

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

**Využití provozních ukazatelů strojů pro sledování půdní
variability pozemku**

Jana Petrásková

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra zemědělských strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Petrásková Jana

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Využití provozních ukazatelů strojů pro sledování půdní variability pozemku.

Anglický název

Utilization of machines operating indicators for soil variability evaluation.

Cíle práce

Přinést informace o variabilitě půdních vlastností sledovaných pozemků na základě měření a sledování provozních parametrů traktorů během zpracování půdy.

Metodika

Na pozemcích, s historií sledování půdních vlastností a výnosu, budou během zpracování půdy měřeny provozní parametry traktorů. Budou snímány hodnoty z čidel elektrohydraulických soustav traktorů a prokluz souprav. Společně se sledovanými hodnotami budou ukládány informace o aktuální poloze soupravy. Georeferencovaná data budou zpracována do podoby map. Na základě rozložení hodnot budou optimalizovány odběrové sítě pro odběr půdních vzorků ke stanovení fyzikálních vlastností půdy. Hodnoty z rozborů půdních vzorků budou použity pro následně korelační analýzy.

Osnova práce

Literární rozbor

Cíl práce

Metodika práce

Příprava měřicích zařízení

Kalibrace měřicích zařízení

Výběr pozemků

Zpracování hodnota, tvorba map a rozvržení odběrové sítě

Odběry půdních vzorků pro stanovení fyzikálních vlastností půdy

Zpracování naměřených hodnot

Výsledky a diskuse

Závěr

Rozsah textové části

50 - 60 stran včetně tabulek, obrázků a grafů

Klíčová slova

Tahová síla, půdní vlastnosti, zpracování půdy, energetická náročnost, prokluz.

Doporučené zdroje informací

Sborník 5th European Conference on Precision Agriculture. 1. vydání. Wageningen: Wageningen Academic Publishers The Netherlands, 2007. 878 s. ISBN: 978-90-8686-024-1
Sborník 6th European Conference on Precision Agriculture. 1. vydání. Wageningen: Wageningen Academic Publishers The Netherlands, 2009. 992 s. ISBN: 978-90-8686-113-2
Sborník 8th European Conference on Precision Agriculture. 1. vydání. Praha: Czech Centre for Science and Society, Praha, Česká republika, 2011. 644 s. ISBN: 978-80-904830-2-6.
Sborník z konference Land-Technik AgEng 2009, Düseeldorf: VDI Verlag GmbH, 2009. 530 s. ISBN: 978-3-18-092060-3.
Sborník z konference Land-Technik AgEng 2010, Düseeldorf: VDI Verlag GmbH, 2010. 490 s. ISBN: 978-3-18-092111-2.
Sborník z konference Land-Technik AgEng 2011, Düseeldorf: VDI Verlag GmbH, 2011. 505 s. ISBN: 978-3-18-092124-2.
Sborník z konference Land-Technik AgEng 2013, Düseeldorf: VDI Verlag GmbH, 2013. 505 s. ISBN: 978-3-18-092193-8.
R.A.Viscarra Rossel, A. Mcratney, B. Minasny (Eds.), Proximal Soil Sensing, Netherlands: Springer Netherlands, 2010, ISBN 978-90-481-8858-1.
J. Hufnagel, R. Herst, A. Jarfe, A. Werner. Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis, KTBL-Schrift 419, KTBL, Darmstadt, Germany, 2006, ISBN 3-7843-2165-8.

Vedoucí práce

Kroulík Milan, doc. Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2013

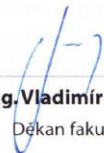
Termín odevzdání

duben 2015



doc. Ing. Adolf Rybka, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 23.1.2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití provozních ukazatelů strojů pro sledování půdní variability pozemku" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne 9. 4. 2015

Poděkování

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

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo využití provozních ukazatelů strojů pro sledování půdní variability pozemku. V kapitole „Provozní ukazatele strojů“ je popsán vztah mezi tahovou silou, energetickou náročností a prokluzem během zpracování půdy. Kapitola „Geofyzikální metody“ se zabývá způsoby měření a přehledem senzorů pro zjištění půdních vlastností. Poslední část literární rešerše nazvaná „Přenos dat“ porovnává přenos dat přes CAN a ISO BUS, přenos bezdrátový i telematický. Následuje kapitola „Metodický postup měření“, která se zabývá popisem pozemků a měřících zařízení. V kapitole „Výsledky a diskuse“ jsou zpracovány naměřené hodnoty. Jejich porovnání je okomentované formou diskuse. Další částí je kapitola „Ekonomické zhodnocení“, kde je porovnán nákup měřících zařízení, pronájem měřicí platformy a náklady na vývoj senzoru. V závěru je shrnutí celé práce.

Klíčová slova: tahová síla, půdní vlastnosti, zpracování půdy, energetická náročnost, prokluz

Utilization of machines operating indicators for soil variability evaluation

Summary: The aim of this diploma thesis was utilization of machine operating indicators for soil variability evaluation. In the chapter „Machine operating indicators“ the relationship between tractive power, energy efficiency and slip within the soil processing are describe. Chapter „Geophysical Methods“ deals with the ways of measuring and overview of sensors used for soil characteristics survey. The last chapter of literature search called „Transmission of data“ compares transmission of data via CAN and ISO BUS, wireless and also telematics. Following chapter „Methodical approach of measurement“ deals with the description of choosen land and measuring devices. In the chapter „Results and discussion“ are processed measured data. Discussion comments the comparison of them. Next part presented by chapter „Cost-Benefit Analysis“ compares the purchase and the rent of measuring devices with the costs of sensor development. The diploma thesis is summarized in Conclusion.

Key words: tractive power, soil characteristics, soil processing, energy efficiency, slip

Obsah

1 Úvod	1
2 Provozní ukazatele strojů.....	2
3 Geofyzikální metody	4
3.1 On-the-go měřicí zařízení	4
3.1.1 Elektrické a elektromagnetické senzory	5
3.1.2 Zařízení k měření mechanických vlastností půdy.....	8
3.1.3 Optické a radiometrické senzory	11
3.1.4 Akustické a pneumatické senzory.....	12
3.1.5 Elektrochemické senzory	12
3.2 Půdní průzkum.....	13
3.2.1 Finanční náročnost měření	14
3.2.2 Návrh a hustota vzorkovací sítě.....	15
3.3 Kalibrační a interpolační metody.....	18
3.3.1 Kalibrační metody.....	18
3.3.2 Interpolační metody	20
4 Přenos dat	22
4.1 Komunikační sběrnice	22
4.1.1 CAN BUS	22
4.1.2 ISO BUS	23
4.2 Bezdrátové sensorové sítě	24
4.3 Telematika	25
5 Cíl práce.....	26
6 Metodický postup.....	27
6.1 Sledované pozemky	27
6.2 Postup měření	27
6.3 Úprava dat.....	29
7 Výsledky a diskuse	31
7.1 Zpracování naměřených hodnot z pozemku 1	31
7.1.1 Vodivost.....	31
7.1.2 Provozní ukazatele traktoru	37
7.2 Zpracování naměřených hodnot z pozemku 2	46
8 Ekonomické zhodnocení.....	52
9 Závěr	55
10 Seznam použitých zdrojů	57
11 Seznam tabulek	61
12 Seznam obrázků.....	62
13 Seznam příloh.....	63

1 Úvod

Při současné koncepci zemědělství, kdy řada podniků obhospodařuje několik set až tisíc hektarů není možné, aby řidiči strojních souprav věděli o všech místech, která se vymykají standardu dané lokality. Množství plochy obdělané za hodinu, a s tím související rychlost pojezdu souprav, nedávají však pro tato zjištění dostatek prostoru.

V rámci aplikace koncepce precizního zemědělství roste zájem o optimálnější hospodaření na jednotlivých půdních blocích. Kromě možnosti použití navigace při polních operacích je jedním z dalších cílů zajištění dobré kvality zpracování půdy a aplikace pouze nutného množství hnojiv. K naplnění těchto cílů jsou zapotřebí výsledky geofyzikálních metod, analyzující vlastnosti půdy na konkrétním pozemku.

Mapování půdní variability pozemku slouží ke zjištění různorodosti půdního celku. Penížek et al. (2014) uvádí, že variabilitu způsobuje působení různých činitelů. Vzájemným působením těchto činitelů dochází k prostorové diferenciaci půdních vlastností. Faktory způsobující rozdílnosti v půdních vlastnostech lze rozdělit na lokální (např. odlišný druh půdy v některé části pozemku) a na ty, které působí na větší oblast (klima). Ke zjištění půdní variability se využívají senzory, jež měří za jízdy soupravy (on-the-go), tak výsledky hodnocení měřícími přístroji přímo na poli, i výsledky laboratorních vyhodnocení z odebraných půdních vzorcích.

Kromě půdních analýz se dále ke zjištění variability půdy využívá metod dálkového průzkumu Země, kdy je povrch půd snímán plošně, na rozdíl od geofyzikálních metod. Dálkový průzkum Země se využívá například pro měření elektromagnetického záření (Penížek et al., 2014).

Cílem měření je následné propojení získaných map, vypovídajících o variabilitě půdy se systémem, který se využívá v rámci precizního zemědělství pro plánování polních operací. Tato integrace je jednak prevencí pro případné znehodnocování půdy vlivem hospodaření a zároveň slouží k obnově již degradovaných míst (Lukas et al., 2011).

2 Provozní ukazatele strojů

Tato kapitola popisuje provozní ukazatele stroje, které byly sledovány během pracovní operace a jejich vzájemné působení. Jsou jimi: tahová síla, prokluz a energetická náročnost. Grafickým vyjádřením zmíněných proměnných je pak tahová charakteristika. Zkoušky tahové síly se kromě pozemku mohou konat i na betonovém nebo živičném povrchu. Postup měření tahových vlastností traktoru upravují metodiky *Organizace pro Ekonomickou kooperaci a rozvoj* (Organisation for Economic Co-operation and Development) *OECD Code 1, 2* i norma *ČSN 30 0415*.

Adamchuk et Christenson (2005) uvádí, že tahová síla patří k nepřímým metodám hodnocení mechanických vlastností půdy. Lze ji měřit kontinuálně za pohybu strojní soupravy, což společně s ukládáním informace o aktuální pozici stroje tvoří podklad pro vytypování míst následného měření. Mezi tahovou silou a mechanickým odporem je přímá závislost. Odpor se navíc zvyšuje s hloubkou zpracování půdy, a právě s kolísající hloubkou zpracování vzniká rušivý vliv, který degraduje naměřené hodnoty pro zjištění půdních rozdílů. S rostoucím odporem půdy se snižuje účinnost tahové síly. Příčinou odporu je utužení půdy, půdní složení, obsah vody a působení dalších faktorů.

Schutte et Kutzbach (2003) uvádí, že tahová síla závisí na druhu nářadí, šířce pracovního záběru, hloubce zpracování i pojezdové rychlosti. Velikost pojezdové rychlosti je rozhodující z hlediska energetické náročnosti. Dále na ní působí faktory spjaté se zpracovávaným místem (druh půdy a její vlhkost, objemová hmotnost i reliéf pozemku). Z výzkumu Van Bergeijka et Goense (2001) vyplývá závislost tahové síly na obsahu jílu v půdě.

Hodnoty získané měřením tahové síly se používají pro srovnání energetické náročnosti strojní soupravy, zejména pokud podnik využívá metod precizního zemědělství. Lze říci, že si podnik může ověřit, jak se mu precizní hospodaření daří. Goodwin et Miller (2003) však dávají vlivu tahové síly na spotřebu strojní soupravy nepatrný význam. Za přínosný považují pouze výstup z měření, při němž nebylo použito silové regulace traktoru.

Mapování tahové síly znamená přiřazení GPS souřadnic ke zjištěné tahové síle, a to v daném okamžiku. Tahovou sílu je možné měřit pomocí signálu ze silových čepů nebo tenzometrickými můstky, kterými je osazen každý ze 3 bodů třibodového závěsu

traktoru. Z pokusu, který provedl Van Bergeijk et Goense (2001) vyplývá, že silové čepy pro měření tahové síly lze použít v sériovém provedení, pokud je před měřením provedena jejich správná kalibrace.

Vztah tahové síly a energetické náročnosti je zřejmý. Každý zásah do půdy v rámci realizace polních operací je spojen s jistou energetickou náročností. Trend snižování spotřeby paliva v rámci precizního zemědělství souvisí navíc s odpovědností vůči životnímu prostředí. Všechna tyto fakta jsou v přímé návaznosti na dosažení úspor vedoucích ke snížení nákladů na jednotku produkce.

Většinou se měření netýká jen jednoho z provozních ukazatelů stroje. Paul (1992) během pokusu měřil kromě signálu ze silových čepů i prokluz kol traktoru. Údaje byly ukládány spolu s aktuální polohou soupravy. Vyhodnocením naměřených dat zjistil, že na celkový prokluz kol traktoru měla zřetelný vliv vlhkost půdy.

3 Geofyzikální metody

Geofyzikální metody intenzivně mapují danou oblast, ale nejedná se o celoplošný průzkum. Druhy měření lze dělit podle několika kritérií, např. podle toho, kde jsou data hodnocena. Jestli je vyhodnocení prováděno v terénu (in situ) nebo v laboratoři na předem odebraných vzorcích. Asi nejobecnější je dělení podle toho, zda je senzor v kontaktu s půdou. Aktivní (invazivní) metody pracují na bázi přímého kontaktu s půdou, narušují od pasivních (neinvazivních), které pouze snímají povrch. Dalším kritériem souvisejícím již zmíněným dělením (invazivní vs. neinvazivní) je ve vztahu k optimalizaci a výsledné ceně měření, nutnost zastavení soupravy. Pokud je nutné při měření každého bodu zastavit, volí interval mezi jednotlivými body operátor. Naopak je tomu v druhém případě, kde je již stanovena frekvence vzorkování a operátor volí pouze rychlost pojezdu soupravy s měřicím zařízením. Závislou proměnnou je v obou případech měření vzdálenost mezi jednotlivými trajektoriemi (De Gruijter et al, 2010).

3.1 On-the-go měřicí zařízení

On-the-go měřicí zařízení patří mezi nepřímé metody pro identifikaci variability půdy. Měření probíhá během pohybu stroje. Nejčastěji se jedná o měřicí senzory. Jejich výhodou je možnost měření určitých půdních vlastností a převedení do datového záznamu. Vyznačují se však nižší přesností, kterou ale vyvažuje intenzivní prostorové pokrytí (Lukas et al., 2011). Adamchuk et Rossel (2010) tvrdí, že finanční a časová náročnost při hodnocení půdních vzorků v laboratořích vede k hledání jiných možností, jak získat informace o půdních vlastnostech dané lokality. Tuto práci v případě volby neinvazivní metody usnadňují právě senzory, které snímají povrch půdy a reagují na požadované půdní vlastnosti ze vzdálenosti 2 m i méně. Jde o tzv. Proximal Soil Sensing. Nejen kvůli rychlosti a lepší finanční dostupnosti zpracování naměřených hodnot mimo laboratoř roste jejich oblíbenost. Jedná se o dlouhodobě perspektivní řešení do jehož vývoje se v současné době investují nemalé finanční prostředky.

K zachycení přesné polohy měřeného místa se používá navigačního satelitního systému (GPS – Global Positioning System), pomocí něhož se zjišťuje aktuální poloha on-the-go měřicího zařízení nebo strojní soupravy. Údaje zahrnují přesné údaje zeměpisné šířky a délky, případně je možné i ukládání nadmořské výšky místa. Díky těmto hodnotám

je snazší vytvořit mapu pozemku tak, aby odpovídala co nejvíce realitě, např. sklonitost terénu (Adamchuk et Rossel, 2010).

Existující a nově vyvíjené senzory již počítají s ukládáním souřadnic polohy a dalších parametrů tak, aby bylo snadno dohledatelné, kde bylo měření provedeno. Mapa sestavená na základě těchto dat pak může významně pomoci při volbě odběrových míst pro kalibrační měření.

On-the-go systémy, neboli systémy snímající požadované půdní vlastnosti při jízdě rozděluje Adamchuk et Rossel (2010) na 6 skupin (viz Obr. 38, Příloha 1). Adamchuk et al. (2007) určil kvalitu detekce půdních vlastností pro jednotlivé skupiny on-the-go senzorů (viz Tab. 1).

Tab. 1: Porovnání kvality různých půdních vlastností

Půdní vlastnosti	Elektrické a elektromagnetické	Optické a radiometrické	Mechanické	Akustické	Elektrochemické
Půdní zrnitost (podíl jílu, prachu a písku)	Dobrá	Vyhovující		Slabá	
Obsah půdní organické hmoty nebo C	Slabá	Dobrá			
Půdní voda (vlhkost)	Dobrá	Dobrá			
Zasolení půdy	Vyhovující				Slabá
Utužení půdy (objemová hmotnost)			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., 2007; upraveno

3.1.1 Elektrické a elektromagnetické senzory

Elektrické a elektromagnetické senzory využívají elektrického obvodu ke zjištění, zda je vybraný půdní celek vodivý nebo akumuluje elektrický náboj. Při měření se pak vybraný půdní celek stává součástí uzavřeného elektrického obvodu. Každá změna

prostředí oproti původnímu stavu způsobí signál, který zachytí měřící ústředna (Adamchuk et Rossel, 2010; Barbosa et Overstreet, 2011).

Corwin et Lesch (2005 in Lukas et al., 2011) dělí zařízení k měření elektrické vodivosti na 3 následující typy:

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

Lück et al. (2002) uvádí jako nejčastěji se vyskytující typy měření v rámci precizního zemědělství použití invazivních senzorů elektrického odporu (ER) a neinvazivních senzorů elektromagnetické indukce (EMI). Srovnání ER a EMI senzorů z hlediska měření i aplikace je uvedeno v Tab. 2).

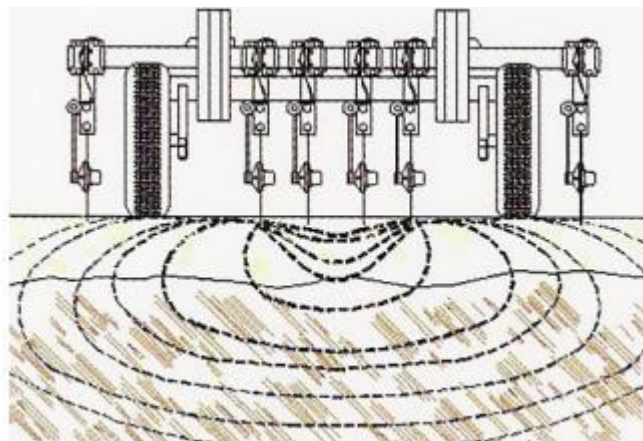
Tab. 2: Porovnání způsobu měření a aplikace vybraného EMI a ER senzoru

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 nepůsobují 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: Luck et al, 2002

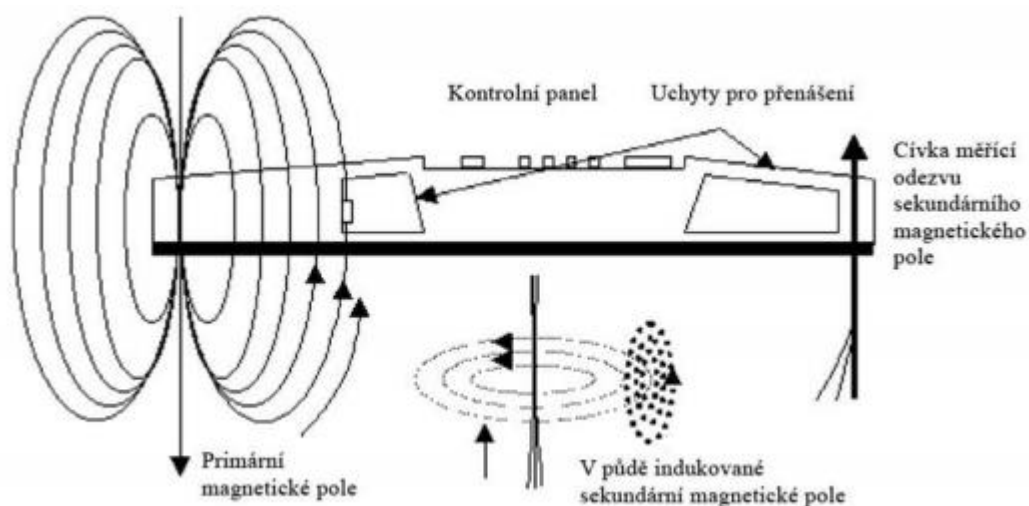
Přístroje pro měření elektrické rezistivity (ER) se řadí mezi invazivní nepřímá měření (Barbosa et Overstreet, 2011). V praxi se většinou používá jeden nebo více párů disků z kovu, které slouží jako elektrody. Při měření disky proříznou vrchní vrstvu půdy, a poté vysílá první disk z páru elektrický proud přičemž druhý jej přijímá. Hloubka měření závisí na vzdálenosti mezi vysílací a přijímací elektrodou. Lukas et al. (2011) uvádí,

že jedním z nejvýznamnějších výrobců tohoto zařízení je firma Veris Technologies, USA. Princip měření použitý firmou Veris, konkrétně se jedná o typ Veris 3100 znázorněný na Obr. 1.



Obr. 1: Princip měření vodivosti půdy pomocí kontaktního zařízení Veris (Barbosa et Overstreet, 2011)

Naopak měření elektromagnetické indukce (EMI) probíhá neinvazivní bezkontaktní metodou. Elektromagnetické pole jen prochází půdou. Přístroj se skládá ze dvou cívek. První cívka indukuje elektromagnetické pole vysílané do půdy, druhá zachycuje odezvu a porovnává ji se vstupními údaji z první cívky (Lück et al., 2000 in Lukas et al., 2011). Po vyslání indukce z cívky do půdy vznikne sekundární elektromagnetické pole, ovlivněné fyzikálně-chemickými vlastnostmi půdy (viz Obr. 2).



Obr. 2: Princip fungování elektromagnetické indukce (Lesch et al., 2005)

Senzory k měření elektrické vodivosti (EC_a) lze použít pro tvorbu map o vysokém prostorovém rozlišení tak, že integrují změnu ve vodivosti půdního profilu s odezvou v hloubce (Myers, 2010). Měří v horizontálním, resp. vertikálním směru dle polohy přístroje při měření. Při měření ve vertikálním směru signál dosahuje hloubky až 2 m pod povrchem, při horizontálním směru 0.75 – 1 m. Přístroj je možné dle situace nést nebo v případě, že je uchycen na měřicím zařízení táhnout za vozidlem (viz Obr. 3).



Obr. 3: Měření el. vodivosti při jízdě (vlevo), vpravo detail měřícího zařízení (Lukas et al., 2011)

Corwin et Lesch (2005) uvádí 3 stavy, které mohou nastat při měření elektrické vodivosti půdy:

- přebytečná voda v rozšířených půdních pórech,
- hydrokopické nebo pevné rozhraní ovlivňované částicemi vody,
- přímý kontakt půdních částic.

Rossel et al. (2010) tvrdí, že tvarové vlastnosti vodivosti jsou při použití penetrometru názornější, než v případě odběr vzorku půdním vrtákem. Mapování vlastností půdního podloží penetračním způsobem ($EC_{a\ p}$) skrze vztah s EC_a by tak mohlo vést k lepšímu návrhu odběrové sítě v porovnání s nepodloženým odhadem. Lukas et al. (2011) dodává, že studie obecně doporučují měřit ve vlhké půdě, protože pokud je měření prováděno v půdě suché dochází ke snížení závislosti parametru EC_a na zrnitosti půdy nebo klesá variabilita výsledného měření.

3.1.2 Zařízení k měření mechanických vlastností půdy

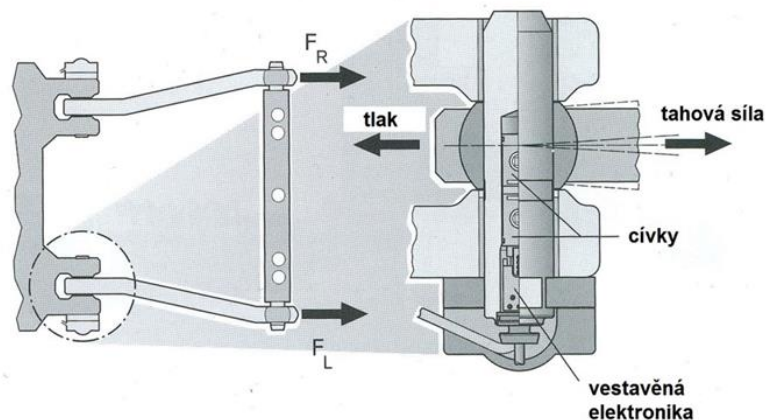
Zařízení k měření mechanických vlastností půdy se používají k určení odporu půdy, souvisejícího s prostorově různým stupněm utužení půdy a zjišťováním stavu povrchu. Zaznamenávají se třecí i adhezní síly, vznikající mezi senzorem a povrchem. Většinou

se mechanický odpor půdy vyjadřuje v jednotkách tlaku. Základem pro stanovení mechanického odporu půdy jsou údaje o celkové tahové síle při zachování fixní hloubky zpracování půdy. Záznamy měření zachycují údaje o působících faktorech, např. typ a ostří nástroje, rychlost a hloubku prováděné operace, stav povrchu půdy (Adamchuk et Rossel, 2010).

Lukas et al. (2011) popisuje, že pokud se měření provádí penetrometrem, jde o zjištění penetračního odporu při vnikání sondy do určité hloubky půdního profilu. Zhutnění lze také stanovit podle pozorované odlišnosti místa (stagnující, nevsáklá voda nebo pomalejší a komplikovanější vzcházení porostu, případně rozdíl v růstu i zrání oproti nedegradovaným místům).

Dostupnost penetrometru je ve 2 variantách: ruční nebo přídavné zařízení. Pokud se tedy uvažuje o využití penetrometru ve větší míře se volí poloautomatické nebo automatické měřicí zařízení, které je jako přídavné zařízení spojeno s pracovním strojem. Automatické provedení je pro kontinuální použití. Kromě mechanického odporu zaznamenává údaje o vodivosti půdy a její vlhkosti. Právě možností měřit vodivost penetrometrem, respektive vybavením kužele penetrometru zařízením pro měření elektrické vodivosti se zabýval Yurui et al. (2008). Běžnou výbavou měřících zařízení je i přijímač GPS signálu k zachycení přesné polohy odběrového bodu. Výstup z naměřených hodnot může být podkladem pro tvorbu 2D i 3D map.

Tahový odpor zařízení se měří kontinuálně. Tahová síla se většinou měří podle hodnot ze silových čepů ramen traktoru nebo přídavným měřicím rámem umístěným mezi traktor a pracovní nástroj (Kürsteiner, 2003). Silovými čepy je možné elektronicky regulovat závěs. Právě elektronickou regulaci používá i jeden z největších výrobců zadních ramen, Bosch-Rexroth. Jak uvádí Noack (2001) vstupní informací pro elektronické ovládání 3-bodového závěsu traktoru je magneto-elastický efekt, vzniklý působením sil na čep v rameni závěsu. Působení sil na závěs traktoru znázorňuje Obr. 4.



Obr. 4: Princip funkce silových čepů firmy Bosh Rexroth (Noack, 2001)

Droll (1999); McLaughlin et al. (2000) in Lukas et al. (2011) uvádí zdroj nejčastějších chyb při měření tahové síly:

- Půdní nerovnosti.
- Rozdíly v pracovní hloubce.
- Rozdílné způsoby jízdy ovlivněné obsluhou.
- Kmitání traktoru a připojeného náradí.
- Rozdíly v efektivní pracovní šířce.
- Rozdíly v rychlosti jízdy.
- Velká diference vlhkosti půdy.
- Rozdíly v nastavení stroje.
- Variabilita pozemku.

Variabilita pozemku je výrazně ovlivněna různými druhy půdy. Každý druh půdy má stanovené kritické hodnoty vlastností zhutněných půd (viz Tab. 3).

Tab. 3: Mezní hodnoty kritických vlastností zhutněných půd

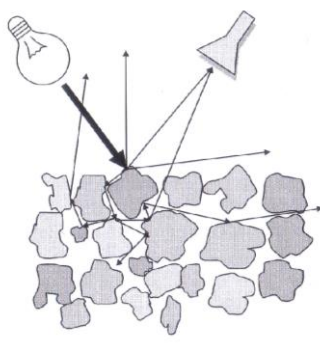
Fyzikální vlastnosti půdy	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV – JH 75 - 46	H 45 - 39	PH 38 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysušení (g.cm ⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objemová)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minimální vzdušná kapacita (% 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

Zdroj: Lhotský, 2000 in Lukas et al., 2011

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

3.1.3 Optické a radiometrické senzory

Podle Adamchuka et Rossela (2010) využívají tyto senzory elektromagnetickou energii směřovanou na vzorek. Principem je měření intenzity vyzařovaného světla po kontaminaci půdy radiací o dané frekvenci (viz Obr. 5). Při správném množství energie dojde k vibracím organických i anorganických molekul. Vibrace, u nichž dochází k prodloužení impulzu se vyznačují zpravidla vyššími frekvencemi, narozdíl od vibrací nižších, které mají zakřivený tvar.



Obr. 5: Princip difuzního odrazového spektroskopu (Stenberg et Viscarra Rossel, 2010)

Optické a radiometrické senzory se dělí podle vlnové délky na následující: ve viditelném spektru (400 – 700 nm), (vis NIR-near-infrared) blízké infračervené části spektra (700 – 2500 nm) a/nebo uprostřed (mid IR – mid-infrared) infračerveného spektra (2500 – 25000 nm). Měření pomocí těchto senzorů doplňují nebo zcela nahrazují konvenční metody půdních analýz (Adamchuk et Rossel, 2010; Stenberg et Viscarra Rossel, 2010).

Reeves et al. (2010) uvádí jako nejlepší přístroj pro měření vis-NIR a mid-IR spektra odrazový difuzní spektroskop. Výhodou je použití v podmínkách laboratoře i v terénu. Měření spektrometrem nabývá rostoucího zájmu nejrůznějších půdních aplikací. Jedním z důvodů je zcela určitě snaha o zjednodušení postupu při zpracování v laboratořích, kde se příprava vzorku skládá z jeho sušení a následného rozmělnování. Kvalita vzorku přitom není ovlivněna provedením jiných analýz. K zjištění hodnot navíc ve většině případů stačí provést jedno měření. Omezení spočívá v tom, že nelze přesně zjistit hodnoty proměnných. Je nutné tyto hodnoty porovnat s referenčními vzorky z kalibrace predikčního modelu, které znázorňují oblast půd, pro než je model sestaven. Další problém způsobují hlavně při analýze v terénu přírodní faktory, např. hladina podzemní vody.

3.1.4 Akustické a pneumatické senzory

Akustické a pneumatické senzory jsou alternativaou mechanických senzorů, které sledují vztah mezi pracovním nástrojem a půdou. Akustické senzory zpravidla slouží k zachycení půdní struktury, případně hustoty půdy. Měří změny v intenzitě hluku, vzniklé působením nástroje na půdní částice. Pneumatické senzory měří propustnost vzduchu, respektive tlak nutný k protlačení daného množství vzduchu do určité hloubky. Při zpracování výsledků se bere v úvahu půdní struktura a míra utužení (Adamchuk et Rossel, 2010).

3.1.5 Elektrochemické senzory

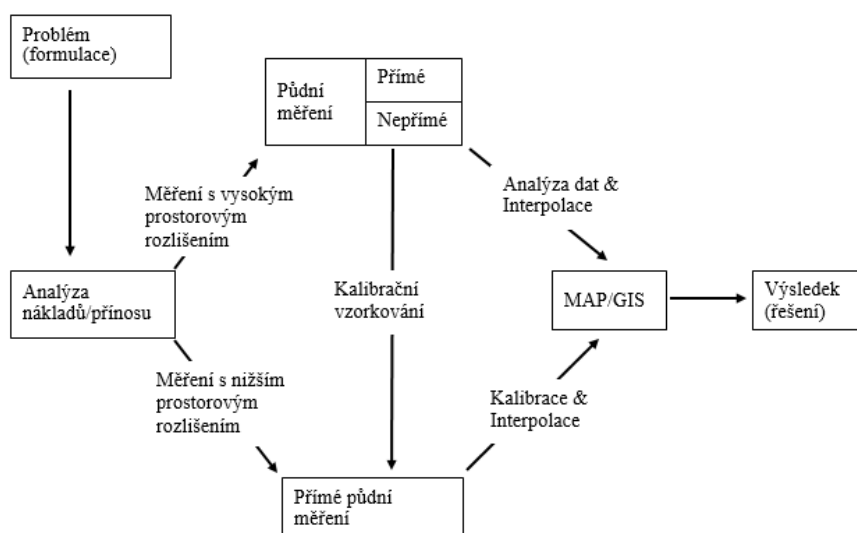
Elektrochemické senzory nejčastěji slouží ke zjištění obsahu půdních živin a pH půdy, jejichž hodnoty jsou významné pro precizní zemědělství. Měří se potenciometrickým senzorem s analytickými čidly (ISE - iontově selektivní elektrodou).

Měřícím komponentem je iontově selektivní membrána. Pro měření pH a oblastí půdních živin se používají různé membrány. ISE používané pro snímání půdy se vyskytují ve 3 formách (Lobsey et al., 2010):

- sklo,
- pevné skupenství,
- tekuté skupenství.

3.2 Půdní průzkum

Data lze získat různými způsoby, jak ukazuje De Gruijter et al. (2010) na průběhovém diagramu (viz Obr. 6). V závislosti na analýze nákladů a přínosu měření se dělí na Snímání půdy (Měření s vysokým prostorovým rozlišením) a Přímé měření (Měření s nižším prostorovým rozlišením).



Obr. 6: Průběhový diagram půdního měření (De Gruijter, J.J. et al, 2010; upraveno)

V případě snímání půdních vlastností existují 2 možnosti: přímé či nepřímé. Data z přímého (invazivního) měření se analyzují, interpolují a dále se již sestavuje pomocí programů (MAP/GIS) mapa půdní variability. Při nepřímém snímání se ještě navrhuje vzorkovací síť pro kalibrační měření, které se provádí invazivní formou.

Přímá půdní měření jsou pouze invazivní a kalibrace probíhá na již naměřených hodnotách. Následuje stejně tak jako u předchozího způsobu interpolace a zpracování programem MAP nebo GIS.

3.2.1 Finanční náročnost měření

Cílem zjištění půdní variability daného pozemku je to, aby návrh vzorkovací sítě dostatečně pokryl danou oblast. Měření většinou probíhá v pevně stanovených intervalech s rovnými paralelními liniemi, které tvoří pravidelnou síť odběrových míst. Velikost a tvar sítě je vhodné vybrat s ohledem na nejlepší počáteční bod pro interpolaci. Odtud se pokračuje až ke koncovému bodu, přičemž je třeba zaměřit se na proměnnou, kterou je nutné predikovat s ohledem na finanční náročnost měření. Podle způsobu zjištění nákladů a následné optimalizaci se rozlišuje De Gruijter et al. (2010) senzory na ty:

- s nutnostní zastavení

$$C = \frac{c_d}{w} + \frac{c_m}{wh} \quad (1)$$

C – variabilní cena měření (€·ha⁻¹)

c_d – hodinová sazba řidiče (€·hm⁻¹)

c_m – cena za jedno měření (€⁻¹)

w, h = šířka a délka, resp. vzdálenost jednotlivých míst vzorkovací sítě (jejich hodnota by měla být přibližně stejná)

- s kontinuálním provozem

$$T = \frac{1}{w \cdot v} \quad (2)$$

T – čas potřebný k naměření hodnot na 1 ha (min·ha⁻¹)

v – rychlost zařízení na němž je sensor (m·min⁻¹)

$$h = \frac{v}{f} \quad (3)$$

v – vyjádření ze vztahu

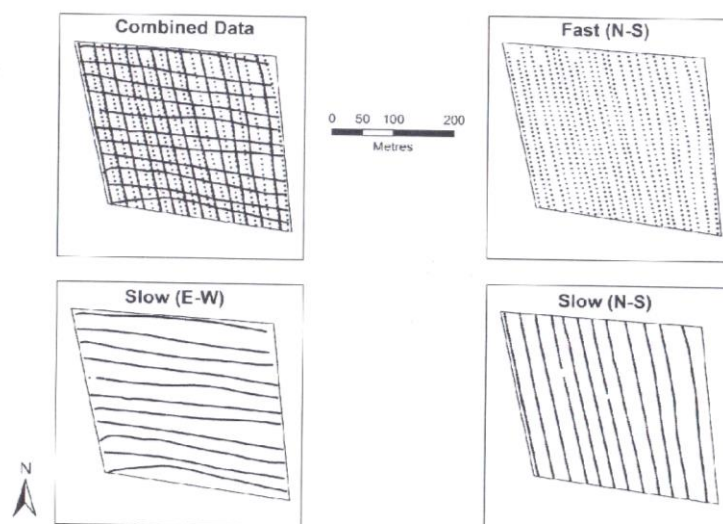
f – frekvence měření (min⁻¹)

$$w = \sqrt{6Q_r} \quad (4)$$

Q_r – vyjadřuje množství měření, vzhledem k minimalizaci cekových nákladů T se volí co nejmenší počet, avšak při zachování vypovídací schopnosti naměřených dat

Při nepřetržitém vzorkování se mohou při různých rychlostech měnit vzdálenosti mezi jednotlivými trajektoriemi vzorkovací sítě. Výsledná síť je potom kombinací jednotlivých linií, (viz Obr. 7) detail vlevo nahoře (Combined Data). Spodní detail obrázku

zachycuje měření s malou rychlostí ve směru sever-jih (N-S) a východ-západ (E-W). Napravo od detailu výsledné sítě je zachyceno vzorkování s vysokou rychlostí (Fast N-S) ve směru sever-jih a poloviční vzdáleností mezi jednotlivými vertikálními trajektoriemi v porovnání s detailem vpravo dole (Slow N-S). Měření bylo plynulé, bez nutnosti zastavení.



Obr. 7: Vzorkovací sítě při různých rychlostech měření (De Gruijter et al, 2010)

3.2.2 Návrh a hustota vzorkovací sítě

Pokud se provádí návrh vzorkovací sítě v kombinaci s nepřímým měřením, tak přichází na řadu až po něm. Získaná data mohou a nemusí sloužit k prvotnímu vytypování odběrových míst. Kalibrační i interpolační měření se provádí po zjištění prvotních hodnot, které mohou způsobit úpravu původního návrhu sítě. Výsledky se pak přenesou do mapy, která slouží k lokaci problémových oblastí, a odkud se nakonec odebírají vzorky. Vzhledem k tomu, že měření pomocí senzorů se odvíjí od pevně stanovené hodinové sazby, je výsledná hustota sítě větší než v případě odběru vzorků. Sazba za odběr vzorků se počítá za každý jeden odebraný vzorek, i proto se počet bodů vzorkovací sítě pohybuje v množství desítek míst. Avšak i přes finanční omezení je nutné navrhnout co nejlepší rozmístění bodů.

Klasický přístup

Na pozemcích s pravidelným tvarem je možné zvolit pravidelnou vzorkovací síť. Ta zajistí rovnoměrné pokrytí celé plochy (Kapička et al, 2014). Penížek et al. (2014) však

varuje před zachycením nechtěného trendu při volbě tohoto typu vzorkovací sítě (např. kolejové meziřádky). Uvádí, že v tom případě je vhodné rozdělit pozemek na stejně velké části, a v každé z nich umístit vzorek tak, aby tvořil nepravidelnou síť.

Moderní přístup

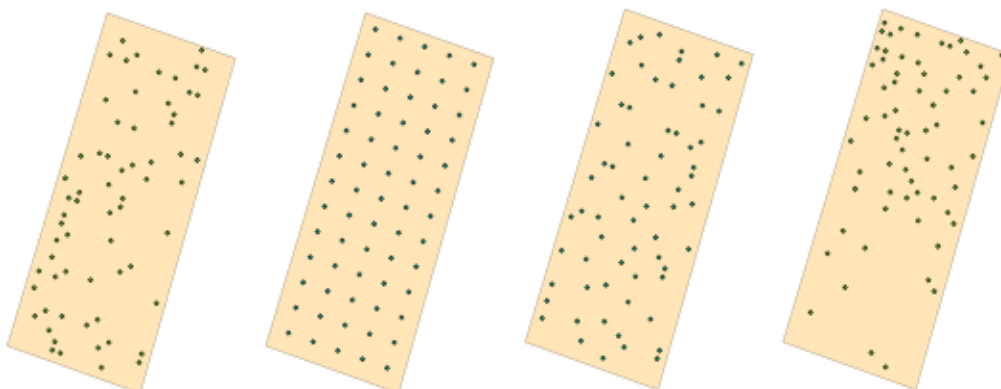
Kaplička et al. (2014) nicméně uvádí, že pokud se v některé části mapované oblasti kumulují variability, je možné v tomto místě navýšit počet odběrových míst. Pro zlepšení kvality predikce se též využívá doplňkových informací (např. digitální geografický model území ČR Zabaged, klasifikace reliéfu apod.). Pokud se jedná o využití informací o reliéfu mapovaného pozemku, mluvíme o tzv. stratifikované vzorkovací síti.

U pozemků s nepravidelným tvarem se oblast rozdělí do přibližně stejně velkých podoblastí. V každé z nich je místem odběru těžiště. Dalším metodou je náhodné rozmístění odběrových bodů ve sledovaném území.

Porovnání klasického a moderního přístupu

Počet vzorkovacích bodů lze stanovit 2 způsoby. První z nich vychází z analýzy různorodosti pomocných vlastností pozemku. K popisu variability slouží variogram. Druhou možností je stanovení množství odběrových míst podle účelu a měřítka mapy (Penížek et al., 2014).

Van Bergeijk et Goense (2001) při prokazování závislosti tahové síly na obsahu jílu v půdě zjistili, že použití metody ko-krigingu zpřesňuje výslednou mapu, čímž dochází ke snížení odběru půdních vzorků až o 20 %. Penížek et al. (2014) ve své studii porovnával 4 různá odběrová schémata s rozdílným uspořádáním vzorkovací sítě a množstvím odběrových bodů. Nejdříve byla zvolena maximální hustota vzorkovací sítě doporučená literaturou (65 vzorků), poté byl počet snížen na 40 odběrových míst. Posouzení správné hloubky a horizontu mapované oblasti se odvíjelo od jednotlivých bodů nezávislé odběrové sítě. Umístění bodů je patrné z Obr. 8.



Obr. 8: Návrhy vzorkovacích sítí, zleva: náhodná, pravidelná, nevyrovnaná a stratifikovaná dle reliéfu (Penížek et al., 2014)

Při hodnocení podle velikosti chyby predikce hloubky půdy (cm), RMSE (root mean square error) vyplývá, že nejlepe dopadl stratifikovaný návrh odběrových míst (STRAT), naopak nejhůře se umístila náhodná síť (RANDOM) s nevyrovnaným rozmístěním (viz. Tab. 4).

Tab. 4: Velikost chyby predikce hloubky půdy (v cm) u odlišných metod návrhu vzorkovací sítě

síť	RMSE	RMSErel.
RANDOM	17,7	1,0
PRAV	10,8	0,72
NEVYR	11,2	0,69
STRAT	7,5	0,43

Zdroj: Penížek et al., 2014

Co se týče vlivu hustoty pravidelné a stratifikované vzorkovací sítě na kvalitu predikce půdních vlastností dané oblasti, lze říci, že je jednoznačně lepší stratifikované rozmístění bodů. Opět se hodnotilo podle velikosti chyby predikce hloubky půdního profilu dle RMSE a RMSErel. Ve všech návrzích vzorkovací sítě o různé hustotě dosahuje stratifikovaná síť odběrových bodů lepších hodnot v porovnání s jejich pravidelným rozmístěním (viz Tabulka 5).

Tab. 5: Porovnání velikosti chyb při stratifikovaném a pravidelném rozmístění počtu bodů

počet bodů/sítě	RSME		RSMERel	
	PRAV	STRAT	PRAV	STRAT
65	10,8	7,5	0,63	0,46
40	11,8	9,8	0,72	0,60
24	16,5	14,1	1,00	0,86

Zdroj: Penížek et al., 2014

3.3 Kalibrační a interpolační metody

Kalibrační metody se využívají při návrhu vzorkovací sítě. Interpolace slouží k odhadu hodnot mezi vzorkovacími body.

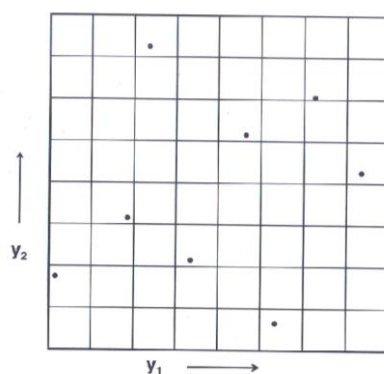
3.3.1 Kalibrační metody

Ke kalibraci se využívá následujících metod (De Gruijter et al, 2010):

- **Latin Hypercube sampling (LHS)**

Latin Hypercube sampling využívá náhodného výběru ze souboru vstupních hodnot ke zpracování výstupů nezkreslených odhadů distribučních parametrů. V porovnání s jednoduchým a vrstveným náhodným výběrem vzorkovacích míst je účinnější.

Metoda LHS je široce používána pro analýzy výstupu z již existujícího modelu, avšak nebylo jasné, zda by se dala použít také pro kalibraci. Minasny a McBratney (2006) dospěli k názoru, že je pro kalibraci nevhodná. Z šetření vyplývají dva hlavní důvody, které jejímu použití brání. Prvním je fakt, že je metoda Latin HyperCube sampling (LHS) založena na náhodném vzorkování. Pro kalibraci jsou vhodné hodnoty prognostik ležící v extrémech nebo v jejich těsné blízkosti. Druhým důvodem je fakt, že metoda LHS zaručuje umístění jednotlivých vzorků poblíž extrémů, avšak kombinace extrémů různých proměnných v rozích kostky je vzácná (viz Obr. 9). V případě uvedeného schématu navhli prognostici 8 odběrových míst.



Obr. 9: Návrh odběrových míst podle metody Latinské hyperkostky (De Gruiter et al, 2010)

- **Vzorkování na základě metodologie reakce povrchu**

Tento způsob kalibrace vznikl s cílem návrhu vhodných experimentů v souvislosti s optimalizací průmyslových procesů a produktů. Používá při návrhu vzorkovací sítě, kde slouží k optimalizaci návrhu uspořádání v oblasti prognózy s předpokládaným malým množstvím prognostiků.

- **Random Forest**

Porovnává mnohonásobnou lineární regresi (multiple linear regression MRL) a obrovskou spoustu náhodných regresí (random forest regression RF). Penížek et al. (2014) řadí tuto metodu mezi modely pro popis reliéfu a půdních vlastností. Jde o neparametrickou kombinovanou metodu, která slouží k regresi i klasifikaci. Aplikace spočívá ve vytváření rozhodovacích stromů, pro které je následně použita nejčastější hodnota vrácená jednotlivými stromy.

- **Analýza nejasného seskupení (Fuzzy Cluster Analysis)**

Tvoří nejasné podsystémy objektů, přičemž vztah mezi jednotlivými články podsystému kolísá mezi hodnotami 0 a 1. Kromě využití v pedimetrii, kde se podle vztahů mezi články sestavují mapy s postupným přechodem mezi jednotlivými třídami článků, lze využít tuto metodu i pro vzorkování. Vložení vektorových dat do oblasti prognózy a použitím této metody, je možné na základě analýzy vztahů podsystémů navrhnout vzorkovací síť s parametry vhodnými pro kalibraci.

3.3.2 Interpolační metody

Odhadují hodnotu mezi vzorkovacími body, tzn. okolní hodnotu každého bodu zasahující až k bodu dalšímu. Doberse (2002) uvádí následující použití interpolace pro tyto případy:

- V místech, kde chybí hodnota z důvodu velké vzdálenosti mezi jednotlivými body, ztrátě dat nebo výpadku senzorů.
- Pokud je navržena nerovnoměrná odběrová síť, ale je třeba ji změnit na pravidelnou.
- Při nepřehlednosti měření, kde se používá k hodnocení dalších hodnot, snižujících nepřesnosti.

Lukas et al. (2011) uvádí, že nejpoužívanějšími metodami jsou kriging a inverse distance weighting.

Metoda kriging je metoda založená *“na výpočtu lokálně vážených průměrů pohyblivého okna z měřených hodnot”* (Lukas et al., 2011, s. 10). Váhy pro predikci se určují podle variogramu. Variogram se snaží o minimalizaci chyb tím, že postihuje změnu závislosti prostoru se vzdáleností a směrem. Právě kvůli minimalizaci chyb v predikci se řadí mezi velmi spolehlivé metody. U každé predikce stanovuje rozptyl (Lukas et al., 2011).

Metoda inverzního vážení vzdálenosti (inverse distance weighting) zjišťuje vzdálenost bodu od ostatních bodů v okolí. *“Způsob výpočtu vah každého bodu je inverzně proporcionální k vzdálenosti od bodu odhadu”* (Brodský, 2004 in Lukas et al., 2011, s.11). Váha roste se zmenšující se vzdáleností mezi měřenými a interpolovanými body, naopak se snižuje, pokud jejich vzdálenost roste. Tato metoda je parametrizovatelná, neboť jediným parametrem je hustota. Hodnota parametru se většinou pohybuje v jednotkách od 1 do 5, přičemž určuje rychlost snižující se hodnoty vah ve vztahu k nárůstu vzdálenosti bodů od bodu interpolovaného (Lukas et al., 2011). Gotway et al (1996 in Lukas et al., 2011) zmiňuje výskyt tzv. bull eyes, které tvoří ve výsledné mapě lokálně silně ohraničené oblasti kruhového tvaru.

Lukas et al. (2011) uvádí jako výhodu oproti krigingu to, že není třeba vypočítat ani pak modelovat variogram, avšak výrazným nedostatkem je fakt, který nedovoluje stanovit chybu predikce na základě rozptylu predikovaných hodnot.

Hodnocení interpolačních metod se provádí na základě cross-validation metody, stanovující odchylky výstupních predikovaných hodnot od vstupní datové vrstvy (Isaaks et Srivastava, 1989 in Lukas et al, 2011). Principem je vyjmutí jednoho bodu ze souboru a provedení výpočtu predikce modelem nebo příslušnou metodou. Tento způsob hodnocení se provádí v celém souboru dat. Vybírá se postup, při jehož testování bylo dosaženo nejpřesnější predikce, tzn. vykazuje nejmenší odchylky (Lukas et al., 2011).

4 Přenos dat

Přenos dat je možný skrze komunikační sběrnice, a to využitím CAN nebo ISO BUS, bezdrátové sítě (Wireless Sensor Network) nebo prostřednictvím telematiky.

4.1 Komunikační sběrnice

Sběrnice neboli BUS slouží k přenosu dat. Využívá tzv. komunikačního protokolu. Komunikační protokol lze chápat jako specifikaci definující postupy a parametry používané při komunikaci, tj. vysílání i přijímání dat. Jedná se např. o formát zasílaných dat. Formát datových souborů definuje norma ISO 11 787.

V zemědělství se přenášejí data v rámci jízdní soupravy. Nejčastěji je to mezi traktorem nebo jiným mobilním strojem, resp. připojeným nářadím (ISO) nebo v rámci samotného prostředku (CAN).

4.1.1 CAN BUS

Sériový komunikační protokol (Controller Area Network) CAN vyvinula firma Bosch původně pro automobilový průmysl. CAN však už dávno není využíván jen v automobilech. Kvůli relativně nízké ceně, vysoké přenosové rychlosti, poměrně snadné rozšiřitelnosti a dostupné součástkové základně se stal velmi oblíbeným všude, kde je třeba zajistit komunikaci dvou prvků mezi sebou v rámci jednoho systému (traktoru nebo jakéhokoliv mobilního stroje). Používá se například pro přenos dat o tahové síle a prokluzu. Hlavní výhoda spočívá ve využití v precizním zemědělství, kde je CAN BUS s využitím GPS navigace schopný přenášet data do počítače v reálném čase (Bauer et al., 2006). Polák (2003) dodává, že kromě toho se vyznačuje vysokou přesností. CAN BUS je definovaný normou ISO 11 898.

Z principu zajišťují komunikaci mezi dvěma uzly zprávy. Žádost o data a datovou zprávou. Management sítě signalizuje chyby, a v případě problému pozastavuje či úplně zastavuje komunikaci. CAN sběrnice se skládá ze tří různých vrstev (Polák, 2003):

- CAN vrstvy objektů,
- CAN transportní vrstvy,
- Fyzické vrstvy (pouze přenáší bity).

Vrstva objektů se skládá ze všech služeb a funkcí v rámci linkové vrstvy, tj. nalezení zprávy k odeslání i zjištění ohledně toho, která z transportních vrstev bude použita. Navíc poskytuje základ aplikační vrstvě.

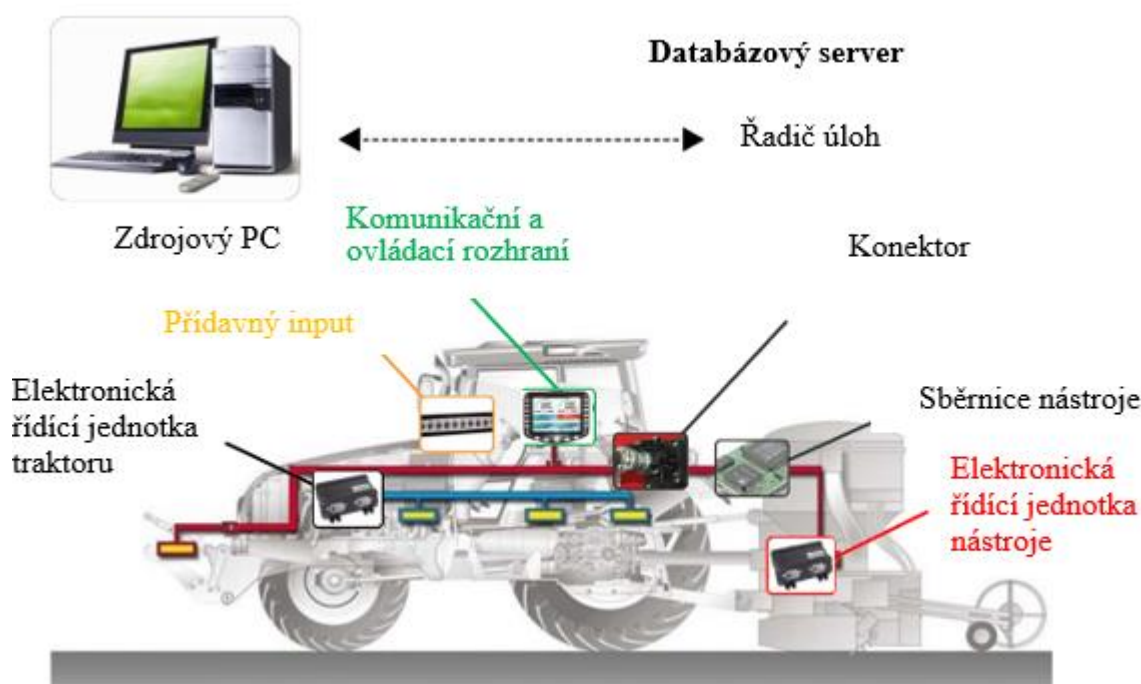
Transportní vrstva má za úkol převést protokol. To může zahrnovat řízení, zjišťování a signalizaci chyb. Dává vědět, jestli je sběrnice volná pro příjem nebo naopak přenos dat.

4.1.2 ISO BUS

ISO BUS (International Standardization Organization Binary Unit System) lze přeložit jak standardizovaný binární systém na mezinárodní úrovni. Zjednodušeně řečeno se jedná o standardizované rozhraní. Norma ISO 11783 charakterizuje fyzická spojení, formát dat, způsoby přenosu apod. (Magrix, 2015).

Na masivní vývoj ISO BUS měla vliv skutečnost, že zemědělci často kombinují traktor jedné značky s nářadím jiné. Při rostoucím využitím elektronických systémů docházelo k problémům v jejich komunikaci a synchronizaci dat. Realizace tohoto komunikačního protokolu vznikla v jedné z divizí skupiny Kverneland, nizozemského výrobce Vicon koncem 90. let 20. století (Farmers Guardian, 2015).

Magrix (2015) uvádí, že ISO BUS zajišťuje komunikaci mezi mobilním prostředkem a jakýmkoliv připojeným nářadím. Navíc je plně kompatibilní s ostatními mobilními systémy a softwarem používaným daným zemědělským subjektem. Spojení pracovního nářadí s traktorem zajišťuje kabel, na jehož konci je konektor pro připojení. Kabel kromě přenosu dat zajišťuje i napájení jednotky ISO BUS. Princip technologie ISO BUS znázorňuje Obr. 10.



Obr. 10: Fungování ISO BUS (Lab, 2009; upraveno)

ISO BUS funguje na principu “Plug and Play” neboli automatické konfigurace. Jde o automatické rozpoznání a konfiguraci nově přidaného hardware, v našem případě pracovního stroje. Stejného principu se využívá například při přenosu dat pomocí USB (Magrix, 2015).

4.2 Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové sítě (Wireless sensor networks), dále jen WSN mají z hlediska lokace a dostupnosti senzorových dat v reálném čase velký potenciál. Jednou z pěti kategorií WSN, které uvádí Wang et al. (2006) je právě využití v rámci precizního zemědělství. Kromě řízení závlah a variabilní aplikace hnojiv uvádí použití i pro sběr prostorových dat.

Problémem bezdrátového přenosu je však fakt, že při odesílání dat někdy dochází ke zpoždění i ztrátě části dat. Pak již nelze o WSN zcela říci, že se jedná o real-time přenos. Cardell-Oliver et al. (2013) uvádí jako výhody komprese dat nižší spotřebu energie vynaložené na samotný přenos, “menší” zatížení sítě mimo špičku a prodloužení životnosti přenosového zařízení.

4.3 Telematika

Dovol (2011) ve své práci uvádí, že telematika vzdáleně sleduje pohyb a provozní veličiny vozidla. Telematické systémy kombinují získaná provozní data stroje s daty o aktuální poloze stroje GPS. Data se přenáší na server společnosti, která poskytuje přenos, a to s frekvencí danou výrobcem. Uživatelé se k těmto datům přihlašují přes webové stránky nebo skrze software nainstalovaný v počítači. K zachycení GPS signálu slouží anténa připevněná na stroji. K anténě, napájení a síti CAN BUS je připojený modem s integrovanou baterií a SIM kartou.

Přes telematický systém je možné kontrolovat i obsluhu stroje (co dělá, kde se nachází, jestli dodržuje stanovenou rychlost prováděné operace apod.).

Ze srovnání telematických systémů od značek John Deere, Agco Advance Technology, Claas a ECS Invention, které provedl Dovol (2011) vyplývá, že se John Deere se svým systémem JDLink orientuje na servis a péči o stroj více než ostatní srovnávaní výrobci. Autor dále podotýká, že záleží na výrobcu, která data považuje za důležité. Od toho se potom odvíjí možnosti, které je schopný nabídnout zákazníkovi. Nejvíce přehledný hodnotí systém AGCommand od společnosti Agco Advance Technology. Značnou variabilitu poskytuje systém od výrobce ECS Invention, který je možné instalovat bez CAN BUS.

5 Cíl práce

Cílem předkládané diplomové práce je využití provozních ukazatelů strojů pro sledování půdní variability pozemku. Vedle komerčně více či méně dostupných měřících zařízení se snaží prokázat a obhájit vypovídací schopnost senzoru i jakékoliv elektroniky, kterou je možné celkem snadno využít v kombinaci s pracovními stroji tak, aby bylo dosaženo měření provozních ukazatelů strojní soupravy a zároveň měření půdních vlastností pomocí senzoru při obhospodařování pozemku.

6 Metodický postup

V rámci práce byly sledovány provozní ukazatele strojů a vodivost půdy s využitím galvanicky kontaktního způsobu měření i bezkontaktní metody měření. Účelem měření bylo zjistit a popsat vliv variability pozemku na provozní ukazatele. Rovněž byla z reakcí přístrojů nalezena a definována variabilita pozemku. Z provozních ukazatelů byla sledována tahová síla potřebná k tažení pluhu při orbě a aktuální spotřeba paliva. K měření vodivosti půdy byly použity standardní stroje pro zpracování půdy, upravené pro potřeby měření.

6.1 Sledované pozemky

Pozemek 1 se nachází v lokalitě Nové Strašecí a je dlouhodobě využíván Školním zemědělským podnikem Lány České zemědělské univerzity. Konkrétně se jedná o mapový čtverec 780 1030, kód 0006 patřící do katastrálního území Nové Strašecí.

Vrchní jihozápadní část leží v nadmořské výšce 440 m. Pozemek se dále svažuje severovýchodním směrem až na 420 m.n.m. Veřejný registr půdy (Land Parcel Information System), dále jen LPIS uvádí průměrnou nadmořskou výšku 429 m při průměrné sklonitosti 2.5°. Výměra mapového čtverce je 8,82 ha. Jedná se o ornou půdu. Převládá hnědozem modální, ale v jihozápadní části pozemku se nachází kambizem modální.

Pozemek 2 obhospodařuje ZD Dolany. Pozemek spadá do katastrálního území Dolany u Jaroměře. Výměra pozemku je 14,25 ha. Na pozemku převládá půdní typ hnědozem modální. Jedná se rovněž o sklonitý pozemek. Rovinatá severní část pozemku se postupně svažuje k jihovýchodu, kde přechází opět v rovinu. Nadmořská výška pozemku se pohybuje v rozpětí 300 až 325 m. n. m.

6.2 Postup měření

Měření elektrické vodivosti půdy během práce stroje

Účelem měření bylo experimentálně ověřit, zda je možné, s provedením úprav, využít komerčně nabízený stroj na zpracování půdy nebo setí k měření elektrické vodivosti a mapování půdních podmínek během práce stroje. Úpravy stroje spočívaly v galvanickém odizolování jednotlivých pracovních nástrojů stroje, které přichází do přímého kontaktu s půdou. Z požadavku na měření bylo zapotřebí takto odizolovat 4 pracovní nástroje, které

následně sloužily jako elektrody. Jedná se o dvě proudové a dvě napěťové elektrody. K měření byly vybrány dva typy strojů: kypřič a secí stroj v kombinaci předset'ovou přípravou.

Dlátový kypřič DUOLENT DX 210 N byl zapůjčený firmou Farnet a. s. Při celkové šíři pracovního záběru 2,1 m je osazen 5 radlicemi. Na stroji byla izolována 4 dláta vložením nevodivého materiálu mezi slupici a rám stroje. S kypřičem Duolent bylo měřeno při podmítce strniště na pozemku číslo 1. U secího stroje Falcon 6 bylo jako izolantu využito odpružení jednotlivých slupic talířového podmítače pomocí pryžového uložení. K měření bylo využito 5 talířů z první řady. Měření probíhalo na pozemku 2 při setí jarní pšenice.

V obou případech byl měřen proud přiváděný na proudové elektrody a výstupní napětí na elektrodách napěťových. Hodnoty se zaznamenávaly společně s údaji o poloze do měřicí ústředny v intervalu 5 s.

Na obou pozemcích bylo provedeno referenční měření pomocí sondy EM 38 MK2. EM 38 MK2 je produktem společnosti Geonics Limited a řadí se mezi bezkontaktní senzory. Měření probíhalo na bázi on-the-go, tzn. za jízdy, kdy byla sonda tažena terénní čtyřkolkou (viz Obr. 11). Čtyřkolka byla navíc vybavena ústřednou a přijímačem GPS signálu, aby byla vypovídací schopnost senzoru spjata s aktuální pozicí měřícího zařízení.



Obr. 11: Měřicí souprava pro měření vodivosti půdy pomocí elektromagnetického senzoru EM 38 (foto Kroulík, 2013)

Měření tahové síly

K měření tahové síly bylo využito záznamu hodnot elektrického napětí, které se odečítalo z čidel elektro-hydraulického závěsu traktoru. Tento způsob měření umožňuje záznam tahové síly bez dodatečného vybavení soupravy speciálními měřicími prvky. Výstupní hodnoty z čidel byly zaznamenávány do měřicí ústředny společně s informacemi o poloze stroje. Interval měření byl nastaven na 2 s.

Spotřeba paliva

Pro měření provozních údajů o motoru traktoru bylo využito univerzálního diagnostického modulu TEXA od společnosti Actia. K propojení byl použit Navigator TXTs od společnosti TEXA, což je interface mezi zobrazovací jednotkou (počítačem nebo PDA) a vozidlem. Přístroj Navigator TXTs komunikuje s řídicími jednotkami osobních, lehkých užitkových i nákladních vozidel, návěsů, přívěsů, autobusů, zemědělských strojů, motocyklů a lodí.

Přístroj k měření využívá vlastních snímačů traktoru prostřednictvím jeho řídicích jednotek, přesnost měření je tedy závislá na přesnosti čtených informací z řídicí jednotky traktoru.

Záznam byl ukládán do polního počítače, který byl umístěn v traktoru. Díky společné časové základně s GPS přijímačem byly následně hodnoty spárovány s údaji o poloze stroje. Ze záznamu hodnoty byly využity údaje o aktuální hodinové spotřebě, která byla následně přepočítána na spotřebu hektarovou.

Získaná data byla následně podrobena zpracování v programovém balíčku ArcGIS 10.2 (ESRI, Redlands, USA) a Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

6.3 Úprava dat

Pro úpravu dat bylo použito prostorového klouzavého průměru. Ten slouží k vyhlazení liniových dat, tedy hodnot proměnných v čase nebo údajů, které se nachází podél zjištěné linie. Postup spočíval v nahrazení původní naměřené hodnoty váženým aritmetickým průměrem sousedních hodnot, přičemž velikost sousedství a váhy přidělené různě vzdáleným hodnotám odpovídaly stanovenému modelu (Horák et Horáková, 2003).

Horák et Horáková (2003) dále uvádí, že většinou se využívá pro výpočet zejména přímých sousedních hodnot. Tím je myšlena hodnota v řádku, kde počítáme klouzavý průměr i hodnota nad a pod touto hodnotou. Počítá se s hodnotami před a za číslem, které

se vyhlazuje. Výpočty z hodnot, které nemají s nahrazovanou hodnotou společné hranice, tzn. nejsou jejími přímými sousedy, se využívá minimálně, a to z důvodu vzniku nepřesností při lokalizaci zjištěných hodnot.

Horák et Horáková (2003) uvádí pro výpočet následující vzorec:

$$z'_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} * z_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (5)$$

kde:

z_j původní hodnoty v sousedních areálech

w_{ij} váha hodnoty v sousedním areálu j pro výpočet z místa i

j index vymezující sousední areály

z'_i vyhlazená hodnota z areálu i

7 Výsledky a diskuse

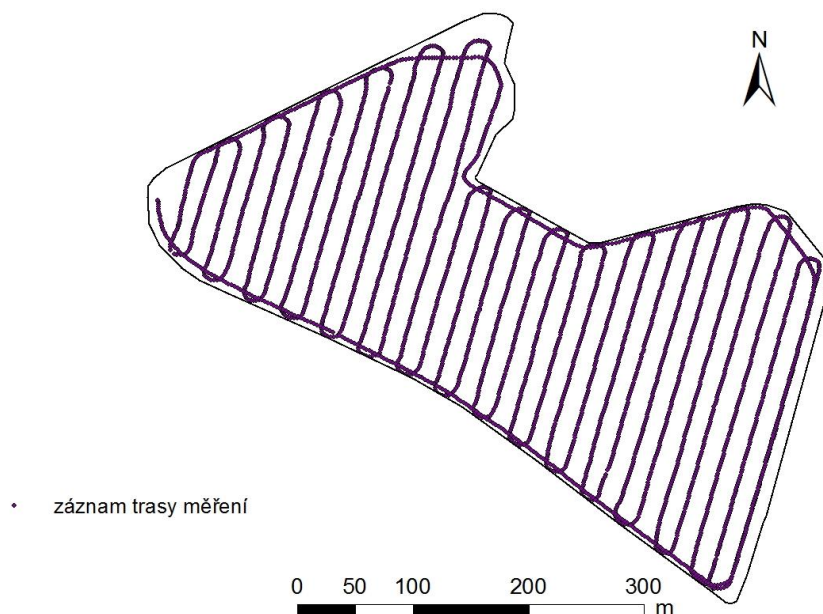
V této kapitole bude popsán postup úpravy naměřených dat. Vše bude doloženo příslušnou dokumentací.

7.1 Zpracování naměřených hodnot z pozemku 1

Na pozemku 1 se uskutečnilo měření vodivosti sondou EM 38 MK2 a dlátovým kypřičem. Hloubka zpracování půdy kypřičem byla 0,12 m. Následovala orba s hloubkou zpracování 0,25 m. Při ukládání dat bylo rozlišeno, jestli se jedná o souvratě, směr 1 (ze svahu) nebo směr 2 (proti svahu). Během orby byly zaznamenány provozní ukazatele (tahová síla, rychlost soupravy a spotřeba paliva), které byly vyhodnoceny nejprve pro každý směr zvlášť, a poté je provedeno srovnání.

7.1.1 Vodivost

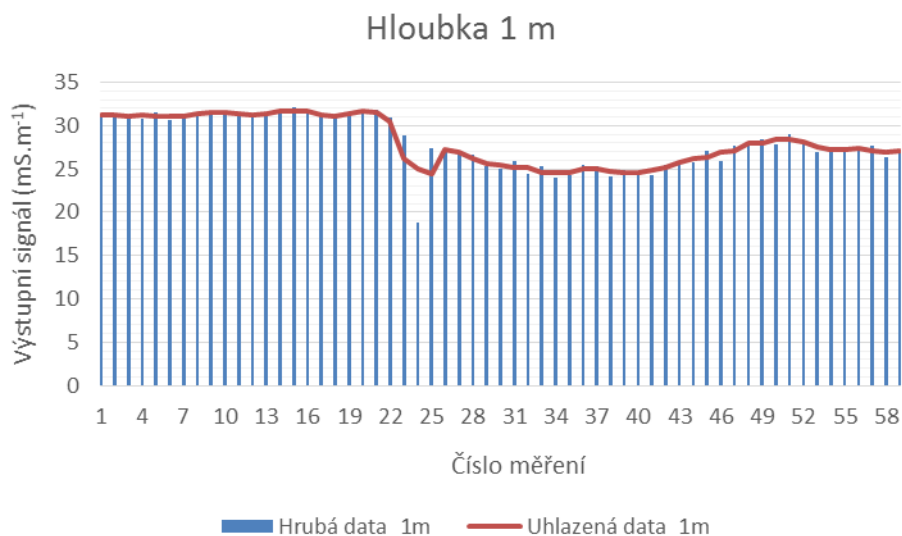
Jako první bylo na pozemku uskutečněno měření vodivosti půdy pomocí sondy EM 38 MK2. Jednotlivé jízdy byly od sebe vzdáleny 12 m. Rozmístění jednotlivých jízd je zobrazeno na Obr. 12. Jízdy rovněž respektovaly směr zpracování půdy a setí.



Obr. 12: Záznam trasy měření na pozemku v Novém Strašecí (autor)

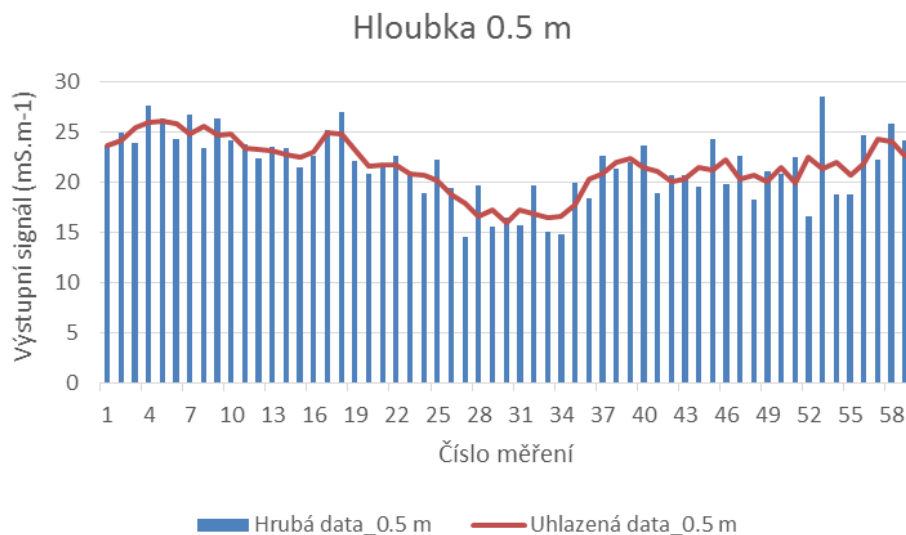
Měření vodivosti sondou proběhlo ve dvou hloubkách: 0,5 m a 1 m. Data byla do ústředny zaznamenávána s intervalem 1 s. Výstupní hodnoty byly vyhlazeny pomocí

analytického nástroje klouzavý průměr. Srovnání hrubých a vyhlazených dat znázorňují grafy na Obr.13 a Obr. 14.



Obr. 13: Průběh hodnot elektrické vodivosti ze sondy před a po vyhlazení_1m (autor)

Účinnost vyhlazení je vidět zejména na grafu Obr 14, který znázorňuje větší rozdíly v impulzech vodivosti hloubky 0,5 m.



Obr. 14: Průběh hodnot elektrické vodivosti ze sondy před a po vyhlazení_0.5m (autor)

Rozsah vyjádřený maximem a minimem hodnot dokládají mimo jiné variabilitu souboru dat. Podle Granadose (2002) vykazují data normální rozdělení, pokud se šikmost pohybuje mezi hodnotami -2 až 1.

Pro srovnání dat naměřených v hloubce 0,5 i 1 m půdního profilu bylo použito nástroje popisná statistika. Statistické hodnoty po vyhlazení dat celého vzorku dat ze sondy lze vidět v Tab. 6 a 7. V obou tabulkách je možné vidět, že většina hodnot se liší o 10 jednotek. Vyšších hodnot jednotlivých statistických ukazatelů dosahují právě data z hloubky 1 m půdního profilu.

Rozsah hodnot v rozpětí mezi minimální a maximální hodnotou dokládá variabilitu jednotlivých souborů dat. V případě měření v hloubce 0.5 i 1 m půdního profilu je rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou souboru víceméně stejný. Šikmost se pohybuje mírně nad rozpětím, které stanovil Granados (2002), avšak rozdělení dat lze stále považovat za normální.

Tab. 6: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 1 m

CV1m_VP	
Stř. hodnota	33.56
Chyba stř. hodnoty	0.09
Medián	31.91
Modus	29.78
Směr. odchylka	6.05
Rozptyl výběru	36.59
Variační koeficient (%)	18.02
Špičatost	1.74
Šikmost	1.27
Minimum	18.41
Maximum	61.68
Počet	4070.00

Zdroj: Autor

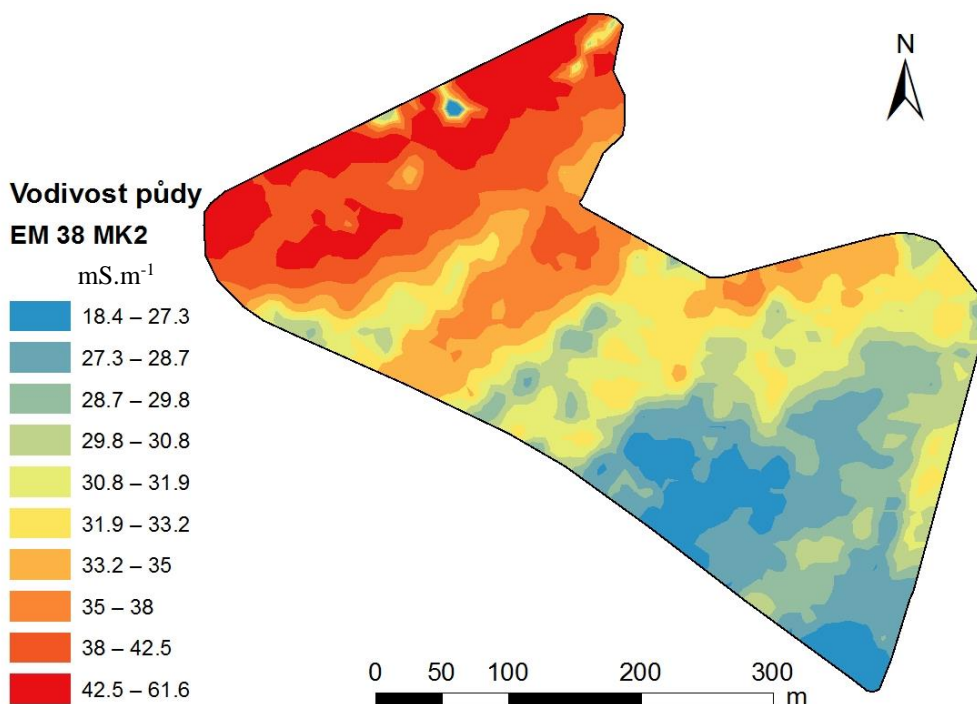
Z porovnání obou tabulek je vidět, že větší rozdíly byly zaznamenány právě při měření do 0.5 m (viz Tab. 7). Lze tedy usuzovat, že variabilitu lépe zachytilo měření do 0,5 m. U hloubky 1 m jsou hodnoty více vyrovnané.

Tab. 7: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 0.5 m

CV05m_VP	
Stř. hodnota	24.22
Chyba stř. hodnoty	0.08
Medián	23.48
Modus	25.74
Směr. odchylka	4.88
Rozptyl výběru	23.79
Variační koeficient (%)	20.14
Špičatost	3.24
Šikmost	1.31
Minimum	10.59
Maximum	50.96
Počet	4070.00

Zdroj: Autor

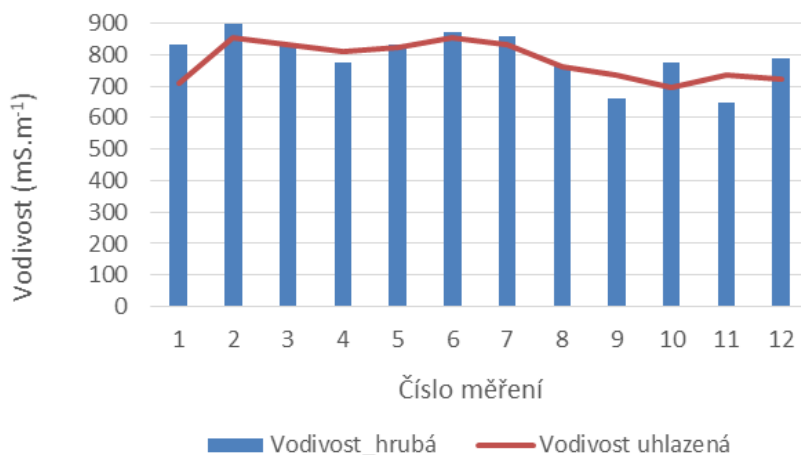
Po zpracování výsledků elektrické vodivosti sondou EM 38 byla vytvořena mapa vodivosti, viz Obr.15. Z mapy je zřejmé, že největší měrná vodivost byla naměřena v severní části pozemku a nejnižší v jižní části.



Obr. 15: Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 1 m (autor)

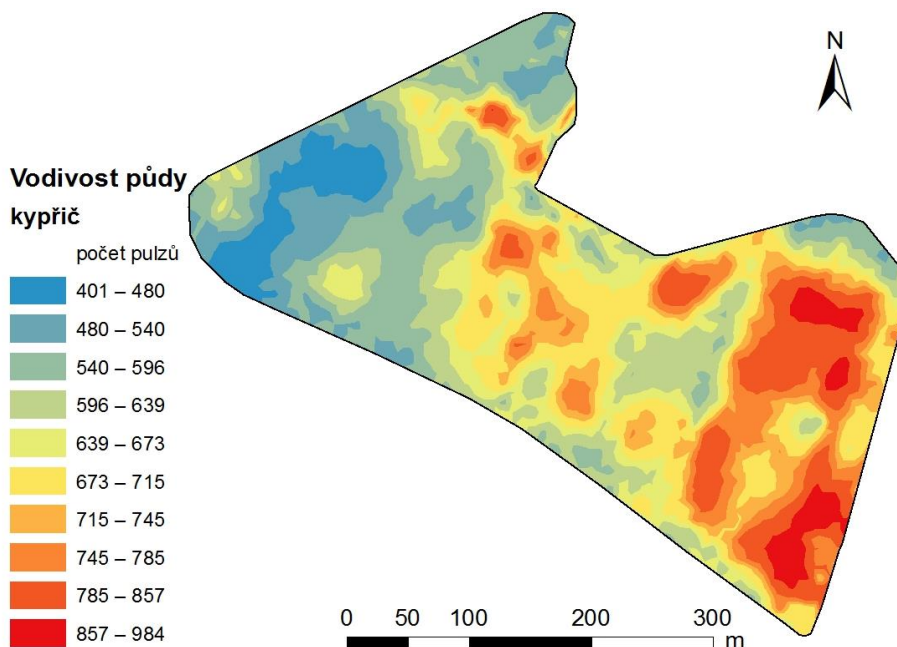
Vodivost se měřila také upraveným radličkovým kypřičem DUOLENT DX 210 N. Graf na Obr. 16, zachycuje 12 hodnot s intervalem mezi jednotlivými impulzy 5 s. Časový interval datové řady je stejný jako u sondy. Vzdálenost elektrod, respektive dlát kypřiče

odpovídala hloubce měření do 1m, proto je zde vidět částečná shoda se záznamem sondy z 1 m na Obr. 13.



Obr. 16: Průběh hodnot elektrické vodivosti z kypřiče před a po vyhlazení kypřič (autor)

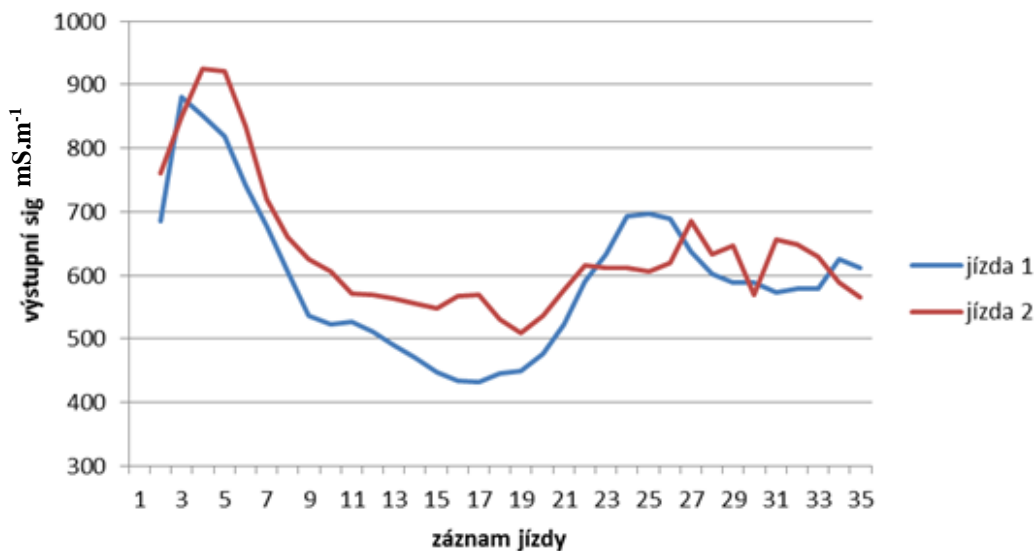
Variabilitu impulzů naměřených kypřičem zobrazuje mapa na Obr.17. Na mapě je jasně vidět, že severozápadní část pozemku se vyznačovala impulzy o nižší hodnotě. Naopak maximálních hodnot bylo dosaženo ve východní části pozemku.



Obr. 17: Mapa impulzů napěťových elektrod dlátového kypřiče (autor)

Po dokončení měření vodivosti byla ještě ověřena opakovatelnost měření ve čtyřech náhodně vybraných trajektoriích jízdy. Jednalo se o dvě souběžné jízdy v těsné

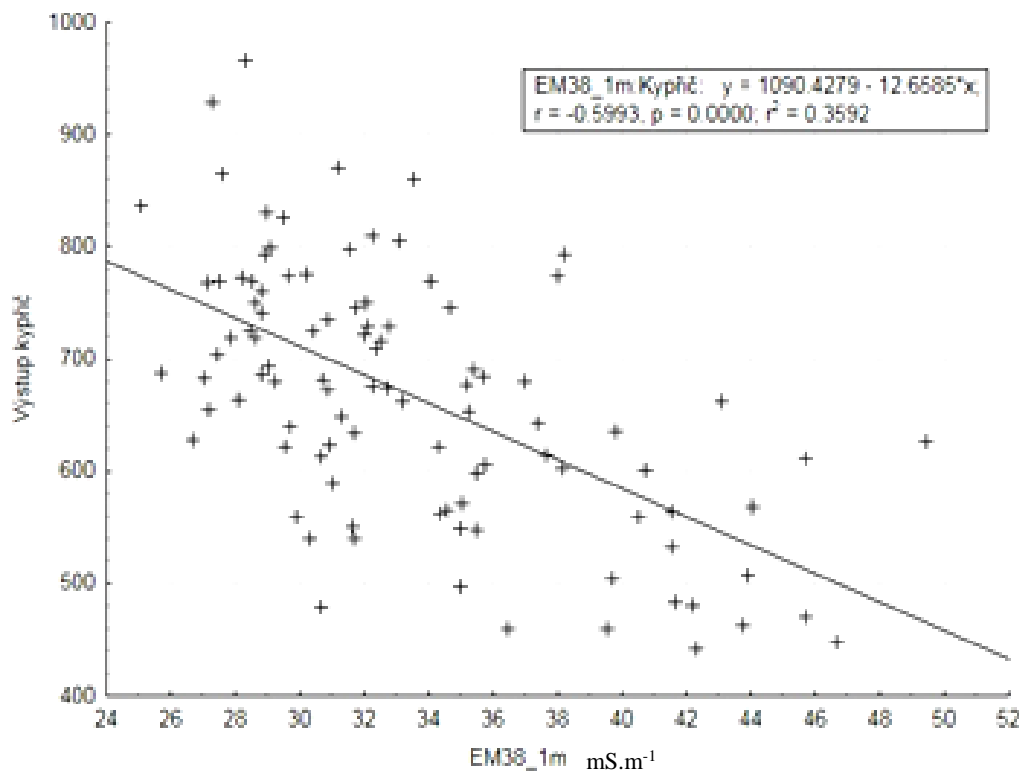
blízkosti, ačkoliv byl mezi trajektoriemi odstup odpovídající záběru stroje. Data vykazovala značnou podobnost, což je vidět z grafu na Obr. 18. Jejich porovnáním bylo dosaženo korelačního koeficientu $R = 0.41$ a $R = 0.86$.



Obr. 18: Záznam opakované jízdy při měření kypřičem (autor)

Závislost výsledků měření ze sondy EM 38 a radličkového kypřiče byla řešena analýzou regrese a korelace. Tuto závislost znázorňuje graf na Obr. 19. Koeficient determinace $R^2 = 0,36$ a koeficient korelace $R = -0.59$. Graf dále ukazuje test významnosti.

Vzhledem k tomu, že hodnota p je výrazně nižší než hladina významnosti $\alpha = 0.05$ lze považovat koeficient korelace za statisticky významný. Pravý horní roh grafu dále ukazuje rovnici regrese. Regresivní model byl celkově posouzen jako staticky významný, ačkoliv měření provázely komplikace. Vzhledem k tomu, že nebyla zaznamenána jedna z naměřených hodnot, je namísto vodivosti uveden na ose y uvedena pouze hodnota jednotlivých pulzů.



Obr. 19: Závislost hodnot ze sondy EM 38 a kypřičem (autor)

7.1.2 Provozní ukazatele traktoru

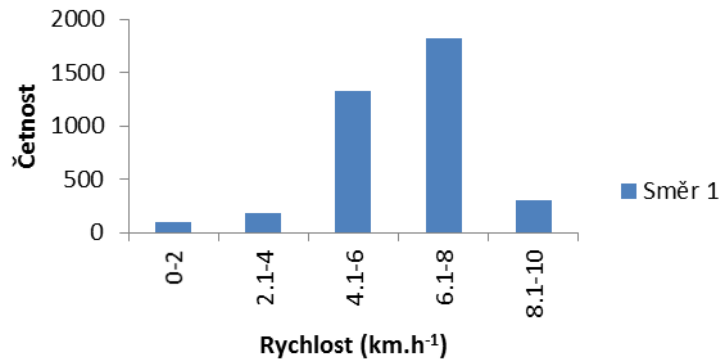
Předmětem měření byla tahová síla, spotřeba a rychlost. Naměřená data byla rozdělena podle směrů. V úvahu byla vzata pouze produkční plocha, proto směr 0, tedy souvratě byly vynechány. Směr 1 znamená směr orby ze svahu, směr 2 zachycuje jízdu proti svahu. Data byla pro každý směr vyhodnocena pomocí četnosti, která se stala podkladem k tvorbě histogramů. Každý z provozních ukazatelů stroje byl ještě pro oba směry porovnán pomocí popisné statistiky.

Před zpracováním dat podle dílčích směrů byly odstraněny extrémní hodnoty. Konkrétně byly odstraněny hodnoty tahové síly do 20 kN, rychlost nad 10 km.h⁻¹, a spotřeba do 5 l.ha⁻¹. Podkladem k vyhodnocení extrémnosti odstraněných hodnot bylo znázornění hodnot formou grafu.

Dále budou prezentovány výsledky četnosti provozních ukazatelů traktoru (tahové síly, rychlosti a spotřeby) ve směru 1 i 2. Jednotlivé četnosti zobrazují histogramy. Každý provozní ukazatel traktoru je porovnán pomocí popisné statistiky pro oba směry.

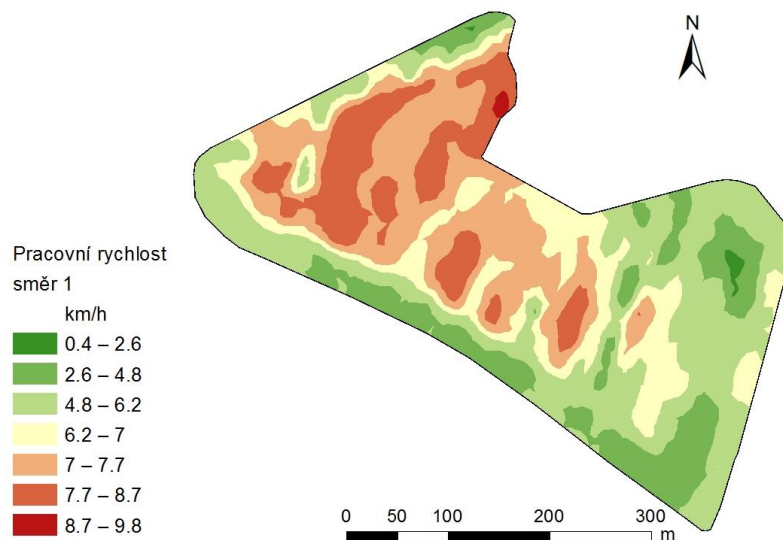
Rychlost

Při orbě ve směru 1 se rychlost soupravy pohybovala nejčastěji v rozpětí 6,1 až 8 km.h⁻¹ (viz Obr. 20). Poměrně malá četnost se vyskytla u rychlosti do 2 km.h⁻¹, konkrétně 103 hodnot vyhovujících tomuto rozpětí. U rychlosti v opačném směru byl rozdíl již větší (viz Tab. 17 a 18, Příloha 2).



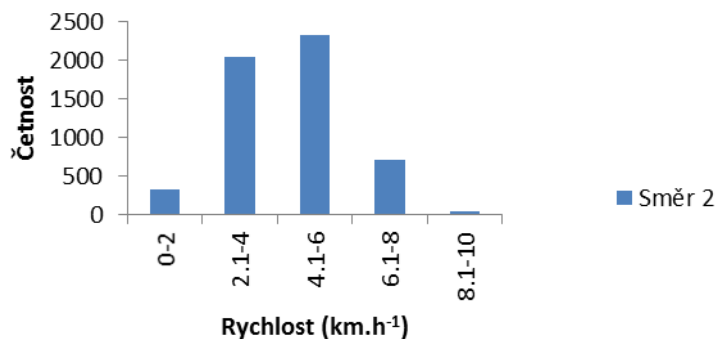
Obr. 20: Závislost četnosti na rychlosti ve směru 1 (autor)

Z prostorového zobrazení směru 1 na Obr. 21 lze vyčíst, že po okrajích pozemku a v jihovýchodní části byla orba prováděna menší pojezdovou rychlostí. Tato skutečnost však může mít za příčinu čas potřebný k rozjetí soupravy poté, co se otáčela na souvrati. Střed pozemku a zejména jeho severovýchodní část byla prováděna rychlostí 7 - 10 km.h⁻¹.



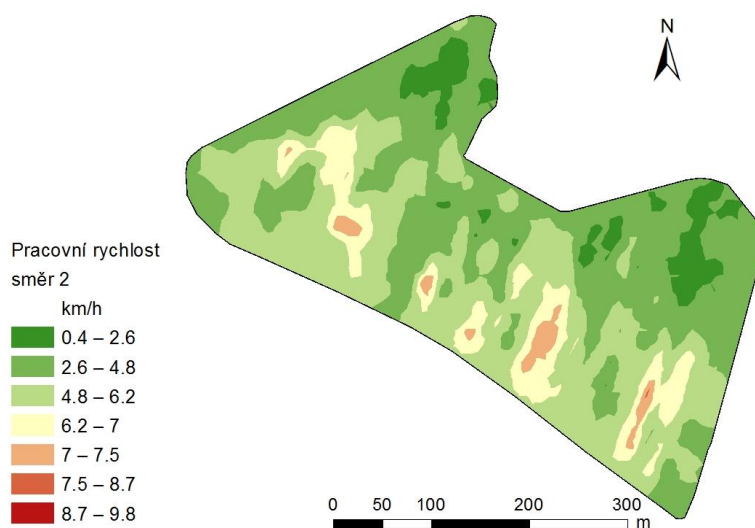
Obr. 21: Mapa rychlosti ve směru 1 (autor)

Jak je vidět z histogramu na Obr. 22, hodnoty rychlosti ve směru stoupání se pohybují v rozpětí 4,1 - 6 km.h⁻¹. Toto rozpětí vykazuje četnost více než 2300 hodnot (viz Tab. 18, Příloha 2). O necelých 300 hodnot menší četnost má rozpětí 2,1 - 4 km.h⁻¹.



Obr. 22: Závislost četnosti na rychlosti ve směru 2 (autor)

Zobrazení směru 2 na Obr. 23, ukazuje převahu nižších rychlostí. Světle zelená, která je zástupcem rychlosti 4,8 – 6,2 km.h⁻¹ převládá, což potvrzuje tvzení histogramu z Obr. 22.



Obr. 23: Mapa rychlosti ve směru 2 (autor)

Při porovnání obou směrů je zřejmé, že při provádění orby ve směru 2, tedy stoupání je vyšší četnost rychlosti do 2 km.h⁻¹. Větší množství dat ve směru 2 je důsledkem poklesu rychlosti při orbě proti svahu, a tím pádem naměřeno větší množství dat. Rozdíl mezi četnostmi tohoto rozpětí rychlosti v obou směrech je cca 200 hodnot (viz Tab. 17 a 18, Příloha 2). Lze se tedy domnívat, že traktorista musel proti svahu častěji zastavovat, neboť docházelo zřejmě ke značnému prokluzu.

Porovnání obou směrů zobrazuje Tab. 8. Minimální hodnoty v obou směrech jsou rovny nule. K určení minimální hodnoty rychlost nedošlo z důvodu, právě proto, aby bylo možné zjistit, v kterém směru řidič častěji zastavoval. Maximální hodnota se liší jen nepatrně.

Tab. 8: Porovnání rychlostí ve směru 1 a 2

Rychlost (km.h⁻¹)			
směr 1		směr 2	
Stř. hodnota	6.06	Stř. hodnota	4.23
Chyba stř. hodnoty	0.03	Chyba stř. hodnoty	0.02
Medián	6.16	Medián	4.15
Modus	6.43	Modus	4.06
Směr. odchylka	1.55	Směr. odchylka	1.55
Rozptyl výběru	2.39	Rozptyl výběru	2.40
Variační koeficient (%)	25.52	Variační koeficient (%)	36.59
Špičatost	1.72	Špičatost	-0.28
Šikmost	-1.00	Šikmost	0.17
Minimum	0.00	Minimum	0.00
Maximum	9.84	Maximum	9.79
Počet	3740.00	Počet	5465.00

Zdroj: Autor

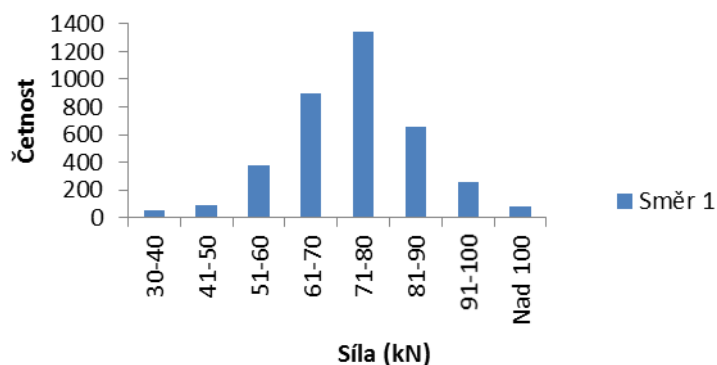
Síla

Aktuální znalost tahové síly je v mnoha ohledech užitečným nástrojem. Výsledky mohou být v běžné praxi použity pro srovnání energetické náročnosti používaných technologií zpracování půdy, ověření technických změn na strojích, optimalizaci nastavení stroje a ověření agrotechnických zásahů na pozemcích.

Hodnoty síly byly odečítány ze silových čepů. Byly snímány hodnoty napětí na výstupu. Tyto hodnoty byly přepočteny na tahovou sílu na základě předchozí kalibrace silových čepů. Ze záznamu tahové síly byly odebrány hodnoty do 20 kN, a to z důvodu, že se hodnoty pod touto hranicí vyskytovaly zejména na souvratích, kde byl pluh vyhlouben. Očištěním dalších dvou sledovaných proměnných spotřeby a rychlosti došlo k odebrání hodnot do 30 kN. Z tohoto důvodu začínají oba histogramy až od této hodnoty. Přehled četností u jednotlivých rozpětí zobrazuje Tab. 19 a 20, Přílohy 2.

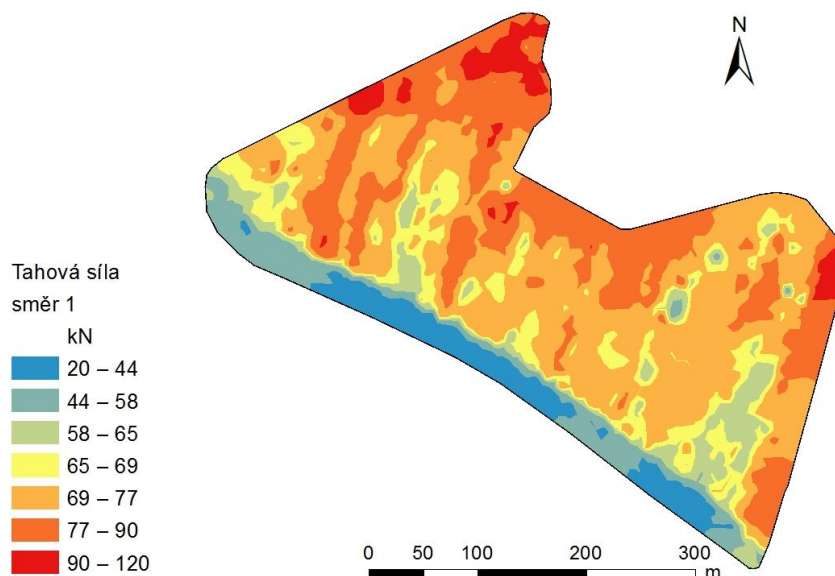
Největší četnost hodnot ve směru 1 je u rozpětí síly 71 - 80 kN (viz Obr. 24 a Tab. 19, Příloha 2). Je to překvapivé, vzhledem k tomu, že souprava nemusela překonávat odpor

stoupání. Důvodem zjištěné skutečnosti mohou být však nevhodné podmínky, za kterých byla orba provedena.



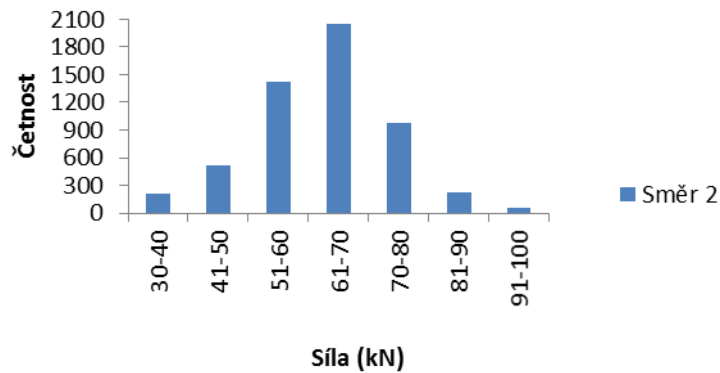
Obr. 24: Závislost četnosti na tahové síle ve směru 1 (autor)

Z mapy na Obr. 25 je vidět, že nejnižší tahová síla byla na západní hranici pozemku. Pokud se vyskytuje nízká rychlost po délce jedné ze stran pozemku jako v tomto případě, vypadá to, nelze jasně tvrdit, že se jedná o variabilitu v rámci pozemku. Spíše než na variabilitu pozemku to vypadá na najíždění na produkční plochu po otáčení na souvratích. Tahová síla kolem 70 kN převládá téměř na celém pozemku. Maximální tahová síla se nachází zejména v severovýchodní části pozemku.



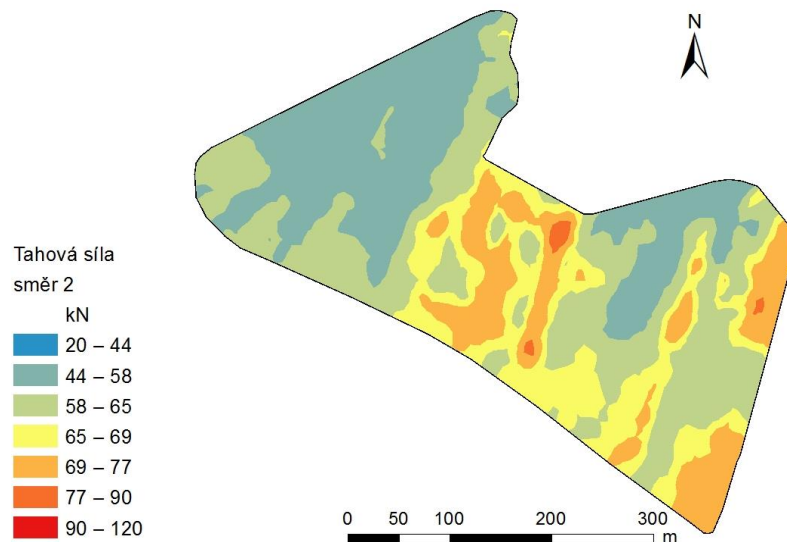
Obr. 25: Mapa tahové síly ve směru 1 (autor)

Na Obr. 26 je zobrazen histogram pro směr jízdy 2. Převládá četnost u rozpětí 61 - 70 kN. V porovnání s předchozím směrem se jedná o rozdíl cca 10 kN. Druhou největší četnost měla tahová síla v rozpětí 51 - 60 kN.



Obr. 26: Závislost četnosti na tahové síle ve směru 2 (autor)

Prostorové zobrazení tahové síly na Obr. 27 ukazuje na převahu tahové síly kolem 40 kN v severní části pozemku. Ve střední a jihozápadní části pozemku se vyskytují hodnoty od 60 do 70 kN, což odpovídá četnosti na Obr. 26.



Obr. 27: Mapa tahové síly ve směru 2 (autor)

Při porovnání obou sil (viz Tab. 9) byla zjištěna stejná hodnota minimální síly. Překvapením je však oproti očekávání maximální tahová síla, která se ve směru 1 liší oproti směru 2. Vliv na tento rozdíl může mít kromě směru i obsah jílů v půdě nebo půdní vlhkost.

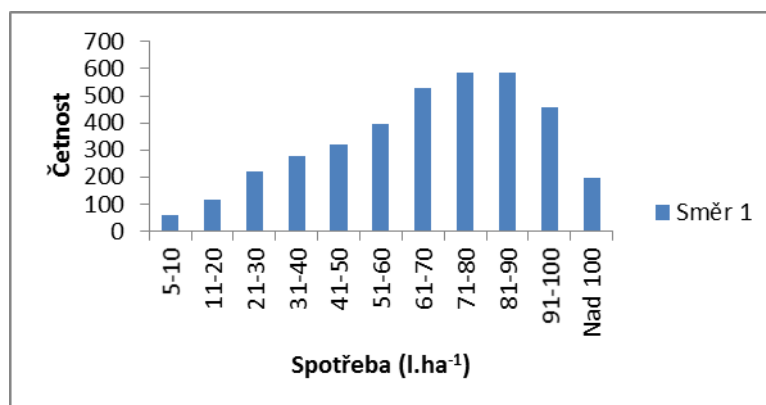
Tab. 9: Porovnání tahové síly ve směru 1 a 2

Síla (kN)			
směr 1		směr 2	
Stř. hodnota	73.27	Stř. hodnota	62.33
Chyba stř. hodnoty	0.21	Chyba stř. hodnoty	0.15
Medián	73.50	Medián	62.49
Modus	70.82	Modus	61.60
Směr. odchylka	12.69	Směr. odchylka	11.34
Rozptyl výběru	161.08	Rozptyl výběru	128.61
Variační koeficient (%)	17.32	Variační koeficient (%)	18.19
Špičatost	0.71	Špičatost	0.44
Šikmost	-0.02	Šikmost	-0.09
Minimum	31.54	Minimum	31.54
Maximum	115.46	Maximum	109.81
Počet	3740.00	Počet	5465.00

Zdroj: Autor

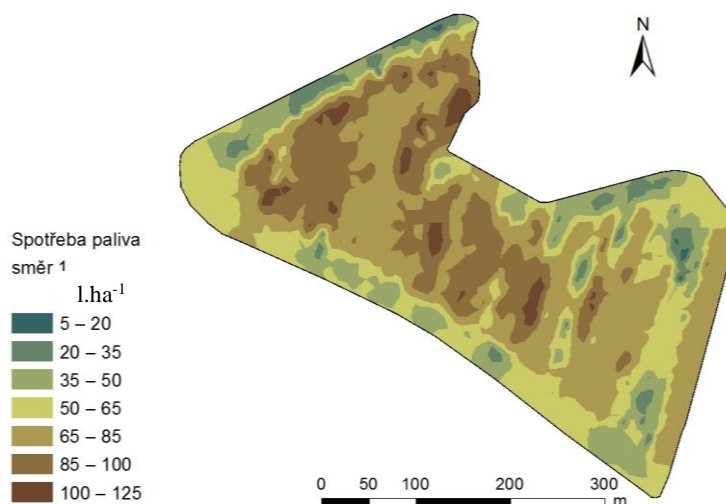
Spotřeba

Největší četnosti ve směru 1 dosahují podle histogramu na Obr. 28 rozpětí, 71 - 80 l.ha⁻¹ a 81 - 90 l.ha⁻¹. Obě rozpětí mají stejnou hodnotu, jak uvádí Tab. 21 a 22 v Příloze 2.



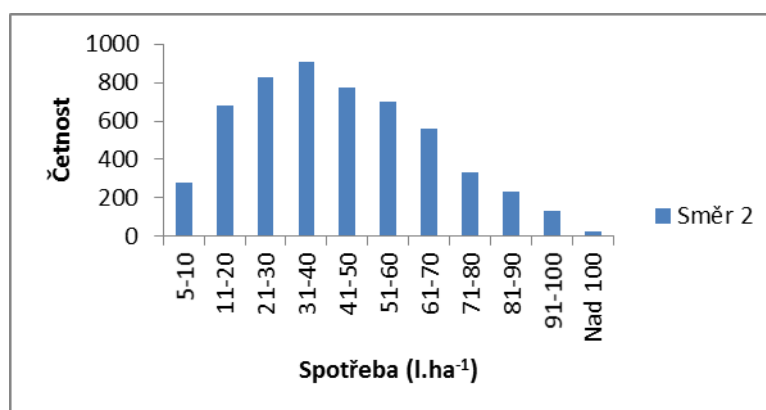
Obr. 28: Závislost četnosti na spotřebě ve směru 1 (autor)

Četnost hodnot jednotlivých rozpětí spotřeby paliva na Obr. 28 potvrzuje i mapa směru 1 na Obr. 29. Uprostřed pozemku od severní k jižní straně odpovídají barvy zastupující jednotlivé rozsahy spotřeby paliva hodnotám na histogramu (viz Obr. 28).



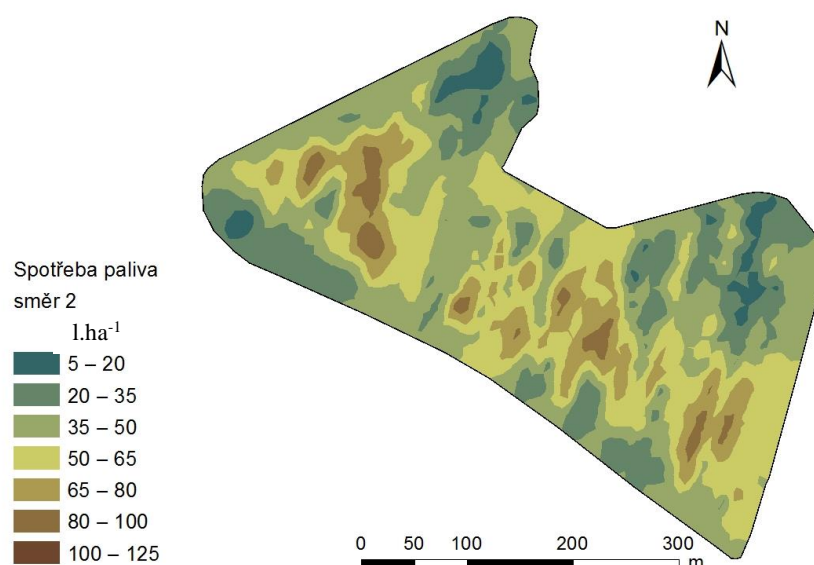
Obr. 29: Mapa spotřeby paliva ve směru 1 (autor)

U směru 2 se významná část dat, pohybuje do hodnoty 60 l.ha⁻¹. Největší četnost vykazuje rozpětí 31 - 40 l.ha⁻¹, což může souviset s faktem, že ve směru 2 bylo dosaženo menší tahové síly oproti směru 1.



Obr. 30: Závislost četnosti na spotřebě ve směru 2 (autor)

Spotřeba ve směru 2, zobrazená formou mapy na Obr. 31, zobrazuje přibližně stejná rozpětí spotřeby jako histogram na Obr. 30. Při východních i západních hranicích pozemku převládá nižší spotřeba. V prostoru mezi těmito hranicemi převládá spotřeba od 50 do 60 l.ha⁻¹. Ostatní plochu odpovídá spotřebě s největší četností a rozpětím 30 - 40, respektive 50 l.ha⁻¹ v případě mapy.



Obr. 31: Mapa spotřeby paliva ve směru 2 (autor)

Při porovnání obou směrů bylo stejně tak jako u tahové síly, dosaženo větší maximální síly ve směru 1. Základ pro minimální hodnotu v obou směrech byl upraven již před zjištěním četností. Hodnota v obou směrech se pohybuje podle Tab. 10 mírně nad hranicí 5 l.ha⁻¹.

Zvýšená spotřeba ve směru 1 byla pravděpodobně způsobena tím, že tahová síla v tomto směru byla také větší v porovnání se směrem opačným. Lze se domnívat, že na zvýšenou spotřebu měla vliv i rychlost a nevhodné podmínky pro zpracování půdy.

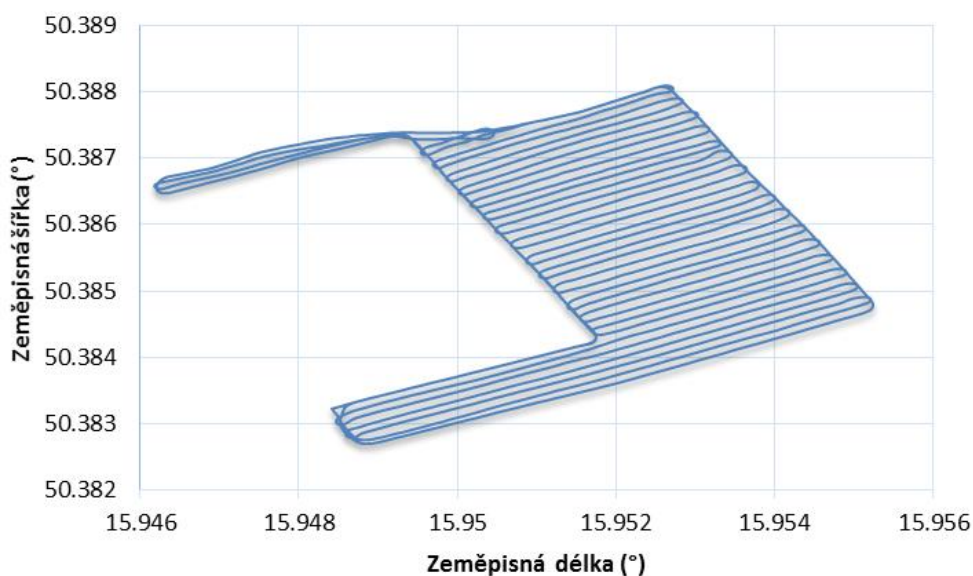
Tab. 10: Porovnání spotřeby ve směru 1 a 2

Spotřeba (l.ha ⁻¹)			
směr 1		směr 2	
Stř. hodnota	65.68	Stř. hodnota	42.93
Chyba stř. hodnoty	0.41	Chyba stř. hodnoty	0.31
Medián	69.23	Medián	40.42
Modus	81.58	Modus	42.80
Směr. odchylka	24.82	Směr. odchylka	22.63
Rozptyl výběru	616.14	Rozptyl výběru	512.33
Variační koeficient (%)	37.79	Variační koeficient (%)	52.72
Špičatost	-0.61	Špičatost	-0.55
Šikmost	-0.42	Šikmost	0.41
Minimum	5.00	Minimum	5.01
Maximum	125.20	Maximum	112.47
Počet	3740.00	Počet	5465.00

Zdroj: Autor

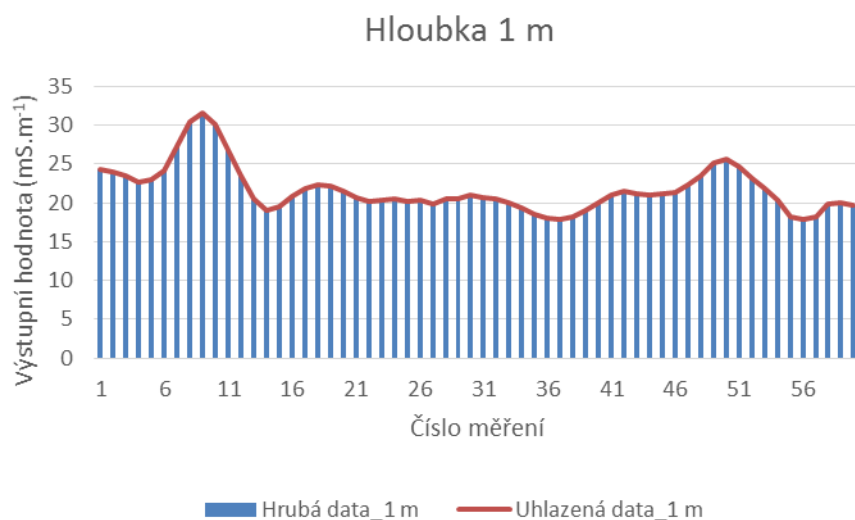
7.2 Zpracování naměřených hodnot z pozemku 2

Na pozemku 2 v Dolanech se měřila elektrická vodivost sondou EM 38 MK2 do hloubky půdního profilu 0,5 i 1 m a secím strojem Falcon 6. Sonda byla stejně jako u předchozího pozemku tažena čtyřkolkou. Rozmístění jednotlivých trajektorií je znázorněné na Obr. 32.



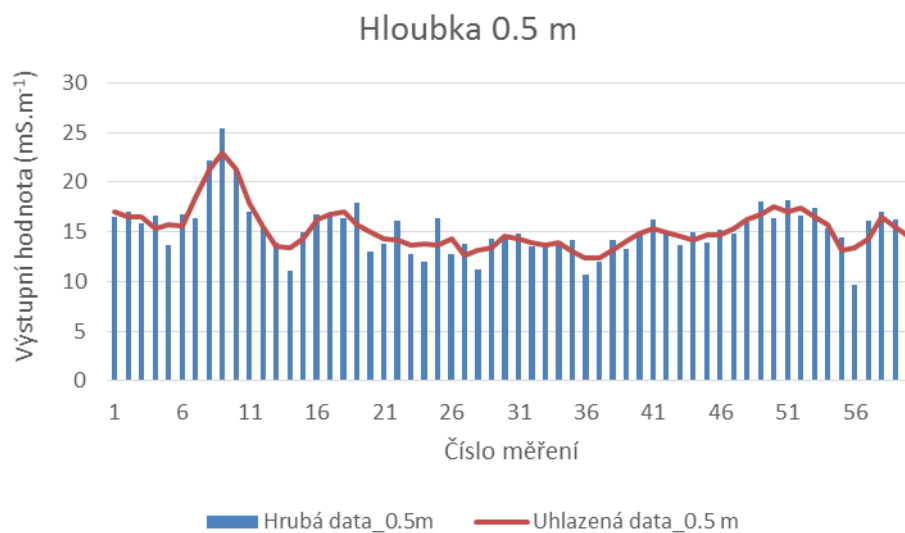
Obr. 32: Záznam trasy měření na pozemku 2 (autor)

Z naměřených dat byl vybrán reprezentativní vzorek hodnot s časovým intervalem 5 s. Vyhlazená data z hloubky 1 m velice přesně kopírují data hrubá. Variabilitu původních dat zachycuje sloupcový graf a data upravená nástrojem klouzavý průměr je znázorněný spojnicovým typem grafu. Průběh hodnot vzorku dat hloubky 1 m znázorňuje graf na Obr. 33, u hloubky 0,5 m je to graf na Obr. 34.



Obr. 33: Reprezentativní vzorek hodnot vodivosti v hloubce půdního profilu 1 m (autor)

Při pohledu na grafy na Obr. 33 i 34 je velmi pravděpodobné, že variabilitu vodivosti zachytilo již měření do hloubky 0,5 m a se zvyšující se hloubkou jeho hodnota v jednotlivých měřených bodech pouze narostla v řádu jednotek. Dovoluji si tvrdit, že měření do hloubky 1 m odstranilo rušivé vlivy, které se ukázaly na grafu z hloubky 0,5 m (viz Obr. 34). V tomto případě rostla kvalita naměřených dat úměrně s hloubkou, ve které byla data pořízena.



Obr. 34: Reprezentativní vzorek hodnot vodivosti v hloubce půdního profilu 0,5 m (autor)

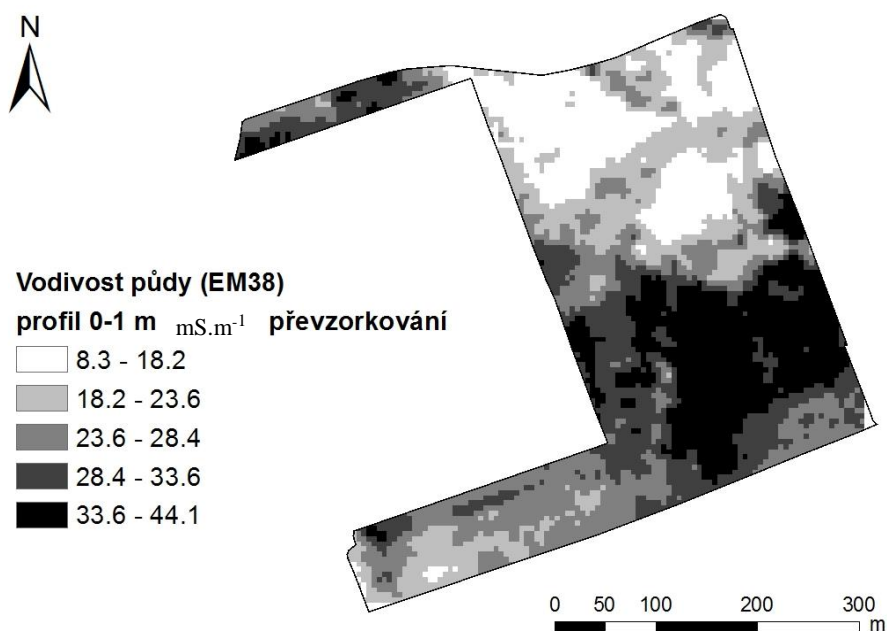
Popisná statistika dat z půdního profilu 1 m (viz Tab. 11) poukazuje na rozsáhlé množství zpracovávaných dat. Šikmost dat se pohybuje v normálním rozdělení. Rozptyl výběru je poměrně velký.

Tab. 11: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 1 m (Dolany)

CV1 m_VP(D)	
Stř. hodnota	34.22
Chyba stř. hodnoty	0.13
Medián	33.49
Modus	32.03
Směr. odchylka	9.53
Rozptyl výběru	90.73
Variační koeficient (%)	27.83
Špičatost	-0.68
Šikmost	0.17
Minimum	12.67
Maximum	56.78
Počet	5296.00

Zdroj: Autor

Mapa na Obr. 35, znázorňuje měření půdního profilu do hloubky 1 m, sondou EM 38. Z mapy je možné vidět, že menší hodnoty vodivosti byly naměřeny v severovýchodní části pozemku, a naopak nejvyšší hodnoty vodivosti se týkají jihovýchodní části.



Obr. 35: Mapa vodivosti na pozemku v Dolanech, půdní profil 0 - 1m (autor)

Možná i kvůli výrazné podobnosti kolísání dat na Obr. 33 a 34, se nápadně podobně mění i data naměřená v hloubce půdního profilu 0,5 m (viz Tab. 12) a 1 m (viz Tab. 11). Rozdílem oproti hodnotám z hloubky 1 m je fakt, že s uhlazením poklesla maximální hodnota. Střední hodnota dat z 0,5 m se pohybuje téměř pod hranicí 26 a chyba střední hodnoty je velmi malá. Lze tedy konstatovat, že uhlazená data se vyznačují poměrně vysokou přesností.

Tab. 12: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 0.5 m (Dolany)

CV05_VP(D)	
Stř. hodnota	25.99
Chyba stř. hodnoty	0.11
Medián	25.85
Modus	22.70
Směr. odchylka	7.73
Rozptyl výběru	59.74
Variační koeficient (%)	29.74
Špičatost	-0.75
Šikmost	0.08
Minimum	7.70
Maximum	44.57
Počet	5296.00

Zdroj: Autor

Dalším zařízením pro zjištění vodivosti na pozemku v Dolanech byl secí stroj Falcon. Oproti kypřiči DUOLENT použitému na pozemku v Novém Strašecí vykazoval mnohem větší přesnost, a to hlavně díky odstranění zjištěných nedostatků při měření s kypřičem.

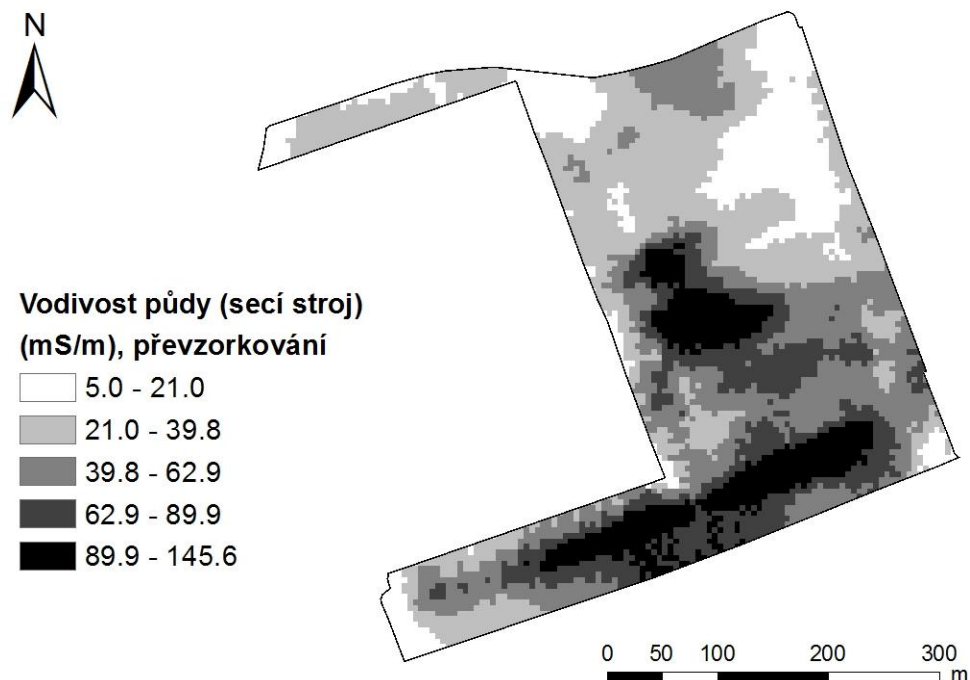
Hodnoty v Tab. 13 jsou zjištěny popisnou statistikou z upravených dat. Střední hodnota se pohybuje kolem hodnoty 48, přičemž je poměrně velká chyba střední hodnoty. Hodnoty modus a mediál jsou vyrovnané.

Tab. 13: Statistika uhlazených dat vodivosti ze secího stroje Falcon

Vodivost_secí stroj Falcon	
Stř. hodnota	48.09
Chyba stř. hodnoty	1.23
Medián	36.15
Modus	36.15
Směr. odchylka	43.26
Rozptyl výběru	1871.40
Variační koeficient (%)	89.96
Špičatost	3.97
Šikmost	1.84
Minimum	0.76
Maximum	300.55
Počet	1240.00

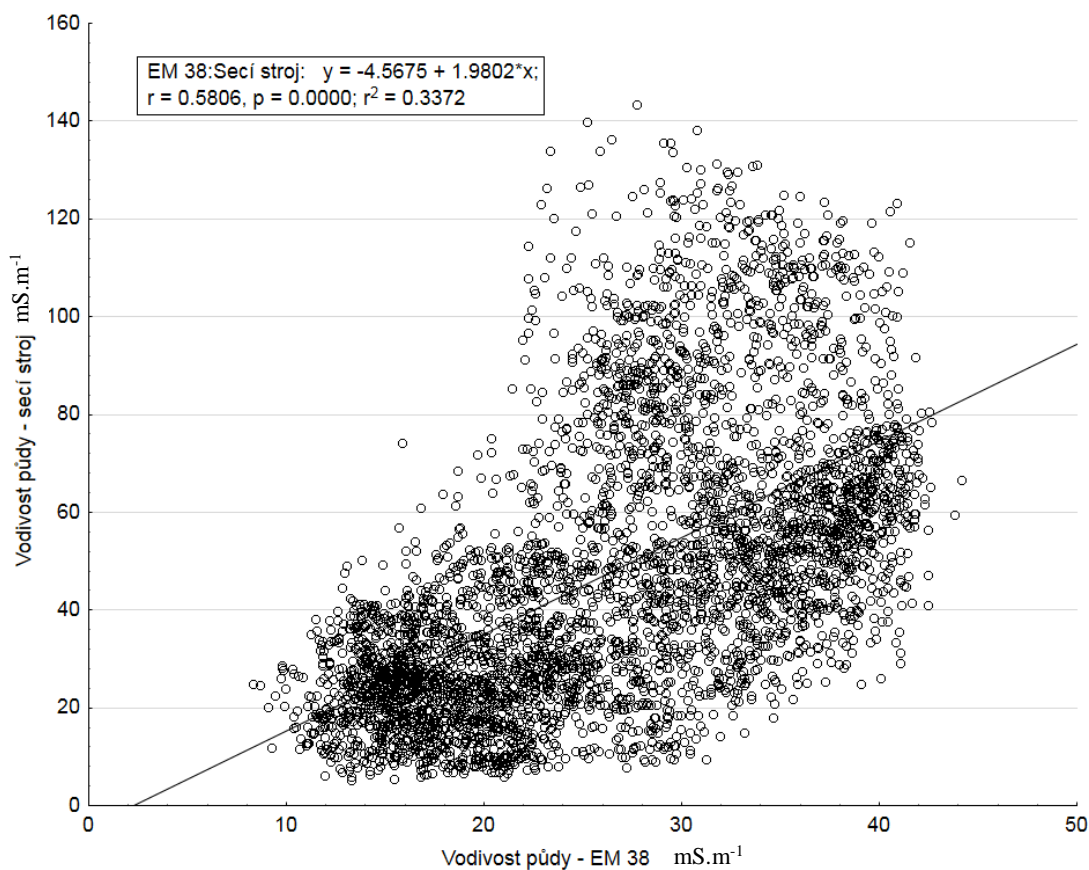
Zdroj: Autor

Mapa vodivosti na Obr. 36, z dat naměřených secím strojem Falcon odpovídá hodnotám naměřeným sondou EM 38 v severovýchodní části pozemku. Největší hodnoty naměřené vodivosti se však nenachází na jihovýchodní části pozemku, nýbrž jsou spíše směrem na jiho-západ.



Obr. 36: Mapa vodivosti na pozemku v Dolanech, měření secím strojem (autor)

Závislost výsledků měření ze sondy EM 38 a secího stroje byla řešena analýzou regrese a korelace. Tuto závislost znázorňuje graf na Obr. 37. Koeficient determinace $R^2 = 0,34$ a koeficient korelace $R = 0.58$. Graf dále ukazuje test významnosti. Levý horní roh grafu dále ukazuje rovnice regrese. Regresivní model byl celkově posouzen jako staticky významný.



Obr. 37: Závislost vodivosti sondy EM38 a secího stroje Falcon (autor)

8 Ekonomické zhodnocení

Tato diplomová práce má za cíl posoudit kvalitu dat naměřených speciálními měřicími zařízeními a stroji pro zpracování půdy, u nichž je použito senzorů. Právě proto jsou dále porovnávány 3 zařízení pro měření vodivosti a cena jejich pořízení.

V případě tohoto ekonomického zhodnocení se počítá s klasickým způsobem hospodaření. Uvažovaný zemědělský subjekt nedisponuje dlátovým kypřičem, a proto je cena třetího zařízení uvedena včetně nákladů na pořízení dlátového kypřiče.

Prvním zařízením je sonda elektrické vodivosti EM 38 MK2, zakoupená Technickou fakultou od firmy Geonics Limited. Měření je prováděno bezkontaktně tažením za čtyřkolkou nebo je možné ji při měření nést. Pořizovací cena sondy je cca 19 800 USD.

Druhým zařízením je systém půdní analýzy Veris MSP3. Jedná se o mobilní senzorovou platformu kombinující 3 různé automatické půdní senzory. Lze jím měřit elektrickou vodivost i pH půdy, obsah organické hmoty v půdě. Plně vybavené zařízení stojí 34 000 USD. V České republice nabízí měření tímto zařízením pouze firma Leading Farmers CZ, a.s. Při rozteči jízd 20 m stojí měření 290, 4 Kč.ha⁻¹.

Třetím zařízením je nesený dlátový kypřič DUOLENT DX 210 N s 2 řadami radlic a pracovním záběrem 2,1 m. Pracovní výkon je 1,7 – 2,5 ha. hod⁻¹. Rozsah pracovní hloubky 6 – 35 cm. Náklady na pořízení dlátového kypřiče jsou 235 950 Kč vč. DPH. K nim jsou ještě připočteny náklady spojené s výrobou senzoru uvedené v tab. 14. Tento výčet položek nákladů byl převzat z projektu IGA, který se zavývá právě výrobou senzoru pro měření půdní vodivosti pro sběr dat při práci strojů na zpracování půdy a setí.

Tab. 14: Přehled nákladů na výrobu senzoru

Nákladová položka	Částka (Kč)
Elektronické součástky pro konstrukci vybavení senzoru	15 000,-
Materiál a součástky na konstrukci elektrod	15 000,-
Výroba konstrukčních částí, které není možné vyrobit v rámci katedry	20 000,-
Náklady celkem	50 000,-

Zdroj: Autor

Pořizovací náklady jednotlivých zařízení uvádí tab. 15. Původní cena systému Veris a sondy v USD byla přepočítána kurzem 22,83 Kč vedeném ČNB k 31. 12. 2014. Z uvedených pořizovacích nákladů pro jednotlivá zařízení vyplývá, že neekonomičtější variantou je výroba senzoru a jeho zapojení v rámci pracovního stroje. V tomto případě vyšla varianta s vyrobeným senzorem levněji než přímo měřící zařízení, ale záleží především na ceně pracovního stroje, v rámci kterého bude senzor snímat data.

Tab. 15: Přehled pořizovacích nákladů pro jednotlivá zařízení

Zařízení	Pořizovací náklady (Kč)
Sonda EM 38 MK2	452 034,-
VERIS MSP3	776 220,-
Dlátový kypřič vč. nákladů na výrobu senzoru	285 950,-

Zdroj: Autor

Vzhledem k ověřitelnosti výsledků z dlátového kypřiče nebo secího stroje, kde byl použit senzor a možnosti porovnání se sondou lze konstatovat, že vývoj senzoru bude mít pozitivní odezvu v zemědělství. Mezi daty získanými ze senzoru připojeném na pracovním stroji a sondou byla totiž silná statistiky významná závislost.

Na druhou stranu, na vývoji senzoru se stále pracuje a není zdaleka ukončen. Je tedy otázkou, kolik budou konečné náklady na vývoj, a od toho se odvíjející cena zařízení, které bude možné propojit se zemědělskou technikou.

Všechny 3 varianty byly dále porovnávány metodou vícekritériální analýzy (viz tab. 16). Bodování kritérií je v rozpětí 1 – 5, přičemž 1 je nejnižší hodnocení a naopak 5 je nejvyšší.

Tab. 16: Vícekritériální analýza

Kritérium	Sonda EM 38 MK2	VERIS MSP3 ¹⁾	Senzor
Cena	2	1	5
Dostupnost z hlediska pořízení	1	3	1
Odbornost obsluhy	3	3	1
Body celkem	6	7	7

Zdroj: Autor

Legenda:¹⁾ Zohledňuje se pořízení měřícího zařízení i komerčně nabízená služba

Pořízení sondy je pro zemědělský podnik nákladnou záležitostí, a proto hodnotím kladně nabídku společnosti Leading Farmers CZ, a.s. Měření sice není nejlevnější, ale vzhledem k tomu, že zařízení nabízí tři různé půdní senzory a cena není vysoká v porovnání s cenou pořízení měřicího zařízení, jedná se o vhodnou variantu pro menší podniky nebo pro podniky, které mají problémy jen s konkrétními místy na pozemku nebo pozemky.

Sonda EM 38 MK2 vychází z hodnocení lépe než měřicí platforma Veris, co se týče ceny, ale stejně jako u systému VERIS MSP3 je nutná určitá znalost obsluhy. Měření sondou propojenou s dlátovým kypřičem je v této fázi vývoje vhodné jen pro kvalifikovanou obsluhu. Její dostupnost je špatná z důvodu, že ji nelze komerčně nabízet vzhledem k zatím nezakončené fázi testování a zlepšování.

Alternativou k senzoru a v tuto chvíli jedinou akceptovatelnou variantou je pronájem půdní platformy Veris. Senzor, ač ještě ve vývoji má však při svých dosavadních výsledcích velký potenciál pro rozšíření v zemědělské praxi.

9 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním dat naměřených senzorem přidaného k pracovnímu stroji a sondou elektrické vodivosti, provozních ukazatelů strojní soupravy.

Cílem práce bylo dokázat, že je možné nahradit měřící zařízení s vysokou pořizovací cenou, senzorem, který je možné použít v kombinaci s téměř jakýmkoli strojem na zpracování půdy, a ušetřit tak náklady spojené s pořízením nebo pronájmem jednoúčelného zařízení.

Praktická část vycházela z literární rešerše pojednávající o provozních ukazatelích (taková síla, energetická náročnost, prokluz) a typech senzorů, které se využívají k měření půdní variability za pohybu měřícího zařízení, tzv. on-the-go senzory. Další část se zabývala návrhem a optimalizací vzorkovací sítě, přičemž na základě porovnání vypovídací schopnosti klasického a moderního přístupu tvorby vzorkovací sítě lze poukázat na nedostatky rovnoměrného rozmístění odběrových bodů v klasické koncepci. Moderní přístup využívá znalosti právě provozních ukazatelů nebo hodnot naměřených sondou či jiným měřícím zařízením tak, aby soustředil větší množství dat do oblastí, které se vyznačují zvýšenou variabilitou. Literární část se ještě zmiňuje o metodách, které se používají k odhadu hodnot mezi 2 body a způsobem přenosu dat (komunikační sběrnice, bezdrátový přenos, telematika).

Praktická část probíhala tak, že na dvou předem vybraných pozemcích bylo provedeno měření sondou elektrické vodivosti EM 38 MK2 a senzorem aplikovaném na stroji pro zpracování půdy. Na pozemku prvním probíhalo měření sondou, poté kypřičem DUOLENT DX 210 N se senzorem a nakonec sledováním provozních ukazatelů (tahové síly, spotřeby a rychlosti) při orbě. Data z orby byla rozdělena do dvou směrů. Směr 1 a 2 v závislosti na tom, zda se strojní souprava pohybovala proti svahu nebo naopak. Každému z provozních ukazatelů v obou směrech byla určena rozpětí, jež poskytla základ k tvorbě histogramů. Na pozemku 2 se také nejprve měřilo sondou a poté secím strojem Falcon 6 se senzorem. Získaná data byla očištěna klouzavým průměrem a odstraněním extrémních hodnot. Takto upravená data byla následně zpracována formou map.

Při porovnání dat ze sondy s oběma pracovními stroji byla zjištěna statisticky významná závislost. Vypovídací schopnost senzoru, ač se jedná o prototype je velmi

dobrá. Pomineme-li nedostatky zjištěné při podzimním měření na dlátovém kypřiči, měření senzorem v kombinaci se secím strojem bylo úspěšné.

V ekonomickém hodnocení, kde byla porovnávána 2 měřicí zařízení, která již v sobě mají implementovaný senzor, se senzorem použitým v praktické části této práce. Při hodnocení pořizovací ceny je na tom zdatně nejlépe právě senzor. Je však nutné připomenout, že se jedná stále o prototyp a náklady spojené s vývojem i nadále porostou. Není tedy možné odhadnout cenu zdokonaleného zařízení tohoto typu, volně dostupného na trhu. Nakonec bylo použito metody vícekritériální analýzy, která poukazuje na nedostupnost senzoru na trhu. Se stejným problémem se potýkají další 2 porovnávaná zařízení (Sonda EM 38 MK2 a Veris MSP3). Obě zařízení pochází od společností ze USA a Kanady. Zajímavou alternativou je však nabídka firmy Geonics Limited CZ, a.s., která vlastní měřicí zařízení Veris MSP3 a nabízí jeho pronájem s přijatelnou cenou.

Z výsledků, kterých bylo dosaženo v praktické části této diplomové práce, a z výstupu ekonomického hodnocení je patrný přínos této práce v tom, že byla dokázána velmi dobrá vypovídací schopnost sestaveného senzoru v porovnání s komerčními měřicími přístroji.

10 Seznam použitých zdrojů

ADAMCHUK, V.I., ROSSEL, VISCARA R.A., 2010. Development of On-the-Go Proximal Soil Sensor Systems. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 2, s. 15-28. ISBN 978-90-481-8859-8.

ADAMCHUK, V.I., CHRISTENSON, P.T., 2005. An integrated system for mapping soil physical properties on-the-go: the mechanical sensing component. In: *Precision Agriculture '05*, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, s. 449-456

ADAMCHUK, V., MARX, D., KERBY, A., SAMAL, A., SOH, L.-K., FERGUSON, R., WORTMANN, CH., 2007. *Guided Soil Sampling for Enhanced Analysis of Georeferenced Sensor Based Data* [online], citováno 2015-03-08. Dostupné z: http://adamchukpa.mcgill.ca/presentations/Geocomputation_2007.pdf

BARBOSA, R.N., OVERSTREET, CH., 2011. *What is Soil Electrical Conductivity?* [online], citováno 2015-03-09. Dostupné z: <https://www.lsuagcenter.com/NR/rdonlyres/E57E82A0-3B99-4DEE-99B5-CF2AD7C43AEF/77101/pub3185whatissoilelectricalconductivityHIGHRES.pdf>

BAUER, F., SEDLÁK, P., ŠMERDA, T., 2006. *Traktory*, 1st edition, Praha: Profi Press, s. 192. ISBN 80-86726-15-0.

BRODSKÝ, L., 2004. *Využití geostatických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půdy*, Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin, 120 s. ISBN 8021311002.

CARDELL-OLIVER, R., BÖTTCHER, S., HÜBNER, CH., 2013. Data-Aware, Resource-Aware, Lossless Compression for Sensor Networks. In: *Wireless Sensor Networks, 10th European Conference*. H: Dordrecht: Springer. s. 83-98

CORWIN, D.L., LESCH, S.M., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comput Electron Agric* 46, s. 11-43

DE GRUIJTER, J.J., MC BRATNEY, A.B, TAYLOR, J., 2010. Sampling for High-Resolution Soil Mapping. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 1, s. 3-14. ISBN 978-90-481-8859-8.

DOVOL, J., 2011. *Vyhodnocení provozních dat traktoru ve vztahu ke prováděné operaci*. Praha: Česká zemědělská univerzita. Technická fakulta. Katedra zemědělských strojů, 68 s., 19 s. příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

FARMERS GUARDIAN, 2015. *IsoBus systems* [online], citováno 2015-03-18. Dostupné z: <http://www.farmersguardian.com/home/rural-life/isobus-systems/32046.article>

GODWIN, R.J., MILLER, P.C.H., 2003. A Review of the Technologies for Mapping Within-field Variability. *Biosystems Engineering*, vol. 84, no. 4, s. 393-407

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

GRANADOS, F.L., EXPÓSITO, J.M., ARTENCIANO, S., FERRER, A.G., SÁNCHEZ DE LA ORDEN, M., TORRES, L. (2002) Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil* 246, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, s. 97-105

HORÁK, J., HORÁKOVÁ, B., 2003. *Prostorové vyhlazování dat s areálovou reprezentací* [online], citováno 2015-03-25. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/pan-old/Skoleni_Texty/TextySkoleni/ProstorVyhlaz.pdf

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M., 1989. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 561 s. ISBN 0-19-505013-4.

KAPLIČKA, A., KODEŠOVÁ, R., JAKŠÍK, O., KLEMENT, A., PETROVSKÝ, E., GRISON, H., 2014. *Metodika pro hodnocení půdních vlastností pomocí magnetické susceptibility aplikovatelná pro posouzení degradace půd v důsledku vodní eroze*, Praha: Česká zemědělská univerzita, Geofyzikální ústav AV ČR, s.28

KÜRSTEINER, B., 2003. Rahmenlose Messung der Dreipunktkräfte am Traktor. In: *Tagungsband VDI-MEG-Tagung Landtechnik, Hannover*, VDI-Berichte Nr. 1798, s. 73–78.

- LAB**, 2009. *ISOBUS_INTRO_100_english* [online], citováno 2015-03-18. Dostupné z: http://www.isobus.it/sites/default/files/doc/ISOBUS_INTRO_100_english.pdf
- LENZ**, J., MÜNCH, P., ADAMCHUK, V., 2013. Real time sensing and ISOBUS in agriculture. In: *Land Technik AgEng 2013*, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, s. 469-474
- LESCH**, S.M., 2005. Sensor-directed response surface sampling designs for characterizing spatial variation in soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*. vol. 46, no. 1-3, s. 153-179
- LHOTSKÝ**, J., 2000. *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Praha: ÚZPI, 61s. ISBN 80-7271-067-2.
- LOBSEY**, C.R., ROSSEL, VISCARRA R.A., MCBRATNEY, A.B., 2010. Proximal Soil Nutrient Sensing Using Electrochemical Sensors. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 6, s. 77-88. ISBN 978-90-481-8859-8.
- LÜCK**, E., EISENREICH, M., DOMSCH, H., 2002. Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft: Innovative methods for precision agriculture. *Stoffdynamik in Geosystemen*, vol. 7, s. 1-155,
- LUKAS**, V., NEUDERT, L., KŘEN, J., 2011. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství, Brno: Mendelova univerzita, s. 33. ISBN 978-80-7375-562-1.
- MAGRIX**, 2015. *ISOBUS* [online], citováno 2015-03-18. Dostupné z: <http://www.magrix.cz/index.php/produkty/zemedelska-technika/technologie/product/67-isobus>
- MINASNY**, B., MCBRATNEY AB, 2005. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Comput Geosci* 2: s.1378-1388
- MYERS**, D.B., KITCHEN, N.R., SUDDUTH, K.A., GRUNWALD, S., MILES, R.J., SADLER, E.J., UDAWATTA, R.P., 2010. Combining Proximal and Penetrating Soil Electrical Conductivity Sensors for High-Resolution Digital Soil

- Mapping. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 19, s. 233-243. ISBN 978-90-481-8859-8.
- NOACK, S.**, 2001. *Hydraulics in Mobile Equipment*. Bosch Rexroth AG, 2001. 1st edition, Omegon Fachliteratur. Ditzingen, Germany. 202 s. ISBN 0-7680-0886-7.
- PAUL, W.**, 1992. Zugkraftmessungen zur Teilschlagkartierung. *Landtechnik* 47, H. 10, s. 490–491.
- PENÍŽEK, V., ZÁDOROVÁ, T., KODEŠOVÁ, R., KLEMENT, A.**, 2014. Optimalitace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků, Praha: ČZU, s. 41
- POLÁK, K.**, 2003. Sběrnice CAN. In: *Elektrorevue* [online], citováno 2015-03-017. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- REEVES, J.B., MCCARTY, G.W., HIVELY, W.D.**, 2010. Mid- Versus Near-Infrared Spectroscopy for On-site Analysis of Soil. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 19, s. 133-142. ISBN 978-90-481-8859-8.
- SCHUTTE, B., KUTZBACH, H. D.**, 2003. Evaluierung von ortsspezifischen Zugkraftmessungen bei der Bodenbearbeitung. In proceeding: *Agricultural Engineering 2003*, Tagung Landtechnik, Hannover, ISSN 0083-5560, ISBN 3-18-091798-9, s. 299 - 304.
- STENBERG, B., VISCARRA ROSSEL, R.A.**, 2010. Diffuse Reflectance Spectroscopy for High-Resolution Soil Sensing. In: *Proximal Soil Sensing*, Dordrecht: Springer, Kapitola 3, s. 29-48. ISBN 978-90-481-8859-8.
- VAN BERGELJK, J., GOENSE, D.**, 2001. Soil Tillage Resistance as a Tool to Map Soil Type Differences. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79, H. 4, s. 371-387.
- WANG, N., ZHANG, N., WANG, M.**, 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*. vol. 50, no. 1, s. 1-14
- YURUI, S., LAMMERS, P. S., DAOKUN, M., JIANHUI, L., QINGMENG, Z.**, 2008. Determining soil physical properties by multi-sensor technique. *Sensors and Actuators*, vol. 147, s. 352-357.

11 Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání kvality různých půdních vlastností	5
Tab. 2: Porovnání způsobu měření a aplikace vybraného EMI a ER senzoru.....	6
Tab. 3: Mezní hodnoty kritických vlastností zhutněných půd.....	11
Tab. 4: Velikost chyby predikce hloubky půdy (v cm) u odlišných metod návrhu vzorkovací sítě	17
Tab. 5: Porovnání velikosti chyb při stratifikovaném a pravidelném rozmístění počtu bodů	18
Tab. 6: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 1 m	33
Tab. 7: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 0.5 m	34
Tab. 8: Porovnání rychlosti ve směru 1 a 2	40
Tab. 9: Porovnání tahové síly ve směru 1 a 2	43
Tab. 10: Porovnání spotřeby ve směru 1 a 2.....	45
Tab. 11: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 1 m (Dolany)	48
Tab. 12: Vyhlazená data vodivosti z hloubky půdního profilu 0.5 m (Dolany)	49
Tab. 13: Statistika uhlazených dat vodivosti ze secího stroje Falcon.....	50
Tab. 14: Přehled nákladů na výrobu senzoru.....	52
Tab. 15: Přehled pořizovacích nákladů pro jednotlivá zařízení.....	53
Tab. 16: Vícekriteriální analýza.....	53
Tab. 17: Rychlost ve směru 1.....	ii
Tab. 18: Rychlost ve směru 2.....	ii
Tab. 19: Tahová síla ve směru 1.....	ii
Tab. 20: Tahová síla ve směru 2.....	ii
Tab. 21: Spotřeba paliva ve směru 1.....	ii
Tab. 22: Spotřeba paliva ve směru 2.....	ii

12 Seznam obrázků

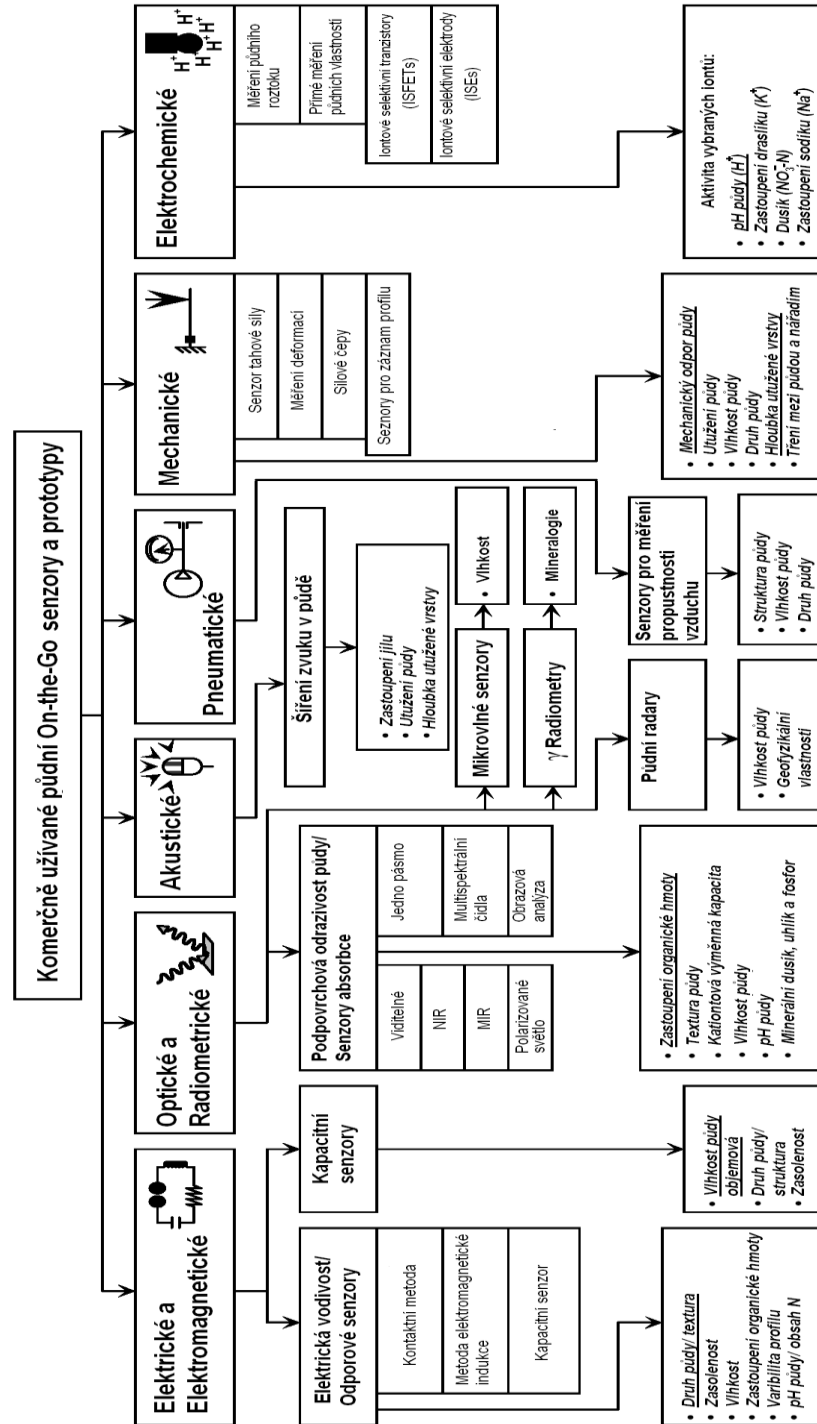
Obr. 1: Princip měření vodivosti půdy pomocí kontaktního zařízení Veris	7
Obr. 2: Princip fungování elektromagnetické indukce	7
Obr. 3: Měření el. vodivosti při jízdě (vlevo), vpravo detail měřícího zařízení	8
Obr. 4: Princip funkce silových čepů firmy Bosh Rexroth	10
Obr. 5: Princip difuzního odrazového spektroskopu	11
Obr. 6: Průběhový diagram půdního měření	13
Obr. 7: Vzorkovací sítě při různých rychlostech měření	15
Obr. 8: Návrhy vzorkovacích sítí, zleva: náhodná, pravidelná, nevyrovnaná a stratifikovaná dle reliéfu	17
Obr. 9: Návrh odběrových míst podle metody Latinské hyperkostky	19
Obr. 10: Fungování ISO BUS	24
Obr. 11: Měřící souprava pro měření vodivosti půdy pomocí elektromagnetického senzoru EM 38	28
Obr. 12: Záznam trasy měření na pozemku v Novém Strašecí	31
Obr. 13: Průběh hodnot elektrické vodivosti ze sondy před a po vyhlazení_1m	32
Obr. 14: Průběh hodnot elektrické vodivosti ze sondy před a po vyhlazení_0.5m	32
Obr. 15: Mapa vodivosti sondy EM 38 MK2 z hloubky 1 m	34
Obr. 16: Průběh hodnot elektrické vodivosti z kypřiče před a po vyhlazení kypřiče.....	35
Obr. 17: Mapa impulzů napětíových elektrod dlátového kypřiče	35
Obr. 18: Záznam opakované jízdy při měření kypřičem	36
Obr. 19: Závislost hodnot ze sondy EM 38 a kypřičem	37
Obr. 20: Závislost četnosti na rychlosti ve směru 1	38
Obr. 21: Mapa rychlosti ve směru 1	38
Obr. 22: Závislost četnosti na rychlosti ve směru 2.....	39
Obr. 23: Mapa rychlosti ve směru 2	39
Obr. 24: Závislost četnosti na tahové síle ve směru 1	41
Obr. 25: Mapa tahové síly ve směru 1	41
Obr. 26: Závislost četnosti na tahové síle ve směru 2	42
Obr. 27: Mapa tahové síly ve směru 2	42
Obr. 28: Závislost četnosti na spotřebě ve směru 1	43
Obr. 29: Mapa spotřeby paliva ve směru 1	44
Obr. 30: Závislost četnosti na spotřebě ve směru 2	44
Obr. 31: Mapa spotřeby paliva ve směru 2	45
Obr. 32: Záznam trasy měření na pozemku 2	46
Obr. 33: Reprezentativní vzorek hodnot vodivosti v hloubce půdního profilu 1 m	47
Obr. 34: Reprezentativní vzorek hodnot vodivosti v hloubce půdního profilu 0,5 m	47
Obr. 35: Mapa vodivosti na pozemku v Dolanech, půdní profil 0 - 1m	48
Obr. 36: Mapa vodivosti na pozemku v Dolanech, měření secím strtojem.....	50
Obr. 37: Závislost vodivosti sondy EM38 a secího stroje Falcon	51
Obr. 38: Přehled On-the-go senzorů	i

13 Seznam příloh

Příloha 1 Přehled senzorů	i
Příloha 2 Přehled četností jednotlivých provozních ukazatelů	ii

Příloha 1 Přehled senzorů

Komerčně využívané on-the-go senzory a prototypy



Obr. 38: Přehled On-the-go senzorů (Adamchuk et Rossel, 2010; upraveno)

Příloha 2 Přehled četností jednotlivých provozních ukazatelů

V této části přílohy jsou tabulky četností provozních ukazatelů (rychlosti, tahové síly a spotřeby paliva naměřené během orby na pozemku v Novém Strašecí.

Tab. 17: Rychlost ve směru 1

Rozpětí	Četnost
0-2	103
2.1-4	182
4.1-6	1332
6.1-8	1817
8.1-10	306

Zdroj: autor

Tab. 18: Rychlost ve směru 2

Rozpětí	Četnost
0-2	329
2.1-4	2047
4.1-6	2333
6.1-8	712
8.1-10	44

Zdroj: autor

Tab. 19: Tahová síla ve směru 1

Rozpětí	Četnost
30-40	49
41-50	86
51-60	376
61-70	895
71-80	1340
81-90	652
91-100	261
Nad 100	81

Zdroj: autor

Tab. 20: Tahová síla ve směru 2

Rozpětí	Četnost
30-40	216
41-50	515
51-60	1423
61-70	2047
70-80	984
81-90	223
91-100	57

Zdroj: autor

Tab. 21: Spotřeba paliva ve směru 1

Rozpětí	Četnost
5-10	61
11-20	117
21-30	222
31-40	277
41-50	322
51-60	394
61-70	528
71-80	584
81-90	584
91-100	455
Nad 100	196

Zdroj: Autor

Tab. 22: Spotřeba paliva ve směru 2

Rozpětí	Četnost
5-10	281
11-20	682
21-30	826
31-40	908
41-50	777
51-60	701
61-70	562
71-80	335
81-90	234
91-100	133
Nad 100	26

Zdroj: Autor