíce zkrátit. Výhodou i nevýhodou může být nutnost využití specializovaných služeb, zatímco *on-the-go* systémy jsou koncipovány pro přímé užívání pěstitel. Tvorba aplikačních map z obrazových dat na druhou stranu umožňuje souběžné nasazení více aplikátorů. Pokud chceme provádět variabilní hnojení pomocí N-sensory např. třemi rozmetadly, je nutné pořídit tři tyto přístroje. Konečná volba technologie mapování porostů je tak odvislá od konkrétního způsobu hospodaření a velikosti zemědělského podniku.

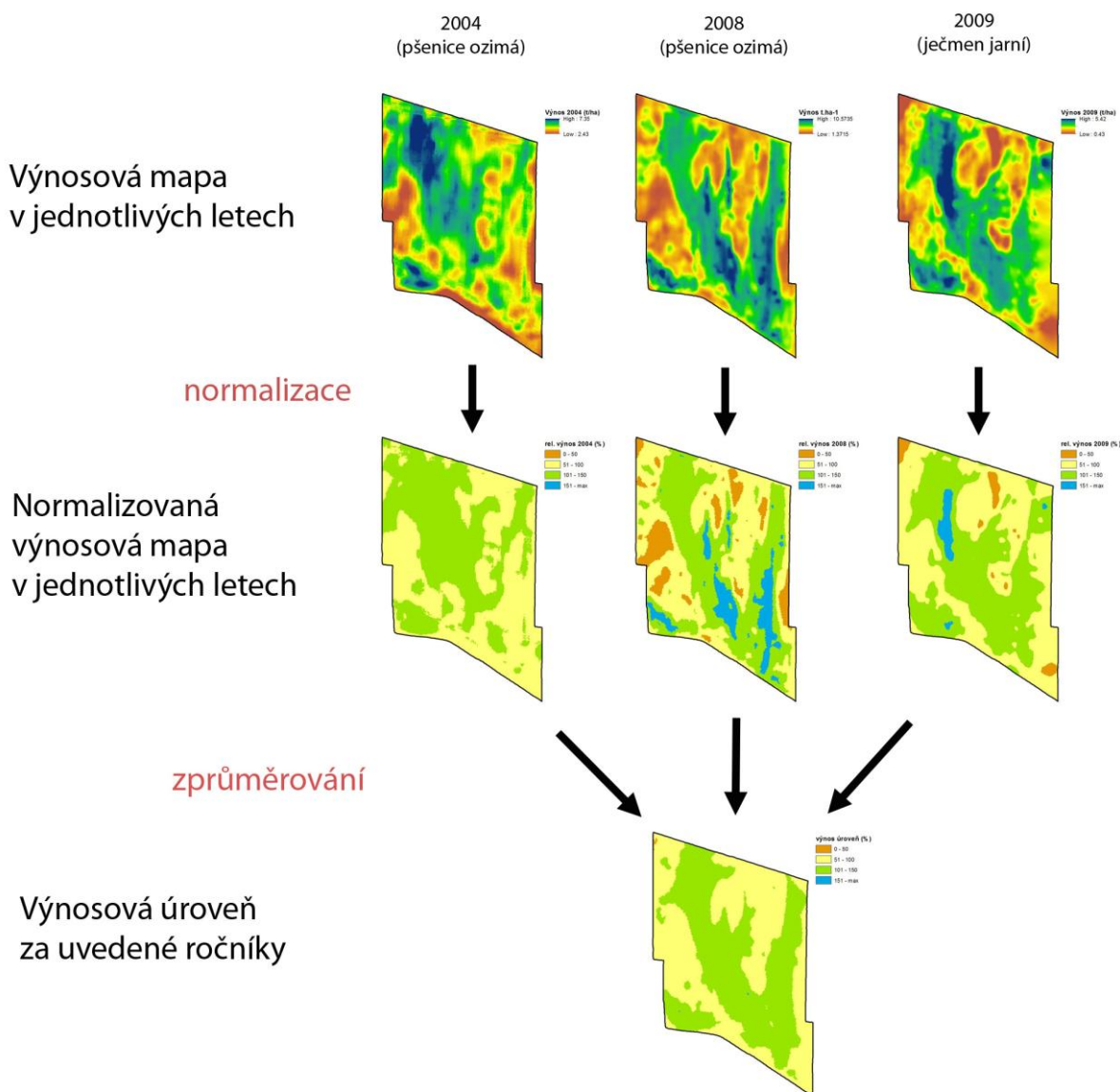
Tab. 2 Výsledky statistického porovnání multispektrálních snímků a pozemního měření (ARR, LAI) na obou lokalitách pomocí vícenásobné lineární regrese

	N	P	K	Ca	Mg	S	LAI
MS	0.79**	0.70**	0.11	0.80**	0.11	0.82**	0.45**

- MS – obrazová data z multispektrálního snímkování v zeleném, červeném a blíže infračerveném spektru a vegetačního indexu NDVI
- statistická průkaznost: * $\alpha = 0,05$; ** $\alpha = 0,01$

Finálním sensorovým mapováním variability porostu je **měření výnosů** při sklizni a kvalita produktu. Výnosové senzory zrna se již stávají standardní výbavou sklízecích mlátiček a v závislosti na výrobci využívají optického, mechanického, radiačního nebo kapacitního měření. Nezbytné je určení vlhkosti zrna pro přepočítání výnosu zrna na konstantní vlhkost (standardně 15 %). Ve fázi vývoje či prototypů se nacházejí senzory pro stanovení sklizňové kvality zrna (např. obsah bílkovin) pomocí měření v NIR. Ty by v kombinaci s dvoukomorovým zásobníkem na sklízecí mlátičce umožňovaly oddělit zrno s nižší kvalitou (a výkupní cenou). Podobně je problematický vývoj výnosových senzorů pro ostatní skupiny plodin, jako jsou pícniny, okopaniny a další. Znalost výnosu plodiny je přitom pro pěstitel významná, neboť podává informaci o úspěšnosti agrotechnických zásahů a pro stanovení bilance živin. Dříve byly samotné výnosové mapy používány jako podklad pro provádění hnojení, v současné době se od

tohoto postupu upouští a variabilita výnosu představuje pouze jednu z informací nutných pro správné agronomické rozhodování. Např. kombinací výnosových map za více ročníků lze identifikovat místa pozemku s rozdílnou výnosovou úrovní (viz Obr. 22)



Obr. 22 Postup tvorby mapy výnosové úrovně z historie výnosových map. Normalizace na průměrný výnos v daném roce (v %) umožňuje porovnávat plodiny s rozdílnou absolutní úrovní výnosu

III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Pro správné provádění lokálně cíleného hospodaření je vyžadováno značné množství relevantních informací o půdních podmínkách a aktuálním stavu porostů polních plodin. Sběr těchto informací představuje náročný proces, který do významné míry ovlivňuje efektivnost daného systému hospodaření. Předkládaná metodika poskytuje komplexní pohled na možnosti mapování prostorové variability pozemků. Kromě popisu postupů tradičního sběru agronomicky relevantních informací formou vzorkování půdy a sběru rostlinného materiálu se podstatná část textu věnuje nepřímým (senzorovým) metodám. Ty představují efektivní způsob identifikace rozdílů v prostorových vlastnostech půdy či porostů

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika zahrnuje komplexní pohled na uváděnou problematiku a obsahuje nejnovější údaje z výzkumu, které mohou sloužit nejen zemědělské praxi při pěstování plodin, ale také může posloužit jako vhodný materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením nebo jako podklad pro zemědělské poradce.

V. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- 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
- Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., Upadhyaya, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2004, vol. 44, no. 1, pp. 71-91. ISSN 0168-1699
- Adamchuk, V. I., Viscarra, R. A., Marx, D. B., Samal, A. K. Enhancement of On-the-Go Soil Sensor Data Using Guided Sampling, 23.6., 2009; http://bse.unl.edu/adamchuk/presentations/ICPA_2008.pdf.
- Allen, D., Land, Water, A., National Program for Sustainable, I. *Geophysics for the irrigation industry*. Canberra: Land & Water Australia, 2007, 178 s. ISBN 1921253304
- ASAE Standards. ASAE Engineering Practice EP542, *Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer*, ASAE, 1999a.
- ASAE Standards. ASAE Standard S313.3, *Soil cone penetrometer*, ASAE, 1999b.
- Borůvka, L. *Variabilita půdních vlastností a jejich hodnocení*. Habilitační práce, Katedra pedologie a geologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2001. 151.
- Borůvka, L. Digitální mapování půd, *In: Kozák, J. et al. (eds.) Atlas půd České republiky*, pp. 31-40, Praha: ČZU Praha, 2009. ISBN 9788021320086
- Brodský, L. *Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin, 2004, 120 s. ISBN 8021311002
- Brodský, L., Vaněk, V., Száková, J., Štípek, K. Spatial heterogeneity of soil properties. *Rostlinná Výroba*. 2001, vol. 47, no. 12, pp. 521-528. ISSN 0370663X
- 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
- Dinkins, C. P., Jones, C. Soil Sampling Strategies. *Agriculture and Natural Resources (Fertilizers)*. 2008,4 <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>
- 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.
- Godwin, R. J., Miller, P. C. H. A Review of the Technologies for Mapping Within-field Variability. *Biosystems Engineering*. 2003, vol. 84, no. 4, pp. 393-407. ISSN 1537-5110
- Goovaerts, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997, 483 s. ISBN 9780195115383
- Goovaerts, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*. 1998, vol. 27, no. 4, pp. 315-334. ISSN 01782762
- 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
- Heiniger, R. W., McBride, R. G., Clay, D. E. Using soil electrical conductivity to improve nutrient management. *Agronomy Journal*. 2003, vol. 95, no. 3, pp. 508-519. ISSN 00021962
- Christy, C. D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008, vol. 61, no. 1, pp. 10-19. ISSN 0168-1699
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989, 561 s. ISBN 0195050126
- Javůrek, M., Vach, M. *Negativní vlivy zhutnění půdy a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008, 24 s. ISBN 978-80-87011-57-7

- Kraus, J. Geostatistika jako prostorové modelování statistických jevů. *Statistika*. 2007, vol. 2007, no. 6, pp. 490-502. ISSN 0322-788X
- Lesch, S. M. Sensor-directed response surface sampling designs for characterizing spatial variation in soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005, vol. 46, no. 1-3, pp. 153-179. ISSN 0168-1699
- Lesch, S. M., Corwin, D. L., Robinson, D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005, vol. 46, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 351-378. ISSN 01681699
- Lhotský, J. *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Praha: ÚZPI, 2000, 61 s. ISBN 80-7271-067-2
- 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
- Lück, E., Eisenreich, M., Domsch, H., Blumenstein, O. Geophysik für Landwirtschaft und Bodenkunde. *Stoffdynamik in Geosystemen*. 2000, vol. 4, pp. 167. ISSN 0949-4731
- Lukas, V., Neudert, L., Kren, J. Mapping of soil conditions in precision agriculture. *Acta Agrophysica* 2009, vol. 13, no. 2, pp. 393-405. 2009. ISSN 1234-4125
- Minasny, B., McBratney, A. B., Walvoort, D. J. J. The variance quadtree algorithm: Use for spatial sampling design. *Computers and Geosciences*. 2007, vol. 33, no. 3, pp. 383-392. ISSN 00983004
- Pierce, F. J., Nowak, P., Donald, L. S. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, vol. 67, pp. 1-85. ISSN 0065-2113
- Robinson, T. P., Metternicht, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2006, vol. 50, no. 2, pp. 97-108. ISSN 01681699
- Schmidhalter, U., Raupenstrauch, J., Selige, T., Bobert, J. Geophysikalische Erfassung von Standorteigenschaften. *Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis*. 2002, 53-64
http://www.preagro.de/Ergebnisse/Zwischenbericht2002/CD%20Tagungsband/2_4_Geophysik.pdf
- Šimon, J., Lhotský, J. *Zpracování a zúrodňování půd*. Praha: SZN, 1989, 320 s. ISBN 80-209-0048-9
- Webster, R., Oliver, M. A. *Geostatistics for environmental scientists*. Chichester: Wiley, 2007, 315 s. ISBN 9780470028582
- Wollenhaupt, N. C., Mulla, D. J., Gotway Crawford, C. A. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. *The State of Site Specific Management for Agriculture*. 1997, pp. 19-53.

VI. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Lukas, V. Mapování elektrické vodivosti půdy v precizním zemědělství. In Sobocká, J. et al. 1. konference ČPS a SPS "Půda v moderní informační společnosti", Bratislava 2008: Česká pedologická společnost a Slovenská pedologická spoločnosť, 2008, p. 531-538. ISBN 978-80-89128-44-0
- Lukas, V. Mapování variability pozemků, Zemědělec, no. 33, pp. 11-13, 2010. ISSN 1211-3816
- Lukas, V., Moreno Rodriguez, F., Neudert, L., Dryšlova, T. Determination of nutritional status of winter wheat using multispectral imaging. In Stafford, J. V. 8th European Conference on Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic: Czech Centre for Science and Society, 2011, p. 648-654. ISBN 978-80-904830-5-7
- Lukas, V., Neudert, L. Optimization of soil sampling in sustainable agricultural systems. *Növénytermelés (Crop Production)*. 2010, vol. 59, no. Supplement 1, pp. 89-92. ISSN 0546-8191 (online 2060-8543)
- Lukas, V., Neudert, L., Kren, J. Improve of soil pH sampling using ancillary data. In Stafford, J. V. 8th European Conference on Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic: Czech Centre for Science and Society, 2011, p. 678-684. ISBN 978-80-904830-5-7
- Lukas, V., Neudert, L., Kren, J. Mapping of soil conditions in precision agriculture. *Acta Agrophysica* 2009, vol. 13, no. 2, pp. 393-405. 2009. ISSN 1234-4125
- Lukas, V., Neudert, L., Kren, J. Mapping the spatial variability of soil using indirect methods. In Badalíková, B. Proceedings of 6th International Conference "Crop management practices adaptable to soil conditions and climate change", Pruhonice near Prague: Research Institute for Fodder Crops Ltd., Troubsko, Czech Republic, 2011, p. 227 - 231. ISBN 978-80-86908-27-4
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J. Use of aerial imaging and electrical conductivity for spatial variability mapping of soil condition. In Lokhorst, C. et al. JIAC2009: Book of abstracts, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2009, p. 278. ISBN 978-90-8686-113-2
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J., Dryšlová, T., Ryant, P. Význam mapování prostorové variability půdy v precizním zemědělství. In Cerkal, R. et al. MZLU pěstitelům 2009 - sborník odborných příspěvků a sdělení, Žabčice: MZLU v Brně, 2009, p. 978-80-7375-304-7
- Lukas, V., Neudert, L., KŘEN, J.: Optimalizace půdního vzorkování pomocí nepřímých metod. In Winkler, J. Polní den "MendelAgro" 2010, sborník odborných příspěvků, Žabčice: Mendelova univerzita v Brně, 2010, p. 76-79. ISBN 978-80-73-75-405-1
- Lukas, V., Neudert, L., Křen, J.: Precizní zemědělství a jeho přínosy, Zemědělec, no. 33, pp. 9-10, 2010. ISSN 1211-3816
- Lukas, V., Neudert, L., Rodriguez Moreno, F. Efektivní způsoby mapování variability pozemků. In Cerkal, R. et al. MendelAgro 2011 - sborník odborných příspěvků a sdělení, Žabčice: Mendelova univerzita v Brně, 2011, p. 54-57. ISBN 978-80-7375-516-4
- Neudert, L., Lukas, V.: Mapování variability zhutnění půdy. In. Sborník příspěvků konference "Praktické využití GIS v zemědělství a lesnictví", Zámek Křtiny: Nadace Partnertsví, 2010, p. 978-80-7375-475-4

Autoři: Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.
Prof. Ing. Jan Křen, CSc.

Název: Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství

Vydal: Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Tisk: reklamní studio REIS Brno

Náklad: 250 ks.

1. vydání 2011

Vydáno bez jazykové úpravy

Metodika je poskytována bezplatně

Kontakt na autora: vojtech.lukas@mendelu.cz



Mendelova univerzita v Brně, 2011

ISBN 978-80-7375-562-1

Vydala Mendelova univerzita v Brně

2011