

Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby

Václav Brant, Milan Kroulík a kolektiv



EVROPSKÁ UNIE
Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova
Evropa investuje do venkovských oblastí
Program rozvoje venkova



MINISTERSTVO ZEMĚLSTVÍ



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ



Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby

Autorský kolektiv:

Václav Brant, Milan Kroulík, Vítězslav Krček, Josef Krása,
Jiří Kapička, Pavel Hamouz, Jan Lukáš, Petr Záborský,
Michaela Škeříková, Josef Škeřík, Zdeněk Job,
Jan Lang a David Petrus

Vedoucí autorského kolektivu:

Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze,
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze
Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze,
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze

Spoluautoři:

Ing. Pavel Hamouz, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze,
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze
Ing. Zdeněk Job, AGRA Řisuty, s.r.o.
Ing. Jiří Kapička, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze
Ing. Vítězslav Krček, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze,
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze
Ing. Jan Lang, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Ing. Jan Lukáš, Ph.D., Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Ing. David Petrus, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Ing. Josef Škeřík, CSc., Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin
Ing. Michaela Škeříková, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze
Ing. Petr Zábranský, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze,
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze

Recenzent:

Prof. Ing. Josef Hůla, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.

Projektová podpora:



EVROPSKÁ UNIE
Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova
Evropa investuje do venkovských oblastí
Program rozvoje venkova

Výsledky zahrnuté do předkládané publikace byly získány v rámci projektu:

Podpora operačních skupin a projektů EIP, Program rozvoje venkova pro období 2014–2020 (PRV), 16/003/1611a/120/000095: Implementace nových a inovovaných technologií precizního zemědělství do pěstebních systémů.

<http://www.eagri.cz/prv>

Příjemce dotace: **AGRA Řisuty s.r.o.**

Spolupracující instituce: **Česká zemědělská univerzita v Praze, České vysoké učení technické v Praze a Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin.**

Autoři fotografií:

Václav Brant, Pavel Hamouz, Miroslav Jursík, Pavel Kovaříček, Josef Krása, Milan Kroulík, Vítězslav Krček, Jindřich Šmöger, Petr Zábranský, HORSCH Maschinen GmbH, Kverneland Group, The Soil Company, Strom Export s.r.o., Strom Praha a.s., TRAPVIEW HQ, Xavrio.

ISBN 978-80-87111-81-9

Zpracovatel: **AGRA Řisuty s.r.o.**

Ledce 162, 273 05 Ledce

Tel.: +420 312 589 206

e-mail: agra.risuty@agra-risuty.cz

Vydavatel: **Kurent, s.r.o.**

Vrbenská 197/23, 370 01 České Budějovice

Tel.: +420 387 202 310

e-mail: kurent@kurent.cz

Organizace podílející se na zpracování publikace



AGRA Řisuty s.r.o.



Česká zemědělská univerzita v Praze



Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze



České vysoké učení technické v Praze



Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin



Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Předmluva

Principy precizního zemědělství a jejich implementace do zemědělské praxe představují jeden z přelomových faktorů vývoje zemědělství ve vztahu k životnímu prostředí, ochraně přírodních zdrojů, biodiverzitě, kvalitě a bezpečnosti rostlinné produkce. Nové technologie, pokročilá senzorová technika, robotizace a automatizace zpracování dat umožňují cílené využívání heterogenity pro optimalizaci zemědělských činností a zásahů při minimalizaci negativních dopadů na krajinu. Zpětnovazebný charakter činnosti v precizním zemědělství akceleroje proaktivitu a učení, které umožňuje pružně reagovat na proměnlivost podmínek spojených s klimatickou změnou, agroenvironmentálními opatřeními a tržním prostředím.

Základem precizního zemědělství je propojení nejnovějších poznatků o biologických principech pěstování plodin s moderními technologiemi. Prostředky a postupy precizního zemědělství umožňují zajištění požadované produkce a kvality surovin pro výrobu potravin a dalších produktů rostlinné výroby pro nepotravinářské využití při optimálním využití podmínek krajinného prostoru a při omezení dodatkových vstupů energie do pěstebních systémů.

Autoři předkládané knižní publikace si vytkli za cíl poskytnout ucelený pohled na problematiku využití stávajících vědeckých poznatků a technických, či technologických, řešení a postupů v zemědělské praxi.

Publikace čerpá z domácích a zahraničních zdrojů o uvedené problematice, včetně originálních výsledků jednotlivých členů autorského kolektivu.

Kniha je primárně určena pro zemědělskou praxi se zaměřením na zemědělskou produkci v rámci konvenčních a ekologických systémů hospodaření. Naším přáním je, aby publikace byla využívána nejen zemědělci, pracovníky státní správy, pedagogickými a vědeckými pracovníky, ale také středoškolskými a vysokoškolskými studenty zemědělských oborů, krajinného plánování a studijních směrů zaměřených na vývoj technického a softwarového vybavení pro rostlinnou produkci.

Ambicí autorů je představení zemědělství jako moderní a dynamicky se vyvíjející vědní disciplíny, která zajišťuje udržitelnou dostupnost kvalitních a zároveň bezpečných potravin, spoluvytváří krajinný ráz a pečuje o základní přírodní zdroje - půdu, vodu a ovzduší.

Autoři

Abstrakt

Precizní zemědělství je synonymem pro moderní přístupy hospodaření v rostlinné a živočišné výrobě. V rámci rostlinné výroby se jedná o systémy, které respektují přirozenou variabilitu krajinného prostoru a pracují s jeho konzervativními a progresivními prvky za účelem efektivního využití jeho produkčního potenciálu. Základem je práce s variabilitou na rozdílné úrovni jeho prostorového vnímání, a to jak v horizontální, tak vertikální rovině. Vývoj techniky a technologických postupů umožňuje i značnou diferenciaci pohledu na zájmovou oblast sledovaného objektu pohybující se v rozmezí milimetrů až po Zeměkouli jako celek. Precizní zemědělství je však základem pro setrvalé zemědělské využívání krajiny ve vztahu k zachování energie a hmoty, včetně eliminace negativního vlivu hospodaření na životní prostředí. Díky nárůstu znalostí o biologických principech ovlivňujících efektivní energetické, ekonomické a ekologické využití kulturních plodin v kombinaci s vývojem v oblasti navigací, sensoriky, elektroniky, informačních technologií, přenosu, uchování, zpracování a interpretací dat se jedná o primární cestu rozvoje biotických intenzifikací. Publikace přináší nejen nejnovější vědecké a metodické postupy implementovatelné do zemědělské praxe, ale má zvýšit i motivaci zemědělců pro uplatnění precizních principů hospodaření.

Abstract

Precise agriculture is a synonym for modern crop and livestock management approaches. Within crop production, these approaches are the systems that respect the natural variability of the landscape. Such systems operate with the conservative and progressive elements to efficiently utilize the production potential. The work with variability at different levels of the spatial perception, both in horizontal and vertical direction, is essential. The development of techniques and technological procedures allows a considerable differentiation of the view at the area of interest, where the scale ranges from millimeters to the globe as a whole. Precision farming is the basis for sustainable agricultural land use in relation to the conservation of energy and materials, including the elimination of the negative impact of farming on the environment. Thanks to better and still increasing knowledge of biological principles affecting the efficient energy, economic and ecological use of crops in combination with navigation, sensors, electronics, information technology, data transfer, storage, processing and interpretation developments is the primary way for biotic intensification development. The manuscript brings not only the latest scientific and methodological procedures applicable to agricultural practice, but it should also increase the motivation to practice applying the principles of precision farming.

Členění publikace a role autorského kolektivu

Předkládaná publikace primárně obsahuje informace o možnostech implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby využitelné zemědělskou praxí, které jsou obsaženy v hlavní textové části. Hlavní textová část zahrnuje informace získané řešitelským kolektivem během řešení projektu EIP 16/003/1611a/120/000095, ale i údaje vycházející z výzkumné práce jednotlivých členů autorského kolektivu, včetně jejich propojení se současnými domácími a zahraničními zkušenostmi dostupnými v odborné a vědecké literatuře.

V rámci publikace jsou zpracovány i kapitoly označené jako „Implementační části“, které přinášejí konkrétní výsledky a metodické postupy z ověřování sledované problematiky přímo v subjektu hlavního příjemce podpory (AGRA Řisuty s.r.o.). Tyto pasáže představují samostatné kapitoly, které z hlediska jejich přiřazení do předkládané práce na hlavní text publikace navazují.

Na základě dlouhodobé spolupráce společnosti AGRA Řisuty s dalšími výzkumnými ústavy na rozvoji nových technologií s principy precizního zemědělství, byly z hlediska komplexnosti zpracované problematiky do textové části zahrnuty i výsledky zpracované subjekty, které nebyly přímými členy řešitelského kolektivu. Jedná se o kapitoly zpracované Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v.v.i. a Výzkumným ústavem rostlinné výroby, v.v.i.

Obsah

Zemědělství v kontextu vývoje společnosti (Brant)	10
Krajina ve vztahu k preciznímu zemědělství (Brant a Krása)	10
Půdní blok a jeho variabilita (Brant a Kroulík)	13
Specifikace variability	13
Makrovariabilita	14
Mezovariabilita	15
Mikrovariabilita	17
Monitoring sběru dat ve vztahu k variabilitě pozemku	18
Prostorová variabilita půdního prostředí - implementační část (Brant, Kroulík a Záborský)	22
Velikost půdního bloku	29
Tvar půdního bloku	31
Multikriteriální faktorová analýza parametrů půdních bloků a určení jejich vhodnosti pro optimalizaci přejezdů zemědělské techniky - implementační část (Kapička, Lang a Petrus)	41
Hranice půdního bloku (Brant, Kroulík, Záborský a Škeříková)	55
Variabilita nadmořské výšky	59
Heterogenita půdních podmínek (Kroulík a Brant)	63
Elektrické a elektromagnetické senzory	66
Mechanické senzory	70
Hodnocení mechanických vlastností půdy s využitím elektroniky traktorů	75
Optické a radiometrické senzory	79
<i>Gama spektrometrie</i>	79
<i>Odráživost povrchu půdy a vegetace</i>	80
<i>Radary</i>	84
<i>Akustické a pneumatické senzory</i>	84
Elektrochemické senzory	86
Kombinace čidel	88
Zpracování půdy jako zdroj heterogenity	92
Variabilita vegetačních faktorů (Brant a Kroulík)	94
Vláhové podmínky a úrovně variability (Brant, Záborský a Škeříková)	94
Dostupnost meteorologických dat pro zemědělský podnik - Implementační část (Brant a Krček)	104
Teplotní podmínky půdního prostředí	107
Zásoba živin v půdě v kontextu variability	109
Variabilita rostlinných zbytků a mulče	113
Regulace plevelů v precizním zemědělství (Hamouz, Kroulík a Brant)	120
Chemická regulace plevelů	124
Cílené mechanické způsoby regulace	125
Sběr agronomických dat	126
Mapování výskytu plevelů	127
Automatizované způsoby získávání dat	128
Podpůrné systémy pro zajištění požadované kvality aplikace pesticidů	132

Desikace porostu a možnosti variabilních aplikací	139
Variabilita pozemku ve vztahu k účinnosti herbicidů	143
Ochrana rostlin v precizním zemědělství (Lukáš)	144
Optimalizace pohybu zemědělských souprav (Kroulík a Brant)	153
Optimalizace trajektorií půdních bloků - implementační část (Kroulík a Krček) . . .	154
Variabilní setí v precizním zemědělství (Kroulík, Brant, Krček a Záborský)	162
Variabilní setí není pouze o změně výsevu	168
Zpracování podkladů pro variabilní setí	174
Variabilní setí obilnin	175
Spotřeba osiva při výsevu na počet jedinců a při výsevu na stanovenou hmotnost výsevu - implementační část (Brant, Krček, Kroulík, Záborský a Škeřík)	182
Variabilní hnojení v precizním zemědělství (Kroulík, Krček a Záborský)	186
Bezpilotní prostředky	190
Plodinové senzory	190
Praktické využití senzoru AgLeader OptRx	193
Variabilní hnojení porostů jarního ječmene	193
Variabilní hnojení porostů pšenice ozimé	196
Variabilní hnojení porostů cukrové řepy	201
Spolehlivost dat a hustoty vzorkování	203
Bonitace půdních bloků - implementační část (Krček a Job)	205
Praktické využití senzoru ISARIA	208
Telematika v zemědělství, zpracování dat a podpora autonomních systémů (Kroulík a Brant)	217
Precizní zemědělství a ochrana půdy (Krása)	225
Drsnost povrchu půdy	228
Půdy nezakryté vegetací	230
Vrstevnicové trajektorie pojezdů a ochranné pásy	236
Ekonomické aspekty (Kroulík, Brant a Krček)	238
Doporučení pro zemědělskou praxi na základě výsledků projektu EIP (Krček a Job)	243
Projekt EIP	245
Postup zavádění precizního zemědělství	245
Vstupní sada dat	246
Mapy relativního výnosového potenciálu	248
Další možnosti získání vstupních informací	250
Variabilní aplikace při zásobním hnojení	251
Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv	252
Variabilní aplikace statkových hnojiv	255
Variabilní setí	255
Variabilní aplikace prostředků na ochranu rostlin	257
Variabilní zpracování půdy	257
Měření výnosu	258
Optimalizace trajektorií	258
Závěr	259
Seznam použité literatury	260

Zemědělství v kontextu vývoje společnosti (Brant)

Protože je zemědělství z historického pohledu jedním z nejdéle se rozvíjející odvětví lidské činnosti, odráží se v jeho vývoji i rozvoj lidské společnosti. Základem hodnocení vývoje zemědělství je monitoring rozvoje a změn zemědělských systémů hospodaření. Za primární jsou považovány tzv. primitivní systémy, které nejsou spojeny s trvalým osídlením a s potřebou cílené a dlouhodobé péče o půdní úrodnost na pravidelně obhospodařované půdě (systémy náplavové, žďárové, stepní apod.). Nejstarší zemědělci se na území dnešních Čech a Moravy začínají objevovat ve spojení s neolitickým osídlením, kdy se zde pravděpodobně setkávají s mezolitiky, preferujícími jako zdroj obživy lov a sběr (Beneš, 2018).

Nástup pravých systémů hospodaření je jednoznačně spojen s rozvojem systémů střídání plodin, osevních postupů. Principy střídání plodin lze považovat za významný intenzifikační faktor vedoucí k nárůstu výnosů polních plodin a jako primární faktor růstu lidské populace na Zemi. Právě zemědělské systémy lze naopak spojovat s trvalým osídlením, pravidelným obhospodařováním půdy a s potřebou udržování půdní úrodnosti. Vyznačují se přechodem od trojpolního systému hospodaření ke střídavým osevním postupům (Lom, 1977). Zavedení střídavých osevních postupů lze jednoznačně považovat za výrazný faktor vedoucí k pestrosti struktury plodin pěstovaných na orné půdě, se současným zvýšením půdní úrodnosti a výnosů.

Významným faktorem zvyšujícím produktivitu zemědělství je rovněž rozvoj nových technických řešení a technologických postupů, které jej od jeho vzniku posunovaly vpřed z hlediska zajištění potravin a dalších produktů pro rostoucí lidskou populaci. Technizace a mechanizace zemědělství vedla k dlouhodobému a setrvalému poklesu počtu lidí, kteří se na primární produkci podílejí, a to vše se všemi pozitivními a negativními dopady. Optimalizaci mezi dosažením požadované produkce zemědělských plodin a zachováním setrvalého fungování krajiny lze dosáhnout uplatněním principů precizního zemědělství a implementací těchto postupů do praxe.

Krajina ve vztahu k preciznímu zemědělství (Brant a Krása)

Zemědělská výroba je v České republice dominantně prováděna v krajině. Legislativně je pojem krajina vnímán jako část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky (Zákon č. 114/1992 Sb.). Z historického pohledu je však význam pojmu krajiny proměnlivý a dynamicky se měnící (von Haaren, 2004) a vychází z aktuálního vnímání světa společností ve vztahu k jejím potřebám a znalostem. Z pohledu člověka je především prostorem pro realizaci jeho potřeb, včetně zemědělské produkce. Potřeba multifunkčního využití krajiny vede následně k interakčním procesům mezi jednotlivými odvětvími lidské činnosti. S nárůstem vlivu člověka na změny krajiny dochází k výraznější potřebě stabilizace ekologických funkcí krajiny. Ty se následně stávají v rámci krajinného plánování dominantními limitujícími faktory jejího dalšího rozvoje z hlediska využití člověka.

Z pohledu krajinného plánování ve vztahu k zemědělství považují např. Grabski-Kieron a kol. (2000) a von Haaren (2004) za důležité následující cíle:

- Přípravu postupů organizace uspořádání pozemků v souladu s cíli ochrany přírody, včetně tvorby nástrojů managementu respektující zásady ochrany přírody.
- Propojení zájmů obcí a zemědělců pro dosažení požadovaných změn a zahrnutí do plánovacích procesů potřeby turistiky a faktorů podporujících rozvoj regionů.
- V rámci prostorového rozmístění pozemků je nutné eliminovat erozní procesy, podpořit tvorbu krajinných prvků, dopravní dostupnosti a vytváření vodních zdrojů, včetně zvýšení jejich přírodní funkce.
- Z hlediska potřeb zemědělců je nutné respektovat podmínky správné zemědělské praxe, omezit rizika znečištění podzemních a povrchových vod a cenných biotopů, stabilizovat vodní režim krajiny a při projektování počítat s výstavbou cestní sítě, zavlažovacích systémů a s potřebou odvodnění.

Na základě dostupné literatury a reálného stavu krajiny v České republice se však setkáváme se skutečností, že podrobnější metodické postupy pro systémové zohlednění potřeb zemědělské výroby ve vztahu k principům precizního zemědělství nejsou pro krajinné plánování dostupné. Ze stávajícího rozvoje rozmístění antropogenních prvků v krajině je jednoznačně patrné, že zemědělské využití krajiny není celospolečenskou prioritou. Z hlediska uplatnění principů precizního zemědělství v rostlinné výrobě je nutné specifikovat i pravidla pro krajinné plánování ve vztahu k samotným vlastnostem půdního bloku ovlivnitelným těmito procesy, zejména jejich tvar a velikost. Z hlediska hraničních krajinných struktur se následně jedná o plánování rozmístění přírodních a antropogenních struktur v těsné blízkosti půdních bloků. Ve vztahu k zajištění provádění agrotechnických operací je nutné respektovat dopravní obslužnost jednotlivých půdních bloků v rámci přejezdů pracovních souprav a zajištění transportu materiálů (hnojiva, osiva, PHM apod.) na půdní blok z logistického zázemí subjektů a dopravu produktů z půdního bloku do míst jejich zpracování a uskladnění.

Rychlý vývoj změn krajinné struktury v důsledku snah o zvýšení její ekologické stability a jiného způsobu využití člověkem, tedy nezemědělského využití, zásadním způsobem negativně ovlivňuje systémové uplatnění principů precizního zemědělství na zemědělské půdě, včetně zajištění principů dlouhodobé udržitelnosti půdy, jako přírodního zdroje. Mezi zásadní problémy spojené s těmito procesy lze považovat:

1. Časté změny tvaru a výměry půdního bloku vedou ke změnám pohybu pracovních souprav na půdním bloku, což může snižovat efektivitu opatření zamezujících technogennímu zhutnění půdy, snížení počtu přejezdů, zvýšení spotřeby pohonných hmot (PHM) a zároveň nárůst emisí CO_2 , snížení efektivitu práce pracovních souprav a zvýšení nákladů na inovaci strojového vybavení zemědělského subjektu, ale i celkový systém agrotechnických opatření.
2. Fragmentace půdních bloků v důsledku nadzemních liniových staveb (pozemní komunikace, železniční tratě apod.) zásadním způsobem přispívá ke změnám velikosti a tvaru půdního bloku, včetně omezení jejich přístupnosti. Zatížení krajiny rozvodnými elektrickými sítěmi výrazně komplikuje pohyb pracovních souprav po půdním bloku, zvyšuje rizika zvýšené aplikace pesticidů a hnojiv, výskytu

škodlivých organismů, přesevů apod. Opomenout nelze ani nárůst rizika kontaktu pracovních souprav s konstrukčními částmi rozvodních sítí.

3. Plánování nových krajinných prvků nerespektuje stávající principy pohybu zemědělských souprav, čímž dochází ke snížení efektivity práce, ale i ke zvýšení ekologických rizik z důvodu možných překryvů pracovních souprav při aplikaci hnojiv a pesticidů a zvyšují se rizika opakovaných přejezdů u strojů neumožňujících variabilní změnu pracovního záběru.
4. Vznik nových urbanistických a logistických center při neadekvátním rozvoji obslužnosti pozemních komunikací zásadním způsobem komplikuje pohyb pracovních a transportních souprav při transportu na půdní blok a z něho. Tato skutečnost zvyšuje i bezpečnostní rizika na pozemních komunikacích. V praxi rovněž dochází ke vzniku nových „dočasných účelových komunikací“ na půdním bloku, které zamezují pohybu zemědělské techniky po pozemních komunikacích, čímž však dochází k výrazné degradaci takto využívané půdy.
5. Budování nových pozemních komunikací (silnice, místní a účelové komunikace) a jejich doplnění o silniční vegetaci či doprovodnou vegetaci nerespektuje stávající rozměry a hmotnosti pracovních a transportních souprav využívaných v zemědělství, což omezuje efektivitu transportu a zároveň vede k poškozování nově vybudovaných komunikací a doprovodné zeleně.
6. Dlouhodobým problémem je nesystémové budování sjezdů a nájezdů z půdního bloku na silnice a komunikace, včetně nevhodné volby šířky ve vztahu k nájezdným úhlům pracovních a transportních souprav. Za nešťastné lze považovat opomenutí vývoje nových dopravních a logistických systémů, které počítají s nakládkou a vykládkou materiálů bez vjezdu na půdní blok.
7. Za velmi nekonceptní lze považovat i stávající legislativní opatření řešící velikost půdního bloku či jeho dělení, nebo střídání plodin na půdním bloku v jednom hospodářském roce zásadním způsobem narušují dlouhodobou péči o půdu, vyvolávají potřebu vytvoření nových diagnostických a aplikačních map pro jednotlivé části půdního bloku s jinou plodinou, zcela eliminují práci s historickými daty, mění trajektorie pohybu pracovních souprav, vyvolávají změny rozmístění souvratí, zvyšují zatížení půdního bloku přejezdy apod.
8. Snížování výměry půdního bloku a jejich dělení pro pěstování rozdílných plodin omezuje efektivitu práce pracovních souprav pořízených pro větší výměry půdního bloku, snižuje efektivní způsoby pohybu souprav (návaznost ob jízdů), zvyšují utužení souvratí apod. Některé subjekty budou muset začít využívat stroje s menším záběrem a adekvátně tomu přizpůsobit i tažné prostředky. Rovněž lze předpokládat, že bude docházet k dalšímu dovybavení zemědělskou technikou, což zvýší investiční náklady, ale také náklady spojené s provozem a údržbou strojového parku.

Výše uvedené skutečnosti nemají vést k upřednostňování zemědělských funkcí a principů precizního zemědělství v krajinném plánování. Především mají za úkol poukázat na to, že je často moderní zemědělství odpovídající dnešnímu vývoji společnosti přehlíženo. Opomenout nelze ani skutečnost, že návrat alespoň částečně pestřejší krajinné mozaiky do kolektivizací zcelených lánů nemusí být nijak v rozporu s efektivním

využitím precizního zemědělství. Předpokladem efektivního kompromisu v krajinném plánování je tvorba matrice krajiny odpovídající místní morfologii i účelům zemědělství společně s ochrannou krajinných a přírodních hodnot, včetně uvážlivé práce se stávajícími a budoucími ryze antropogenními prvky (komunikace, budovy, stavby apod.). Samotné zemědělství bylo dominantním krajinoformujícím faktorem v našich podmínkách po staletí a vedlo i ke krajinám dnes velmi ceněným. Tak tomu jistě může být i do budoucna.

Půdní blok a jeho variabilita (Brant a Kroulík)

Půdní blok lze z hlediska optimalizace agrotechnických opatření považovat za základní klasifikační jednotku hodnocení v precizním zemědělství. U půdního bloku lze hodnotit značné množství měřených a kalkulovaných parametrů, které slouží pro optimalizaci následných technologických postupů prováděných při jeho zemědělském využití. Bez ohledu na daný hodnocený parametr lze však za primární informaci považovat variabilitu daného parametru na půdním bloku.

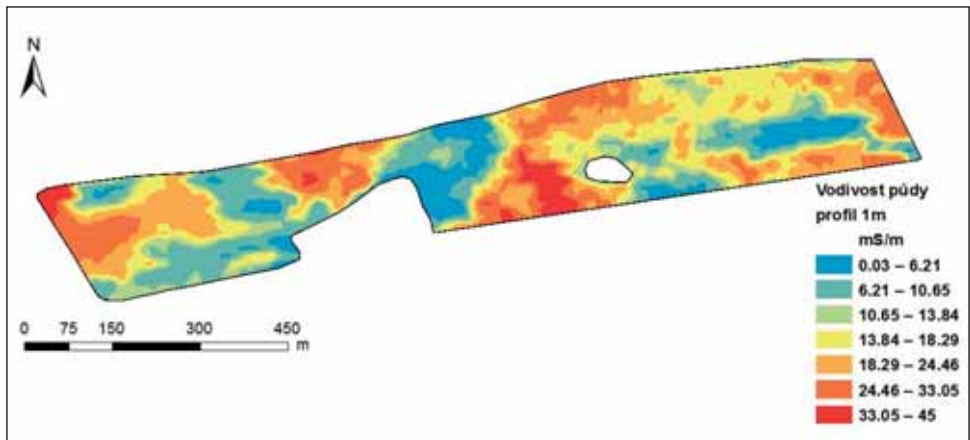
Specifikace variability

Vznik půdního bloku je dán dlouhodobým vývojem působení člověka na krajinu. V jeho tvaru a velikosti se odráží vztah člověka k přírodě při současném působení míry poznání a rozvoje technických možností společnosti. Jeho umístění v krajinném prostoru však ve většině případů v České republice nerespektuje historii vývoje krajiny a na ní vázaných ekosystémů. Tato skutečnost následně vede ke spojování heterogenních částí krajinného prostoru, což zvyšuje především variabilitu půdních podmínek. Variabilita půdních vlastností na půdním bloku je základním faktorem určujícím hraniční podmínky pro pěstování polních plodin a zásadně modifikuje i výši rizik spojených s negativním působením agrotechnických opatření na půdu.

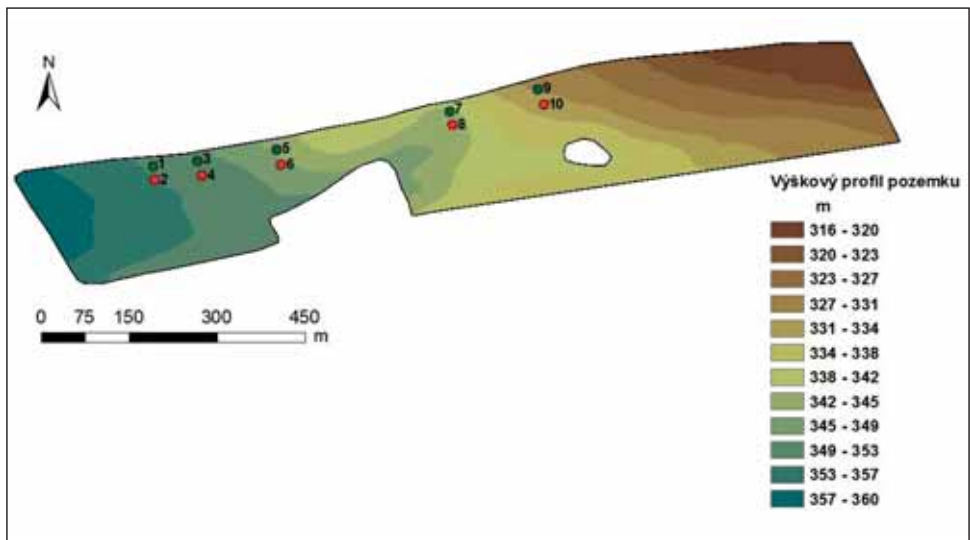
Ettema a Wardle (2002) definovali variabilitu jako prostorové (nebo časové) změny daného indikátoru, zatímco heterogenita je popisována jako zvláštní případ proměnlivosti mající prostorovou strukturu s agregovanými distribucemi, tj. není náhodná. Současně autoři tvrdí, že oba termíny mají mnoho kontextově závislých významů. Zdá se, že to platí i při pohledu na prostorovou variabilitu a heterogenitu půdních vlastností v rozmezí centimetrů a decimetrů (nebo nejvýše několika metrů). Například Wezel a Böcker (1999), stejně jako Geiger a Manu (1993), považují prostorové rozdíly v několika metrech (max. 10 m) za mikrovariabilitu pro popis specifických chemických látek v půdě, morfologie půdy a proměnných plodin ve vztahu k mulčovací efektům a detekci produkčních oblastí v oboru. Alternativní výrazy používané v literatuře jsou mimo jiné prostorová variabilita uvnitř pozemku pro hodnocení různých fyzikálních a půdních chemických ukazatelů v měřítku několika metrů za účelem zkoumání vzorců ve variabilitě produkce plodin a jejich kombinace s variabilitou půdy (Verhulst a kol., 2009) a prostorovou variabilitu pro stanovení půdních hydraulických proměnných a difuzivity plynu ve stovkách mm, aby se vyhodnotil vliv hospodaření s půdou a difuzivity plynů na tok CO₂ (Schwen a kol., 2015).

Makrovariabilita

Z hlediska pohledu na variabilitu půdního prostředí je však potřebné rozlišovat měřítko pohledu. V současné době se nejčastěji sleduje makrovariabilita pozemku. Ze zemědělského pohledu jde o větší části půdního bloku, které vykazují shodné vlastnosti, nejčastěji rozlišené na základě klasifikačních tříd. Ve vztahu k agrotechnickým postupům a rozlišovacím schopnostem používaných metod detekce se makrovariabilita pohybuje v rozmezí desítek až stovek metrů. Z časového hlediska je dlouhodobě stabilní a její změny



Obr. 1: Mapa půdní vodivosti, měření bylo provedeno sondou EM 38 (upraveno podle Brant a kol., 2017a).



Obr. 2: Stanovení výškového profilu pozemku umožňuje specifikaci další vrstvy variability. V rámci následné práce s jednotlivými variabilními plochami lze mapu využít ke specifikaci odběrových míst pro upřesňující měření (Brant a kol., 2017a).

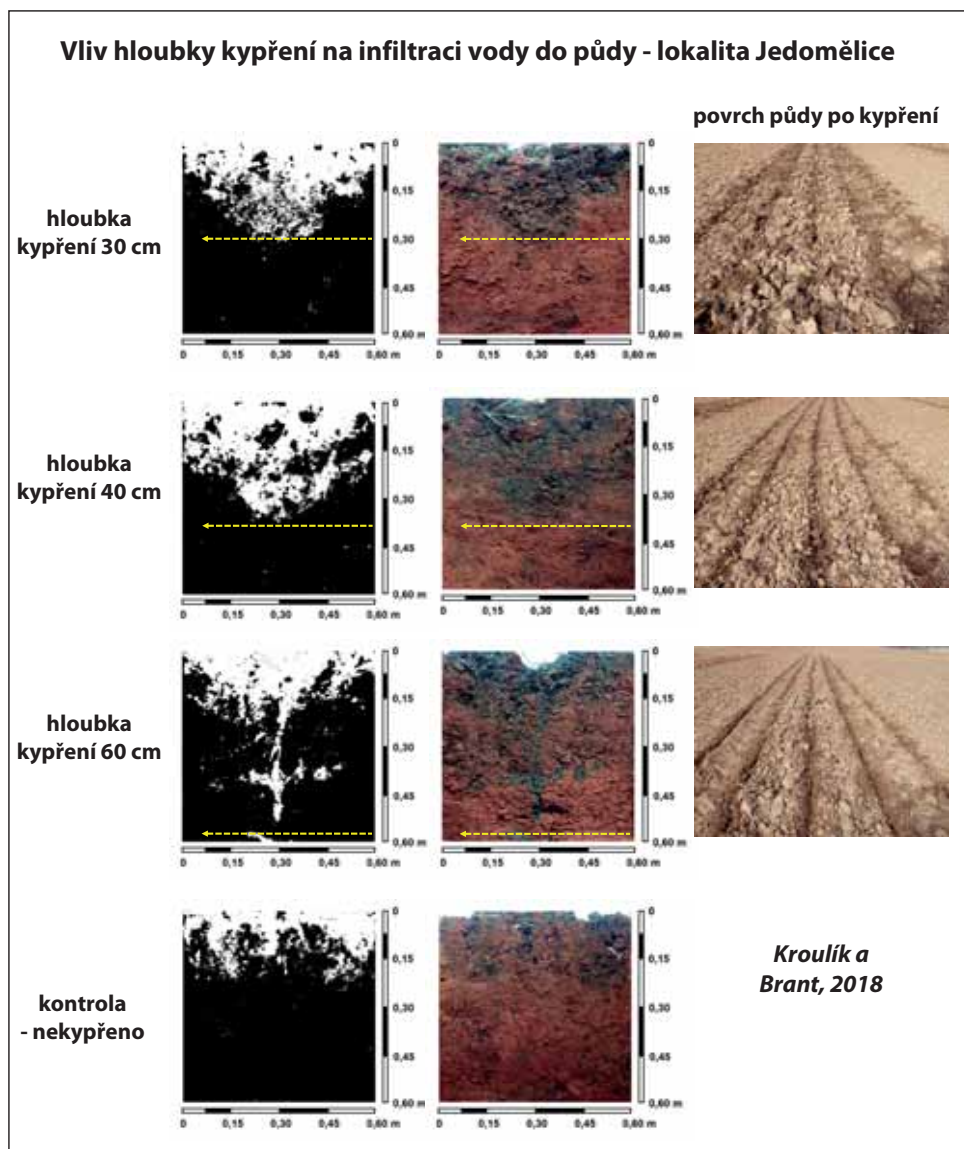
jsou spojeny s dlouhodobějším vlivem progresivních prvků krajinného prostoru (erozní procesy, vliv rostlinných společenstev, hnojení, zpracování půdy a podobně), (Brant a kol. 2017). Lorenz a Münchhoff (2015) uvádějí, že základními údaji o variabilitě půdního bloku jsou půdní mapy, mapy reliéfu pozemku, mapy výnosového potenciálu, výnosové mapy, mapy produkce biomasy apod. Typickým příkladem makrovariability půdního bloku je například stanovení elektrické vodivosti, které umožňuje stanovení kvalitativně odlišných zón na hodnoceném pozemku (obr. 1) nebo stanovení jeho výškové variability (obr. 2).

Mezovariabilita

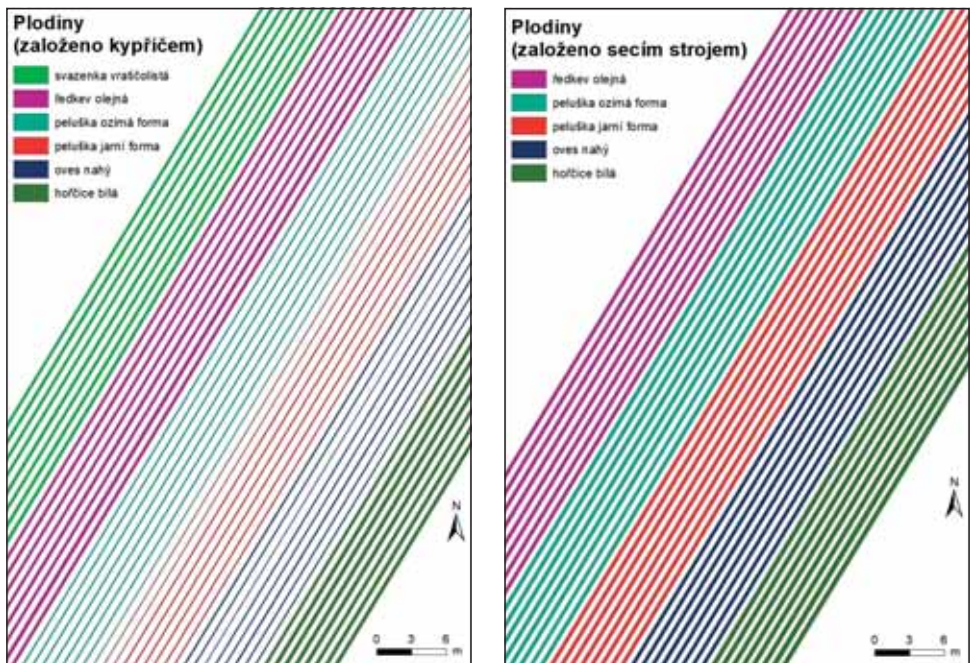
Z hlediska vlivu zpracování půdy na změnu prostorového rozmístění půdní hmoty hovoříme o mezovariabilitě, případně mikrovariabilitě (není-li variabilita již dále členěna). Zpracování půdy je nedílnou součástí zemědělství již od počátku (Lal a kol., 2007). Reicosky a Allmaras (2003) definovali zpracování půdy jako mechanickou manipulaci s půdou a rostlinnými zbytky za účelem přípravy pro výsev plodin. Z této definice lze vyvodit, že obdělávání půdy ovlivňuje širokou škálu půdních parametrů, např. stabilitu půdních agregátů, objemovou hmotnost, penetrační odpor, pórovitost, rozložení organické hmoty, hydrauliku půdy, mikrobiální rozmanitost, obsah živin apod. (např. Mitchell a kol., 2017; Hofbauer a kol., 2015; Vakali a kol., 2011; Alletto a kol., 2010; Peigné a kol., 2007 a mnoho dalších). Někteří autoři považují zpracování půdy za zdroj prostorové variability půdních parametrů (Alletto a kol., 2010; Strudley a kol., 2008), zatímco jiní ji spojují s poklesem horizontální půdní heterogenity s homogenizačním účinkem (Williams a kol., 2017; Robertson a Freckman, 1995).

Mezovariabilita je především určována vlivem pracovních nástrojů pro zpracování půdy a zahrnout lze k ní i vliv přejezdů mechanizačních prostředků po pozemku. Mezovariabilita se vyznačuje periodickým opakováním daného stavu půdy v rámci makrovariabilního členění půdního bloku. Periodicita je dána jednotlivými pracovními záběry a směrem jízdy soupravy, včetně typu a rozmístění pracovních nástrojů na stroji. Její kvantifikace vychází především z přesného záznamu trajektorií pracovních souprav a znalosti vlivu jednotlivých pracovních nástrojů či jejich kombinací na půdu v dané zóně makrovariability. Tyto změny probíhají v horizontu měsíců až jednoho roku, jedná-li se o ornou půdu. V rámci půdního bloku se pohybuje ve stovkách milimetrů až metrů, horní hranice je ohraničena záběry strojů pro zpracování půdy (Brant a kol., 2017a). Jednou z možností stanovení vlivu mezovariability vznikající při zpracování půdy je hodnocení působení pracovních nástrojů na změny upořádání půdní hmoty, např. na základě stanovení penetračního odporu, infiltrace, drsnosti povrchu půdy apod. Následné periodické opakování vlivu jednotlivých pracovních nástrojů lze využít pro určení mezovariability pozemku, kdy jako proměnná ovlivňující danou změnu jsou parametry makrovariability (hloubka ornice, vláhové podmínky, nadmořská výška apod.), nebo změny parametrů práce strojů vycházející ze záznamu telemetrických dat (pracovní rychlost, hloubky zpracování půdy, tahový odpor apod.). Obrázek 3 dokumentuje specifikaci vlivu hloubky kypření na infiltrační procesy v zóně práce kypřící radlice a na stav povrchu pozemku

v závislosti na hloubce kypření. Mezovariabilitu lze hodnotit i ve vztahu k parametrům porostů na pozemku v závislosti na způsobu jejich založení. Obrázek 4 dokládá mezovariabilitu pozemku v závislosti na způsobu založení mezplodin do pásů a ve vztahu k vyšetěmu druhu.



Obr. 3: Vliv rozdílné hloubky kypření na infiltraci vody do půdy a na stav povrchu půdy po zpracování. Kypření bylo provedeno kypřičem Krtek (Farmet). Lokalita Jedomělice (Brant a kol., 2019a).



Obr. 4: Grafické znázornění reálné pokrývnosti půdy v závislosti na způsobu založení pásů mezplodin (vlevo - modifikovaná plečka, vpravo - secí stroj) a v závislosti na vysetém druhu - výřez z pokusného půdního bloku (Kroulík a Brant, 2019).

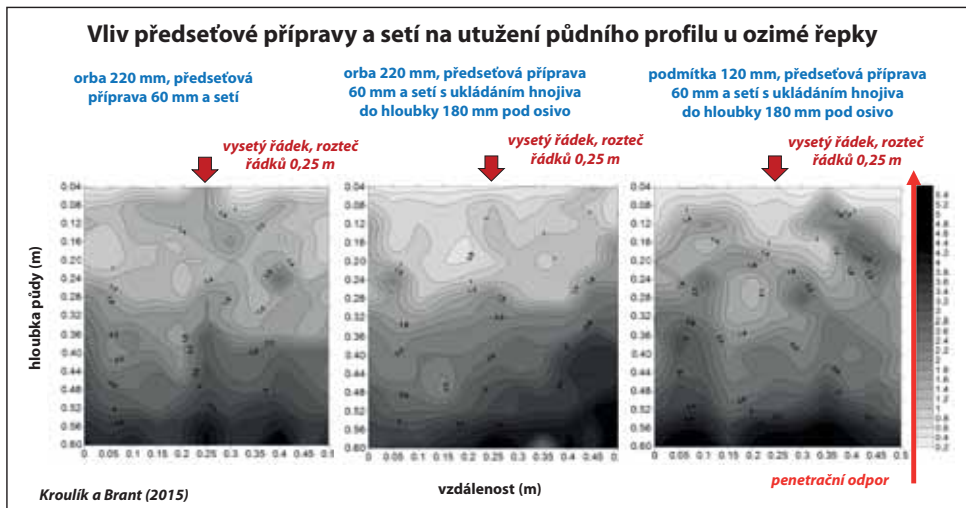
Mikrovariabilita

Z hlediska detailního pohledu jde dále o mikrovariabilitu. Ta je dána samozřejmě interakcí makro a mezovariability, ale je následně modifikována například vlivem kořenového systému, rozložením rostlinných zbytků, rozmištěním minerálních a organických hnojiv v půdě, systémem pórů, mezo a mikroedafonem a podobně. V čase je velmi nestálá, jsou to vlastně rychlé chemické reakce a fyzikální změny v časovém horizontu minut až měsíců. V rámci měřítka její plochy jde o desítky až stovky milimetrů. Praktické využití znalostí mikrovariability v systémech precizního zemědělství je zatím výrazně omezené (Brant a kol., 2017a). Určitý význam začíná mít toto hledisko například při uplatnění systémů diferencovaného zónálního hnojení.

Gasch a kol. (2015) používají termín malá prostorová heterogenita k charakterizaci vybraných fyzikálních, půdních chemických, půdních biologických a rostlinných ekologických vlastností ve stovkách milimetrů až po délku metru na půdě po narušení. Olmo a kol. (2016) hodnotí prostorovou heterogenitu pro popis obsahu aplikovaného biouhří a výběr fyzikálních, půdních chemických a rostlinných parametrů půdy ve stovkách milimetrů.

Pokud jde o vzájemné vztahy mezi obděláváním půdy a charakteristikami půdy, používají Williams a kol. (2017) termín prostorová heterogenita k popisu variability vybraných

půdních fyzikálních, půdních chemických a půdních biologických parametrů mezi řádky plodin a meziřádky v měřítku stovek milimetrů. Alletto a kol. (2010) zkoumali prostorové malé změny v měřítku menším než jeden metr u sypané hustoty půdy a téměř nasycené hydraulické vodivosti při orbě. Za studium mikrovariability lze považovat například míru utužení půdy v místě půdního lože po výsevu plodin, kde je variabilita v horizontálním průřezu orničního profilu měřena v desítkách milimetrů (obr. 5).



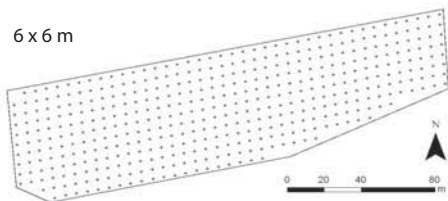
Obr. 5: Za studium mikrovariability lze považovat například míru utužení půdy v místě půdního lože po výsevu plodin, kde je variabilita v horizontálním průřezu orničního profilu měřena v desítkách milimetrů (upraveno podle Brant a kol., 2016a).

Monitoring sběru dat ve vztahu k variabilitě pozemku

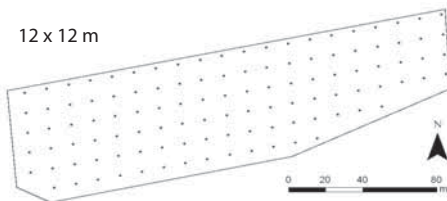
Hodnocení variability je vždy závislé na hustotě a struktuře hodnocených bodů na zájmové ploše. Při hodnocení parametrů makrovariability půdního bloku pomocí senzorů umístěných na autonomních pozemních prostředcích, či přímo na soupravách zemědělské techniky pohybujících se po půdním bloku, jsou konečná hustota sítě bodů a jejich počet na půdním bloku závislé např. na velikosti monitorované plochy použitým senzorem, počtem senzorů na pracovní soupravě, pracovním záběrem strojů apod. U parametrů, pro které nelze využít kontinuální systémy měření a záznamu a jsou spojeny s bodovým odběrem vzorků či měření, vychází hustota vzorkování z metodických doporučení optimalizujících jejich počet k hodnocené ploše či subjektivního standardizovaného odhadu. Při práci v zemědělské praxi představuje mnohdy počet bodových měření kompromis mezi minimálním počtem bodů ve vztahu k velikosti plochy půdního bloku, časové reálnosti hodnocení a ekonomickým nákladům na odběr vzorku či měření a tomu odpovídajících následných analýz. Monitoring variability půdního bloku pomocí bezkontaktních metod s využitím snímkování půdního bloku je hustota sítě primárně závislá na rozlišovací schopnosti senzoru, která je základem budoucího rastru bodů. Parametry

Hustota bodů záznamu tahové síly na půdním bloku (Kroulík)

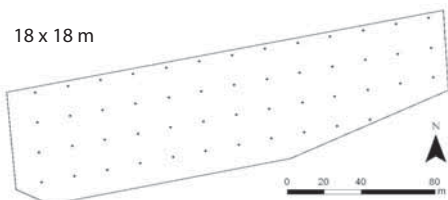
6 x 6 m



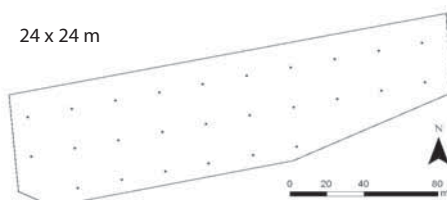
12 x 12 m



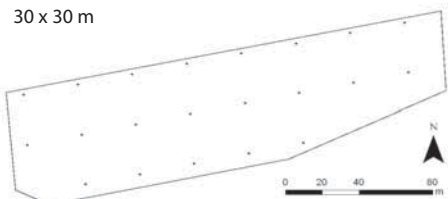
18 x 18 m



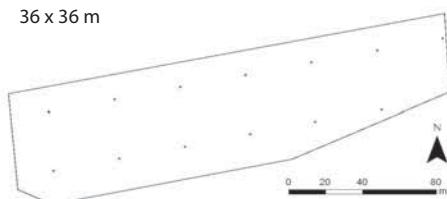
24 x 24 m



30 x 30 m

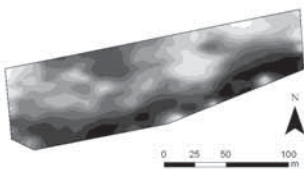
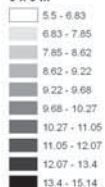


36 x 36 m

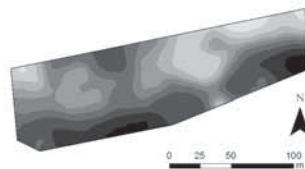
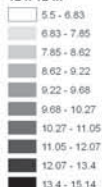


Variabilita tahové síly (kN) na půdním bloku v závislosti na hustotě sítě záznamových bodů (Kroulík)

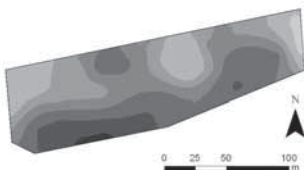
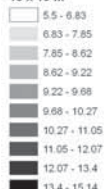
6 x 6 m



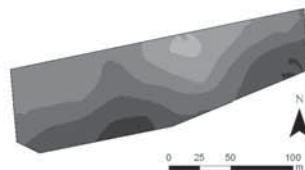
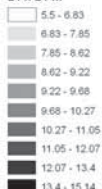
12 x 12 m



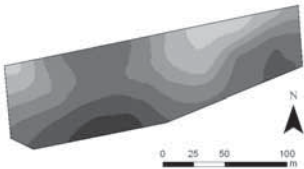
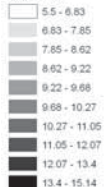
18 x 18 m



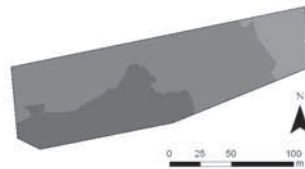
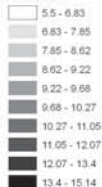
24 x 24 m



30 x 30 m



36 x 36 m



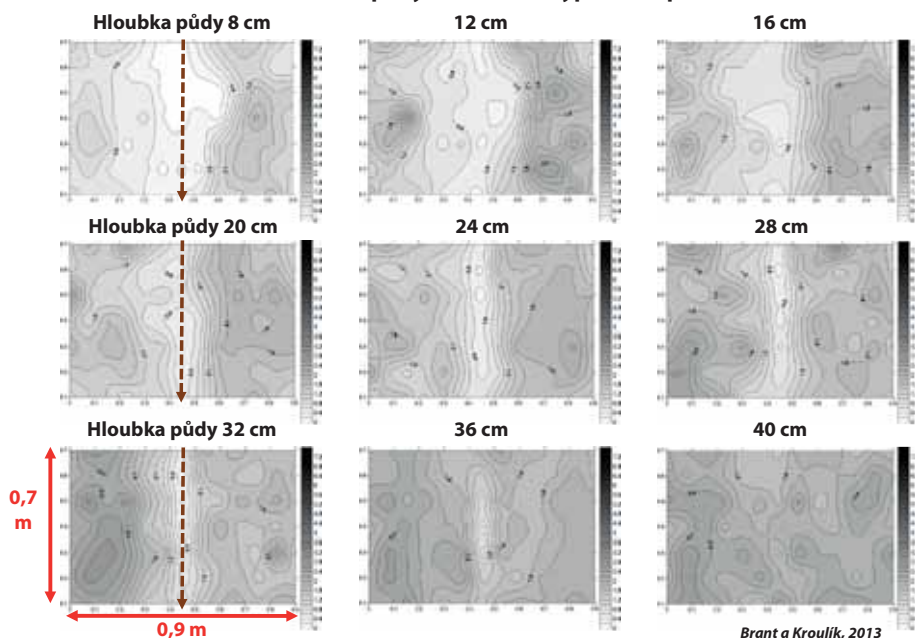
Obr. 6: Vliv velikosti rastru hodnoceného parametru (tahová síla, kN) na následnou vizualizaci variability tohoto parametru na půdním bloku.

makrovariability jsou v současné době považovány za primární směr hodnocení variability údajů na půdním bloku v precizním zemědělství. Z hlediska praktického využití makrovariability půdního bloku je však potřebné uvažovat o míře detailnosti popisu variability ve vztahu k následné implementaci do agrotechnických postupů. Limitujícím faktorem variabilní práce pracovních souprav může být záběr stroje, rychlost reakce rozmetadla průmyslových hnojiv na detailnost aplikační mapy, změna variabilního výsevku jen pro celý záběr secího stroje, nedostupnost postřikovačů s vypínáním jednotlivých trysek apod. Obrázek 6 dokumentuje vliv velikosti rastru hodnoceného parametru (tahová síla, kN) na následnou vizualizaci variability tohoto parametru na půdním bloku.

Z hlediska monitoringu makrovariability půdního bloku je však nutné oddělit i časový pohled na daný faktor a jeho využití v časových řadách. Kromě okamžitého stavu variability daného faktoru na půdním bloku, lze pracovat i s jeho vývojem v čase. Okamžitý údaj o variabilitě faktoru je základem optimalizace agrotechnických opatření, která budou na půdním bloku provedena k hlavní či následné plodině (variabilní setí ve vztahu k teplotě půdy nebo množství rostlinných zbytků, variabilní hnojení během vegetace, ochrana proti chorobám a škůdcům, regulace plevelů, stanovení zralosti porostů apod.). Dlouhodobý vývoj variability parametrů půdního bloku je důležitý systémový přístup z hlediska optimalizace systémů zásoby živin, práce s vláhovými podmínkami, eliminace zhutnění půdy, stanovení vývoje výnosové úrovně, snížení spotřeby PHM apod.). Z hlediska využití dat v praxi však nelze jednoznačně oddělit využitelnost výsledků pro krátkodobé a dlouhodobé použití. Velmi často jsou jednotlivé údaje o variabilitě půdního bloku používány i jako validační parametr či údaj do multifaktoriálních analýz. V rámci zemědělské praxe by měly být důsledně dodržovány metodické postupy při sběru dat a jejich hodnocení na úrovni řízení podniku.

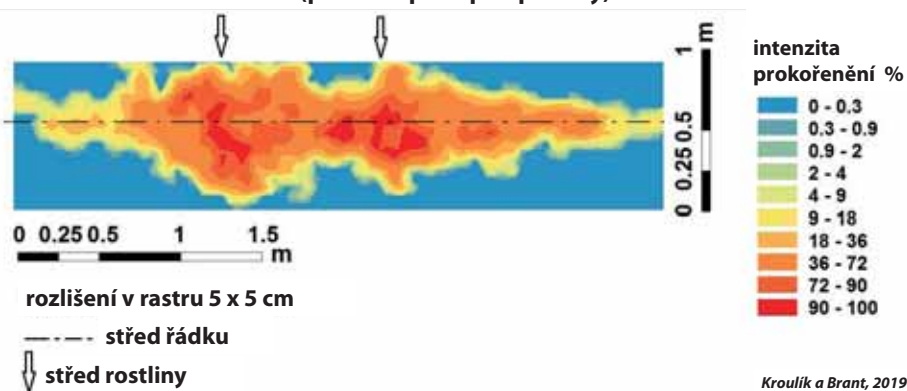
Využití parametrů mezovariability v rámci principů precizního zemědělství v praxi je ve srovnání s makrovariabilitou spíše opomíjenou skutečností. Využití mezovariability je mnohdy dáno pravidelnou periodičností opakujícího se jevu na půdním bloku s možností přesné lokalizace této variability. Do faktorů mezovariability lze zařadit údaje o kolejových stopách, zejména při cílené optimalizaci trajektorií, znalost linií se zonální podpovrchovou aplikací hnojiv, místa s překryvy aplikace pesticidů a hnojiv, linie řádků rostlin apod. Tyto údaje jsou známé, ale v měřítku makrovariability se z důvodu periodicity jevu nemusí projevit. Stanovení mezovariability je možné provádět na základě specifikace daného faktoru na vybraných částech půdního bloku a poté je promítnout do plochy celého půdního bloku. Znalost mezovariability lze využít pro optimalizaci nápravných opatření zhutnění půdy, pro optimalizaci odběru vzorků půdy z hlediska obsahu živin, pro cílené umístění řádků vysévané plodiny apod. V rámci mezovariability lze detailně hodnotit i plošnou variabilitu půdního prostředí v jejich jednotlivých horizontech. Obrázek 7 dokládá vliv hlubokého pásového kypření na hodnoty penetračního odporu půdy v místě kypřeného pásu v rozdílných hloubkách půdy (rastr vpichových bodů byl 40 mm vertikálně s horizontálním rastrem 75 × 100 mm). U hodnocení mezovariability hraje hustota monitorovaného rastru bodů obdobnou roli jako u makrovariability, ale jedná se o velikost rastru v hodnotách desítek až tisíců milimetrů. V rámci mezovariability lze pracovat také se zonálním rozložením kořenových systémů rostlin v půdě (obr. 8).

Variabilita penetračního odporu půdy (MPa) v trajektorii kypřeného pásu v jednotlivých hloubkách půdy, ← střed kypřeného pásu



Obr. 7: Vliv hlubokého pásového kypření na hodnoty penetračního odporu půdy v místě kypřeného pásu v rozdílných hloubkách půdy (rastr vpichových bodů byl 40 mm vertikálně s horizontálním rastrem 75 × 100 mm).

Intenzita prokořenění půdy v řádku s chmelem otáčivým (pohled z ptáčích perspektivy)



Obr. 8: Specifikace intenzity prokořenění půdy v řádku s chmelem otáčivým na základě analýzy obrazu zrekonstruovaných kořenových systémů po vyjmutí z půdy. Metoda infrasnímku s následnou interpolací průměrných hodnot prokořenění v rastru 5 × 5 cm.

Prostorová variabilita půdního prostředí - implementační část (Brant, Kroulík a Záborský)

Prostorová makrovariabilita půdního prostředí v interakci s mezovariabilitou danou zpracováním půdy ovlivňuje i infiltrační procesy vody do půdy, včetně následné dostupnosti vody pro rostliny během vegetace. Za účelem stanovení vlivu variability půdního bloku v závislosti na způsobu zpracování půdy byly na podzim roku 2016 založeny přesné polní experimenty na lokalitě Řisuty, střední Čechy (GPS 50°12'29.823"N, 14°0'54.667"E). Na části půdního bloku bylo provedeno 1. 11. 2016 primární mapování makrovariability pozemku pomocí půdní sondy pro měření vodivosti půdy EM 38. Sensor sondy je umístěn na speciální nekovové ližinové konstrukci a je propojen se signálem GPS/DGPS. Na hodnocené části půdního bloku bylo v den měření půdní vodivosti rovněž provedeno základní zpracování půdy. Měření probíhalo na nezpracovaném strništi předplodiny, kterou byl jarní ječmen.

Část pokusné plochy byla zpracována kypřičem s parabolickými slupicemi Digger Farmet, vybaveným senzorem pro měření vodivosti půdy při kypření. Hloubka kypření činila 0,25 m. Cílem měření vodivosti půdy při kypření bylo ověření validity měření sondou EM 38 (obr. 1.1.). Druhá část pozemku byla zpracována talířovým kypřičem Carrier Väderstad, hloubka kypření 0,1 m.

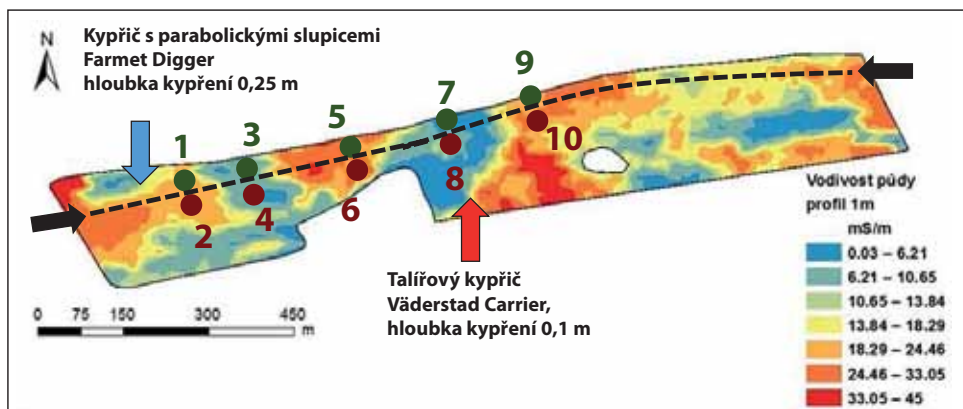
Na základě mapy půdní vodivosti stanovené sondou EM 38 a nadmořské výšky bylo na pokusném pozemku stanoveno deset odběrových bodů, na kterých bylo 14. 3. 2017 provedeno měření infiltrace vody do půdy (metoda modré infiltrace). Hodnoty půdní vodivosti na části hodnoceného půdního bloku dokumentuje obrázek 1.2. Obrázek rovněž dokládá části pozemku zpracované rozdílnými kypřiči. Body označené lichými čísly se nacházejí na ploše zpracované strojem Digger, se sudými talířovým kypřičem Carrier. Vzdálenost mezi dvojicemi bodů, které jsou odděleny hranicí mezi systémy zpracování půdy, se pohybovala v rozmezí vzdálenosti 10–20 m.



Obr. 1.1.: Měření vodivosti půdy sondou EM 38 provedené 1. 11. 2016 (foto Brant).

Modrá infiltrace byla hodnocena na základě odrytí půdního profilu o šířce 1,8 m a hloubce 0,8 m umístěného kolmo na směr pracovní jízdy strojů pro základní zpracování půdy. U každé sondy byly hodnoceny vždy dva řezy. Zalití půdy modrou barvou proběhlo 12. 3. 2017. Dávka obarvené vody odpovídala srážce 40 mm. Infiltrace byla následně hodnocena na základě plochy půdy obarvené modrou barvou z celkové plochy půdního profilu.

Po provedení předsetové přípravy půdy a vysetí hlavní plodiny (hrách setý) byla v bodech 1, 3, 5, 7 a 9 nainstalována čidla

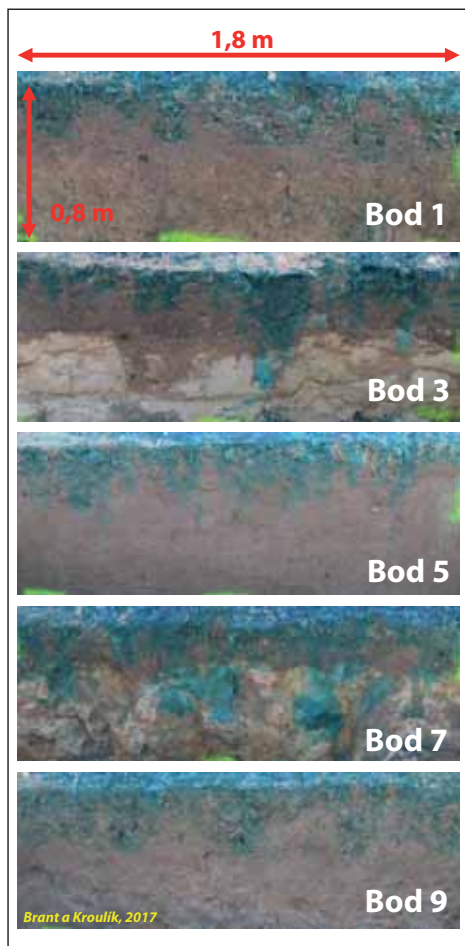


Obr. 1.2.: Mapa vodivosti půdy stanovená 14. 3. 2017 na lokalitě Řisuty. Číslice 1 až 10 ukazují pozice, kde bylo provedeno stanovení modré infiltrace a měření penetračního odporu půdy 14. 3. 2017. Černá čárkovaná čára odděluje hranici mezi systémy zpracování půdy.

pro měření potenciálu půdní vody (SWP, MPa, čidla GypsumBlock + ústředna MicroLog SP3) a teploty půdy (°C, teploměry PT 100 + MicroLog T3). Měření výše uvedených veličin probíhalo kontinuálně v hloubkách půdy 0,1; 0,2 a 0,3 m od 6. 4. 2017 do 29. 6. 2017. Na základě GPS souřadnic byla čidla instalována do trajektorií kypřících nástrojů. V rámci dalších hodnocení byly sledovány vybrané fyzikální a chemické vlastnosti půdy v jednotlivých částech půdního profilu (penetrační odpor, pH, stabilita půdních agregátů, obsah organické hmoty apod.) a dynamika vývoje porostu na pokusném pozemku a výnos semene.

Odrytí půdních profilů potvrdilo heterogenitu půdního prostředí stanovenou sondou EM 38. Obrázek 1.3. dokumentuje

Obr. 1.3.: Grafické znázornění půdních profilů na plochách zpracovaných kypřičem Digger do hloubky 0,25 m (body 1, 3, 5, 7 a 9). Modrá barva dokumentuje infiltraci vody. Na obrázcích jsou patrné rozdíly v rámci horizontálního členění půdního profilu i vliv kypřících dlát na tvorbu preferenčních cest infiltrace. Rozteč mezi dláty je 0,42 m.

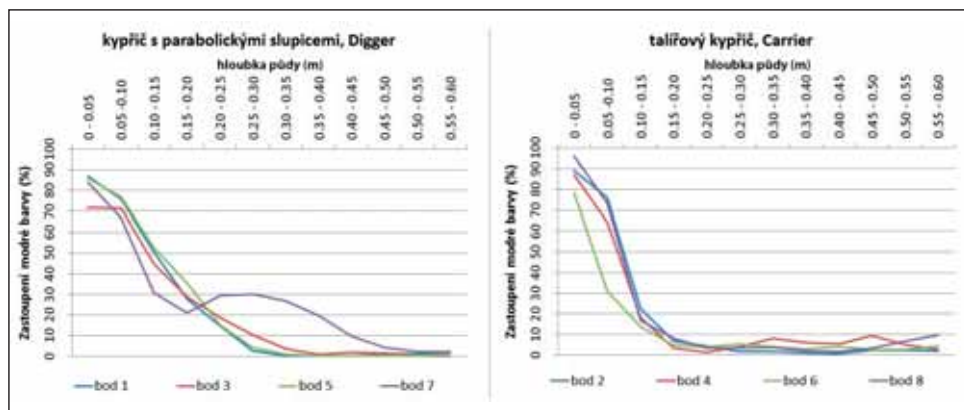


grafické znázornění půdních profilů na plochách zpracovaných kypřičem Digger do hloubky 0,25 m (body 1, 3, 5, 7 a 9). Z obrázku jsou dobře patrné nejen rozdíly v horizontálním uspořádání jednotlivých horizontů, ale i vliv kypřících nástrojů na preferenční toky infiltrující vody. Rozteč mezi pracovními nástroji kypřiče činila 0,42 m. Nejnižší hloubka orničního profilu byla stanovena u bodu 7, který se nachází na vrcholu terénní vlny. Vrstva ornice se zde pohybovala v rozmezí 0,15 až 0,25 m, pod orniční vrstvou se již nacházelo opukové podloží. Nejvyšší vrstva ornice byla naopak stanovena na bodech 5 a 6, tedy pod úpatím terénní vlny. Její hloubka činila až 0,7 m.

Na základě stanovení hodnot infiltrace pomocí plošného podílu modré barvy ve vrstvách půdního profilu se však ukazuje, že makrovariabilita půdního prostředí může být do značné míry překryta, nebo naopak zvýrazněna zpracováním půdy. Na pokusném pozemku je více než deset let uplatňován systém mělkého zpracování půdy bez obracení, kde se hloubka zpracování půdy pohybuje v rozmezí 0,1–0,15 m. Systémy mělkého zpracování půdy jsou však spojeny s postupným utužováním, ale i zhutňováním půdy pod hranicí jejího kypření. Což potvrdila provedená měření.

Efekt dlouhodobého mělkého zpracování půdy na hodnoty infiltrace je dobře patrný na obrázku 1.4. (vpravo). Nejvyšší podíl modré barvy na ploše půdních profilů byl stanoven do hloubky půdy 0,15 m. Z hlediska průběhu křivek podílu modré barvy na ploše hodnocené vrstvy není, kromě bodu 6, mezi hodnotami zásadní rozdíl. Bod 6 se vyznačuje vysokou vrstvou ornice, která do něho byla transportována v důsledku erozních procesů, protože se nachází v úžlabině mezi body 4 a 8. K posunu půdy rovněž přispívá pohyb pracovních souprav při zpracování půdy, kdy trajektorie jízdy po pozemku jsou dlouhodobě směřovány od bodu 1 do bodu 9 a zpět.

Po provedení hlubšího kypření se však průběhy křivek výrazněji rozcházejí a hranice 20% pokrytí půdy modrou barvou se posunuje do hloubky půdy 0,25 m, ta odpovídá i hloubce provedeného kypření. Hlubší kypření vedlo k přiblížení se křivky pro bod 5

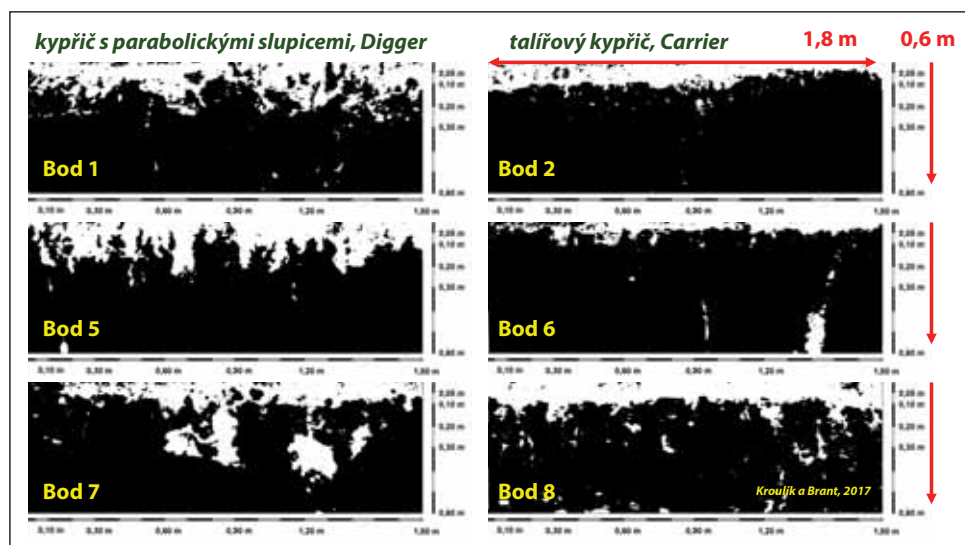


Obr. 1.4.: Procentuální zastoupení modré barvy ve vrstvách půdy na hodnocených profilech na bodech 1–8, dne 14. 3. 2017.

(párový s bodem 6) k průběhům křivek bodů 1 a 3. Naopak zásadní změna průběhu křivky je patrná u bodu 7, bod s nejmělkším půdním profilem.

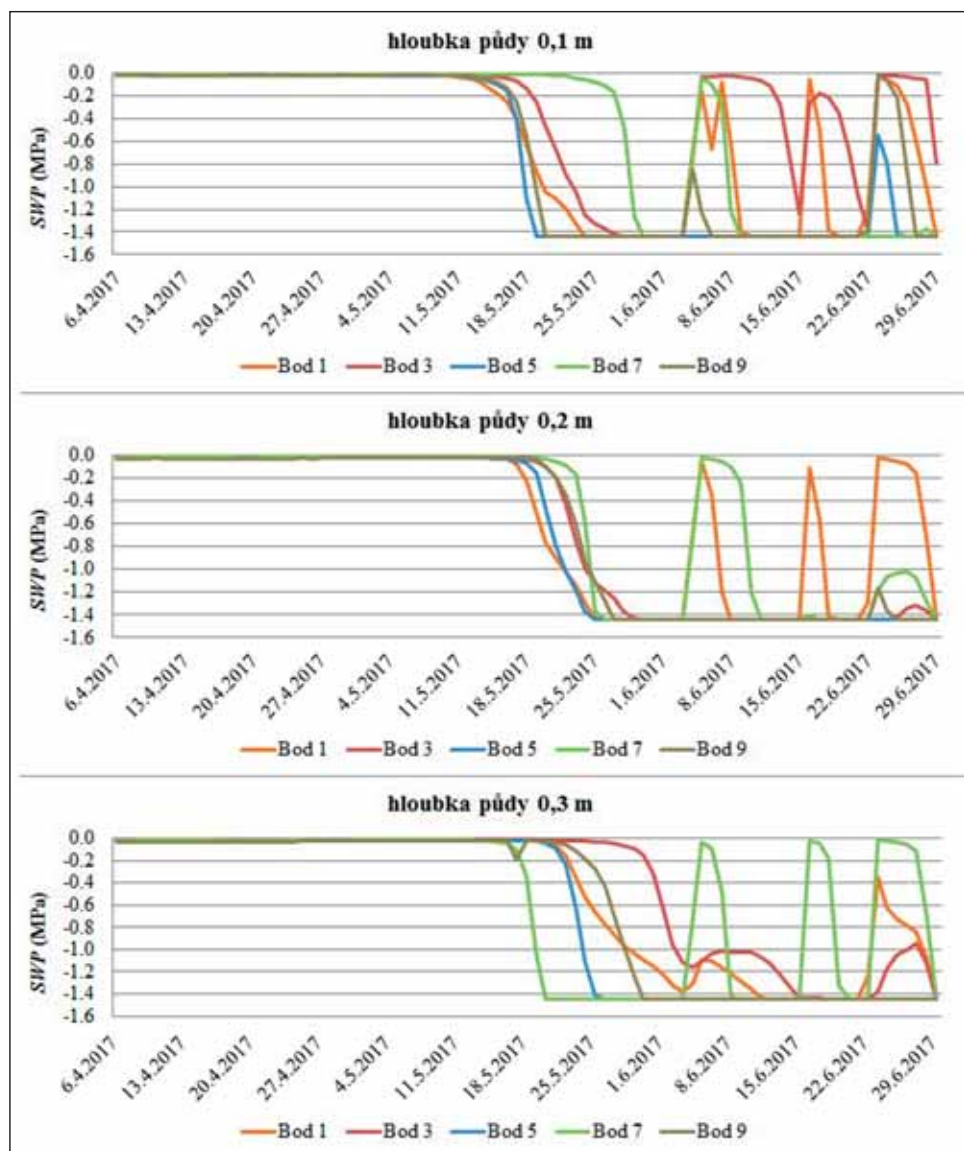
Grafické znázornění vlivu zpracování půdy na infiltraci dokumentuje obrázek 1.5. Z grafických záznamů infiltrace převedených do bílo-černého obrazu je dobře patrná malá infiltrační schopnost na ploše zpracované talířovým kypříčem (body 2, 6 a 8). Naopak provedení hlubšího kypření přispělo k výraznější infiltraci vody do spodních vrstev půdy (body 1, 5 a 7). Hodnocené profily (prostorové uspořádání bílé barvy) na hlouběji kypřených bodech vykazují mezi sebou větší odlišnost, než profily 2, 6 a 8. Na grafickém znázornění infiltrace (obr. 1.5.) lze rovněž dobře pozorovat interakci mezi půdními podmínkami a vlivem kypřících nástrojů na půdu (body 1, 5 a 7). Profil bodu 1 se vyznačoval vyšší přítomností skeletu, který přispěl k tvorbě pravidelnějších nakypřených rýh vykazujících na průřezu tvar písmena „V“. U bodu 5 byl kypřící efekt potlačen větším podílem jemnozeme a zároveň vyšší soudržností půdy. Preferenční toky pro vodu tak vytvářely samotné trajektorie po dlátech a případné praskliny mezi nimi. Při zpracování půdy na bodu 7 došlo k odtržení slabé vrstvy ornice od opukového podkladu a orniční profil se chová jako by byl celý rovnoměrně prokypřen (obr. 1.5.).

Variabilita půdního prostředí v kombinaci se zpracováním půdy se projevila i na hodnotách potenciálu půdní vody (SWP, obr. 1.6.). Od dubna do poloviny května se na všech měřených bodech pohybovaly hodnoty vodního potenciálu půdní vody blízko v intervalu $-0,02$ až 0 MPa, půda tedy byla dostatečně zásobena vodou. Od června však docházelo na všech hodnocených částech pozemku k výraznému poklesu hodnot vodního potenciálu, a to na hodnoty blízké se bodu vadnutí ($-1,5$ MPa). Poklesy SWP jsou patrné zejména ve vrstvách půdy $0,1$ a $0,2$ m. Ve vrstvě půdy $0,3$ m byl pokles hodnot vodního potenciálu



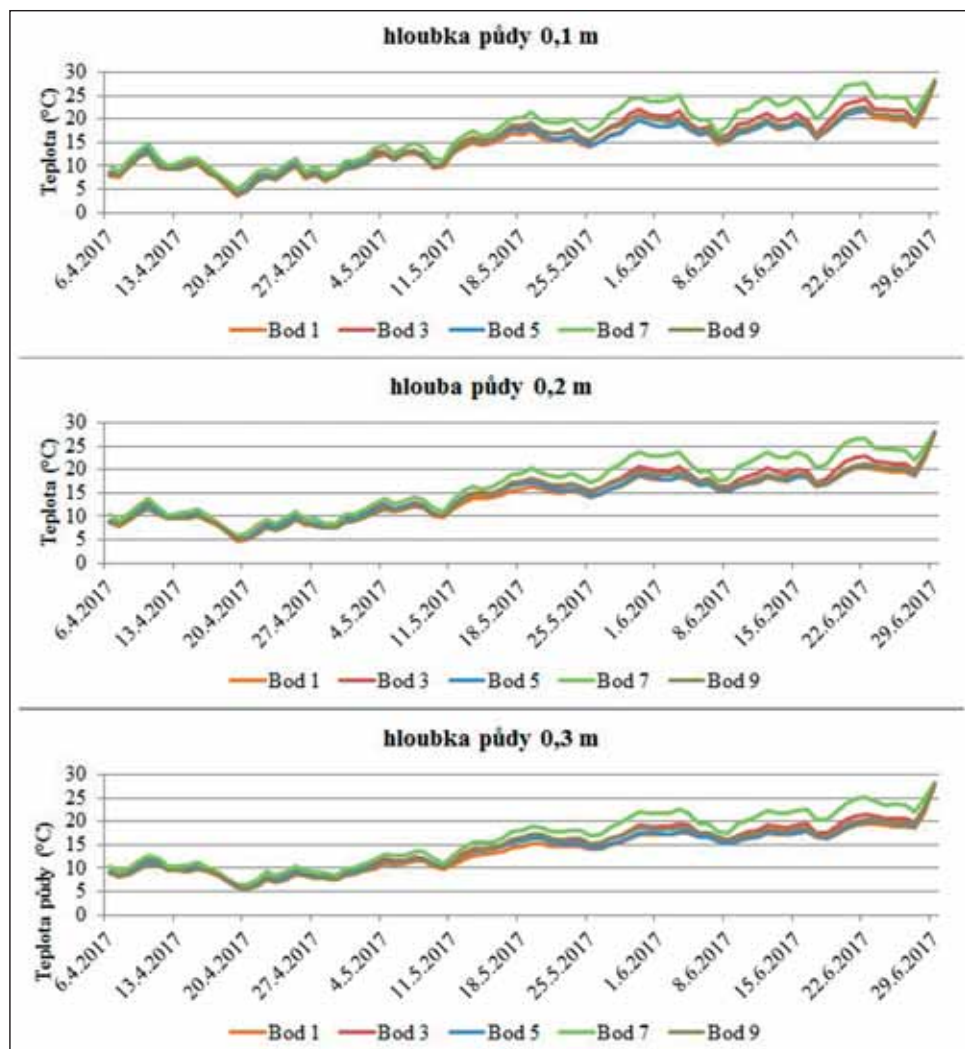
Obr. 1.5.: Infiltrace vody do půdy v závislosti na zpracování půdy na vybraných bodech pozemku (14. 3. 2017). Bílá barva dokumentuje zóny infiltrace. Lokalita Řisuty.

půdy pozvolněji, mimo hodnot stanovených v bodu 7. Zajímavá je dynamika kolísání hodnot během vegetace na hodnocených plochách. V horní vrstvě půdy lze kolísání spojit se srážkovou aktivitou a reakcí na vliv infiltrace srážkové vody. Záznam průběhu SWP ve vrstvě půdy 0,2 m ukazuje, že nárůst hodnot SWP lze spojovat s jejich nárůstem ve vrstvě 0,1 m. Zajímavá je skutečnost, že v hloubce 0,3 m docházelo k nárůstu hodnot



Obr. 1.6.: Průměrné denní hodnoty potenciálu půdní vody (SWP, MPa) na ploše zpracované kypřičem Digger na bodech 1, 3, 5, 7 a 9 v hloubkách půdy 0,1; 0,2 a 0,3 m za období 6. 4. 2017 až 29. 6. 2017. Záznam hodnot použitých pro stanovení denního průměru byl prováděn v hodinovém intervalu.

SWP na variantě 7 bez obdobné odezvy ve vyšších vrstvách půdy (obr. 1.6., hloubka půdy 0,3 m). Především se jedná o průběhy hodnot začínající od 16. 6. 2017 a od 24. 6. 2017. Zde můžeme předpokládat, že voda se do dané vrstvy půdy nedostala infiltrací z horní vrstvy půdy, ale pravděpodobně v důsledku jejího proudění ve spodní vrstvě půdy ve směru gravitace po nepropustném podloží. Rychlý nárůst obsahu vody v půdě ve výše uvedených dnech se projevili i na vyšším poklesu průměrné denní teploty půdy, která na bodu 7 klesla ve zmíněných časových obdobích o více než dva stupně, na ostatních plochách však jen asi o jeden teplotní stupeň (obr. 1.7.). Dalším faktorem ovlivňujícím teplotu půdy mohla být i hodnota pokrývnosti porostu, která byla v okolí bodů 7 a 8, ve srovnání s dalšími



Obr. 1.7.: Průměrné denní teploty půdy (°C) na ploše zpracované kypřičem Digger na bodech 1, 3, 5, 7 a 9 v hloubkách půdy 0,1; 0,2 a 0,3 m za období 6. 4. 2017 až 29. 6. 2017. Záznam hodnot použitých pro stanovení denního průměru byl prováděn v hodinovém intervalu.

body, nižší. Dosavadní hodnocení měření hodnot vodního potenciálu na sledovaných částech pozemku ukázala, že pro podrobnější stanovení vlivu srážky na infiltraci a dostupnost vody v půdě, je potřebné měření srážek na každém z hodnocených bodů z důvodu její zonálnosti.

Cílem provedených experimentů bylo prokázat závislost mezi makrovariabilitou pozemku stanovenou pomocí elektrické vodivosti a ověřenou odkrytím půdních profilů na infiltrační schopnost půdy.

Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

- Měření elektrické vodivosti půdy lze prokázat půdní heterogenitu pozemku projevující se rozdílností půdních profilů.
- Infiltrační schopnost půdy nemusí v důsledku vlivu zpracování půdy korespondovat s makrovariabilitou pozemku stanovenou pomocí elektrické vodivosti.
- Infiltrační procesy v orničním profilu modifikuje především systém zpracování půdy, jeho vliv na půdní prostředí je však zpětně ovlivňován vlastnostmi půdního prostředí.
- Hlubší zpracování půdy vede ke změnám vláhových a teplotních podmínek na stanovišti v souladu s jeho makrovariabilitou.

Velikost půdního bloku

Velikost půdního bloku je jeden z primárních faktorů rozhodující o energetické a ekonomické náročnosti agrotechnických opatření. Velikost půdního bloku určuje míru variability a možnosti její specifikace. Lorenz a Münchhoff (2015) uvádějí, že principy precizního zemědělství lze efektivně uplatňovat na pozemcích větších než je 0,5 ha. Menší pozemky nevykazují zásadní variabilitu půdního prostředí, nebo je její stanovení problematické či časově náročné. Pozemky menší než 0,5 ha tedy doporučují obhospodařovat nevariabilně. Nutné je však připomenout, že specifikace velikosti pozemku vhodného pro uplatnění principů precizního zemědělství probíhala na farmě, kde nejmenší pozemek dosahoval velikosti 0,35 ha a největší 16,7 ha. V podmínkách České republiky se v praxi setkáváme se skutečností, že za minimální výměru pozemku vhodného pro uplatnění principů precizního zemědělství je považována hranice mezi 2 až 5 ha. Zásadní roli pro stanovení této hranice hraje samozřejmě celková výměra obhospodařované půdy a velikostní struktura pozemků.

Výměru půdního bloku lze tedy považovat za jedno z kritérií ovlivňující možnost uplatnění principů precizního zemědělství. Kapička a kol. (2017) provedli v roce 2017 analýzu velikosti půdních bloků v rámci České republiky. Do multikriteriální analýzy byla jako výchozí vrstva použita vrstva půdních bloků LPIS (Land Parcel Identification System). Z databáze byly vyřazeny kategorie bloků, na nichž vycházejí z jejich charakteru není možná optimalizace (kategorie B - rybníky a kategorie E - krajinné prvky typu remízky, lesní pásma apod.) Do multikriteriální analýzy bylo zahrnuto 291 147 půdních bloků o celkové výměře 3 647 180 ha. Průměrná výměra zahrnutých půdních bloků byla 12,5 ha, největší půdní blok měl výměru 1 053,9 ha. Tabulka 1 dokumentuje počet půdních bloků v dané velikostní kategorii a jejich celkovou výměru. Celková plocha půdních bloků do výměry 2 ha se na celkové výměře hodnocených půdních bloků podílí 2,7 %, výměra půdních bloků do velikosti 5 ha poté 4,5 %. To znamená, budeme-li hodnotit pouze výměru, že více než 95 % půdních bloků v České republice je vhodná pro uplatnění principů precizního zemědělství. Dále je však nutné připomenout, že samotná výměra je pouze jedním z předpokladů. Analýza samozřejmě nemohla zahrnout do hodnocení části půdních bloků, jejichž stav se v čase výrazně mění. Dále lze v současné době považovat tento údaj za irelevantní. Důvodem jsou legislativní opatření v rámci standardu DZES 7d (platnost od 1. 1. 2020), který zavádí podmínku omezení pěstování monokultur na max. 30 ha souvislé plochy. V důsledku tohoto opatření dochází k zásadní změně velikosti obhospodařovaných ploch. Subjekty využívající principy precizního zemědělství, tak musí provést nové optimalizace pohybů pracovních souprav a přehodnocení variability dílů půdních bloků. Dalším výrazným rizikem pro rozvoj principů precizního zemědělství jsou nesystémové a časově rychlé změny legislativy. Ty vedou k neustálení principů precizního zemědělství na půdních blocích a zásadním způsobem zamezují ekonomické návratnosti investic do principů precizního zemědělství, ale také mohou zvýšit ekologická rizika pro půdu a krajinu. Na dlouhodobou potřebu uplatňování principů precizního zemědělství z důvodu variability způsobených vlivem ročníku poukazují např. Lorenz a Münchhoff (2015) na příkladu stanovení ekonomické návratnosti a na spotřebě poklesu potřeby hnojení, v desetiletém hodnocení.

Tab. 1: Rozložení velikosti zahrnutých půdních bloků (PB, platné k 20. 5. 2017), Kapička a kol. (2017).

Kategorie velikosti PB (ha)	Počet PB (kusy)	Celková výměra dané kategorie podle velikosti (ha)
do 1	85 186	40 393
1–2	40 254	57 902
2–5	50 792	164 906
5–10	34 523	247 234
10–20	30 985	443 443
20–40	25 266	715 521
40–60	10 592	516 327
60–100	8 380	639 749
100 a více	5 169	821 706
celkový součet	291 147	3 647 180

Zásadní vliv na změnu velikostních a tvarových parametrů půdních bloků má i zabírání zemědělské půdy z hlediska nezemědělského využití (obr. 9), časté je jejich přerušení budovanou infrastrukturou, vznik nepravidelných hranic, omezení přístupnosti apod.

Opodstatněnost hodnocení velikosti půdního bloku z hlediska precizního zemědělství vychází z vlivu tohoto faktoru na energetickou a ekonomickou náročnost prováděných agrotechnických operací a omezování ekologických rizik zemědělství na životní prostředí. Auernhammer a kol. (2001) poukazují na skutečnost, že s nárůstem velikosti půdního bloku narůstá podíl pracovního času na celkové spotřebě času na základě omezení spotřeby času na přepravu, otáčení se a na seřizování či přípravu strojů do pracovní či transportní polohy, čímž dochází ke zvyšování plošného výkonu. Seufert (1995) rovněž upozorňuje, že zvyšování velikosti půdních bloků představuje jednu z cest ke zvýšení produktivnosti polních prací z hlediska optimalizace pracovních operací. Ve starých členských zemích Evropské unie se setkáváme se studii poukazujícími na pozitivní vliv nárůstu půdního bloku na výměru přibližně 40 ha (Degner, 1999). Zvětšením výměry na tuto hodnotu dochází k průkaznému poklesu provozních nákladů při současném využití strojů s větším záběrem.



Obr. 9: Vliv změny intravilánu v čase na tvar sousedních půdních bloků (Brant, 2018, mapový zdroj: Seznam.cz).

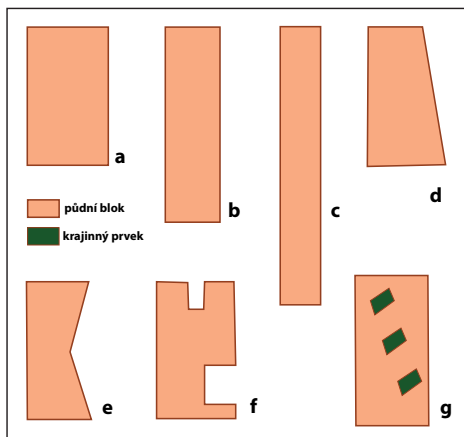
Zvýšení velikosti půdního bloku přispívá k nárůstu efektivity pěstování u cukrové řepy především z důvodu zvýšení výkonnosti pracovních souprav, včetně sklízeců (Demmel a kol., 2014). Köhne (2001) poukazuje na skutečnost, že jednou z podmínek pro další rozvoj zemědělských subjektů ve Spolkové republice Německo je zvyšování jejich obhospodařované výměry, což je spojeno i s nárůstem velikosti půdních bloků. Za zásadní lze považovat i pozitivní vliv zvětšení pozemků na nárůst výnosu v důsledku redukce okrajového efektu, který je spojen s redukcí výnosu (Wagner, 2001). Na pozemcích s větší výměrou byla úspora času pod 10 % oproti stávajícím směrům pracovních jízd. Pozitivní vliv zvětšení velikosti půdního bloku na snížení finančních nákladů na sklizeň jedné tuny dřevin pro energetické využití v podmínkách Rakouska potvrzují rovněž Handler a kol. (2014). Velikost pozemku a jeho tvar však mohou mít odlišný vliv na efektivitu rozdílných pracovních operací. Pozitivní vliv nárůstu velikosti půdního bloku lze obecně očekávat u zpracování půdy (např. Brunotte a Fröba, 2007) a u aplikace hnojiv a pesticidů. Zcela rozdílný vliv lze očekávat u sklizně plodin, které se vyznačují vysokou produkcí nadzemní biomasy na jednotku plochy. Duttmann a kol. (2013) uvádějí, že velikost pozemku a jeho tvar určují poměr mezi délkou jízdy potřebné k dojetí a následnému odvozu materiálu od sklízecce vůči délce jízdy při plnění odvozového prostředku sklízecem u silážní kukuřice. Transportní jízdy vůči jízdám plnění mohou dosahovat 56 až 170 %. Tato skutečnost zásadním způsobem může ovlivňovat energetickou efektivitu při produkci bioplynu. Demmel a kol. (2014) poukazují na skutečnost (podmínky SRN), že zvýšení průměrné plochy pozemku z 1,1 ha na 8 ha sníží sklizňové náklady u cukrové řepy a náklady na odvoz cukrové řepy o 10 %. Zvýšení velikosti pozemku na 19 ha sníží tyto náklady při vybudování meziskladu cukrové řepy o 16 %.

Na základě výše uvedených skutečností je patrné, že nárůst velikosti půdního bloku zajišťuje vhodnější podmínky pro stanovení variability hodnocených parametrů a stanovení jednotlivých zón pro variabilní práci pracovních souprav. S nárůstem plochy pozemku dochází i k nárůstu efektivity práce a ke snížení přejezdů po půdním bloku. Zvětšování výměry půdních bloků přispívá ke zvětšování záběrů pracovních souprav a k nárůstu požadavků na tažné prostředky. Jejich zmenšování vyvolává opačné efekty. Za pozitivní lze považovat pokles spotřeby pohonných hmot s nárůstem výměry půdního bloku. Tuto skutečnost potvrzují výsledky Kovářička (2008), který na základě měření spotřeby nafty při rozmetání minerálních hnojiv na rovném pozemku prokázal, že zvětšení pracovního záběru rozmetadla na dvojnásobek vedlo k průkaznému poklesu spotřeby nafty. Brunotte a Fröba (2007) uvádějí, že s nárůstem výměry půdního bloku nad 60 ha již pokles spotřeby pohonných hmot není zásadním faktorem ovlivňujícím efektivitu spotřeby, tak jako nárůst velikosti plochy v intervalu od 2,5 ha do 60 ha. S poklesem spotřeby pohonných hmot klesá samozřejmě i produkce CO₂.

Tvar půdního bloku

Přestože je za jedno z významných kritérií využití půdního bloku pro uplatnění principů precizního zemědělství považována jeho výměra, opomenout nelze ani jeho tvar. Obrázek 10 a tabulka 2 dokumentují vliv tvaru půdního bloku na spotřebu času potřeb-

nou k jeho obhospodařování. Výsledky opět potvrzují obecně známou skutečnost, že nejvyšší plošnou výkonnost souprav lze očekávat u pravidelných pozemků obdélníkového tvaru s poměrem délky pozemku k jeho šířce 4 : 1. Nepravidelné tvary a umístění překážek v půdním bloku (obr. 10 a tab. 2 varianty f, g) plošnou výkonnost pracovních souprav za jednotku času snižují. Většina publikovaných prací odhadujících výkonnost pracovních souprav či náklady na práci strojů vycházejí z modelů pro pravidelné pozemky. Tato skutečnost může zásadním způsobem dosažené výsledky zkreslovat. Proměnným parametrem ovlivňujícím výsledky modelových situací je poté změna poměru délky a šířky



Obr. 10: Schématické znázornění rozdílných tvarů půdních bloků se shodnou výměrou (upraveno podle Landers, 2000).

pozemku, kdy délka pravidelného pozemku zároveň odpovídá střední délce pracovní jízdy. Délka pozemku má samozřejmě vliv na časovou a ekonomickou efektivitu pracovních procesů prováděných na půdních blocích. Z hlediska hodnocení je však potřebné rozlišovat vliv délky pozemku na pracovní a transportní operace. Brunotte a Fröba (2007) uvádějí, že s nárůstem délky pozemku při zachování jeho výměry výrazně klesá spotřeba času na zpracování půdy, nárůst délky pozemku však nemá zásadní vliv na rozdíl spotřeby času mezi použitými typy strojů. S poklesem šíře pozemku může při větším pracovním záběru strojů spotřeba času klesat pomaleji z důvodu potřeby zpracování ploch menších, než je záběr stroje. Nárůst velikosti půdního bloku a zvětšení střední délky pozemku přispívá nejen ke zvýšení pracovní výkonnosti souprav při zpracování půdy, ale také ke zvýšení efektivitu práce na základě využití strojů s větším pracovním záběrem, což je však spojeno s potřebou zvýšení tahové síly tažných prostředků (Estler a Knittel, 2006).

Tab. 2: Vliv tvaru pozemku na dobu potřebnou k jeho zpracování (zdroj: Landers, 2000).

Tvar pozemku (index viz obr. 10)	Spotřeba času na zpracování 1 ha (min/ha)	Index
a - čtverec	56,6	100
b - obdélník (2:1)	54,0	95
c - obdélník (4:1)	52,4	93
d - standardní tvar *	59,5	105
e - mnohoúhelník	59,1	104
f - zastavěné plochy	60,5	107
g - překážky v PB	62,0	109

* Dvě protější strany nejsou rovnoběžné, považuje se v zemědělství za standardní

Z hlediska posuzování vlivu velikosti půdního bloku a střední délky pracovní jízdy na náklady vynaložené na práci strojů hraje roli i velikost podniku a samozřejmě struktura plodin a použité technologie. Brunotte a Fröba (2007) stanovili, že roční náklady na práci

strojů na jednotku plochy u malého podniku (výměra 120 ha) zaměřeného na produkci polních plodin klesaly s narůstající střední délkou pracovní jízdy a s nárůstem plochy půdního bloku. Půdní blok o výměře 2,5 ha a s délkou pozemku 200 m představoval hodnotu 100 % nákladů na ha. Prodloužení střední délky pracovní jízdy na 400 m snížilo náklady o 3,9 % a nárůst délky pozemku na 600 m o 5,4 %. Zvětšení velikosti půdního bloku na 5 ha snížilo náklady při výše uvedených délkách pozemku o 4,2 % (200 m), o 9,1 % (400 m) a o 10,7 % při délce 600 m. Průměrné náklady na práci strojů se u malého podniku pohybovaly v rozmezí 1 065 až 1 225 €/ha (podnik obhospodařoval také 20 ha brambor). U obdobně zaměřeného velkého podniku (výměra 1 350 ha, bez brambor) tomu bylo podobně. Půdní blok o výměře 5 ha a s délkou pozemku 200 m představoval hodnotu 100 % nákladů na ha. Prodloužení střední délky pracovní jízdy na 400 m snížilo náklady o 4,4 % a nárůst délky pozemku na 600 m o 5,4 %. Průměrné náklady na práci strojů se u velkého podniku pohybovaly v rozmezí 469 až 548 €/ha v závislosti na velikosti pozemku a jeho délce. V obecných závěrech autoři uvádějí, že střední délka pracovní jízdy, tedy její nárůst, má na pokles nákladů mnohdy větší vliv než velikost půdního bloku. (Brunotte a Fröba, 2007) rovněž poukazují na skutečnost, že s nárůstem velikosti plochy půdního bloku a při současném prodlužování se střední délky pozemku, dochází k poklesu spotřeby pohonných hmot na jednotku plochy.

Titíž autoři rovněž řešili u výše uvedených modelových podniků zatížení orné půdy přejezdy během roku nebo v rámci osevnického postupu. U malého podniku nebylo přejezdy mechanizace zatíženo 3,3 % povrchu půdy a 2,7 % povrchu bylo přejezdo jen jednou. 75 % povrchu půdy bylo přejezdo 2× a více, 15 % bylo přejezdo 10× a 2 % 27× a více. U velkého podniku nebylo přejezdy mechanizace zatíženo 10,9 % povrchu půdy a 1,3 % povrchu bylo přejezdo jen jednou. 76 % povrchu půdy bylo přejezdo 1× a více, 9 % bylo přejezdo 8× a 2 % 19× a více. Ve vztahu k metodice výpočtů je však nutné podotknout, že do výsledků se promítla struktura plodin a systémy aplikace organických hnojiv, na což autoři v práci upozorňují.

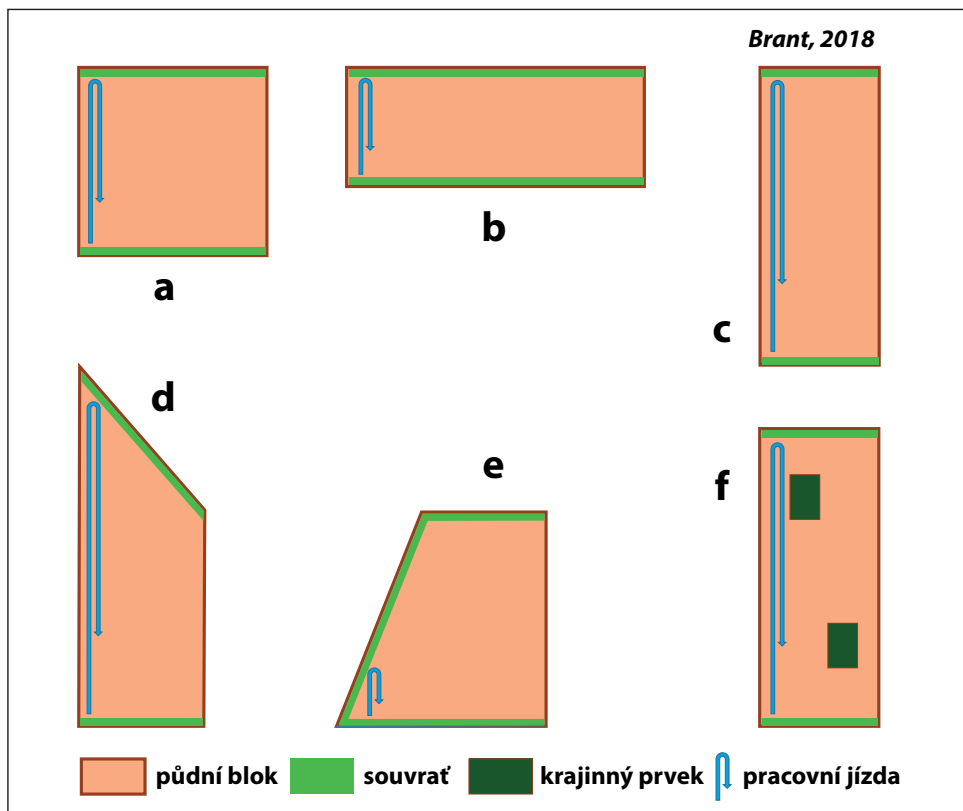
Dlouhé střední délky pozemků jsou jednoznačně výhodné pro pracovní operace, jako je základní zpracování půdy, předseťová příprava a setí druhů s menší potřebou osiva na jednotku plochy. Nárůst velikosti pozemku a prodlužující se střední délka pracovní jízdy zvyšují nároky na transport sklizených produktů a na zvyšování objemu či nosnosti zásobníků sklízečů. Větší délka pozemku může vést i ke vzniku kolejových stop ve směru její délky. Tyto kolejové stopy vzniklé přejezdem pracovních souprav, jsou jedním z faktorů zvyšujících erozní rizika na pozemku, především v porostech kukuřice (Kistler a kol., 2013). Obdobně tomu může být i v porostech cukrové řepy, kde jsou tyto stopy primárním místem povrchového odtoku vody z pozemku. Typickým příkladem je vliv stop vzniklých po tzv. přivalení půdy po zasetí. Na rozdíl od pracovních operací spojených s aplikací minerálních hnojiv vykazují výrazně odlišnou reakci na délku pozemku aplikace organických hnojiv. Pro aplikaci minerálních hnojiv je rovněž typický pokles spotřeby času na jednotku plochy půdy s narůstající délkou půdního bloku. U aplikace kejdy je tomu z důvodu vyprázdňení zásobníku před koncem pracovní jízdy a nutnosti návratu soupravy k doplnění kejdy na okraj pozemku a zpětnému napojení se na nedokončenou jízdu (Brunotte a Fröba, 2007). Aplikace organických hnojiv se z důvodu vyšších dávek

vnesených na jednotku plochy obecně vyznačuje vyšším zatížením pozemku jízdami na prázdno. Za optimální stav lze považovat situaci, kdy kapacita rozmetadla vystačí při dané dávce na cestu od souvratě pozemku na protější souvrať a zpět (Kovaříček a kol., 2005). Tato situace je mnohdy spojena i s následnou nerovnoměrnou aplikací kapalných organických hnojiv (obr. 11). S narůstající hmotností zatížení zásobníku jednoznačně narůstá délka pracovní jízdy bez potřeby doplnění hnojiva, zároveň však narůstá i hmotnost soupravy a zatížení pneumatik aplikátoru (Brant a kol., 2018a). Změna hmotnosti zásobníků zásadním způsobem ovlivňuje jízdní vlastnosti soupravy, včetně požadavku na tahový výkon traktoru a určuje i možnosti dosažení požadované pracovní rychlosti. Obdobná situace může nastat i při odvozu produkce plodin, které vytvářejí značné množství biomasy, především silážní kukuřice a jednoleté a víceleté pícniny na orné půdě. Na zatížení půdy opakovanými přejezdy, které se zároveň vyznačují jiným zatížením půdy, upozorňuje Brunotte (2013) na základě modelu stanoveném při odvozu řezanky při sklizni kukuřice na siláž. Zvětšení velikosti půdního bloku a obdélníkový tvar pozemku jsou předpokladem pro nárůst záběru pracovních souprav, díky čemuž dochází k následné úspoře pohonných hmot na jednotku plochy.

Obecně opomíjenou skutečností je vliv tvaru pozemku a jeho velikosti na plochy potřebné k otáčení zemědělských strojů na krajích pozemků. Především u nepravidelných půdních bloků tato plocha zásadním způsobem narůstá. Do této plochy lze jednoznačně přiřadit souvratě, ale také plochy navazující na vnitřní a vnější klínovité hranice pozemku. Prostorové rozmístění souvratí a jejich podíl na ploše pozemku určuje tvar půdního bloku, směr orientace pracovních jízd a šířka souvratě. Šířka souvratě je v současné době určována záběrem secího stroje či jeho násobky, v integraci se záběrem postřikovače. Určitou mírou



Obr. 11: Variabilita aplikace kapalných organických hnojiv při nerespektování závislosti mezi dávkou hnojiva a délkou pozemku (foto Brant).



Obr. 12: Rozdílné tvary půdního bloku při výměře 40 ha a odlišné způsoby ozelenění souvratě o šířce 24 m (Brant a kol., 2018b).

variability šířky souvratě zajišťují poté secí stroje s variabilní změnou záběru a možností změn záběru postřikovače (vypínání sekcí až jednotlivých trysek). Obrázek 12 znázorňuje modelové rozmístění souvratí na pozemcích s rozdílným tvarem a s odlišným směrem trajektorií pracovních souprav při shodné výměře 40 ha a šířkou souvratě 24 m. Vliv změny šířky souvratě na jejich celkovou plochu a procentuální podíl na výměře modelových půdních bloků na obrázku 12 dokumentuje tabulka 3 (Brant a kol., 2018b). Z výsledků jednoznačně vyplývá obecně známý předpoklad, že při zachování výměry půdního bloku plošný podíl souvratě na jeho výměře narůstá při zužujícím se poměru délky pozemku a jeho šířky, s odklonem od pravidelného tvaru a s narůstající šířkou souvratě. Obrázek 13 dokládá závislost mezi šířkou ozeleněné souvratě (m) ve vztahu k výměře půdního bloku (ha) na procentuální podíl plochy souvratě na celkové výměře půdního bloku (%). Model je spočítán pro obdélníkový tvar pozemku a pro poměr délek a šířek pozemku 4 : 1, 3 : 1 a 2 : 1. Pro srovnání je jako maximální přípustný podíl plochy souvratě na výměře pozemku stanovena hranice 5 %. Skutečné hodnoty výměry plochy souvratě (ha) pro pozemky s rozdílnou výměrou a s poměrem stran 4 : 1 a 2 : 1 dokumentuje tabulka 3. Plocha souvratě při výměře půdního bloku 1 ha a šířky souvratě 6 m dosahuje hodnoty 0,06 ha (poměr

stran 4 : 1) při změně poměru stran (2 : 1) však již 0,08 ha. U 100 ha pozemku činí plocha souvratě při její šířce 32 m 3,2 ha (poměr 4 : 1) a 4,52 ha při poměru 2 : 1.

Plocha souvratí je důležitá i z hlediska nákladů na jejich ozelenění, které lze vnímat jako jedno z protierozních opatření. Podle Branta a kol. (2018b) se náklady na ozelenění 1 ha souvratě v závislosti na fixních a variabilních nákladech mohou pohybovat v rozmezí 5 000–11 000 Kč. Do ceny je zahrnuta i výše nájemného. Z hlediska dalších nákladů bude

Tab. 3: Plocha souvratě (ha) a její procentuální podíl na ploše půdního bloku (%) v závislosti na šířce souvratě pro odlišné půdní bloky o výměře 40 ha znázorněné na obrázku 12 (Brant a kol., 2018b).

Půdní blok		Šířka souvratě							
		24 m		18 m		12 m		6 m	
index (viz. obr. 5)	výměra (ha)	výměra souvratě (ha)	podíl plochy souvratě (%)	výměra souvratě (ha)	podíl plochy souvratě (%)	výměra souvratě (ha)	podíl plochy souvratě (%)	výměra souvratě (ha)	podíl plochy souvratě (%)
a	40	3,04	7,60	2,28	5,70	1,52	3,80	0,76	1,90
b	40	4,80	12,00	3,60	9,00	2,40	6,00	1,20	3,00
c	40	1,92	4,80	1,44	3,60	0,96	2,40	0,48	1,20
d	40	2,55	6,37	1,91	4,77	1,27	3,18	0,64	1,59
e	40	4,52	11,30	3,39	8,48	2,26	5,65	1,13	2,83
f*	38,5	1,92	4,99	1,44	3,74	0,96	2,49	0,48	1,25

*výměra je snížena o plochu krajinných prvků

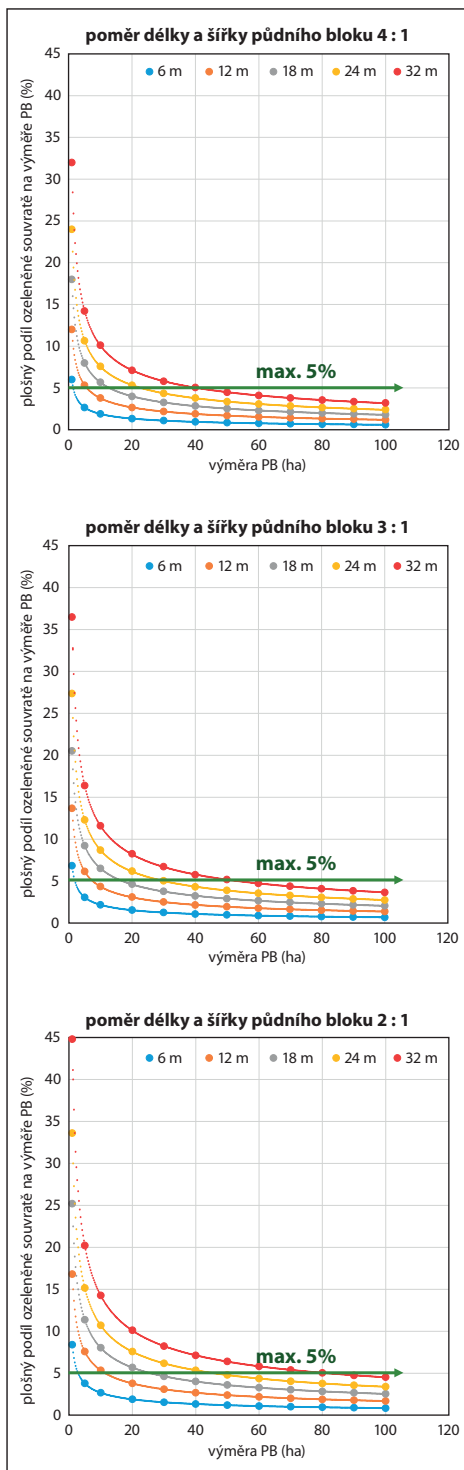
Tab. 4: Plocha ozeleněné souvratě (ha) v závislosti na její šířce (m) a výměře PB (ha). Model je spočítán pro obdélníkový tvar pozemku a pro poměr délek a šířek pozemku 4 : 1 a 2 : 1 a souvratě se nachází na užších stranách PB (Brant a kol., 2018b).

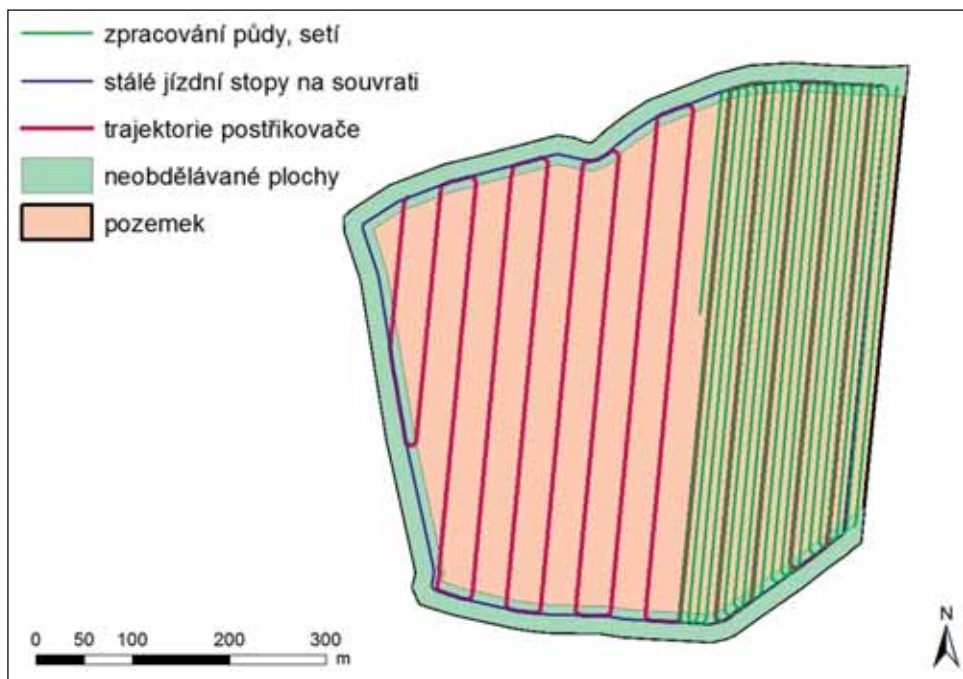
Výměra PB (ha)	Poměr délky a šířky pozemku je 4 : 1					Poměr délky a šířky pozemku je 2 : 1				
	šířka ozeleněné souvratě (m)					šířka ozeleněné souvratě (m)				
	6	12	18	24	32	6	12	18	24	32
1	0,06	0,12	0,18	0,24	0,32	0,08	0,17	0,25	0,34	0,45
5	0,13	0,27	0,40	0,53	0,71	0,19	0,38	0,57	0,76	1,01
10	0,19	0,38	0,57	0,76	1,01	0,27	0,54	0,80	1,07	1,43
20	0,27	0,53	0,80	1,07	1,42	0,38	0,76	1,14	1,52	2,02
30	0,33	0,65	0,98	1,31	1,74	0,46	0,93	1,39	1,85	2,47
40	0,38	0,76	1,14	1,52	2,02	0,54	1,07	1,61	2,14	2,85
50	0,42	0,84	1,26	1,68	2,24	0,60	1,20	1,80	2,40	3,20
60	0,46	0,92	1,38	1,84	2,46	0,66	1,31	1,97	2,62	3,49
70	0,50	1,00	1,50	2,00	2,66	0,71	1,42	2,12	2,83	3,78
80	0,53	1,07	1,60	2,13	2,84	0,76	1,51	2,27	3,02	4,03
90	0,57	1,13	1,70	2,27	3,02	0,80	1,60	2,40	3,21	4,28
100	0,60	1,20	1,80	2,40	3,20	0,85	1,70	2,55	3,39	4,52

výši ozelenění ovlivňovat způsob zpracování půdy a náklady na výsev. Cena výsevu bude závislá na zvoleném druhu. Velmi variabilní budou i náklady na obhospodařování souvratě během vegetace. Jednou z možností bude mulčování travního porostu, třeba opakované, nebo zmulčování porostů jednoletých druhů před tvorbou generativních orgánů. Další variantu představuje pěstování pícnin pro produkci biomasy nebo obilnin pro produkci zrna. Zde lze však počítat s dalšími náklady na ochranu porostů proti škodlivým činitelům. Vyjdeme-li z hodnot uvedených v tabulce 4, tak při šířce souvratě 24 m u pozemku o výměře 40 ha činí plocha souvratě 1,52 ha (poměr 4 : 1) a 2,14 ha (2 : 1). Při průměrné ceně na ozelenění a obhospodařování 1 ha souvratě bez produkce tržního produktu 8000 Kč je k nákladům na plodinu pěstovanou na daném pozemku nutné připočítat 12 160 Kč (poměr 4 : 1) nebo 17 120 Kč (2 : 1). Z hlediska výše uvedené kalkulace je patrné, že plocha souvratě a systém jejího založení musí být posuzován i z ekonomického hlediska a je nutné ho respektovat i při plánování legislativních podmínek (např. Dobrého zemědělského a environmentálního stavu).

S nárůstem plochy souvratí na půdním bloku dochází ve většině případů zároveň i k nárůstům ploch s technogenním zhu-

► *Obr.13: Vliv šířky ozeleněné souvratě (m) ve vztahu k výměře půdního bloku (ha) na procentuální podíl plochy souvratě na celkové výměře PB (%). Model je spočítán pro obdélníkový tvar pozemku a pro poměr délek a šířek pozemku 4 : 1, 3 : 1 a 2 : 1. Pro srovnání je jako maximální přípustný podíl plochy souvratě na výměře pozemku stanovena hranice 5 % (Brant a kol., 2018b).*

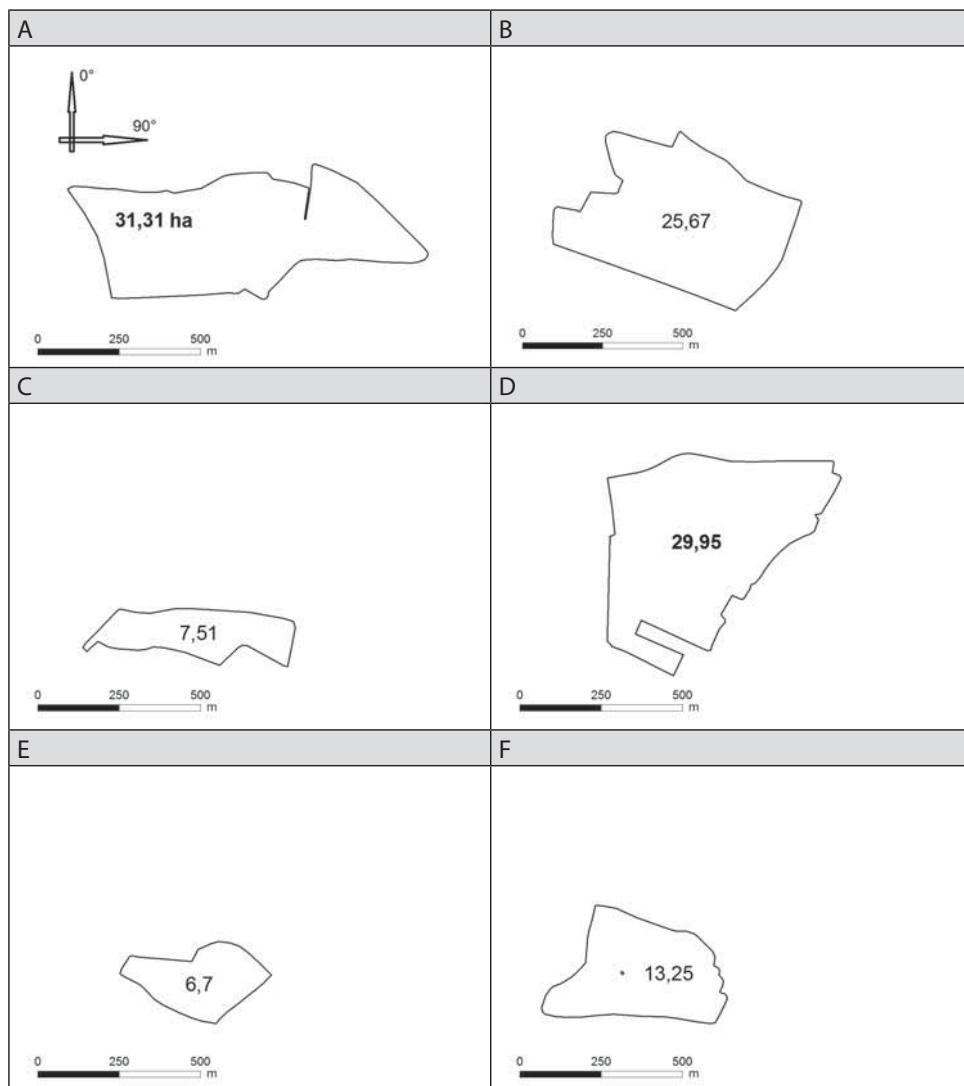




Obr. 14: Soustředění trajektorií pracovních souprav na souvrati do trvalých stop, které přispěje k nekontrovanému zatížení půdy a umožní cílenou efektivní nápravu v místech trvalých přejezdů (Brant a kol., 2018b).

něním. Z tohoto důvodu je potřebné se věnovat i optimalizaci jízd souprav po souvracích. Snížení počtu nekoordinovaných pohybů pracovních souprav po souvrati je důležité z hlediska omezení poškození porostů při osetí souvracích, což přispívá ke snížení jejich půdoochranné funkce. Obrázek 14 dokumentuje systém cíleného soustředění trajektorií pracovních souprav na souvrati do trvalých stop v rámci principů precizního zemědělství, které přispěje k omezení nekontrovaného zatížení půdy a umožní cílenou efektivní nápravu v místech trvalých přejezdů.

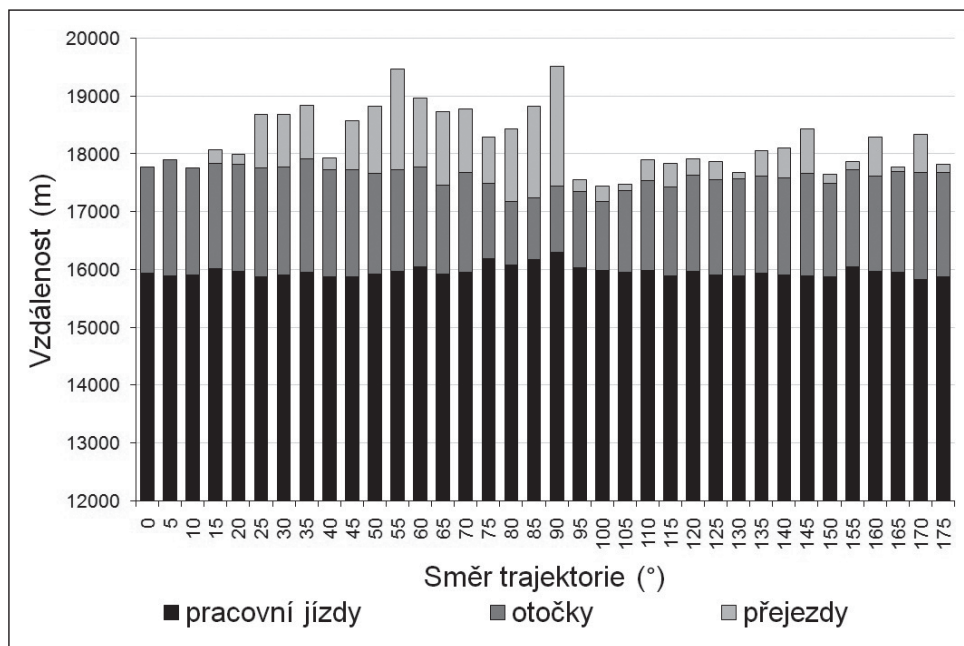
Tvar pozemku má zásadní roli pro optimalizaci trajektorií pracovních jízd po pozemku. Měření na skutečných půdních blocích prokázala pozitivní vliv optimalizace trajektorií pracovních jízd na úsporu času při provádění pracovních operací. Významná úspora byla prokázána při optimalizaci trajektorií na pozemcích o výměře mezi 10 až 40 ha. Na pozemcích s výměrou větší než 40 ha byla úspora času pod 10 % oproti stávajícím směrům pracovních jízd (Fechner, 2014). Obrázek 15 dokládá příklady nepravidelných tvarů pozemků, pro které byly počítány modelové trajektorie pohybu souprav (Kapička a kol., 2017). Stanovení směru naváděcích linií proběhlo v programu OptiTrail (Leading Farmers, a.s.). Provedením analýz bylo stanoveno, jak změna směru řídicí křivky a tvar hranic pozemku ovlivní poměr pracovních a nepracovních jízd a doporučené optimální trasy s ohledem na tvar pozemku. Modelová simulace byla provedena pro postřikovač s pracovním záběrem 18 m. Srovnání délek pracovních a nepracovních jízd pro různé směry řídicí trajektorie pro pozemek



Obr. 15: Příklady pozemků a jejich tvarových odlišností vstupujících do hodnotících analýz, jejichž výsledky jsou uvedeny v grafu 2 a v tabulce 5 (Kapička a kol., 2017).

A (obr. 15) přináší obrázek 16. Základní krok úhlu natočení trajektorie byl 5°. Finální návrh optimalizace trajektorií pracovních jízd pro půdní bloky zobrazené na obrázku 14 přináší tabulka 5.

Optimalizace trajektorií pracovních souprav a eliminace překryvu pracovních jízd výrazně snižuje spotřebu pohonných hmot. Boxberger a Moitzi (2008) uvádějí, že právě provádění pracovních operací na pozemcích zásadním způsobem ovlivňuje energetickou náročnost zemědělské výroby na základě spotřeby pohonných hmot, a tím i produkci skleníkových plynů.



Obr. 16: Vliv směru jízdy při známém tvaru pozemku na pracovní využití soupravy (Kapička a kol., 2017).

Tab. 5: Návrhy jízdy pro jednotlivé pozemky a hodnoty ukazatelů pracovního využití pracovní soupravy postřikovače pro pozemky zobrazené na obrázku 14 (Kapička a kol., 2017).

Pozemek	Výměra (ha)	Protisměrné otočky	Směr jízdy (°)	Ujetá vzdálenost (m)	Pracovní jízdy (%)	Otočky (%)	Poměr otočky/ pracovní jízdy
A	31,31	ne	95	17553,21	91,36	8,64	0,09
		ano	100	18050,15	88,58	11,42	0,13
B	25,67	ne	105	15090,54	94,89	5,11	0,05
		ano	110	15526,77	92,75	7,25	0,08
C	7,51	ne	115	4802,71	87,35	12,65	0,14
		ano	105	5054,39	86,02	13,98	0,16
D	29,90	ne	110	18091,60	92,46	7,54	0,08
		ano	110	18184,66	91,99	8,01	0,09
E	6,70	ne	105	783,32	47,49	52,51	1,11
F	13,25	ne	90	8053,11	92,85	7,15	0,08
		ano	90	8116,08	92,13	7,87	0,09

Multikriteriální faktorová analýza parametrů půdních bloků a určení jejich vhodnosti pro optimalizaci přejezdů zemědělské techniky - implementační část (Kapička, Lang a Petrus)

Cílem multikriteriální faktorové analýzy (MFA) je na základě vybraných parametrů půdních bloků specifikace jejich klasifikace z hlediska vhodnosti pro optimalizaci pohybu zemědělských souprav. Pro analýzu byly zahrnuty díly půdních bloků obhospodařované zemědělským subjektem AGRA Řisuty, a.s. Metodický postup analýzy vychází z postupů a algoritmů zpracovaných v publikaci „Metodický postup pro optimalizaci velikosti zemědělských pozemků“ (dále jen Metodika, Kapička a kol., 2017). S ohledem na přechod k výpočtu z půdního bloku (PB, použitá metodika) na díl půdního bloku (DPB), byla metodika ve vybraných parametrech aktualizována vzhledem ke změně měřítka. Veškerá použitá vstupní data byla použita v nejaktuálnější možné podobě (7/2019). Analyzováno bylo celkem 195 DPB. Výčet a specifikace vstupních kritérií do MFA dokumentuje tabulka 2.1.

Tab. 2.1.: Výčet a specifikace vstupních kritérií do MFA (Kapička a kol., 2017).

Kritérium č.	Název	Popis
1	Průměrný sklon	Svažitosť pozemku je jedním ze základních kritérií pohybu zemědělské techniky po pozemku. Základně ovlivňuje směr i rychlost pohybu, potažmo i spotřebu pohonných paliv.
2	Podíl sklonité plochy nad 6°	Kritérium vyjadřuje podíl souvislé sklonité plochy nevhodné VOB (vrstevnicové obdělávání) vůči ploše celého pozemku. Překročením určitého podílu lze stanovit nevhodnost pro vrstevnicové obdělávání (VOB).
3	Podíl sklonité plochy nad 11°	Analogické kritériu č. 2.
4	Maximální hodnota převýšení	Hodnota vyjadřuje reliéfní vlastnosti DPB. Vysoká hodnota převýšení ovlivňuje směr i rychlost pohybu, potažmo i spotřebu pohonných paliv.
5	Svahová variabilita	Kritérium na základě expozice svahu definuje složitost pozemku z hlediska odtokových poměrů.
6	Tvarová složitost	Tvar pozemku přímo souvisí se směrem a počtem nutných pojezdů po DPB. Kritérium určuje míru okrajového efektu, ovlivňujícího výnos plodin i aplikaci pesticidů.
7	Přítomnost enkláv	Kritérium určuje přítomnost neobdělávatelných ploch uvnitř PB. Tyto enklávy ovlivňují pojezd zemědělské techniky.
8	Přítomnost krajinných prvků	Analogické kritériu č. 7, s rozdílem vlastností enkláv. Zde jsou enklávy zahrnuty do výměry DPB.
9	Nejbližší komunikace	Kritérium poukazuje na vzdálenost k nejbližší komunikaci určené k provozu zemědělské techniky. Vyšší vzdálenost je spojena s horší dostupností DPB.
10	Náchylnost ke zhutnění	Náchylnost ke zhutnění je zástupcem kritéria vlastností půdy stanovující míru možného vzniku degračního procesu ovlivňujícího výnos plodin.

Výstupem hodnocení DPB Agra Řisuty jsou 2 soubory ve formátu .shp. Jedná se o geometrii vybraných DPB dle ID uživatele AGRA Řisuty (7/2019) s třídami kritérií, bodovým ohodnocením a třídami MFA a výsledky doplňujících prostorových analýz. Druhým souborem je geometrie parcel RUIAN (7/2019) hodnocených a kategorizovaných dle metodiky. Atributy jednotlivých souborů budou popsány v dalších kapitolách. Popis kritérií a doplňujících analýz je blíže specifikován v primární Metodice (Kapička a kol., 2017).

Vstupní data:

DPB LPIS (7/2019); DMT 4g hydro (2019); BPEJ (7/2019); MZe - ekologicky významné prvky (1/2018), krajinné prvky (1/2015); RUIAN (7/2019); ZABAGED (2019)

Výsledná hodnocení jednotlivých kritérií MFA:

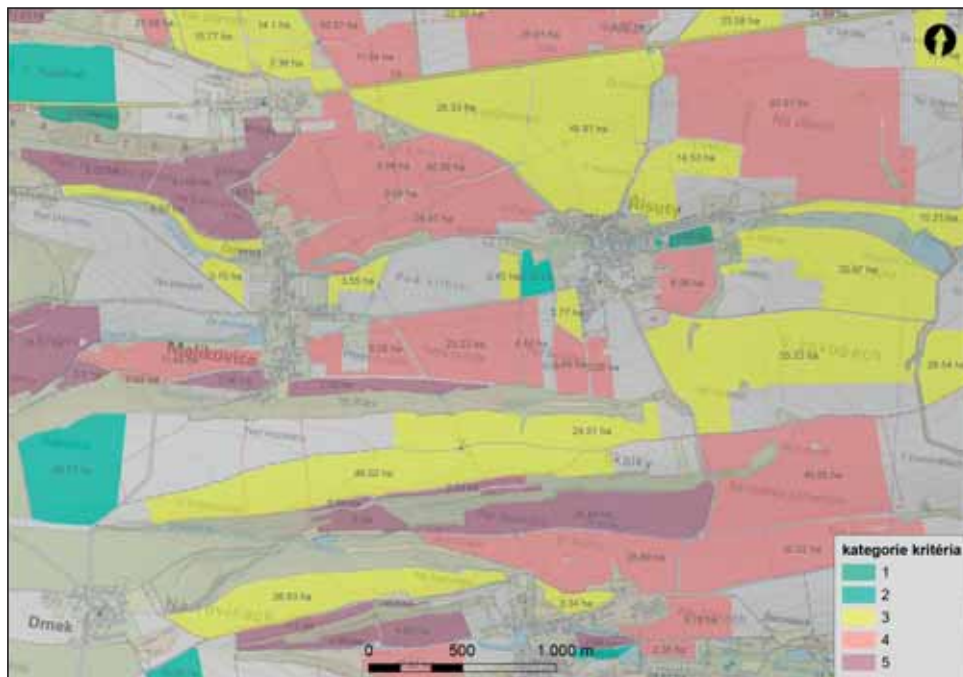
Podrobnější popis jednotlivých kritérií včetně popisu výpočtu je popsán v *Metodice*, kap. 4.1.3 *Popis kritérií*.

1. Průměrný sklon dílu půdního bloku [°]

Průměrný sklon byl kategorizován do šesti tříd (tab. 2.2.). Nejlépe jsou hodnoceny pozemky s minimálním sklonem. Kategorie 5 a 6 jsou sklony nedostupné zemědělskou technikou s pojezdem po vrstevnicích, čili vylučují aplikaci (VOB). Strukturu rozdělení půdních bloků na zájmovém území v závislosti na sklonu dokumentuje obrázek 2.1.

Tab. 2.2.: Výsledky analýzy průměrného sklonu DPB

Specifikace	Kat.	[°]	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
Min 0,66 Max 10,98 Průměr 4,34	1	< 1	3	2	22,0	1
	2	1–2	17	9	174,3	7
	3	2–4	73	37	1 340,1	51
	4	4–6	64	33	845,4	32
	5	6–11	38	19	244,3	9
	6	11 >	0	0	0,0	0
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



Obr. 2.1.: Struktura rozdělení půdních bloků na zájmovém území v závislosti na sklonu DPB.

2. Podíl sklonité plochy dílu půdního bloku (6°), [%]

Výpočet vycházel ze shladeného modelu reliéfu, na němž byly selektovány plochy přesahující danou hodnotu sklonu. Výsledkem je poměr svažité plochy (sklon nad 6° , tab. 2.3.) k ploše vyhovující (sklon pod 6°).

Z kritéria průměrného sklonu samotného nelze relevantně vyhodnotit jeho vhodnost či nevhodnost pro VOB z důvodu průměrování sklonů k celé ploše DPB. Vzhledem k variabilitě reliéfu samotného DPB je účelné určit plochu nevyhovující standardům pro VOB. Kritérium vyjadřuje, jakou část plochy DPB je vhodné vyčlenit pro alternativní způsoby obdělávání, či zda není vhodné vyčlenit celý blok. Příklady grafického znázornění výsledků kategorizace sklonité plochy nad 6° a 11° dokumentuje obrázek 2.2.

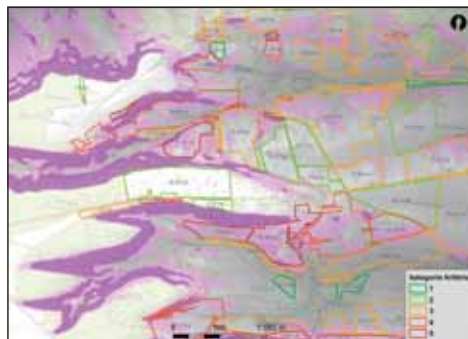
Tab. 2.3.: Výsledky analýzy sklonité plochy DPB (6° >).

Specifikace	Kat.	[%]	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
Min 0,00 Max 1,00 Průměr 26,32	1	0	30	15	265	10
	2	0–10	53	27	1 040	40
	3	10–35	50	26	864	33
	4	35–70	37	19	353	13
	5	70 >	25	13	104	4
Sumarizace			195	100%	2 626	100%

3. Podíl sklonité plochy dílu půdního bloku ($11^\circ >$), [%]

Výpočet vycházel ze shlazeného modelu reliéfu, na němž byly selektovány plochy přesahující danou hodnotu sklonu. Výsledkem je poměr svažité plochy (sklon nad 11° , tab. 2.4.) k ploše vyhovující (pod 11°).

Specifikace	Kat.	[%]	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 0,00 max 80,00 půměr 2,08	1	0	114	58	1 308	50
	2	0–10	70	36	1 259	48
	3	10–35	9	5	53	2
	4	35–70	1	1	5	0
	5	70 >	1	1	0	0
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



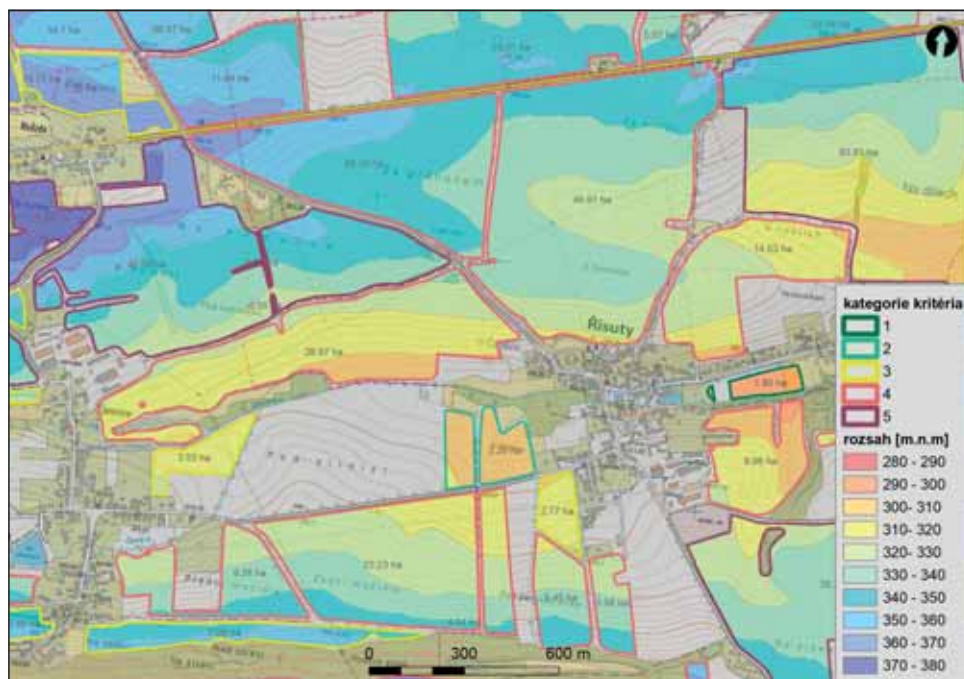
Obr. 2.2.: Příklad grafického znázornění výsledků kategorizace sklonité plochy nad 6° a 11° . Vyobrazeny jsou souvislé plochy se sklonem nad 6° a nad 11° (světle a tmavě fialová). Kategorie vyjadřují podíl těchto ploch k celkové výměře DPB.

4. Maximální hodnota převýšení dílu půdního bloku [m]

Kritérium převýšení (tab. 2.5.) vyjadřuje rozdíl nadmořské výšky nejvyššího a nejnižšího bodu na DPB. Hodnota v obecné míře představuje maximální délku odtokové linie. Vysoký rozdíl nejvyššího a nejnižšího místa na DPB indikuje možné dělení pozemku, jak z pohledu protierozní ochrany, tak přejezdů techniky členitým terénem. Pro adekvátní práci s tímto kritériem lze samozřejmě využít i mapové výstupy (obr. 2.3.).

Tab. 2.5.: Výsledky analýzy převýšení DPB.

Specifikace	Kat.	[m]	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 0,38001 max 65,76 průměr 22,3769	1	< 5	19	10	20	1
	2	5–10	21	11	44	2
	3	10–20	60	31	416	16
	4	20–50	85	44	1 752	67
	5	50–100	10	5	395	15
	6	100 >	0	0	0	0
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



Obr. 2.3.: Rozsahy hodnot nadmořské výšky na hodnoceném zájmovém území se zobrazením kategorií půdních bloků.

5. Svahová variabilita dílu půdního bloku

Míra podílu určuje kategorie kritéria (tab. 2.6.). Kategorie 1 značí pozemek s rozsahem expozice do 180°. Kategorie 2 určuje pozemky obdobné kategorii 1, s poměrně nízkým obsahem protilehlých ploch. Kategorie 3–5 určují pozemky, na nichž se nacházejí rozvodnice výrazné, a to k poměrnému obsahu protilehlých ploch. Grafické znázornění výsledků analýzy dokládá obrázek 2.4.

Tab. 2.6.: Výsledky analýzy variability DPB.

Specifikace	Kat.	Poměr	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 0,100 max 1,000 průměr 0,903	1	1,0000	82	42	419	16
	2	1,0000–0,9997	0	0	0	0
	3	0,9997–0,8000	77	39	1 229	47
	4	0,8000–0,6000	25	13	717	27
	5	0,6000 a méně	11	6	261	10
Sumarizace			195	100%	2 626	100%

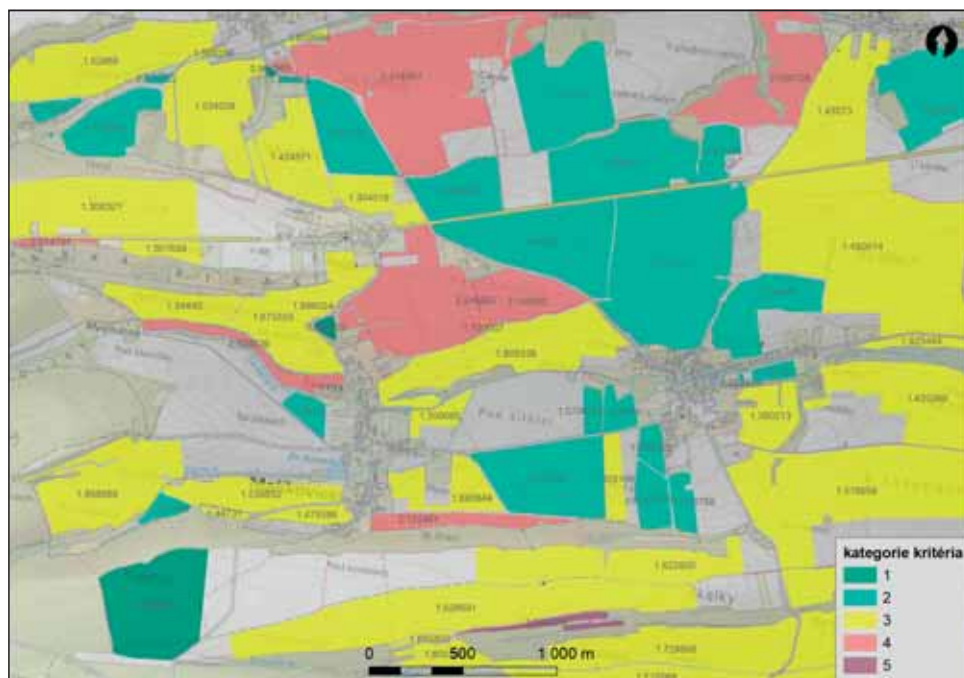


Obr. 2.4.: Na obrázku je jednotlivými barvami vyjádřena orientace svahu. Kritérium svahové variability je určeno podílem protilehlých orientací.

6. Tvarová složitost dílu půdního bloku

Kritérium je určeno jako tzv. Landscape Shape Index (LSI), jenž vyjadřuje vztah mezi obvodem DPB a jeho obsahem. Výsledkem je hodnota porovnávající tvar DPB s tvarem čtverce. Hodnoty blížíící se 1 jsou srovnatelné s tvarem čtverce. Je-li hodnota nižší než 1 (kat. 1) tvar se blíží kruhu (tab. 2.7.). Naopak čím je hodnota od 1 větší, tím je tvar složitější. Grafické znázornění výsledků analýzy dokládá obrázek 2.5.

Tab. 2.7.: Výsledky analýzy složitosti DPB.						
Specifikace	Kat.	Poměr	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 0,95 7 max 3,51185 průměr 1,41325	1	< 1,0	7	4	32	1
	2	1,0–1,3	89	46	1 131	43
	3	1,3–2,0	85	44	1 292	49
	4	2,0–3,0	12	6	167	6
	5	3,0 >	2	1	4	0
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



Obr. 2.5.: Kritérium tvarové složitosti je vyobrazeno na škále od tmavě zelené k červené.

7. Přítomnost enkláv uvnitř dílu půdního bloku

Z hlediska analýzy se enklávami rozumí plochy uvnitř DPB, které nejsou produkčně využitelné (tab. 2.8.). Obvykle se jedná o plochy mezí, zarostlých snosů kamení, remízků apod. S těmito enklávami se pojí problematika nutnosti změny trasy pracovních jízd. Jedná-li se však o enklávy obsahem v řádech jednotek metrů čtverečních, zejména o plochy vyčleněné stožáry elektrického vedení, je změna směru pojezdu závislá na individuálním stavu, zejména ve vztahu k velikosti základny sloupů. Na těchto DPB je možné pracovat s variabilním záběrem např. postřikovačů, a to na základě variability kolejových řádků. Tyto enklávy se řadí do kategorie 2. Grafické znázornění výsledků analýzy dokládají obrázky 2.6. a 2.7.

Tab. 2.8.: Výsledky analýzy přítomnosti enkláv uvnitř DPB.

Kat.	Stav	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
1	neobsahuje	136	70	1 325	50
2	součet enkláv do 40 m ²	23	12	298	11
3	nad 40 m ²	36	18	1 003	38
Sumarizace		195	100%	2 626	100%



Obr. 2.6.: Příklad grafického znázornění kategorií enkláv.



Obr. 2.7.: Na obrázku je patrné, že enklávy vyčleněné stožáry elektrického vedení ovlivňují trasy pracovních jízd.

8. Krajinné prvky

Výsledky analýz dokládá tabulka 2.9. Kritérium obsahu krajinných prvků na pozemku vychází obdobně jako kritérium enkláv z problematiky nutnosti změny směru jízdy pracovních souprav z důvodu vyhnutí se těmto prvkům. V předchozím kritériu byly enklávy vyjmuty z DPB, v kritériu krajinných prvků (KP) jsou však enklávy identifikovány v rámci DPB LPIS. Jedná se o tzv. ekologicky významné prvky (EVP), definované nařízením vlády č. 307/2014 Sb., o stanovení podrobností evidence využití půdy podle užívatelských vztahů, § 5. Tyto prvky jsou zpravidla zahrnuty do DPB, nicméně z hlediska pojezdů mají obdobný charakter. Z důvodu běžné velikosti krajinných prvků byly oproti předchozímu kritériu ustanoveny jen kategorie v binárním smyslu. Grafické znázornění výsledků analýzy dokládá obrázek 2.8.

Tab. 2.9.: Analýza přítomnosti krajinných prvků.

Kat.	Stav	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
1	žádné	167	86	1 962	75
2	jen KP	1	1	61	2
3	jen EVP	7	4	97	4
4	obě	20	10	506	19
Sumarizace		195	100 %	2 626	100 %



Obr. 2.8.: Příklad grafického znázornění výsledků analýzy kategorií krajinných prvků.

9. Nejbližší komunikace

Pro zohlednění přístupnosti bylo do multikriteriální analýzy zařazeno kritérium nejbližší komunikace. Kritérium vyjadřuje, zda DPB sousedí s komunikací, čímž lze předpokládat i možnost vjezdu na pozemek. Není již ověřeno, zdali je mezi cestou a pozemkem zajištěn optimální přejezd, či je vhodný z hlediska ideálního rozčlenění pojezdů. Mezi komunikace byly zahrnuty silnice a cesty přístupné pro zemědělskou techniku. Jedná se o silnice II. a III. třídy, místní komunikace, polní a účelové cesty. Vzdálenostní vztah DPB k dostupným komunikacím je dán nejbližší eukleidovskou (planimetrickou) kolmou vzdáleností mezi oběma prvky (tab. 2.10.). Grafické znázornění výsledků analýzy dokládá obrázek 2.9.

Tab. 2.10.: Výsledky analýzy dostupnosti nejbližší komunikace.

Specifikace	Kat.	Vzdálenost [m]	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 0,00 max 259,42 průměr 6,76	1	přímý dotek	34	17	720	27
	2	0–10	146	75	1 839	70
	3	10–30	7	4	12	0
	4	30–50	2	1	11	0
	5	> 50	6	3	45	2
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



Obr. 2.9.: Příklad grafického znázornění výsledků analýzy kategorií dostupnosti komunikace vůči DPB.

10. Náhylnost ke ztuhnutí půdy

Náhylnost půdy je stanovena na základě půdních vlastností z dat BPEJ a je rozdělena do pěti kategorií (tab. 2.11.). Pro každý DPB byla určena míra náhylnosti na základě většinového zastoupení kategorie náhylnosti ke ztuhnutí. Z hlediska multikriteriální analýzy se zvyšující se míra náhylnosti rovná zvýšenému zájmu pro optimalizaci pojezdů. Grafické znázornění výsledků analýzy dokládá obrázek 2.10.

Tab. 2.11.: Výsledky analýzy náhylnosti DPB ke ztuhnutí.						
Specifikace	Kat.	Ohrožení	Počet DPB	Podíl kat. (%)	Rozloha [ha]	Podíl rozlohy (%)
min 1 max 5 průměr 2,46667	1	zanedbatelná	23	12	264	10
	2	nízká	114	58	1 746	66
	3	nižší střední	13	7	223	8
	4	vyšší střední	34	17	250	10
	5	vysoká	11	6	143	5
Sumarizace			195	100%	2 626	100%



Obr. 2.10.: Příklad grafického znázornění výsledků analýzy náchylnosti DPB ke zhutnění.

Vyhodnocení tříd MFA:

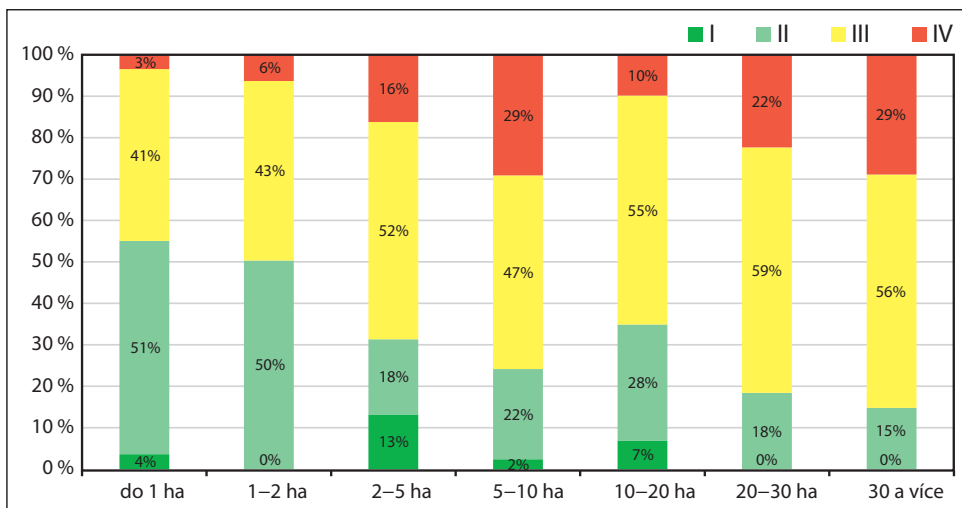
Klasifikační meze tříd MFA odpovídají Metodice (kap. 4.1.4 Výstupy multikriteriální analýzy). Lze uvažovat o přehodnocení mezí v důsledku změny měřítka výpočtu. Specifikaci tříd MFA dokládá tabulka 2.12.

Tab. 2.12.: Specifikace tříd MFA (Kapička a kol., 2017).	
Třída MFA	Charakteristika třídy
I	Bloky vhodné pro VOB s jednoduše implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky (tzn. možno využít dostupné softwarové nástroje pro návrh trajektorií apod.).
II	Bloky vhodné pro VOB s implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky.
III	Bloky vhodné pro dělení dle požadavků VOB a optimalizace pojezdů zemědělské techniky.
IV	Bloky nutné pro rozdělení dle požadavků optimalizace pojezdů zemědělské techniky a možným vyčleněním pozemků vhodných pro VOB.

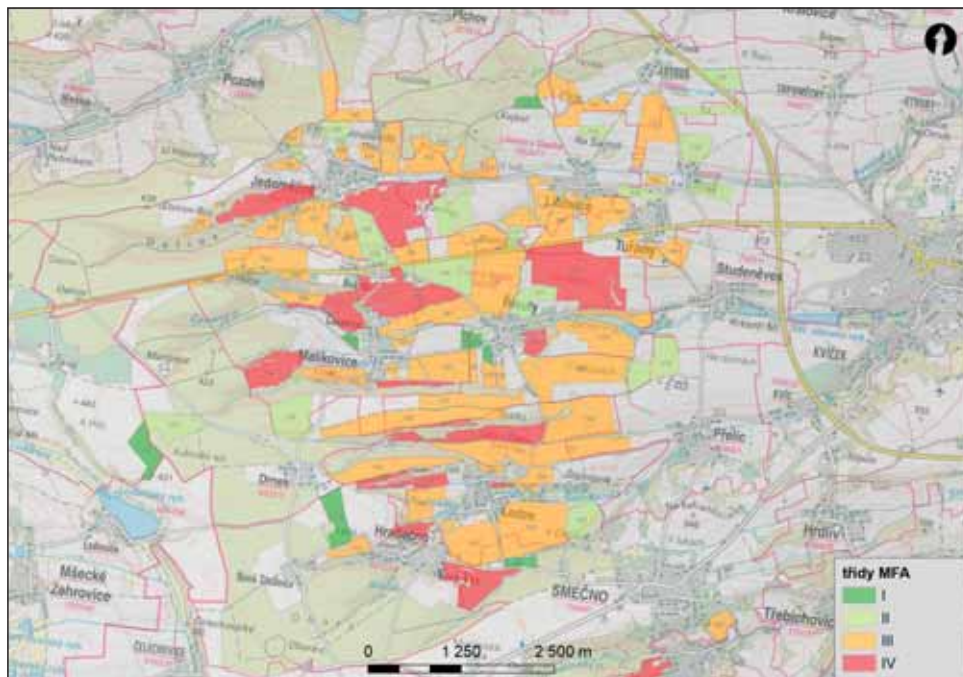
Přehled vyhodnocených tříd MFA pro DPB subjektu AGRA Řisuty

Výsledky MFA pro DPB společnosti AGRA Řisuty dokumentuje tabulka 2.13., obrázky 2.11. a 2.12.

Tab. 2.13: Výsledky MFA pro DPB společnosti AGRA Řisuty				
třída MFA	počet DPB	podíl kat. (%)	rozloha [ha]	podíl rozlohy (%)
I	11	6	68	3
II	61	31	693	26
III	103	53	1 527	58
IV	20	10	338	13
	195	100%	2 626	100%



Obr. 2.11.: Zastoupení tříd MFA dle výměry DPB.



Obr. 2.12.: Vyhodnocení tříd MFA - výřez z okolí obce Řisuty.

Z provedené multikriteriální faktorové analýzy vyplývají následující závěry:

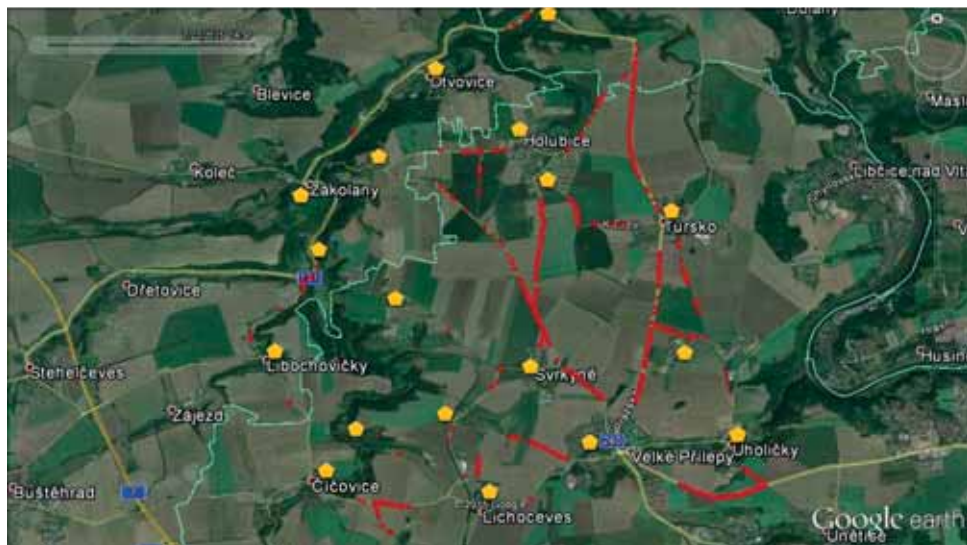
- Průměrný sklon pozemků v kategorii 1–3 vykazuje 48 % dílů půdních bloků, v kategorii 4 se nachází 33 % dílů půdních bloků.
- Maximální hodnota převýšení v intervalu 20–50 m se vyskytuje u 44 % dílů půdních bloků, 31 % se vyznačuje hodnotou převýšení v rozmezí 10–20 m.
- Téměř 94 % dílů půdních bloků se vyznačuje spíše pravidelnějším tvarem.
- 70 % dílů půdních bloků je prosto přítomnosti enkláv a 86 % z celkového počtu dílů půdních bloků je bez přítomnosti krajinných prvků.
- Téměř 92 % z celkového počtu hodnocených dílů půdního bloku se nachází ve vzdálenosti do 10 m od komunikace, tato skutečnost nevyjadřuje samozřejmě přítomnost reálných vstupů na komunikaci.
- Střední a vysokou náchylnost k utužení vykazuje 23 % z hodnocených dílů půdních bloků.

Hranice půdního bloku (Brant, Kroulík, Zábranský a Škeříková)

S tvarem a velikostí pozemku jednoznačně souvisí i tvar a délka hranice půdního bloku. Hranice půdního bloku lze vnímat jako faktor ovlivňující vnitřní mezovariabilitu půdního bloku na základě interakce mezi lemovými společenstvy půdního bloku a plochou půdního bloku samotného. Zároveň je hranice půdního bloku parametrem určujícím míru ekologických rizik. Zejména z hlediska ochrany rostlin a hnojení, ale také z hlediska prašnosti, požárních rizik apod. Na problematiku aplikace pesticidů a hnojiv na krajích půdního bloku a možnosti jejich transportu mimo hranice pozemku, nebo na otázku tvorby ochranných zón na souvratích pozemku upozorňují především odborné



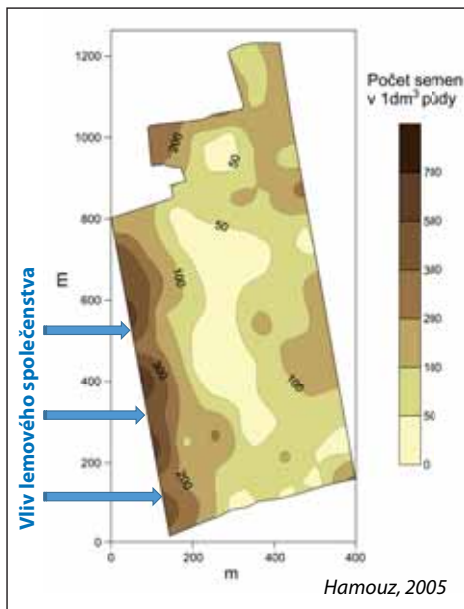
Obr. 17: Vliv lemových společenstev na šíření se lopuchu plstnatého (vlevo) a bohlavu plamatého (vpravo) z okrajů pozemku do agrofytocenóz (foto Brant).



Obr. 18: Přítomnost bohlavu plamatého na území ohraničeném obcemi Velvary, Hobšovice, Zlonice a Hospozín. Červené body dokumentují GPS souřadnice bohlavu plamatého, žluté pětiúhelníky označují obce zahrnuté do mapování (21.7.2015). Zpracováno v programu Google Earth (Brant a kol., 2017b).

literární údaje (např. DLG-Ausschuss für Pflanzenschutz, 2015). Samotná lemová společenstva půdních bloků lze rovněž považovat za potenciální zdroj užitečných, ale i škodlivých organismů. Vliv lemových společenstev na šíření se plevelných druhů, jako jsou bohlelav plamatý a lopuch plstnatý (obr. 17) poukazují např. Brant a kol. (2006 a 2008). V rámci principů precizního zemědělství je rovněž potřebné pracovat i s potenciálními riziky, tedy i výskyty škodlivých organismů na okrajích půdních bloků. Na základě znalosti jejich polohy v lemovém společenstvu lze optimalizovat a cíleně provádět preventivní či nápravná opatření (Brant a kol., 2015a a 2017b). Obrázek 18 dokumentuje lokalizaci výskytu a hustotu výskytu přítomnosti rostlin bohlelavu plamatého v lemových společenstvech půdních bloků na zájmovém území. Obrázek 19 dokumentuje vliv lemového společenstva na zásobu semen plevelů v půdě na půdním bloku. Kromě samotné délky pozemku a druhového složení lemových společenstev má na rozvoj plevelů vliv i samotný tvar hranice pozemku. Výskyty tupých úhlů, včetně rohů pozemků, vedou k horší kvalitě zpracování půdy, vzniku nedosetých míst a ploch nepokrytých postřikem v důsledku kruhového průjezdu postřikovačů (obr. 20).

Další vliv lemových společenstev je určen i strukturou vegetace, kdy přítomnost keřů a stromů může zásadním způsobem ovlivňovat mikroklima přilehlé části pozemku. Obdobný vliv na porosty polních plodin mají samozřejmě i krajinné prvky nacházející se uvnitř půdního bloku. S narůstající výškou vegetace nacházející se na okrajích půdního bloku a v krajinných prvcích umístěných uvnitř pozemku míra ovlivnění vývoje kulturních porostů roste. Nejedná se zde pouze o vliv zastínění, či



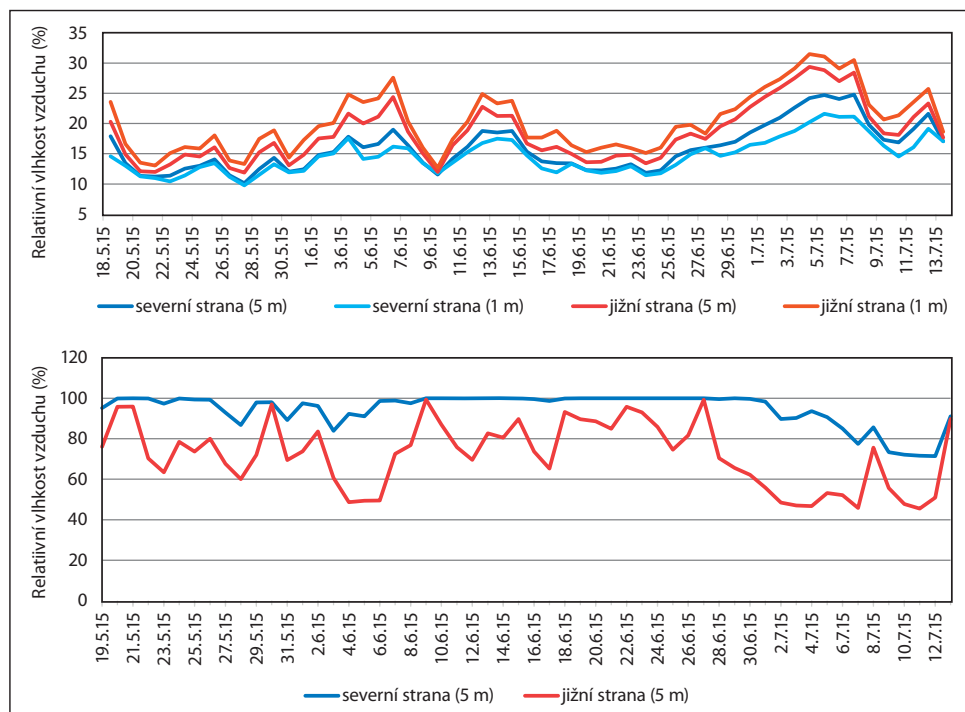
Obr. 19: Vliv lemového společenstva na zásobu semen plevelů v půdě na půdním bloku (Brant a kol., 2018b).



Obr. 20: Vliv ostrého rohu na okraji půdního bloku na rozvoj plevelů, především bohlelavu plamatého (foto Kroulík).

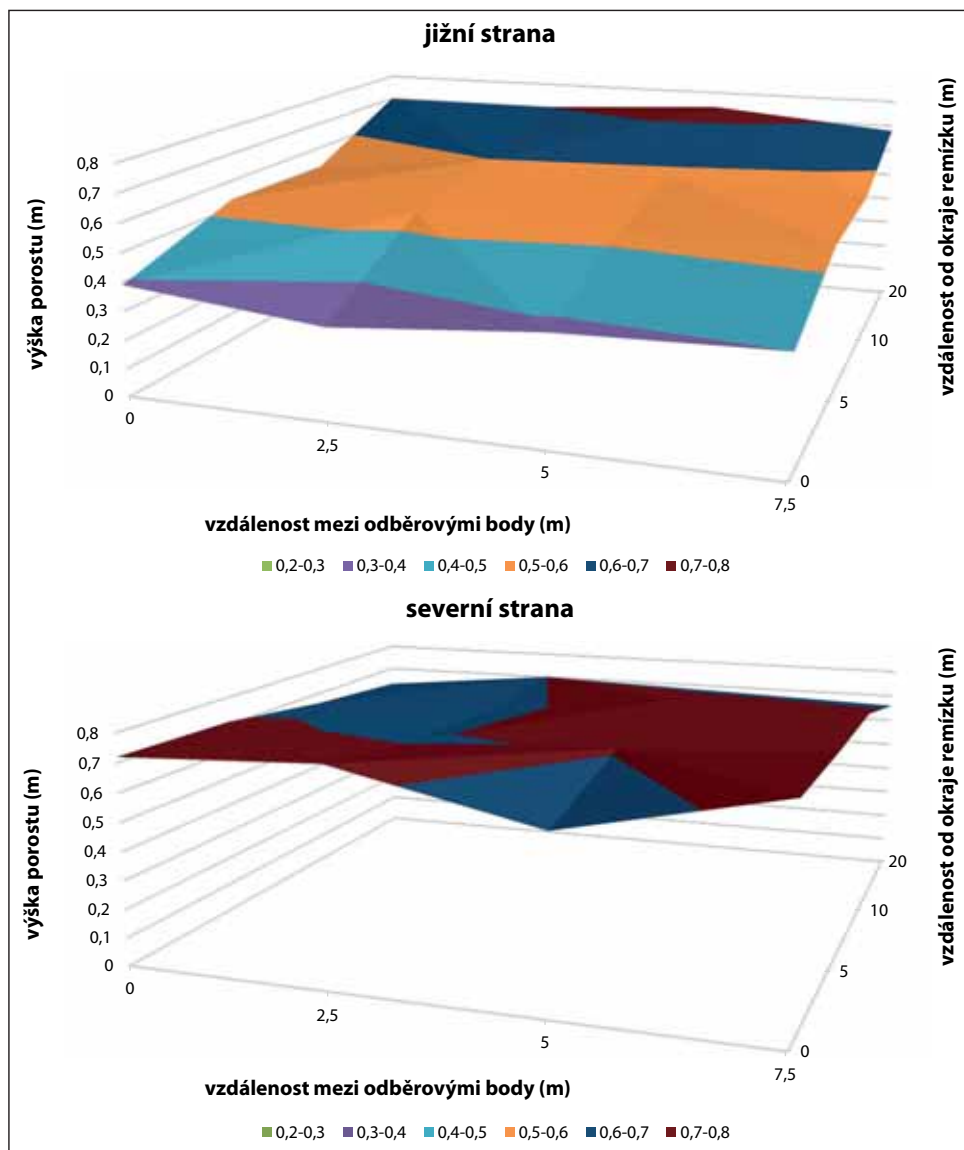
omezení proudění vzduchu z hlediska modifikace teploty a vlhkosti vzduchu, ale také o tvorbu srážkového stínu. Opomenout nelze ani odčerpání vody kořeny okolní vegetace, která se ve větších hloubkách půdy na pozemku nachází. Zásadní vliv má i orientace pozemku a lemové vegetace kolem něj ke světovým stranám (Brant a kol., 2018a). Obrázek 21 dokumentuje vliv zalesněného remízku umístěného ve středu půdního bloku na změnu teploty a vlhkosti vzduchu ve výšce 0,1 m nad povrchem půdy v porostu jarního ječmene ve vzdálenosti 1 a 5 m od hranice remízku ve vztahu k orientaci ke světovým stranám - severní a jižní. Při jižní orientaci může docházet k výraznému přehřívání porostů polních plodin přiléhajících k zapojené stromové vegetaci na okraji půdního bloku, severní orientace zásadním způsobem zvyšuje relativní vlhkost vzduchu. Ovlivnění půdních a mikroklimatických podmínek porostu polních plodin lemovým společenstvem má samozřejmě vliv i na vývoj rostlin a následný výnos.

Obrázek 22 (Brant a kol., 2018b) znázorňuje plošně vyjádřené změny výšky porostu ječmene jarního ve vztahu k orientaci hranice zalesněného remízku umístěného uprostřed půdního bloku. Z obrázku 23 je patrný vliv orientace hranice remízku ke světovým stranám na výšku porostu a produkci celkové suché nadzemní biomasy. Jižní strana vykazovala směrem od hranice pozemku do jeho středu nárůst výšky porostu, ale i nadzemní

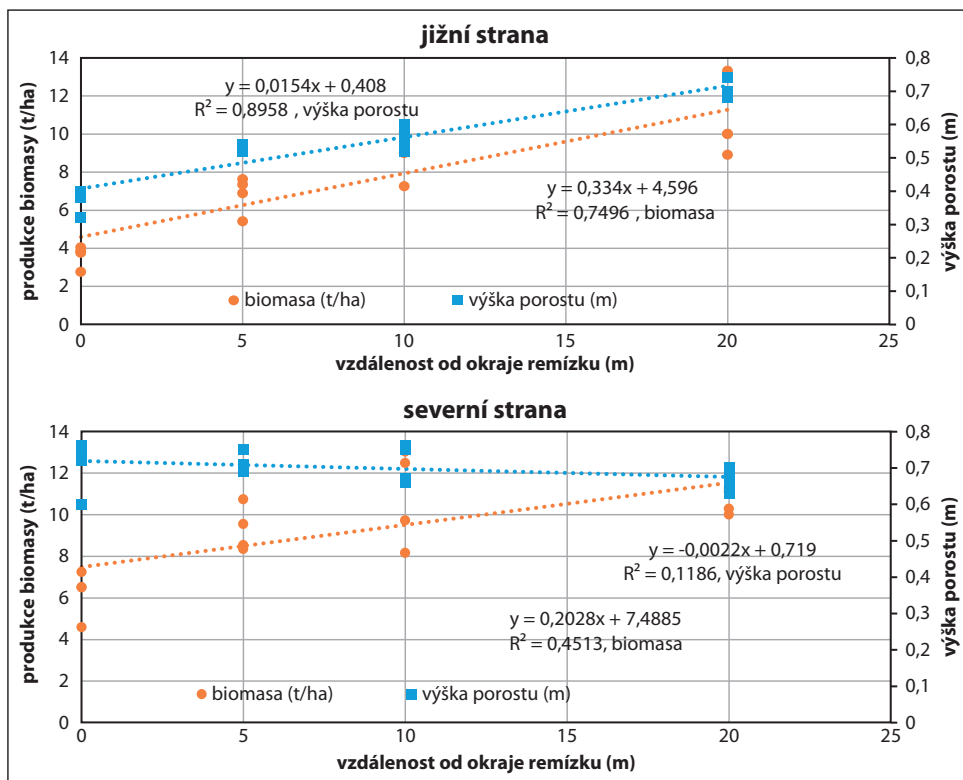


Obr. 21: Vliv zalesněného remízku umístěného ve středu půdního bloku na změnu průměrné denní teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve výšce 0,1 m nad povrchem půdy v porostu jarního ječmene ve vzdálenosti 1 a 5 m od hranice remízku ve vztahu k orientaci ke světovým stranám - severní a jižní (Brant a kol., 2018b).

biomasy v celém hodnoceném transektu dlouhém 20 m. Na severní, zastíněné, straně byl opět zaznamenán rostoucí trend produkce suché nadzemní biomasy směrem od hranice pozemku k jeho středu, ale výška porostu v daném transektu zásadní trend nevykazovala. Na základě uvedených výsledků je patrné, že vliv lemových společenstev může zásadním způsobem modifikovat vývoj porostů a následně výnos. Zásadní roli zde hraje i vzdálenost hranice pozemku, kterou dané lemové společenstvo s půdním blokem sousedí.



Obr. 22: Změny výšky porostu ječmene jarního ve vztahu k orientaci hranice zalesněného remízku umístěného uprostřed půdního bloku - severní a jižní strana (18.6.2015), Brant a kol. (2018b).

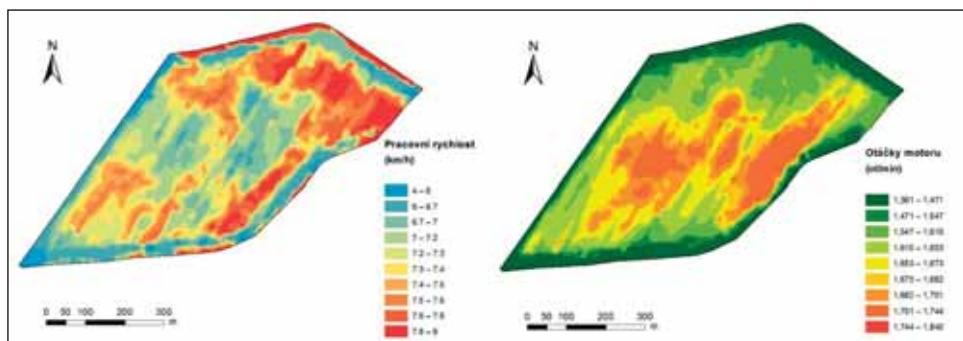


Obr. 23: Vliv lemového společenstva na změnu výšky porostu a produkce biomasy ječmene jarního v závislosti na vzdálenosti od hranice remízku umístěného uprostřed půdního bloku - severní a jižní strana (18.6.2015), Brant a kol. (2018b).

Na základě výše uvedených výsledků je patrné, že vliv lemových společenstev je jedním z dalších faktorů, které je nutné zahrnout do variabilního přístupu k půdnímu bloku v rámci principů precizního zemědělství. Práce s vlivem lemových společenstev na mezovariabilitu půdního bloku a s interakčními faktory na hranici půdního bloku a lemového společenstva je v rámci metod precizního zemědělství dlouhodobě podceňovanou skutečností.

Variabilita nadmořské výšky

Variabilita nadmořské výšky se projevuje změnou svažitosti půdního bloku a přispívá ke vzniku ploch v rámci půdního bloku náchylných k vodní erozi (Kapička a kol., 2017). Dalším faktorem projevujícím se při obhospodařování pozemků je potřeba optimalizace trajektorií pracovních jízd ve vztahu ke svahové dostupnosti pracovních souprav. Zde se jedná o respektování svahové dostupnosti pro tažné prostředky a stroje, a to jak při samotném pohybu pracovní soupravy při práci, tak při otáčení na souvrati. Obecně je v zemědělské praxi u svažitých pozemků preferován pohyb souprav ve směru narůstající či klesající nadmořské výšky. Pohyb kolmo na směr narůstající hodnoty nadmořské výšky

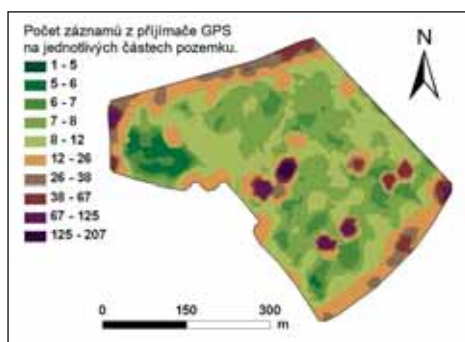


Obr. 24: Záznam pracovní rychlosti soupravy při orbě (vlevo) a tomu odpovídajících otáček motoru traktoru (vpravo) - upraveno podle Kroulík a kol. (2017).

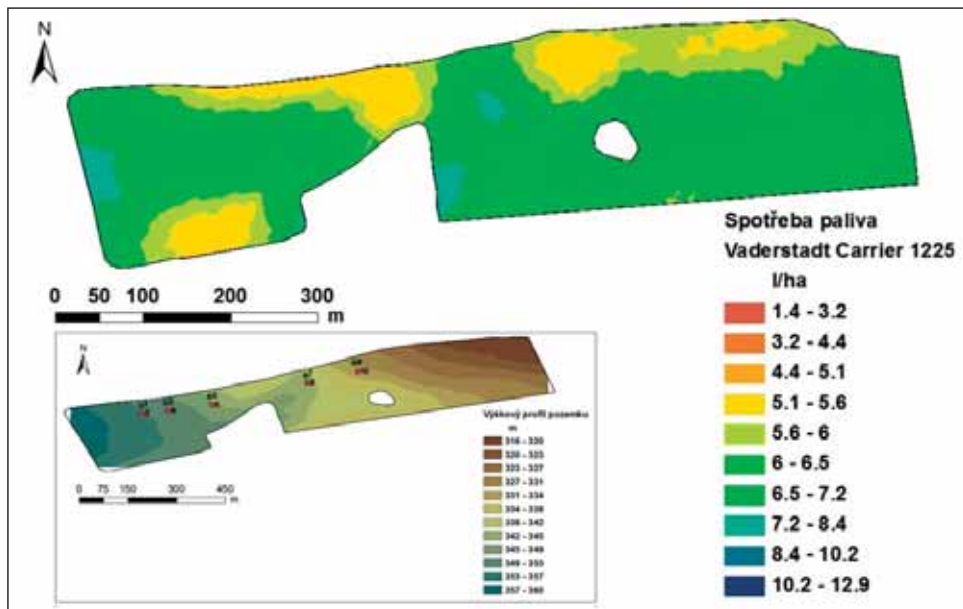
je závislý zejména na svahové dostupnosti strojů (tažný prostředek a připojený stroj), dále ve vztahu k omezení rizika při otáčení se souprav na souvratích (u strojů výrobci tyto hodnoty většinou deklarují pro svažitost 4°) za účelem udržení trajektorie pracovní jízdy (posun soupravy při jízdě po spádnicí) a ve vztahu k rozložení hmotnosti zásobníků (zásobníky hnojiva a osiva) při práci kolmo na svah. Problém tzv. sjíždění soupravy ze svahu dolů zásadním způsobem ovlivňuje přesnost pohybu souprav a dodržení návaznosti pracovních jízd. Změna rozložení hmotnosti osiva a hnojiva v zásobníku při jízdě kolmo na svah, či při jízdě do svahu nebo proti svahu, může u některých konstrukčních řešení negativně ovlivnit např. hloubku uložení osiva a hnojiva.

Překonání svahu pracovní soupravou je spojeno nejen s možným snížením pracovní rychlosti, a tím i ovlivněním kvality práce strojů, především při zpracování půdy. Snižování pracovní rychlosti se v konečném důsledku projeví na poklesu plošného výkonu soupravy. Obhospodařování svažitých pozemků ovlivňuje i optimalizaci pracovní soupravy, tedy sladění požadovaného výkonu tažného prostředku ve vztahu k potřebě tahové síly na pohyb agregovaného stroje. Při obhospodařování svažitých půdních bloků by tahová potřeba měla být dimenzována na zajištění dostatečné tahové rezervy, která by měla činit minimálně 10 % vůči požadavkům agregovaného stroje. Obrázek 24 dokumentuje vliv svahové členitosti pozemku na změny hodnoty pracovní rychlosti (km/h, vlevo) při orbě a tomu odpovídající změny hodnoty otáček motoru (ot/min), Kroulík a kol. (2017).

Změna pracovní rychlosti není spojena jen s vlivem na kvalitu práce strojů při zpracování půdy, ale zásadním způsobem ovlivňuje i rizika zhutnění půdy. Zhutnění půdy na půdním bloku je závislé na hmot-



Obr. 25: Mapa představuje součet počtu záznamů přejezdů v čase na příslušných plochách o velikosti 6 × 6 m (Brant a kol., 2015b).



Obr. 26: Plošné vyjádření spotřeby paliva (l/ha) pracovní soupravou při kypření půdy a mapové vyjádření výškového modelu terénu sledovaného půdního bloku (Kroulík a kol., 2017; Brant a kol., 2017a).

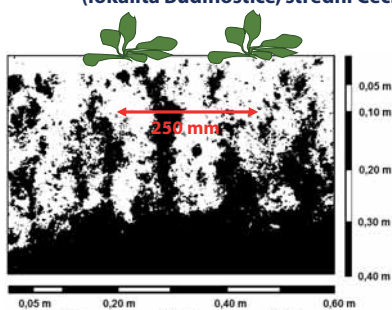
nosti pracovní soupravy a na počtu přejezdů dané plochy, ale také na době působení tlaku na půdu. Interakci mezi časovou expozicí, po kterou je půda vystavena tlaku tažných prostředků a počtem přejezdů, dokumentuje obrázek 25 (Brant a kol., 2015b). Opomenout nelze riziko prokluzu kol hnaných náprav při zpracování půdy za vyšší vlhkosti a riziko poškození půdy jejím „umáznutím“. Potřeba překonání svahu tažným prostředkem v důsledku nárůstu hodnoty nadmořské výšky souvisí i s nárůstem spotřeby pohonných hmot (Brant a kol., 2017a; Kroulík a kol., 2017), obrázek 26.

Variabilita nadmořské výšky v rámci půdního bloku zásadním způsobem ovlivňuje i změnu hloubky orničního profilu v důsledku posunu půdy z vyšších částí pozemků do nižších. Tento posun půdy je dán jednak erozními procesy, ale také pravidelným zpracováním půdy prováděným ve směru poklesu nadmořské výšky. Brant a kol. (2017a) stanovili rozdíly v síle vrstvy orničního profilu na výškově prostorovém půdním bloku v intervalu 0,15 do 0,7 m.

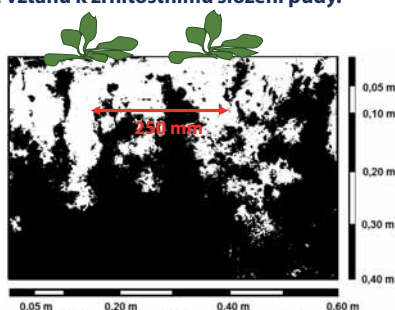
Transport půdní hmoty v důsledku odnosu jemných částic půdy při erozních procesech a při zpracování půdy ve směru poklesu nadmořské výšky zásadním způsobem zvyšuje nejen celkovou makrovariabilitu půdního bloku, ale výrazně ovlivňuje i mezovariabilitu při zpracování půdy. Obrázek 27 dokládá vliv rozdílného zrnitostního složení půdy na infiltraci vody do půdy po provedení shodného postupu zpracování půdy a setí.

Opomenout nelze ani skutečnost, že topografie terénu v rámci půdního bloku má vliv i na produkční charakteristiky porostů. Kumhálová a Moudrý (2014a) a Kumhálová (2014b) uvádějí, že vliv topografie je důležitý při precizním řízení zemědělství, hlavně při vysvětlování variability výnosů. Da Silva a Silva (2008) uvádějí, že průměrný výnos zrnové kukuřice vykazoval silnou závislost na topografii s vysokými korelačními koeficienty mezi výnosem, nadmořskou výškou a svažitostí. Experimenty rovněž potvrdily vysokou korelaci s topografickými indexy, které odrážejí dostupnost polní vody, jako je index vlhkosti a vzdálenost k čarám akumulace toku. Na obdobnou skutečnost u jarní pšenice poukazují i Halvorson a Doll (1991). Výše uvedené výsledky potvrzují vliv topografie půdního bloku i na mikrovariabilitu půdního prostředí na půdním bloku.

Infiltrace vody do půdy na plochách s ozimou řepkou, rozteč řádků 250 mm s ukládáním hnojiva do osy řádku při seti do hloubky půdy 100 mm na dvou odlišných půdních blocích (lokality Budihostice, střední Čechy) ve vztahu k zrnitostnímu složení půdy.



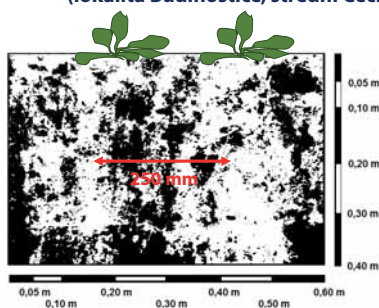
Zrnitostní složení (půdní blok 1):
jíl 24,73 %, prach 13,04 %, písek 62,2 %



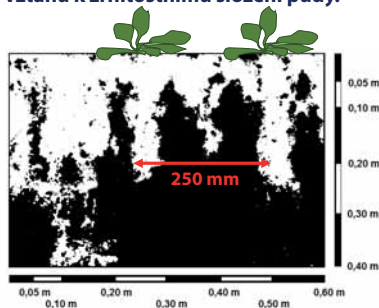
Zrnitostní složení (půdní blok 2):
jíl 46,92 %, prach 41,49 %, písek 11,57 %

Brant a Kroulík, 2015

Infiltrace vody do půdy na plochách s ozimou řepkou, rozteč řádků 250 mm s ukládáním hnojiva do osy řádku při seti do hloubky půdy 200 mm na dvou odlišných půdních blocích (lokality Budihostice, střední Čechy) ve vztahu k zrnitostnímu složení půdy.



Zrnitostní složení (půdní blok 1):
jíl 24,73 %, prach 13,04 %, písek 62,2 %



Zrnitostní složení (půdní blok 2):
jíl 46,92 %, prach 41,49 %, písek 11,57 %

Brant a Kroulík, 2015

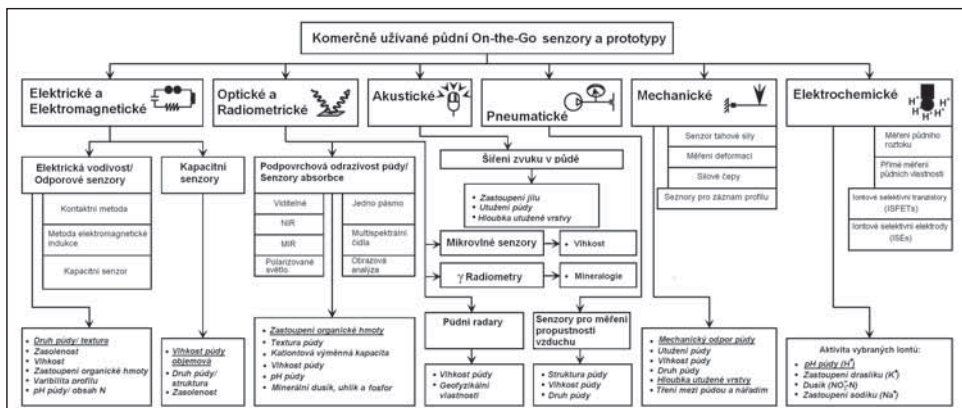
Obr. 27: Vliv rozdílného zrnitostního složení půdy na infiltraci vody do půdy po provedení shodného postupu zpracování půdy a seti. Zpracování půdy proběhlo na hodnocených půdních blocích ve shodný den.

Heterogenita půdních podmínek (Kroulík a Brant)

Z hlediska stanovení heterogenity půdních podmínek jsou za primární informace považovány geologické a půdní mapy. Informace obsažené v daných mapách dávají představu o vývoji půdních typů a poskytují data o jejich rozložení. Z hlediska využití v rámci precizního zemědělství však postrádají dostatečnou přesnost ve vztahu k velikosti půdního bloku a jeho dílům. Lorenz a Münchhof (2015) dokládají, že jejich vznik je dán znalostí o půdním profilu do hloubky 1 až 2 m. Za zásadní problém lze však považovat rozlišovací schopnost, právě ve vztahu k velikosti půdního bloku. Jejich využití lze považovat za důležité z hlediska analýzy větších zájmových území.

Pro monitoring půdní variability na půdním bloku existuje celá řada přístrojového vybavení. Některé přístroje se staly standardem, například měření elektrické vodivosti půdy (např. Lorenz a Münchhof, 2015; Brant a kol., 2017a), další jsou ve fázi vývoje, nebo jejich pořizovací cena brání širšímu uplatnění. Tyto mapy obecně upozorňují na změnu variability půdních vlastností, bez jednoznačné specifikace vlivnosti faktorů. Zásadní roli hraje následná interpretace výsledků. Ta však závisí na samotném metodickém postupu měření a použité metodě či spíše systému měření.

Řada výzkumných pracovišť vyvinula nebo se pokouší vyvinout senzory pro průběžné měření půdních vlastností, pro které se vžil název on-the-go. Obrázek 28 přináší přehled senzorů s odpovídající reakcí na půdní vlastnosti, které ovlivňují signály ze senzorů. Ve většině případů byla nalezena pro určitý druh půdy přijatelná korelace mezi výstupem ze senzoru a půdními vlastnostmi, případně to, že ostatní ovlivňující vlastnosti byly zanedbatelné. Hlavním přínosem těchto senzorů je především schopnost postihnout heterogenitu půdních vlastností a případně také směřovat další sběr dat nebo rozhodování o způsobu hospodaření. Variabilní aplikace hnojiv, vápnění, setí a dalších vstupů bez přesných půdních map je často nevhodná a pochopitelně může vést k ekonomickým ztrátám. Proto se také, ve snaze zlepšit efektivitu v rozhodování, od vývoje senzorů mnohé očekává. Potenciál senzorů je především v hustotě vzorkování a poměrně nízké ceně



Obr. 28: Přehled senzorů a jejich uplatnění (upraveno podle Adamchuk, 2007).

za pořízená data. Ačkoli řada senzorů je komerčně dostupná, je zde stále snaha o vývoj nových prototypů (Adamchuk, 2007). Tabulka 6 přináší klasifikaci proximálních půdních senzorů podle principu měření. I když existuje řada on-the-go senzorů, způsob měření je většinou založen na těchto principech:

- 1) Elektrické a elektromagnetické senzory, které měří elektrický odpor, kapacitu nebo vodivost půdy ovlivněné půdními vlastnostmi.
- 2) Optické a radiometrické senzory, které využívají elektromagnetických vln k určení úrovně pohlcené nebo vyzářené energie půdy a jejich částic.
- 3) Mechanické senzory, které měří tahovou sílu při práci nářadí.
- 4) Akustické senzory, které zaznamenávají zvuky při práci nářadí v půdě.
- 5) Pneumatické senzory, které stanoví schopnost vzduchu pronikat do půdy.

Tab. 6: Klasifikace proximálních půdních senzorů (upraveno podle Adamchuk, 2011).

Typ senzoru (vlnová délka, m)	Princip měření ¹	Interakce ²	Energie ³	Operativnost ⁴
Gama-záření (10 ⁻¹²)	INS	A	N	S/M
	TNM	A	I	S
	Spektroskop	A/P	N	S/M
Rentgenové záření (10 ⁻¹⁰)	XRF	A	N	S
	XRD	A	N	S
Optické (10 ⁻⁸ –10 ⁻⁴)	UV	A	N	S
	viditelné spektrum	A/P	N/I	S/M
	NIR	A/P	N/I	S/M
	MIR	A	N	S
	LIBS	A	N	S
Mikrovlnné (10 ⁻²)	Mikrovlny	A	N	S
Rádiové (10 ⁻¹ –10 ⁶)	TDR	A	I	S
	FRD/ kapacita	A	I	S/M
	GPR	A	N	S/M
	NMR	A	N	S
Elektrické	EMI	A	N	S/M
	EC/ER	A	I	M
	potenciál půdní vody	P	I	S
Elektrochemické	ISE/ISFET	P	N	S/M
Mechanické	tahová síla	P	I	M
	mechanický odpor	P	I	S/M
	propustnost vzduchu	A	I	S/M
	akustický signál	P	I	S/M

1) Neutronová spektroskopie (INS), (TNM), rentgenová fluorescence (XRF), rentgenová difrakce (XRD), ultrafialové záření (UV), blízké infračervené záření (NIR), střední infračervené záření (MIR), laserová spektroskopie (LIBS), time domain reflectance (TDR), frequency domain reflectance (FDR), půdní radar (GPR), nukleární magnetická rezonance (NMR), elektromagnetická indukce (EMI), elektrická vodivost (EC), elektrický odpor (ER), iontová selektivní elektroda (ISE), iontový selektivní transistor (ISFET)

2) aktivní snímače (A) poskytují svůj vlastní zdroj energie, pasivní snímače (P) se spoléhají na emitovanou energii.

3) kontaktní (I) senzory pracují v přímém kontaktu s půdou, bezkontaktní senzory (N) nejsou v kontaktu s půdou a nerozrušují ji.

4) Stacionární zařízení (S) vyžadují umístění na daném místě a ve stálé nebo variabilní hloubce, mobilní senzory (M) umožňují nasazení jako on-the-go senzor.

6) Elektrochemická čidla, která využívají prvků a částic, které doslova vytváří elektrické napětí jako odezvu na působení vybraných iontů. Tak je možné sledovat například koncentrace vodíku, draslíku, dusíku apod.

Tabulky 6 a 7 přinášejí rozdělení senzorů podle vhodnosti použití.

Tab. 7: Půdní vlastnosti stanovitelné senzorem přímo (D) a nepřímo (I), (upraveno podle Adamchuk, 2011).

Půdní vlastnosti	Typ senzoru							
	Gama-zářen	Rentgenové záření	Optický	Mikrovlnný	Rádiové vlny	Elektrický	Elektrochemický	Mechanický
Chemické vlastnosti								
Celkový uhlík	D	D	D					
Organický uhlík	I		D					
Anorganický uhlík	I		D					
Celkový dusík	D	D	D					
Nitrátový dusík			I		I	I	D	
Celkový fosfor	D	D	I					
Extrahovatelný fosfor								
Celkový draslík	D	D	D					
Extrahovatelný draslík			I				I	
Další hlavní živiny	D	D	D				I	
Mikroprvky	D	D	D					
Železo celkové	D	D	D		I			
Oxidy železa	I		D		I			
Těžké kovy	D	D	I					
KVK	I		I			I		
pH půdy	I		I		D		D	
Salinita půdy					D	D	D	
Fyzikální vlastnosti								
Barva			D					
Vlhkost	D		D	D	D	D		I
Vodní potenciál	I					D		I
Zrnitostní složení	I		I		I	I		I
Jílové minerály	I	D	D			I		I
Odpor půdy								D
Objemová hmotnost	I		I		D			I
Pórovitost								D
Hloubka prokořenění					I			D

Elektrické a elektromagnetické senzory

Pro aplikaci geoelektrických, popř. geomagnetických metod, se vžil pojem měření vodivosti půdy, kdy se zjišťuje schopnost půdy vést elektrický proud. Elektrická vodivost půdy je jednoduchý nástroj, který farmáři mohou využít k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge, 2001). Elektrické a elektromagnetické senzory využívají elektrického obvodu k měření schopnosti půdy vodit, případně akumulovat, elektrický náboj. V případě, že jsou používány tyto senzory, stává se půda součástí elektrického obvodu a lokální změny půdních vlastností významně ovlivňují signál, který je následně ukládán do měřicí ústředny. Pro mapování půdních rozdílů lze rozdělit zařízení podle jejich funkce a konstrukce.

Základní rozdělení může být buď elektromagnetické, nebo elektrické, určené pro vedení stejnosměrného proudu. Další rozdělení je, zda zařízení vyžadují nebo nevyžadují přímý (galvanický) kontakt s půdou. Corwin a Lesch (2003) nebo Terrón a kol. (2011) potvrzují, že měření vodivosti půdy se stává jednou z nejpoužívanějších technik mapování polní variability pro potřeby technologií precizního zemědělství a farmáři mohou využít měření k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge, 2001). Výrazně koreluje s půdními vlastnostmi, které mají vazbu na výnos, a do jisté míry může vysvětlit variabilitu výnosu. Jedná se zejména o zrnitostní složení, kationtovou výměnnou kapacitu, obsah organické hmoty, hloubku půdního profilu, pH, vodní kapacitu a další.

Na základě dostupných informací je možné konstatovat, že data ze senzorů vodivosti půdy jsou často využívána při návrhu tzv. management zón pro variabilní vstupy (Doolittle a kol., 1994; Lowenberg-DeBoer, 1999; Lund a kol., 1999; Taylor a kol., 2000; Doerge, 2001; Abendroth a Thus, 2007). Lück (2001) využil měření vodivosti půdy pro odhad výnosových hodnot pro rozlišení rozdílných půdních druhů na vybraných polích. Domsch a kol. (2001) se zabývali pokusy na vybraném pokusném pozemku a zjistili, že pomocí zařízení na měření půdní vodivosti lze určit obsah jílu, obsah vody a v některých případech i teplotu půdy. Obdobné výsledky uvádí také ve své disertační práci Wiesehoff (2005). Ve Spojených státech amerických měření vodivosti aplikovali Johnson a kol. (2003) pro predikci výnosů pšenice seté. Aplikaci tohoto přístroje pro zjištění závislosti jednotlivých druhů půdy vést elektrický proud popisují Gebbers a kol. (2007) a Anderson-Cook a kol. (2002).

Řada senzorů je dnes komerčně nabízena. Z výrobců jmenujme například Veris Technologies, Inc. (Salina, Kansas, USA), Geonics Limited (Mississauga, Ontario, Kanada), CMD (GF Instruments, ČR), Geocarta (Paříž, Francie), Geometrics, Inc. (San Jose, Californie, USA), Dualem, Inc. (Milton, Ontario, Kanada) a Crop Technology, Inc. (Bandera, Texas, USA).

Často používaný přístroj pro měření a stanovení elektrické vodivosti půdy je elektromagnetická indukce s využitím přístroje označovaný jako EM 38 od společnosti Geonics Limited (obrázky 29 A a B). Jedná se o bezkontaktní senzor. Vysílací cívka vytváří elektromagnetické pole, které mění velikost s hloubkou půdního profilu. Přijímací cívka měří primární indukci a sekundární indukovaný proud v půdě. Z těchto dvou hodnot je

stanovena vodivost půdy. Již několik let nachází toto zařízení pracující na principu elektromagnetismu svoje uplatnění v precizním zemědělství Corwin a kol. (2003) a typ EM 38 je nejpoužívanějším zařízením pro měření vodivosti půdy.

Další systém pro mapování vodivosti půdy, systém Veris 3150 (obr. 30), využívá přímého galvanického spojení měřidel s půdou. Jedná se o řadu kotoučových elektrod, které vysílají elektrický signál do půdy. Signál je přijímán další řadou elektrod, které měří pokles napětí v důsledku odporu, který klade půda. Rozdílné vzdálenosti mezi elektrodami umožňují měřit vodivost půdy v rozdílných hloubkách.

Na podobném principu je založeno měřicí zařízení (obr. 31) vyvinuté na Katedře využití strojů Technické fakulty ČZU v Praze. Jak bylo uvedeno, konstrukce senzorů lze rozdělit do dvou základních skupin. Tabulka 8 přináší srovnání těchto dvou konstrukčních provedení. Obrázky 32 (A, B, C, D) přinášejí ukázky měřících platform pro měření elektrické vodivosti půdy od dalších výrobců.



Obr. 29 A, B: Sonda půdní vodivosti EM 38 a měřicí souprava Katedry zemědělských strojů (foto Kroulík).



Obr. 30: Systém pro mapování vodivosti půdy Veris 3150 (foto Kroulík).



Obr. 31: Zařízení pro měření vodivosti půdy sestavené na Katedře využití strojů, TF, ČZU v Praze (foto Kroulík).

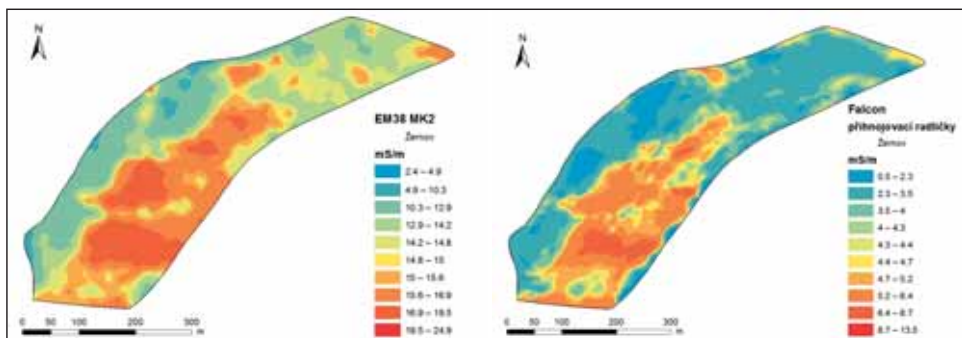


Obr. 32: Konstrukční provedení dalších senzorů pro měření vodivosti půdy: a) Profiler EMP-400, výrobce Geophysical Survey Systems, Inc.; b) DUALEM-4, výrobce AlphaGeosciencePty. Limited; c) EM31-MK2 Geonics Limited; d) Zařízení pro kontaktní způsob měření, výrobce Veris Technologies (foto Kroulík).

Pokusy prováděné na pracovištích ČZU v Praze ve spolupráci s firmou Farmet dokládají použitelnost technického řešení úpravy kypřičů nebo secích strojů za účelem měření vodivosti půdy, kdy modifikací vybraného stroje na zpracování půdy a setí a zabudováním čidel přímo do pracovních nástrojů získáme měřicí platformu a umožníme sběr dat přímo během práce stroje. V poslední době se stále zvyšuje zájem o secí stroje vybavené sekcemi pracovních nástrojů na mělké kypření půdy a přípravu lůžka pro osivo. Pro přípravu půdy se v tomto případě využívají pasivní pracovní nástroje, například sekce talířových nebo radličkových bran, půdních pěchů nebo prutových bran. Vhodným osazením senzorovou technikou můžeme sběr dat realizovat na jednotlivých sekcích stroje, a přenášet tak odezvu půdních vlastností na aplikační výstup. Může se jednat o informaci o hrudovitosti, míře utužení, vlhkosti a podobně. Vizuelní srovnání dat vodivosti půdy ze senzoru EM 38, který je považován za standard, a modifikovaného kypřiče přináší obrázek 33.

Tab. 8: Srovnání senzorů měřících elektromagnetickou indukci a elektrický odpor (Lück, 2000).

Senzory měřící elektromagnetickou indukci (EM 38)	Senzory měřící elektrický odpor (Veris 3100)
bezkontaktní způsob měření	vyžaduje kontakt elektrod s půdou
malý, lehký a příručný 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 (EM 38 DD) současně měřitelné hloubky	v současnosti může být měřeno více hloubek
nutná kalibrace přístroje - zjišťovány jsou relativní změny, ne absolutní hodnoty	měřeny jsou absolutní hodnoty - metoda se hodí pro zjišťování časově proměnlivých veličin
zohlednění teploty půdy při měření	bez zjišťování teploty
citlivost na kov v povrchové vrstvě půdy	kovové struktury v povrchové vrstvě nezpůsobují rušení
elektricky dobře vodivé struktury se zobrazují zřetelněji než málo vodivé	vysoce ohmické vrstvy se zobrazují zřetelněji než dobře vodivé struktury
umožňuje měření do výšky porostu 20 cm bez jeho poškození	způsob měření předpokládá narušení povrchové vrstvy půdy



Obr. 33: Vlevo mapa vodivosti půdy pořízená sondou EM 38 MK2 a vpravo mapa pořízená měřicí platformou instalovanou na sečí stroj.

Mechanické senzory

Půdní mechanický odpor je indikátorem mechanických vlastností půdy. Může být ovlivněn utužením, texturou půdy, obsahem vody a dalšími zemědělskými parametry (Adamchuk a Christenson, 2005).

Nejběžnější nepřímou metodou měření půdního mechanického odporu je penetrometrie. K tomuto účelu slouží normovaný kuželový penetrometr (ASAE, 2002). Podle zjištěného penetračního odporu můžeme dále usuzovat například na odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje, stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů (Hůla a kol., 1997). Nejčastěji se setkáváme s penetrometry v souvislosti s měřením utužení půdy (Lapen a kol., 2002; Jurga, 2003; Carrara a kol., 2003). Jak ale uvádějí Mouazen a kol. (2005), metody měření penetračního odporu nebo odběr fyzikálních válečků jsou velmi obtížné a časově náročné, kromě toho jsou nespojitá data získaná měřením založena na síti měření. Heisel a kol. (1999) ve své práci uvádí potřebu času na odběr půdního vzorku na 10 až 60 minut. Uvedené důvody představují jednoznačně překážky pro nasazení v režimu kontinuálního měření. Lapen a kol. (2002) potvrzuje, že kuželovým penetrometrem můžeme odhadnout zhutnění půdy, ale jedná se o bodové měření a k popisu ulehlosti půdy na celém pozemku je zapotřebí mnoho odběrů. Navíc data z penetrometru mohou na kamenité půdě vykazovat prostorovou nezávislost na vzdálenost 0,1 m. Charakter prostorových závislostí vykazuje také silnou prostorovou anisotropii, způsobenou přejezdy strojů. Tahová síla je faktor, který by mohl být měřen kontinuálně při normální práci stroje, a zhutnění odvozené od tahové síly by bylo měřeno v kořenové zóně většiny polních plodin.

Zrychlení práce s penetrometrem představují poloautomatické měřicí zařízení, většinou ve spojení s mechanizačním prostředkem. Tato zařízení ve většině případů kombinují hodnoty mechanického odporu půdy s dalšími údaji, jako je vlhkost půdy, vodivost půdy apod. Podobné zařízení představil ve své práci Yurui a kol. (2008), obrázek 34. Hummel a kol. (2004) popisují



Obr. 34: Poloautomatický penetrometr (zdroj: Yurui a kol., 2008).

snahy o integraci zařízení pro zjišťování elektrické vodivosti půdy do kužele penetrometru. Na obrázku 35 je kombinovaný senzor pro měření penetračního odporu vlhkosti půdy a optických vlastností půdního profilu nabízený firmou Veris.

Řada prototypových systémů byla vyvinuta pro mapování půdního mechanického odporu při práci stroje. Větší vzorkovací frekvence těchto technik poskytuje mnohem přesnější znázornění variability půdního mechanického odporu uvnitř pole v porovnání s údaji získaných z bodového odběru kuželovým penetrometrem. Měření tak může být využito například pro místně specifické obdělávání půdy zmírňující problémy způsobené utužením půdy. Sensory zhutnění půdy a sledováním fyzikálních vlastností pro znalost lokálně rozdílných půdních vlastností se zabývali například Sirjacobs a Destain (2000), Barone a Faugno (1996) nebo Mouazen a kol. (2002). Ve svých pokusech měřili sílu potřebnou na tažení nástroje nebo hrotu v půdě, při pohybu konstantní rychlostí. Mouazen a kol. (2005) hodnotili měřicí zařízení složené z několika čidel vyvinutých pro měření objemové hmotnosti při práci stroje. Měření tahové síly a hloubky v pohybu bylo prováděno jednostranným ostřím osazeným na tenzometrech a ocelovým kolečkem vybaveným polohoměrem. V uvedených případech by se dalo hovořit o horizontálním penetrometru. Tyto systémy již daleko více splňují požadavky na kontinuální záznam. Konstrukce horizontálního penetrometru byla rozvíjena již v 90. letech. Alihamsyah a kol. (1990) provedli srovnání horizontálního a vertikálního penetrometru v brázdě, a na základě statistického šetření zjistili velmi dobrou shodu mezi naměřenými výsledky a metodami měření. Lüth (1993) a Isensee (1992) se ve svých pracích zabývali zkoušením i konstrukčními úpravami horizontálního penetrometru. Weissbach (1998) prokázal svým upraveným horizontálním penetrometrem vliv druhu půdy na sílu potřebnou pro vnikání kužele penetrometru. Price (2002) vyvinul prototyp prvního horizontálního penetrometru, který umožňoval měření penetračního odporu při pomalé jízdě měřicí soupravy po vytyčeném pozemku. Upravený horizontální penetrometr představil Stenberg a kol. (2007).

Sirjacobs a kol. (2002) použili ve svých pokusech pracovní nástroje podobné radličce kypřiče, kde pozorovali fyzikální parametry ovlivňující velikost tahové síly. Verschoore a kol. (2003) provedli srovnání mezi horizontálním penetrometrem a šípovou měřicí radličkou, kde zjišťovali velikost sil působících na pracovní stranu radličky. Na základě nepatrných rozdílů korelačních koeficientů vidí autoři v této oblasti měření velkou

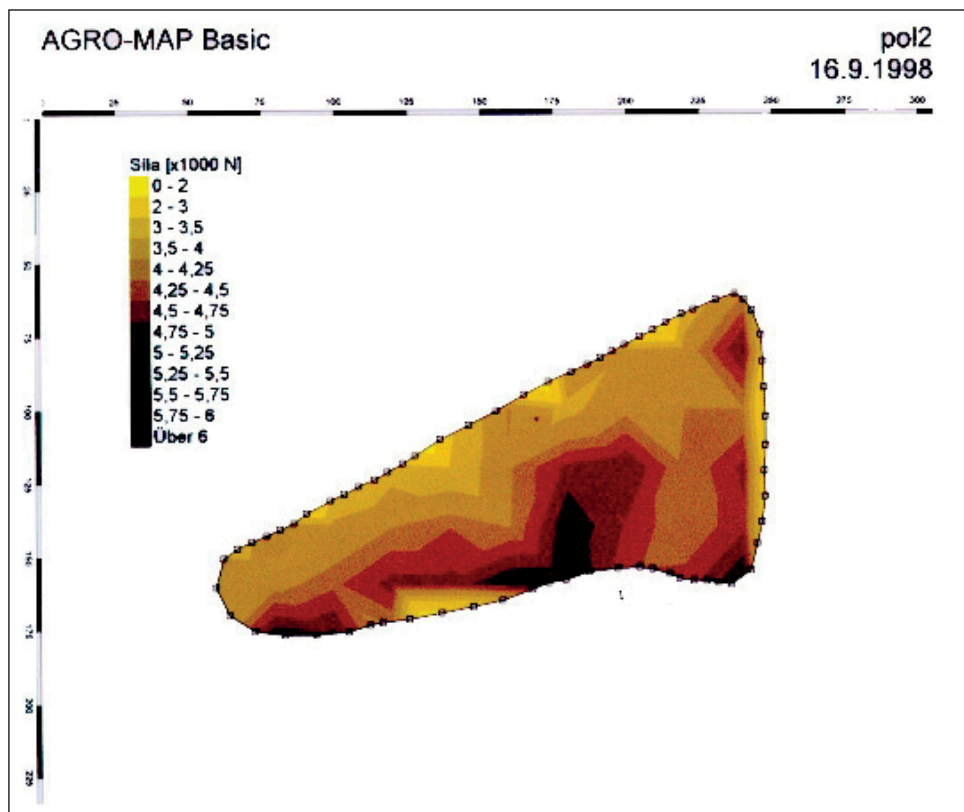


Obr. 35: Poloautomatický penetrometr společnosti Veris (foto Kroulík).

budoucnost a zároveň zdůrazňují, že jejich závěry musí být ověřeny dalšími měřeními. Podobná měření byla prováděna též na Katedře zemědělských strojů. Tahová síla potřebná k tažení jedné radličky byla měřena s použitím speciálního měřicího rámu, zapůjčeného z VÚZT Praha (obr. 36). V hlavním rámu je na šestikomponentním závěsu uchycen menší rám. Závěs dovolí pouze vodorovný pohyb rámu vůči sobě. Menší rám je opatřen závěsem pro upevnění měřené radličky. Mezi rámy se vkládá tahový dynamometr. Byl použitý tenzometrický dynamometr s rozsahem 0-30 kN. Hloubka zpracování půdy během měření jedné radličky byla 150 mm. Hodnoty tahové síly se zaznamenávaly spolu s údaji o poloze stroje do měřicí ústředny. Z naměřených údajů byla sestrojena mapa tahové síly (obr. 37).



Obr. 36: Měřicí rám VÚZT Praha (foto Kroulík).



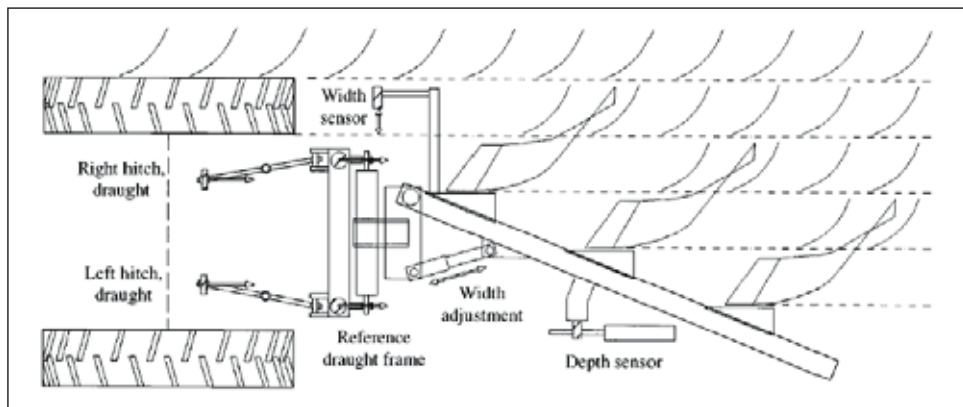
Obr. 37: První získaná mapa z měření tahové síly.

Na základě výsledků se nabízí myšlenka, využít pro měření variability půdního prostředí znalost tahové síly, která je potřebná na tažení běžných, standardních strojů na zpracování půdy. Velikost tahové síly je u tažených strojů na zpracování půdy rozhodující pro energetickou náročnost prováděné operace. Potřebu tahové síly nástrojů pro zpracování půdy ovlivňují podmíněné parametry jako druh nářadí, pracovní záběr, pracovní hloubka a pracovní rychlosti. Druhou oblast působících faktorů na potřebu tažné síly představují faktory závislé na místě, ke kterým musíme připočítat druh půdy, objemovou hmotnost půdy, půdní vlhkost a reliéf (Schutte a Kutzbach, 2003). K dalším faktorům, které působí na výslednou hodnotu tahové síly, patří použité nářadí, stav nástrojů, seřízení nářadí.

Měření tahové síly, které sloužilo pro navrhování a optimalizaci strojů pro zpracování půdy, se provádělo v zemědělství již před desítkami let. V roce 1855 se zabýval Segnitz (1856) měřením tahové síly. Ucelený pohled na historii měření tahové síly, až do začátku 19. století, uvedl ve svém díle Röhrs a Wilkens (1984), a ještě o něco rozšířený a nově doplněný pohled do historie měření tahové síly popisuje König (1989).

Aktuální znalost tahové síly by tak mohla být 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 nářadí a ověření agrotechnických zásahů na pozemcích. S odvoláním na hospodaření podle prostorové variability pozemku jsou prostorové informace o půdních vlastnostech pozemku a jejich vzájemná vazba na terén potřebné pro uplatnění prostorově specifického obhospodařování. Jak dokládá Godwin a Miller (2003), pro mapování půdních vlastností jako je zrnitost, struktura půdy, dostupnost vody a její pohyb, lze využít měření elektromagnetické indukčnosti a tahové síly. Pod pojmem mapování tahové síly se rozumí přiřazování souřadných souřadnic k zjištěné tahové síle v určitém časovém okamžiku. Jedno z prvních a na svou dobu velmi sofistikovaných měření, provedli Keen a Haines (1925) již v roce 1925, kdy použili měřicí zařízení vlastní konstrukce. Právě autory vyvinutý systém měření mohl během orby získávat „data“, jako velikost tahové síly, pracovní hloubku a časový okamžik, za který ujela měřicí souprava předem vyznačenou dráhu. Naměřené údaje následně autoři znázornili a přenesli do jedné z prvních map tahových sil.

Práce autorů Keena a Hainese (1925), vedly s odstupem času ke zjišťování variability půdy a následnému zhotovení map tahového odporu. V roce 1992 provedl Paul (1992) mapování tahové síly na pokusném pozemku ústavu FAL v německém Braunschweigu za použití do té doby nejmodernější měřicí aparatury. Datová ústředna zaznamenávala signál ze silových čepů traktoru a rychlost, která byla měřena radarem. Vedle výše uvedeného signálu ze silových čepů a rychlosti, autor zaznamenával polohu soupravy, a také celkový prokluz. Z naměřených a vyhodnocených hodnot došel Paul k závěru, že vlhkost půdy zřetelně ovlivňovala celkový prokluz traktoru. Souprava se pohybovala v předem stanovených jízdních stopách, jejichž rozteč byla konstantní a předem stanovená. Výsledkem sloučení a zpracování všech hodnot byla shoda v závislosti tahové síly na různých půdních druzích uvnitř pokusného pozemku. V určitých oblastech zjistil autor nadměrné zhutnění půdy, které vzniklo po předchozí sklizni cukrové řepy. Paul zároveň vidí velký



Obr. 38: Otočný tříradličný pluh vybavený senzory dle Van Bergeijk a Goense (1996).

potenciál pro mapování tahových sil z naměřených hodnot ve spojení s vlastnostmi půdy. Van Bergeijk a Goense (1996) vybavili upravený otočný, tříradličný pluh senzory, které snímaly šířku záběru a pracovní hloubku (obr. 38). Tahová síla se měřila opět ze sériových silových čepů dolních ramen traktoru, ale také přidavným měřicím rámem mezi traktorem a pluhem. Okamžitou polohu zaznamenával přijímač signálu GPS. Měrná tahová síla se při orbě pohybovala mezi 30 až 50 kN.m⁻².

Van Bergeijk a Goense (2001) zjistili vztah mezi tahovou silou a rozdílnými půdními druhy na pokusném pozemku. Závěrem práce autoři konstatují, že je možné použít sériové silové čepy traktoru pro měření tahové síly, jestliže se před samotným měřením provede jejich správná kalibrace. „Měřicí soupravu“ je možné rozšířit o senzor, který snímá pracovní hloubku. Holtmann a kol. (2000) popisují metodu a způsob měření tahových sil sériovými silovými čepy traktoru. Van Bergeijk a Goense (2001) opakovali svá měření i následující rok na stejném pozemku, aby určili vliv obsahu jílu v půdě na tahovou sílu. Data autoři sbírali po dobu dvou let. Hodnoty tahové síly a mapy zpracovali metodou „kriging“, kde prokázali vysokou závislost tahové síly na obsahu jílu. Výsledkem odebraných vzorků zpracovaných metodou „ko-kriging“ bylo zpřesnění výsledné mapy obsahu jílu na pokusném pozemku. Van Bergeijk a kol. (2001) došli k závěru, že použitím metody ko-kringu je možné snížit odběr půdních vzorků o 20 %. Droll (1999) se na univerzitě v německém Hohenheimu zabýval mapováním tahové síly a záznamem točivého momentu na vývodové hřídeli u poháněných strojů na zpracování půdy. Takto vybavená souprava zpracovávala vybrané plochy s širokou paletou strojů poháněných vývodovou hřídelí (rotační, vířivý kypřič, kývavé brány). Mimo jiné představil hlavní zdroj chyb při měření (tab. 9). K podobným závěrům dospěl rovněž McLaughlin a kol. (2000).

Tab. 9: Největší zdroj chyb u mapování tahové síly (Droll, 1999; McLaughlin a kol., 2000).

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

Lapen a kol. (2002) popisují automatický systém získávání dat, kde vedle polohy získané na základě signálu GPS jsou zobrazena také data získaná ze silových čepů závěsu traktoru. Výsledkem jsou tahové mapy. Svoboda a kol. (1998) zjišťovali velikost tahové síly svým vlastním prototypem silového čepu, který byl upevněn na závěsu traktoru. Autor zdůrazňuje možnost použití silových čepů pro zjištění tahového odporu a následné zpracování tahových map. Godwin a Miller (2003) ze svých měření přikládají výše uvedeným hodnotám nepatrný význam pro precizní zemědělství, pokud není pro mapování tahové síly deaktivována silová regulace traktoru.



Obr. 39: měřicí rám, vkládaný mezi traktor a měřený stroj (foto Kroulík).

Jak dále uvádí Kürsteiner (2003), měření síly na třibodovém závěsu traktoru se provádí často s použitím měřicích rámců, které jsou vloženy mezi traktor a připojené nářadí. Ukázku měřicího rámu, který používala Katedra zemědělských strojů pro měření tahových sil, přináší obrázek 39.

Práce a manipulace s takovým rámem může být velice obtížná. Kromě výsledků dosažených na experimentálních rámech, mohou být k měření použity sériově osazované silové čepy v traktoru, určené pro elektronickou regulaci závěsu (Schutte a Kutzbach, 2003).

Měření rozdílů v půdních vlastnostech během běžného zpracování půdy představuje základ mapování potřeby tahové síly nástroje pro zpracování půdy. Navíc, jak uvádějí ve své práci Rothmund a kol. (2003), s měřením tahové síly na elektronicky regulovaném závěsu a automatizovaným ukládáním dat se získává během zpracování půdy parametr bez dodatečných nákladů na jejich získání. Kutzbach a kol. (2004) se zabývali ověřováním experimentálně zjištěných hodnot s hodnotami získaných z traktorů v polních podmínkách. Autoři docházejí k závěru, že takto zjištěné informace mohou sloužit pro zjištění variability pozemku.

Hodnocení mechanických vlastností půdy s využitím elektroniky traktorů

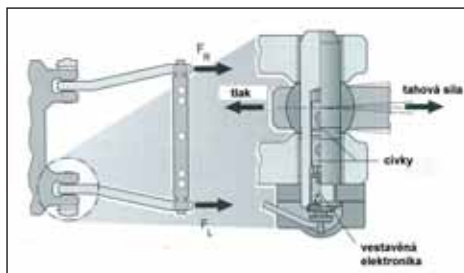
Pro zjišťování tahové síly jsou téměř všechny současné traktory vybaveny zařízením, které toto měření umožňuje. Do dnešní doby se prosadilo především elektronické měření síly na traktorech. Rozličné metody řešení ovládnutí zadních ramen traktoru jsou patentovány buď samotnými výrobci traktorů, nebo jejich dodavateli. Většina traktorů je vybavena elektronickou regulací zadních ramen od firmy Bosch-Rexroth, pracující tak, jak je schematicky znázorněno na obrázku 40. Vlivem sil působících na čep umístěný v dolních ramenech vzniká magneto-elastický efekt (Noak, 2001), který je vstupní informací pro elektroniku EHR traktoru.

Z obrázku 41 je patrná závislost průběhu výstupního napětí čidla tahové síly na tahové síle u traktoru Fendt 933 Vario. Lineární průběh závislosti výstupního napětí z čidel na tahové síle byl opět prokázán u všech poloh ramen závěsu. Koeficienty determinace (R^2) byly rovny hodnotě 0,99. Z obrázku 41 ale vyplývá, že sklon regresních přímek se mění s polohou ramen.

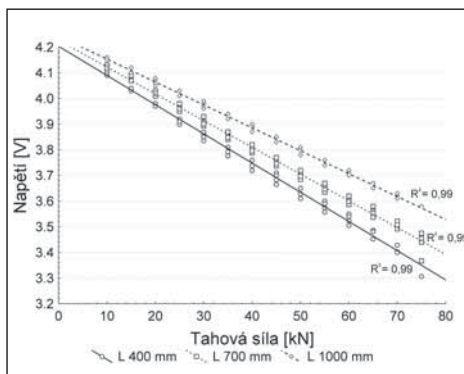
Tahová síla je velkou měrou ovlivněna pracovní hloubkou. Kolísání pracovní hloubky je považováno za jev rušící, jestliže se provádí měření tahové síly za účelem zjišťování půdních rozdílů. Rüsseler (2004) ve své vědecké práci popisuje rozličné metody pro měření pracovní hloubky nářadí pro zpracování půdy, které našly velkého rozšíření v zemědělské praxi. Metody zjišťování pracovní hloubky a jejich aplikace se popisují také v práci Schutte a kol. (2004) nebo Kutzbach a kol. (2004). V pracích byly konfrontovány metody, které umožňují měření pracovní hloubky během jízdy tzv. on-line. Výsledkem měření on-line je pozdější normování tahových sil, kdy se ke každé hodnotě přiřadí aktuální pracovní hloubka. Hodnoceny byly metody založené na použití kopírovacího kola, ultrazvukového senzoru, infračerveného senzoru a polohoměru zadního závěsu.

Hodnoty z kalibrace polohoměrného čepu traktoru Fendt přináší následující odstavec. Průběh hodnot výstupního napětí z čidla polohy závisel lineárně na výšce osy čepu spodních ramen závěsu traktoru (obr. 42). Koeficient determinace (R^2) byl pro čidlo polohy 0,99.

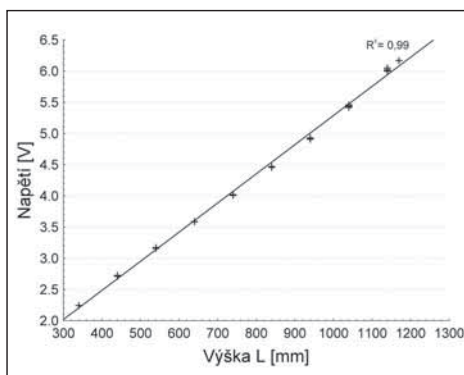
Na obrázku 43 je zobrazena mapa tahové síly pořízená traktorem Case během kypření. Rovněž mapa prokluzu byla získána během práce stroje (obr. 44).



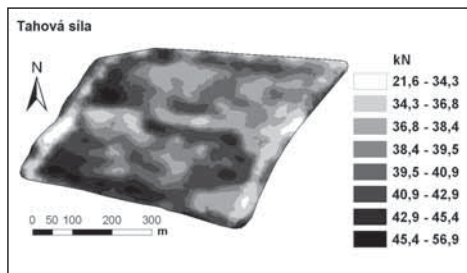
Obr. 40: Schématické znázornění funkce silových čepů firem Bosch Rexroth (Noack, 2001).



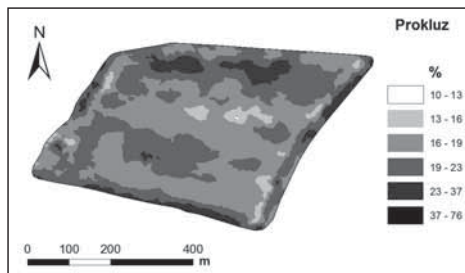
Obr. 41: Závislost výstupního napětí z čidel tahové síly na tahové síle u traktoru Fendt 933 Vario.



Obr. 42: Závislost výstupního napětí z čidla polohy ramen na výšce osy čepu spodních ramen závěsu u traktoru Fendt 933 Vario.



Obr. 43: Mapa tahové síly pořízené traktorem Case během kypření.



Obr. 44: Mapa prokluzu měřená během kypření na traktoru Case.

Dnes existuje řada prototypů, které umožňují nepřetržitě měření mechanického odporu, nicméně komerční využití těchto senzorů je minimální. Protože zpracování půdy představuje mechanické zásahy do půdy spojené s vysokou energetickou náročností, jsou technologie zpracování půdy předmětem soustředěné snahy o snižování spotřeby paliva a snižování pracnosti, s čímž souvisí dosahování příznivějších nákladů na jednotku produkce.

Významným krokem v modernizaci a komunikaci mobilních prostředků v zemědělství bylo zavedení systému sběrnice ISO (ISO 11 783). Díky sběrnici ISO nebylo nutné mít další terminál pro připojená nářadí. V systému sběrnice ISO se sjednotila komunikace připojených nářadí k mobilnímu prostředku se sběrnicí CAN. To znamená, že sběrnice CAN i sběrnice ISO komunikují stejnou „řečí“ a řídicí jednotky nainstalované na nářadí je možné zobrazit na terminálu sběrnice CAN. V neposlední řadě se začal systém sběrnice CAN používat v precizním zemědělství, a to s pomocí satelitní navigace a bezdrátového přenosu dat v reálném čase z mobilních prostředků do počítačů (Bauer a kol., 2006).

Je zde tedy určitý potenciál pro variabilní zásahy, především z hlediska hloubky zpracování půdy. Technologie precizního zemědělství jsou technologie založené na informacích. S nárůstem množství dat získaných z mobilních i statických zdrojů roste potřeba standardizace datové základny. Výrobci zemědělských a lesnických strojů zaručují zaměnitelnost senzorů a ovladačů a akceptují modulový design nových výrobků. Formáty datových souborů jsou standardizovány v ISO 11 787.

Měření tahové síly pomocí elektrohydraulického závěsu a ověření přesnosti měření je prezentováno také následujícím odstavcem. Tahový dynamometr byl umístěn do závěsu, který byl umístěn mezi dva traktory (obr. 45). První traktor zajišťoval tažení soupravy, druhý traktor zajišťoval ovládání pracovního stroje. Výstupní hodnoty z dynamometru byly zaznamenávány do měřicí ústředny společně s informacemi o poloze stroje. Interval měření byl nastaven na 2 s. Pro každou soupravu byl vždy změřen valivý odpor soupravy bez zahloubení stroje, který byl následně odečten od hodnot tahových sil, měřených při zahloubení stroje. Jako druhý způsob měření tahové síly byl zvolen záznam hodnot odečtených z čidel elektro-hydraulického závěsu traktoru.

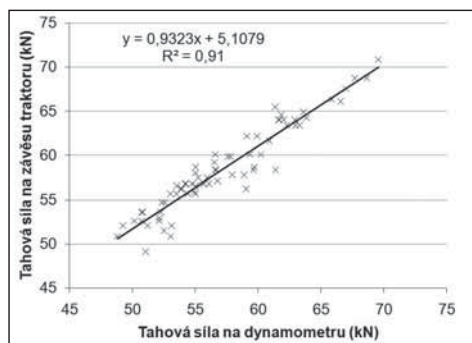


Obr. 45: Měřicí souprava při měření tahové síly (foto Kroulík).

Srovnání výsledku měření tahové síly s využitím speciálního dynamometru a elektro-hydrauliky traktoru přineslo výsledky, které dokazují, že výstupy ze sériových čidel je možné použít pro průběžné sledování tahové síly během práce stroje. Jak dokládá obrázek 46, hodnoty vykazovaly velmi podobný průběh. Vzájemnou závislost hodnot také dokládá regresní analýza dat a vysoký koeficient determinace (obr. 47).



Obr. 46: Porovnání způsobů měření tahové síly.



Obr. 47: Závislost hodnot tahové síly ze závěsu traktoru na hodnotách síly na dynamometru.

Optické a radiometrické senzory

Gama spektrometrie

V souvislosti s měřením variability půdního prostředí pro účely precizního zemědělství se objevují aplikace metody zvané gama-spektrometrie, která je založena na měření koncentrací prvků v půdě s přirozenou radioaktivitou. Skutečnost, že gama záření nese informaci o půdních vlastnostech, byla známa dlouho. Již v roce 1930 byly gama detektory zkonstruovány a používány pro vyhledávání izotopů uranu (de Meijer, 1998).

Všechny půdy vykazují přírodní radioaktivní záření, které prokázali Martz a De Jong (1990). Cook a kol. (1996) vidí použití této metody hlavně pro zjišťování heterogenity půdy, které může být spojeno ještě s doprovodnými informacemi, jako je např. reliéf krajiny. Wong a Harper (1999) prokázali vysokou statistickou závislost mezi draslíkem v půdě a izotopem K40. Autoři vidí velký užitek této metody pro mapování půdních živin, ale současně poznamenávají, že zjištěný model nemůže být aplikován na každé pole. Pracilio a kol. (2003) aplikovali metodu gamma-radiometrii pro zjištění fyzikálních vlastností půdy a obsahu rostlinných zbytků. Během svého měření autoři zjistili velmi vysokou závislost mezi intenzitou přirozené radioaktivity půdy a jejími fyzikálními vlastnostmi. Zároveň také uvádějí, že na dalších dvou pozemcích byl koeficient spolehlivosti slabší. Mapy získané z radiometrického průzkumu nabízí informace o půdních vlastnostech a dějích v půdním profilu do hloubky 0,3 m. Jedná se například o zrnitostní složení půdy, proces zvětrávání nebo vyplavování půdy, hloubku půdního profilu (Bierwirth a kol. 1996a, b; van Wijngaarden a kol., 2002).

O několik let později bylo zjištěno, že kromě závislosti mezi aktivitou radionuklidů a fyzikálními vlastnostmi půdy, existuje také závislost mezi radionuklidy a chemickými vlastnostmi půdy (kontaminace půdy těžkými kovy apod.), (Van der Graaf a kol., 2007).

Sběr dat jednotlivými mobilními čidly (vodivost půdy, půdní radar, spektrometry) je v literatuře popsán a komentován. Rovněž tak některé kombinace (Hill a kol., 2004). Řada autorů se vyslovuje pro nezbytnost dalšího rozvoje a kombinaci senzorů za účelem fúze rozdílných dat. Z literárních pramenů vychází následující tabulka, která představuje aplikace variabilního zemědělství na sledované ukazatele. Významnou roli hrají právě půdní vlastnosti. Na druhou stranu je potřeba zmínit nákladnost těchto přístrojů. To je jedním z hlavních limitujících důvodů pro jejich rozšíření (Adamchuk, 2007).

Jak ale dokládají výsledky z Nizozemí (tab. 10), znalost půdních vlastností, které byly odvozeny z měření pomocí gama-spektrometrem, přinesly výhody v některých uvedených aplikacích (van Egmond a kol., 2010).

Tab. 10: Výsledky pokusů s technologiemi precizního zemědělství v Nizozemí (van Egmond a kol., 2010)

Aplikace	Základní údaje	Požadovaný efekt	Zkušenosti
Variabilní vzdálenost rostlin	zastoupení jílovitých částic, zadržení vody	vyrovnané výnosy a velikosti hlíz brambor, snížení výsevku	5 % ztráta až 15 % navýšení zisku. 13 % redukce nákladů při zakládání porostu.
Variabilní hnojení	zastoupení živin a zastoupení jílovitých částic	úspora hnojiv a navýšení výnosu	60 % úspora hnojiv. Navýšení výnosu konzumních brambor.
Variabilní aplikace kompostu	obsah organické hmoty	snížení rozdílu obsahu organické hmoty	zlepšení půdní struktury
Variabilní vápnění	pH a organická hmota	vyrovnané pH	navýšení výnosu cukrové řepy
Kontrola výskytu hlístic	výskyt háďátek	snížení použití přípravků	40–60 % úspor chemikálií
Rozdílná pojezdová rychlost při zpracování půdy	riziko zhutnění	menší zhutnění při zpracování půd	významné snížení energetické náročnosti
Variabilní zpracování půdy	vlhkost, zrnitostní složení	úspora energie	snížení nákladů na zpracování půdy 31 %

Následující obrázky přinášejí ukázky komerčně nabízeného gama-spektrometru společnosti The Soil Company (obr. 48) a měřicí soupravu výzkumného centra (Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH), obr. 49.

Odráživost povrchu půdy a vegetace

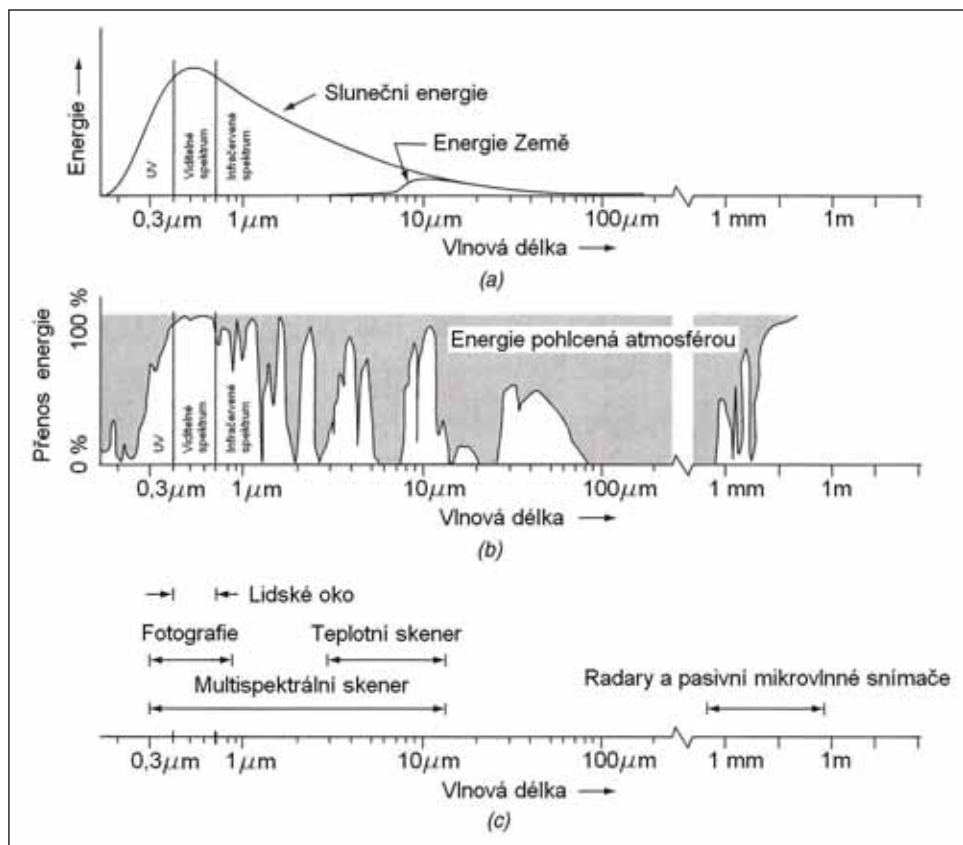
Optické senzory využívají skutečnost, že půda a vegetační pokryv odráží s rozdílnou intenzitou (popř. i vyzařuje) elektromagnetické záření. Odráživost je závislá jak na druhu a stavu rostlin, tak na jejich hmotě (chlorofylu, zastoupení uhlíku). Obrázek 50 vyjadřuje vzájemnou vazbu mezi zdroji energie a charakteristikou absorpce energie atmosférou. Na prvním grafu (část a) je znázorněno rozložení vyzářené energie sluncem a Zemí. Tyto dvě křivky představují nejdůležitější zdroje energie v dálkovém průzkumu Země. Na druhém grafu (část b) vidíme části spektra, která jsou zadržována atmosférou.



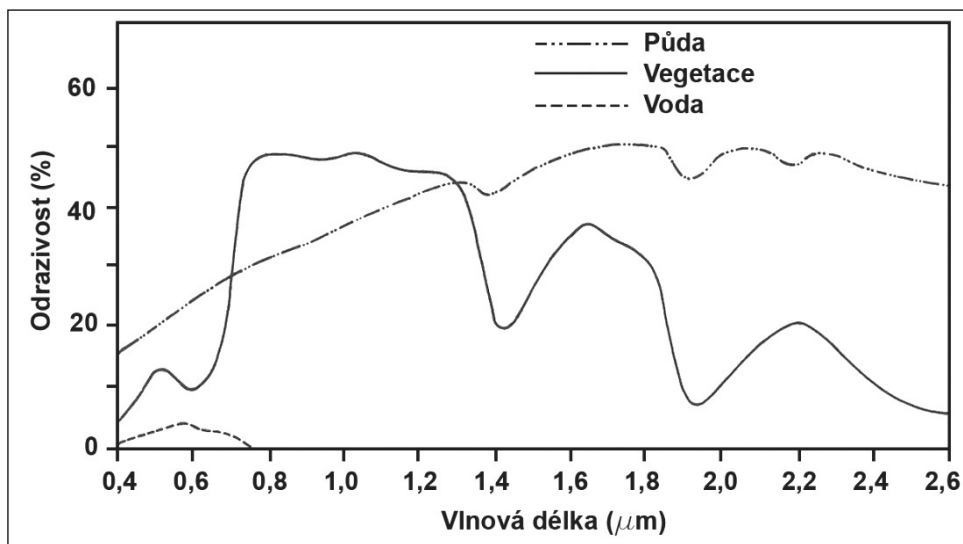
Obr. 48: Gama-spektrometr společnosti The Soil Company - The Mole systém (Zdroj: The Soil Company).



Obr. 49: Spektrometr tažený na saních, který provozuje Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Germany (foto Kroulík).



Obr. 50: Vzájemná vazba mezi zdroji energie a absorpcí atmosférou (upraveno podle Lillesand a kol., 2004).



Obr. 51: Typické křivky odrazivosti spektra vegetace, půdy a vody (upraveno podle Lillesand a kol., 2004).

Při průchodu atmosférou je záření různým způsobem ovlivňováno, mění se směr a rychlost jeho šíření, ale i intenzita a spektrální složení. Významným jevem je pohlcování (absorpce) záření atmosférou. Viditelné spektrum se pohlcuje hlavně mechanickým znečištěním (prach, vodní kapky). V infračerveném oboru se na absorpci uplatňují i vodní pára a plyny (oxid uhelnatý a dusný).

Sběr dat je zúžen na části spektra, které atmosférou procházejí s minimální ztrátou - tzv. atmosférická okna (obr. 50, část b). Atmosférickým oknům odpovídají rozšířené metody záznamu odražené energie sledovaným prostředím (obr. 50, část c). Viditelné světlo se shoduje s vrcholem sluneční energie. S prodlužováním vlnové délky přechází na infračervené a tepelné záření. Celou tuto část spektra lze snímat optickými čidly a skenery. Multispektrální skener umožňuje snímat současně záření u vybraných vlnových délek, a to v celém rozsahu od viditelného spektra až po oblast tepelného záření. Radary a pasivní mikrovlnné systémy pracují v oblasti vlnových délek od 1 mm do 1 m. Jako nejdůležitější poznatek z tohoto obrázku je vzájemná vazba a závislost mezi primárním zdrojem záření, resp. atmosférickým oknem, přes které může být energie propouštěna a vlastnostmi povrchu půdy. Důležitá je rovněž citlivost senzorů vhodných k záznamu této energie.

Typické křivky odrazivosti energie vegetací, půdou a vodou jsou vyobrazeny na obrázku 51. Tvar této křivky je jedinečný pro sledovaný objekt, je však ovlivňován i jeho stavem nebo kondicí. Jak je z obrázku patrné, jsou pro křivky zdravé vegetace typické vrcholky a sedla. Chlorofyl silně absorbuje záření v oblasti spektra od 0,45 μm do 0,67 μm (modrá a červená barva), ale zelenou barvu silně odráží. Pokud je vegetace stresována, obsah chlorofylu se snižuje. Tato skutečnost se projeví na poměru pohlcené a odražené energie. Především odrazivost červené složky se zvyšuje a výsledek je žloutnutí lisů (kombinace zelené a červené).

Pokud se posouváme do oblasti blízkého infračerveného záření (near-IR, NIR), okolo vlnové délky 0,7 μm , začne u zdravé vegetace odrazivost výrazně narůstat. V rozsahu vlnových délek od 0,7 μm do 1,3 μm listy rostlin odrazí 40 až 50 % dopadající energie. Většina zbývající energie je propuštěna, protože v této oblasti je absorpce minimální (menší než 5 %). Odrazivost v tomto pásmu je dána především rozdílnou vnitřní strukturou listů. Protože struktura listů je mezi druhy rostlin velmi variabilní, měření odrazivosti v této oblasti nám často dovoluje rozlišit rostlinné druhy, i když ve viditelném spektru vypadají stejně. Rovněž se v blízkém infračerveném záření významně projeví stres rostlin.

Pokles v odrazivosti je pozorován v zónách vlnových délek 1,4, 1,9 a 2,7 μm , protože v těch je energie silně absorbována vodou v listech. S odvoláním na tuto skutečnost je uvedené pásmo nazýváno pásmo vodní absorpce. Vrchol odrazivosti se nachází v oblasti 1,6 μm a 2,2 μm . V celém pásmu, kromě délky 1,3 μm , listová odrazivost negativně koreluje s obsahem vody v listech.

Křivka odrazivosti půdy vykazuje mnohem méně výkyvů. Mezi faktory, které mají dopad na půdní odrazivost, patří vlhkost půdy, zrnitostní složení, drsnost povrchu, oxidy železa a organická hmota. Například vyšší vlhkost v půdě snižuje její odrazivost. Stejně, jako u vegetace, je tento jev nejvýraznější v pásmu absorpce vody okolo 1,4; 1,9 a 2,7 μm . Vlhkost půdy úzce souvisí se zrnitostním složením. Hrubá písčité půda je obvykle odvodněna a výsledkem je nižší vlhkost a relativně vysoká odrazivost. Jemná struktura bez přirozené drenáže bude mít nízkou odrazivost. Při absenci vody však bude půda samotná vykazovat opačné výsledky. Hrubší textura půdy se bude jevit tmavší než jemná textura. Další dva faktory, které redukuje odrazivost, jsou drsnost povrchu půdy a obsah organické hmoty.

Spektrální odrazivost vody je nejvýraznější v infračerveném a blízkém infračerveném pásmu. V těchto vlnových délkách se absorbuje energie bez ohledu na to, zda se jedná o vodní hladinu nebo vodu obsaženou v rostlinách nebo půdě. Popis parametrů, které souvisí s vodou, je pomocí dálkového průzkumu v oblasti near-IR, vzhledem k absorpčním vlastnostem, jednoduchý. Rozdílné parametry se projevují především ve viditelné oblasti. Například voda výrazně znečištěná při erozní události má mnohem vyšší odrazivost ve viditelném spektru než čistá voda. Rovněž odrazivost vody a koncentrace chlorofylu spolu úzce souvisí. Vyšší obsah chlorofylu má tendenci snižovat odrazivost vody v modré vlnové délce a zvyšuje odrazivost v zeleném pásmu. Těto vlastnosti se využívají například při monitorování řas pomocí dálkového průzkumu Země. Rovněž průmyslové znečištění je dobře patrné (Lillesand a kol., 2004).

Radary

Raději než optické senzory, řada výzkumných pracovišť uplatňuje tzv. půdní radar (groundpenetratingradars - GPR), obrázek 52. Ke sledování pohybu vln v půdě. Změny v odrazivosti vln mohou indikovat změny v objemovém složení půdy, případně existenci nějakých překážek v půdě. Potenciál pro uplatnění radarů je především v geofyzice, pro zemědělství má význam především pro využívání vodních zdrojů (Adamchuk, 2007).

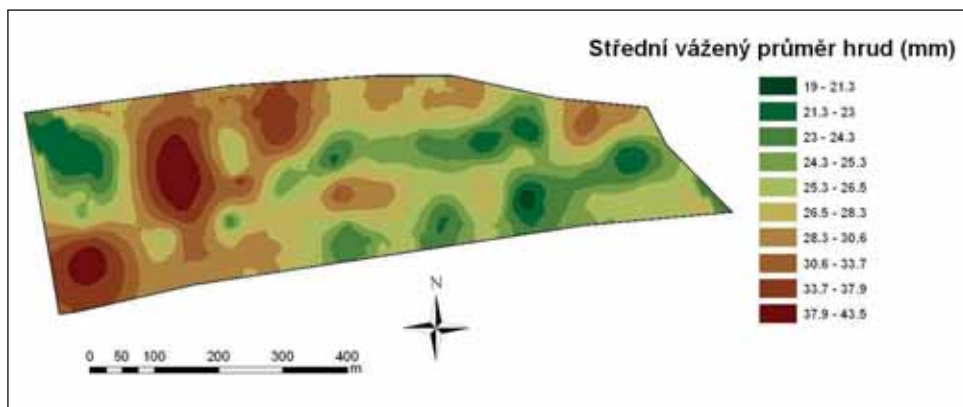
Akustické a pneumatiké senzory

Akustické a pneumatiké senzory jsou alternativou k mechanickým sensorům při studiu interakce půdy a zemědělských nástrojů. Akustické senzory byly použity například pro měření změny hladiny hluku způsobeného vzájemným působením nástroje s částicemi půdy za účelem určení půdní textury nebo objemové hmotnosti. Pneumatiké senzory byly používány také k měření propustnosti půdy pro vzduch. Tlak potřebný k natlačení daného množství (objemu) vzduchu do pevně dané hloubky byl porovnáván s několika půdními vlastnostmi, jako např. půdní struktura a zhutnění. V tomto okamžiku je velmi málo objasněn vztah mezi výstupy sensorů a fyzickým stavem půdy a je třeba dalšího výzkumu (Adamchuk, 2007).

Kvalita zpracování půdy je stále často diskutovaným tématem zejména v souvislosti s intenzitou zpracování. Intenzita zpracování půdy se pochopitelně odráží zejména v energetické náročnosti, a tedy nákladech na zpracování půdy. Výsledek přípravy půdy se následně promítá do dalších vstupů, na prvním místě je především setí. Významná položka je také v ochraně půdního fondu, riziku tvorby půdního škraloupu, vodní eroze, využívání živin a herbicidů. Anken a Hifliker (1996) uvádí, že příliš intenzivní zpracování půdy způsobuje rozplavení a erozi, je spojeno s vysokou energetickou náročností a ačkoliv vede k lepšímu vzcházení osiva ozimé pšenice, ale nevede k vyššímu výnosu. Uvádí rovněž, že může vést k poškození struktury půdy a následné tvorbě půdní krusty. V další své práci konstatuje, že klesající intenzita zpracování půdy způsobuje růst nároků na zvládnutí celé technologie pěstování (Anken, 1997). Hůla a kol. (2000) uvádí, že kvalita práce je jedním z hlavních hledisek, která rozhodují o vhodnosti strojů a strojních souprav při zpracování půdy a zakládání porostů polních plodin. Všimá si heterogenity půdního prostředí a dává ji do souvislosti s nevyrovnanou kvalitou zpracování půdy.



Obr. 52: Ukázka práce s půdním radarem. Výrobce MALÅ Švédsko (foto Kroulík).

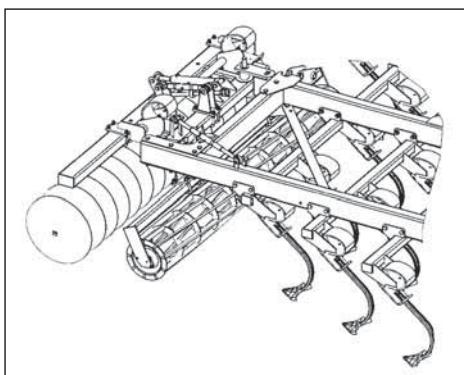


Obr. 53: Mapa hrudovitosti pozemku.

Jak uvádí ve své práci Scarlett a kol. (1997), pro optimální rostlinnou výrobu musí být půdní prostředí zpracováno s přiměřenou kultivací, aby byly zajištěny podmínky vhodné pro založení porostu a následný růst plodin. Nicméně intenzita zpracování půdy musí být přiměřená a přizpůsobena převažujícímu typu půdy, půdní vlhkosti a následujícím plodinám a jejich požadavkům. V dosavadních systémech hospodaření není dostatečně zohledňována stanovištní heterogenita půdního prostředí. V současnosti se prvky precizního zemědělství uplatňují zejména u aplikace hnojiv a pesticidů a měření výnosu plodin (Heinger a Meijer, 2000; Sparovek a Schnug, 2001). Zatímco některé prostorově proměnlivé zásahy ve vazbě na heterogenitu prostředí a polohu stroje již nacházejí uplatnění, energeticky velmi náročné zpracování půdy se zpravidla provádí jednotně na celých pozemcích.

Z obrázku 53 je patrná značná variabilita v kvalitě zpracování půdy. I když jsou k dispozici stroje (obr. 54), které mohou reagovat v průběhu práce na měnící se podmínky pro práci, chybí metody pro získání vstupních informací a sestavení rozhodovacích algoritmů.

Jak uvádějí Scotford a Miller (2005), kvalita přípravy setového lože je nejvíce ovlivněna druhem půdy a vlhkostí půdy. Obecně platí, že s klesající kvalitou zpracování půdy se zvyšuje výsevek. Je obecně známo, že půda je v rámci pozemku variabilní (Mc Bratney a Pringle, 1997; Dawson, 1997) a faktor kvality práce může být jedním z bodů, které povedou k úspoře nákladů.



Obr. 54: Sekce kombinátoru, kde je možné podle potřeby měnit intenzitu zpracování půdy postupným zapojením nebo vyřazením sekcí (zdroj: Strom Export).

Například Scarlett a kol.(1997) uvádí úsporu 14 euro/ha v případě, že byla sledována kvalita zpracování půdy a následná úprava výsevu podle aktuálního stavu. V další zprávě se uvádí, že výsevek je značně ovlivněn kvalitou setového lože, kdy výsevek může být značně redukován bez ztrát na výnosech. Ve výsledku to znamená úsporu nákladů na setí až o 70 %. Na druhou stranu se uvádí, že v přímé praxi je možné podobných výsledků dosáhnout jen obtížně. Je zřejmé, že hrudovitost povrchu půdy a setového lože může ovlivnit zakládání porostu (Malik a kol., 1985; Marchenko, 1989) a s hrudovitostí narůstá výsevek. Uvedené metody přináší pohodlnější získávání výsledků, nicméně je stále jejich využití pro potřeby okamžitého zhodnocení stavu půdy a následné reakce nevhodné.

Oelze a kol. (2003) hodnotili rozptyl zpětného akustického signálu. Výsledky následně porovnávali s výsledky z laserového profilografu. Uvádějí, že rozdíly ve výsledcích obou metod jsou menší než 9 %. K podobným výsledkům dospěl rovněž Matthias a kol. (2000), když porovnávali odrazivost akustického signálu z povrchů půdy, která byla připravena s rozdílnou intenzitou. Nejvyšší rozptyl byl zaznamenán u orby. S klesající intenzitou zpracování klesal i rozptyl. Vývojem a ověřováním kontrolního a řídicího systému pro operaci předsetového zpracování půdy se zpětnou vazbou na kvalitu práce se zabýval Scarlett a kol. (1997). Popsal využití ultrazvukového čidla sledující hrubost povrchu pomocí odrazu ultrazvukových vln. V pokusu se zabýval zpětnou regulací intenzity zpracování na základě hrubosti povrchu půdy. Vhodnost ultrazvukového převodníku pro určení drsnosti povrchu a velikosti hrud byla zpočátku zkoušena v laboratoři. Podnosy byly naplněny hroudami půdy o stejné velikosti získanými síťovou analýzou nebo danou směsí velikostí hrud, které se později více podobaly těm podmínkám, které je možno nalézt v podmínkách polních. Sensor byl upevněn na vozík a přemístěn při každé zkušební jízdě pojezdovou rychlostí, odpovídající běžné pojezdové rychlosti (asi 1 m/s). Po úspěšném laboratorním měření byl ultrazvukový senzor připevněn na zadní část běžného vířivého kypřiče o záběru 4 metry tak, aby byl zajištěn jeho dobrý „výhled“ na setové lůžko vytvořené strojem.

Elektrochemické senzory

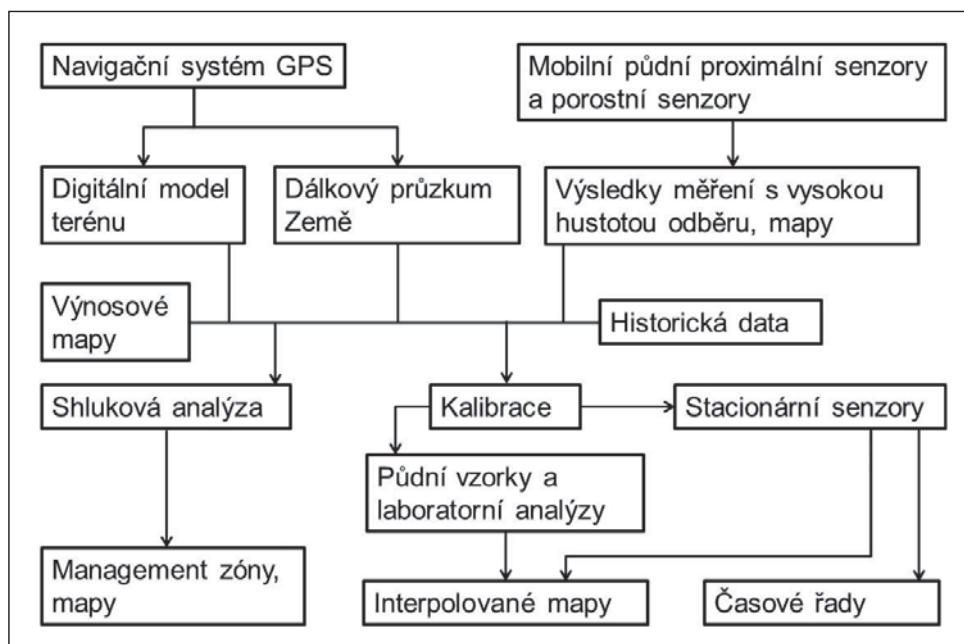
Elektrochemické senzory mohou poskytovat nejdůležitější typ informací potřebných pro precizní zemědělství - půdní dostupnost živin a pH. Na půdních vzorcích zaslaných do laboratoře je prováděna sada doporučených laboratorních procedur. Tyto procedury zahrnují obvyklý postup přípravy vzorků a samotné měření. Některá měření (zejména pH) jsou prováděna za použití elektrod pod označením ISE nebo ISFET. Tyto elektrody rozpoznávají aktivitu specifických iontů (dusík, draslík, v případě pH vodík). Několik výzkumníků se pokoušelo převzít dosavadní procedury přípravy půdy a měřících postupů při provádění laboratorních testů on-the-go.

Například nedávno představený (Versi Technologie) automatický systém mapující půdní pH (VerisSoil pH Manager) používá dvou selektivních elektrod k přímému určení pH přirozeně vlhké půdy (Adamchuk a kol., 1999). Půdní vzorkový mechanismus umístěný na pohyblivém rámu získává při pohybu přes pozemek vzorky půdy přibližně z hloubky

10 cm. Tyto vzorky pevně spojuje s citlivou membránou a následně využívá referenční spojení dvou elektrod. Jakmile je výstup stabilizován (cca za 10 s) je povrch elektrod opláchnut vodou a je odebrán další vzorek. Všechna data získaná použitím této metody mají větší chybu než laboratorní analýza. Avšak ukazuje se, že zvýšením hustoty vzorků více než 10x, může být zvýšena kvalita generovaných půdních pH map při zachování nákladů. Agro-ekonomické analýzy Adamchuka (2004) ukázaly, že větší rozlišení map může výrazně snížit chyby odhadu pH a zvýšit potenciální ziskovost variabilního vápnění. Pokračuje snaha o integraci přídavných elektrod k mapování rozpustného draslíku a zbytkového nitrátového dusíku společně s půdním pH.

Kombinace čidel

Výzkumné práce se rovněž zabývají možností kombinací čidel za účelem zvýšení vypovídací schopnosti získaných dat. Některé kombinace již byly představeny v předchozích kapitolách. Uplatnění prvků precizního zemědělství, které znamenají efektivnější, ale zároveň šetrnější přístup k hospodaření na půdě, může přinést interpretace jednotlivých informačních hladin pomocí vícefaktorového hodnocení do agronomické podoby. Obrázek 55 znázorňuje proces kombinování dat z rozdílných zdrojů, které mohou být použity u rozhodovacích procesů. Data lze získat jak z mobilních, tak stacionárních senzorů, výnosměrů, geodetických a topografických map.



Obr. 55: Kombinace dat v precizním zemědělství (upraveno podle Adamchuk, 2011).

Ideální senzor vypovídá o variabilitě samotné půdní vlastnosti nebo znaku a samozřejmě vykazuje vysokou korelaci s konvenčními metodami měření. Ve skutečnosti každý vyvinutý senzor reaguje na více než jednu a oddělení těchto jevů je velmi obtížné, případně až nemožné (Adamchuk, 2007). Rovněž Mc Bratney a kol. (2005) vidí reakci čidel na více než jednu půdní či rostlinnou vlastnost, jako velmi omezující. Minimálně to vnáší komplikace, případně nejistotu při nasazení v rozdílných výrobních podmínkách. Řešení pro zpřesnění odhadů konkrétních vlastností by mohlo spočívat v kombinaci rozdílných technik měření do společných platforem. Obrázek 56 představuje měřicí platformu výrobce Veris Mobile Sensor Platform (MSP), která kombinuje mapovací systémy proměření pH a vodivosti půdy.



Obr. 56: Kombinace senzorů pro měření půdní vodivosti kontaktní metodou a pH (foto Kroulík).



Obr. 57: Kombinovaný senzor Veris iScan (foto Brant).

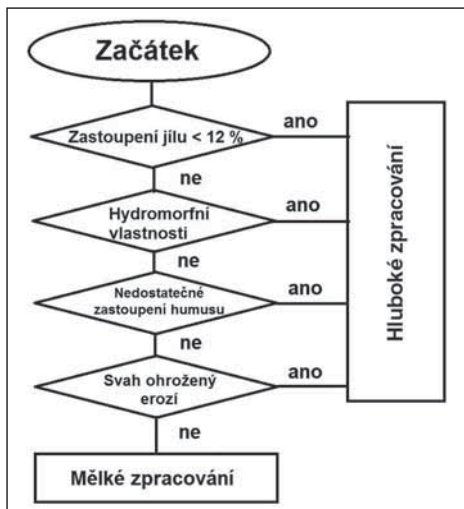
Od společnosti Veris je také kombinovaný senzor iScan (obr. 57), který je možné instalovat na stroj a sbírat data o vodivosti půdy, organické hmotě, vlhkosti a teplotě během práce stroje.

Voßhenrich a kol. (2001) ve své práci, která se věnuje vývoji prototypu pro místně-specifické zpracování půdy, vyzdvihuje některé body, které jsou důležité pro optimalizaci zpracování půdy. Dílčí projekt „Zpracování půdy“ Spolkového výzkumného ústavu pro zemědělství sleduje u místně-specifického zpracování půdy, resp. obdělávání následující cíle:

- Optimalizace zpracování půdy - hloubku zpracování určují specifické místní požadavky na pěstování rostlin.
- Snižování cen a nákladů na čas práce pro zypření půdy - nákladné hloubkové kypření se neprovádí tam, kde to není potřebné z hlediska pěstování rostlin.
- Vyvarování se škodlivému zhutňování půdy - využití lepší sjízdnosti nenakypřené půdy.
- Prevence před půdní erozí.

Úkolem dílčího projektu bylo nejprve vytvořit předpoklady pro plošné zpracování půdy. Prvním krokem k tomu byl vývoj nástroje pro zpracování půdy, který splňuje technické požadavky pro variabilní hloubku zpracování a který je říditelný palubním terminálem. Hloubku zpracování určují specifické požadavky na pěstování rostlin. Nákladné hlubší kypření je prováděno pouze tam, kde je potřeba z hlediska pěstování rostlin. S tím souvisí využití lepší sjízdnosti nenakypřené vrstvy (Voßhenrich, 2000). Podle Bassa (2003) je hloubka zpracování určená umístěním pozemku, typem půdy, hloubkou půdy a způsobem zpracování. Hlubší zpracování půdy může být opodstatněné na několika částech pozemku a nevhodné na ostatních. Jako hlavní vstupní hodnota pro určení hloubky kypření byla hodnota zhutnění půdy. Zpracování půdy na variabilní hloubku přineslo snížení nákladů spojené se zpracováním půdy až o 31 %.

Dnes se výzkumné aktivity stále více přesouvají od sledování výnosu (nejčastěji sklízecí mlátičkou) a měření druhu půdy (měření vodivosti pomocí EM 38), ke snaze obsáhnout všechny zemědělské aplikace (Auernhammer, 2006). V oblasti zpracování půdy jsou prováděny pokusy s volbou mělkého povrchového zpracování a potřebou hlubokého kypření. Rozhodovací diagram navrhl například Vošhenrichem (obr. 58). Na získání řady vstupních informací by bylo možné využít senzorové techniky. Vhodnou platformu zkoušel řešitelský tým okolo Naderi-Boldaji a kol. (2013). Byla řešena kombinace senzorů pro měření penetračního odporu v horizontálním směru a gama-zářením. Na základě výsledků byl navržen model pro predikci objemové hmotnosti půdy.



Obr. 58: Rozhodovací diagram pro řízení variabilní hloubky zpracování půdy (Vošhenrich, 2004).

Obrázek 59 zobrazuje měřicí platformu pro měření elektrické vodivosti půdy a pH EC - Surveyor 3150, výrobce Veris. V předním závěsu automobilu je navíc umístěna sonda půdní vodivosti EM 31. Podobně koncipovanou platformu představil ve své práci Taylor a kol. (2006), navíc doplněnou o senzor EM 38. Na obrázku 60 je vyobrazena měřicí platforma kombinující sondu půdní vodivosti a gama-spektrometr.



Obr. 59: Měřicí platforma pro stanovování elektrické vodivosti půdy (EC) a pH půdy. Výrobce Veris (foto Kroulík).

Další technické řešení, které prezentuje kombinaci senzorů, představuje firma Precision Planting v podobě senzoru SmartFirmer, který je součástí secí botky (obr. 61). Tento senzor, který pracuje v těsném kontaktu s půdou, poskytuje několik informací o variabilitě půdy, jako je teplota a vlhkosti půdy. Informace z konkrétních stanovištních podmínek slouží jako podklad pro nastavení variabilní hloubky setí kukuřice seté, individuálně pro každou botku.



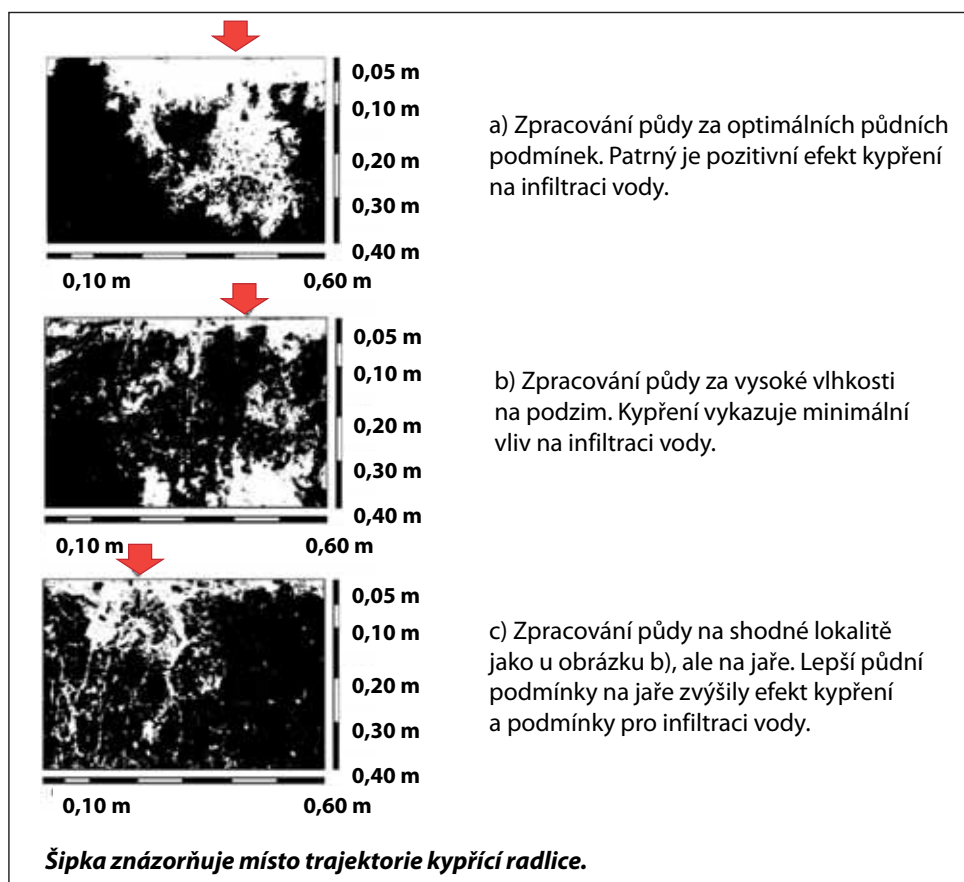
Obr. 60: Měřicí platforma, kterou provozuje Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ, Germany (foto Kroulík).



Obr. 61: Detail senzoru SmartFirmer a jeho umístění na secí botce (foto Kroulík).

Zpracování půdy jako zdroj heterogenity

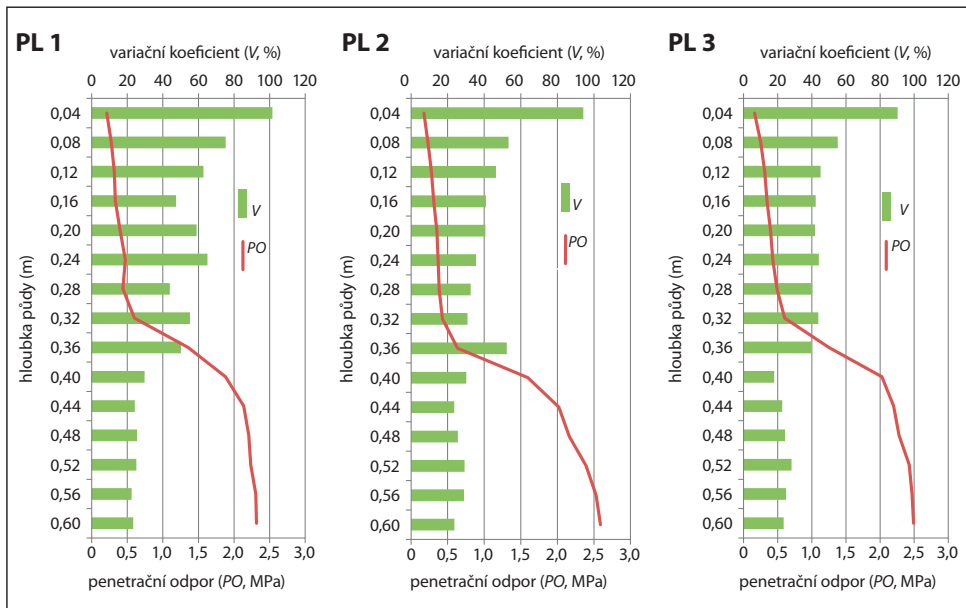
Zásadní vliv na mezovariabilitu půdního prostředí má, jak již bylo uvedeno při specifikaci variability, samotné zpracování půdy. Zpracování půdy jako sekundární faktor modifikuje půdní podmínky v místě trajektorií pracovních nástrojů. Vliv zpracování půdy na půdní vlastnosti je rovněž dán aktuálním stavem půdy při jejím zpracování. Současné systémy zpracování půdy se obecně vyznačují vysokou variabilitou technických řešení a jejich kombinací. Nejvýrazněji se variabilita zpracování půdy projevuje v rámci základního zpracování půdy, ale i v předsetové přípravě. Kromě klasické orby jsou v systémech celoplošného zpracování povrchu pozemku využívány rozdílné způsoby kypření půdy bez jejího obracení. Jednotlivé operace se v závislosti na typu pracovních nástrojů a jejich kombinací primárně liší z hlediska hloubky zpracování, intenzity kypření půdních vrstev a ve vztahu k rozložení rostlinných zbytků v půdním profilu, či jejich množství ponechaném na povrchu půdy. Obrázek 62 dokumentuje dobře viditelný vliv půdních podmínek



Obr. 62: Rozdílná schémata infiltrace vody do půdy v nakypřeném pásu při pásovém kypření v závislosti na půdních podmínkách. Bílá barva reprezentuje obarvenou plochu, černá barva představuje půdu (Brant a kol., 2015b).

na změnu infiltrace vody do půdy. S narůstající půdní vlhkostí klesá kypřící schopnost radlic a může docházet i k bočnímu ztuhnutí půdy v místě průchodu radlice půdou. K tomuto efektu může docházet jak u jednořadých, tak u víceřadých kypřičů.

Výrazně může na heterogenitu půdního prostředí působit i samotná orba. Především se zde projevuje vliv půdního druhu a aktuálních půdních podmínek, které ovlivňují kompaktnost skýv. Roli hraje samozřejmě i geometrie plužního tělesa. Se vznikem kompaktních skýv narůstá riziko vzniku nakypřených (prostor mezi skývami) a méně nakypřených míst v půdním profilu (obr. 63). S heterogenitou půdních podmínek je poté potřebné počítat při plánování struktury porostů, zejména ve vztahu k umístění řádků rostlin ve vztahu k trajektoriím pracovních nástrojů tak, aby došlo k eliminaci půdní variability pro rostliny.



Obr. 63: Variabilita penetračního odporu půdy na plochách s pluhem PL 1 (11. 12. 2014), záběr orebního tělesa 0,45 m, bez předradličky. Horní graf dokumentuje hodnoty penetračního odporu pro pixely o velikosti 50 × 40 (výška) mm ve vrstvě půdy 0,08–0,36 m. Spodní graf znázorňuje kontinuální průběh hodnot penetračního odporu v rozmezí 0–1,5 MPa pro shodné vrstvy půdy. Délka kolmého transektu na hřebeni brázd činí 1,5 m (Brant a kol., 2015c).

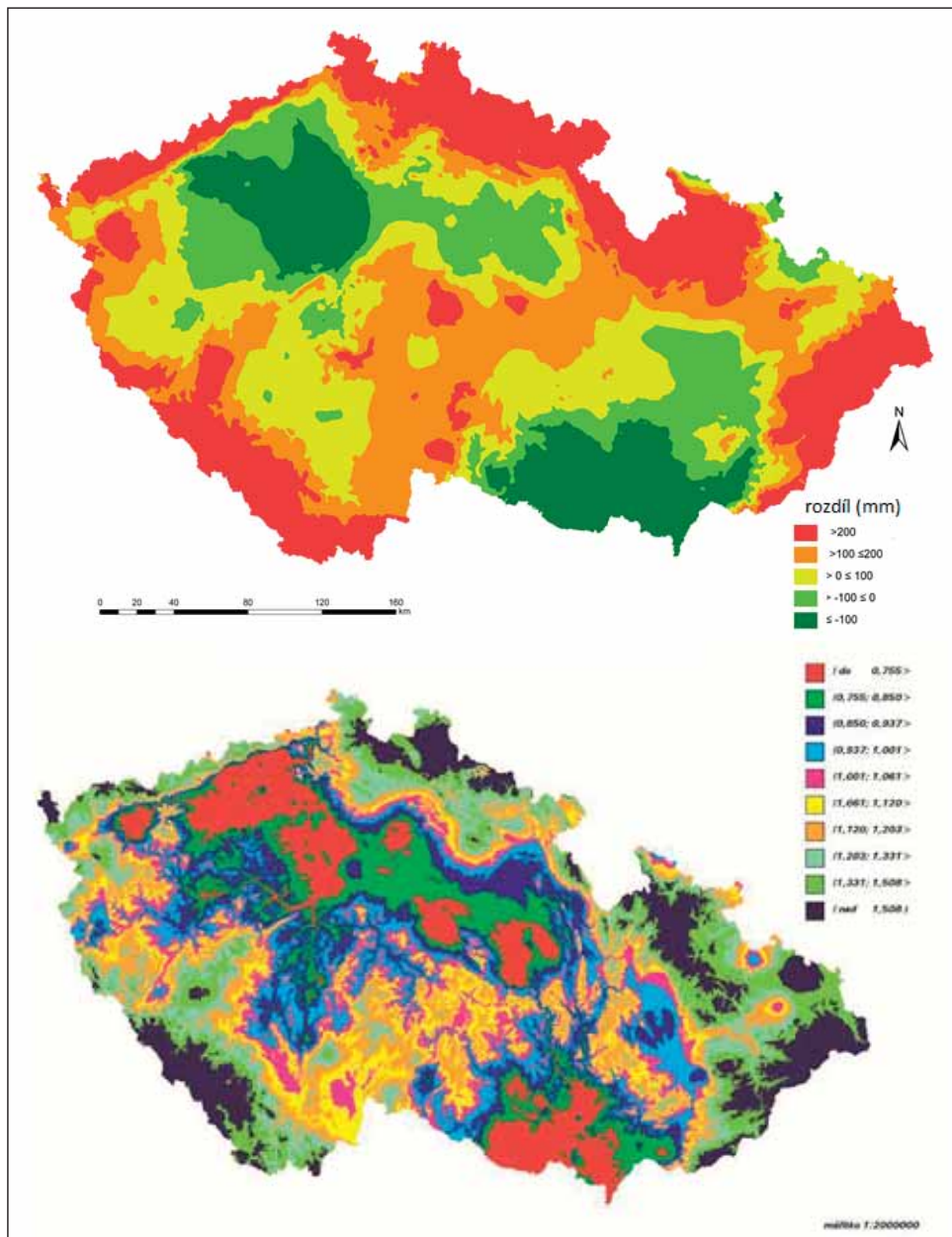
Variabilita vegetačních faktorů (Brant a Kroulík)

Variabilita půdního prostředí je samozřejmě spojena i s variabilitou vegetačních faktorů, jako je teplota půdy, obsah vody v půdě, množství a rozložení organické hmoty v půdě, zásoba a rozložení živin apod. Znalost horizontální a vertikální variability těchto faktorů ve vztahu k půdním podmínkám na půdním bloku je dalším z důležitých faktorů ovlivňujících optimalizaci agrotechnických opatření. Především teplotní a vláhové podmínky jsou primárně závislé na půdních podmínkách (půdní typ a druh) a následně jsou modifikovány změnou prostorového uspořádání půdní hmoty při zpracování půdy. V rámci monitoringu variability podmínek na půdním bloku za účelem optimalizace agrotechnických postupů při zakládání porostů a při následném cíleném řízení jejich vývoje lze následně pracovat nejen s variabilitou kvalitativních a kvantitativních parametrů nadzemní produkce, ale i s prostorovým vývojem kořenových systémů. Znalost variability lze považovat za primární předpoklad k optimalizaci podmínek pro vývoj rostlin na základě vyhodnocení vstupů pro jednotlivé či integrované vrstvy variability. Druhým způsobem může být lokální eliminace heterogenity, většinou na úrovni mezovariability, na základě homogenizace budoucího prostoru vývoje rostliny v rámci celého půdního bloku v kombinaci se strukturou porostu. Mezi systémy lokální homogenizace podmínek na půdním bloku lze zařadit systémy zonálního kypření a hnojení, principy systémové podpory infiltrace vody a jejího vztlínání v půdním profilu ve vztahu ke kořenovému systému a struktuře porostu apod.

Vláhové podmínky a úrovně variability (Brant, Zábranský a Škeříková)

Zásadní roli pro vývoj porostů hrají vláhové podmínky stanoviště, které se promítají do variability půdního bloku. V rámci monitoringu tohoto faktoru se jedná o velmi širokou problematiku, kterou lze vnímat z několika pohledů. Primárním faktorem je znalost vláhové dotace na půdní blok či jeho části, včetně specifikace jeho vodní bilance. Specifikace vláhové bilance půdního bloku je však obtížně stanovitelná. Problematické je již stanovení množství srážkové vody spadlé na půdní blok z důvodu zonality srážek a samotné heterogenity srážky v daném čase a na dané ploše (intenzita srážky, velikost kapek, šikmost srážky apod.). Dalším problémem omezujícím stanovení přesného výsledku rovnice vláhové bilance půdního bloku je většinou nekorespondování hranic půdního bloku s hranicí povodí, jako základní hydrologické jednotky ve vztahu k odtokovým charakteristikám, zejména ve vztahu k podpoверхovému odtoku.

Mezi základní vláhové charakteristiky vyjadřující vláhové podmínky stanoviště lze považovat hodnoty potenciální evapotranspirace (Allen a kol., 1998) a jejich vztah k sumě srážek za požadované období (perioda let, rok, měsíc, den), např. Pivec a kol. (2006). Stanovení těchto charakteristik lze dosáhnout rozličnými metodickými postupy, které určují i využitelnost dat pro precizní zemědělství. Na obrázku 64 (vlevo) je dokumentován rozdíl hodnot průměrné roční potenciální evapotranspirace a průměrných ročních úhrnů srážek za období 1961-2008 na základě třídění do pěti klasifikačních tříd. Na témže obrázku 64 (vpravo) je vyjádření vztahu mezi průměrnou roční potenciální evapotranspirací a průměrnou roční



Obr. 64: Vláhová bilance pro území České republiky (nahore) vyjádřená jako rozdíl průměrné roční sumy srážek (mm) a roční sumy potenciální evapotranspirace (mm) za období let 1961–2008 (dílčí mapa zpracovaná v rámci projektu QH 82096, 2010, datový základ ČHMÚ). Dole hodnoty potenciální evapotranspirace a její relace ke srážkám pro území České republiky v 3D modelu s velikostí minimální hodnocené plochy odpovídající 1 ha (Pivec a kol., 2005).

sumou srážek za období 1961–1990 v 3D modelu. Model stanovuje hodnoty potenciální evapotranspirace a její relace ke srážkám pro území České republiky v rastru minimální hodnocené plochy odpovídající 1 ha. Velikost minimální hodnocené plochy byla zvolena z důvodů následného využití dat za účelem srovnání vypočtených dat se skutečnými hodnotami evapotranspirace v libovolném zájmovém území. Jako třetí faktor do modelu byla započtena nadmořská výška pro interpolaci hodnoty srážky (Pivec a kol., 2015).

Výše uvedené metody hodnocení lze samozřejmě považovat za základní údaj o variabilitě vláhových podmínek půdního bloku za předešlé, různě dlouhé, období. Tyto údaje lze v závislosti na podrobnosti daného rastrování použít pro plánování principů precizního zemědělství na větší zájmové území, než je půdní blok, případně na půdní blok jako celek spadající do dané klasifikační třídy (obr. 64, vlevo). Při velikosti rastru 1 ha lze hovořit o reálném monitoringu těchto faktorů na půdním bloku. Při určitém zjednodušení stanovení výše uvedených výpočtů se však dostáváme k problému, že z hlediska praktického využití hodnocení vláhové bilance na daném zájmovém území, včetně půdního bloku, je zásadním eliminačním faktorem nedostatek údajů o primárních parametrech atmosférických srážek z důvodu malé hustoty srážkoměrných stanic v České republice.

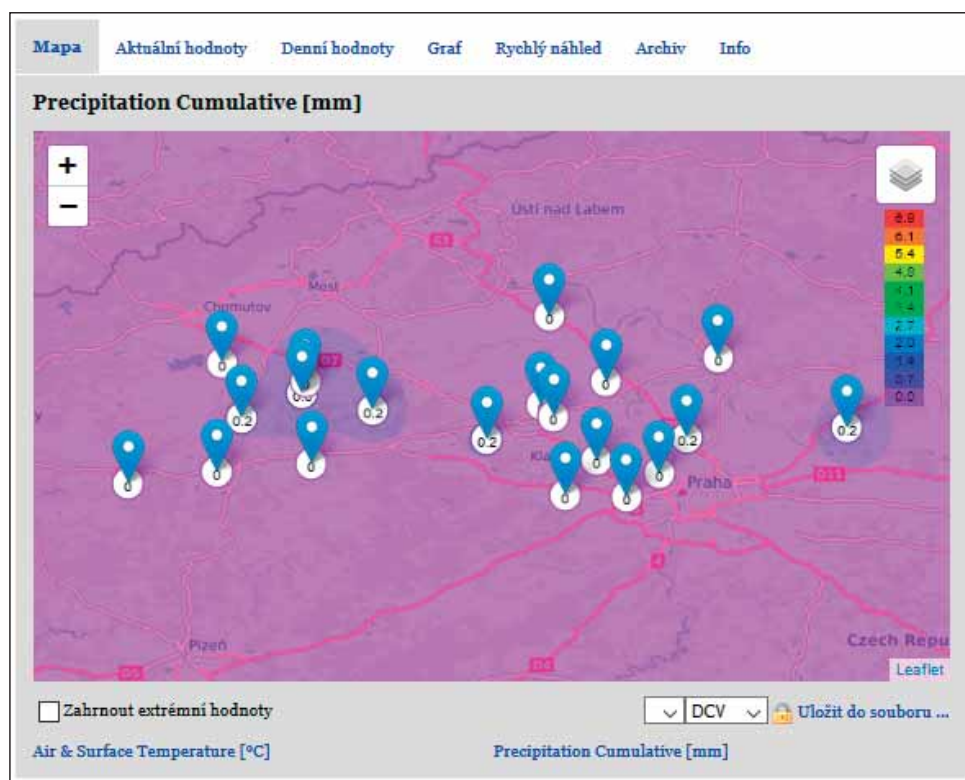
Monitoring srážek, ale i dalších meteorologických prvků, pro zemědělské využití v České republice lze v současné době rozdělit do několika úrovní měření:

- a) Monitoring meteorologických prvků zajišťovaný Českým hydrometeorologickým ústavem je základním zdrojem referenčních údajů v souladu s platnými standardy pro měření meteorologických veličin v České republice. Hustota stanic ve většině případů nezajišťuje adekvátní informace využitelné pro principy precizního zemědělství ve vztahu k půdnímu bloku. Omezujícím faktorem využití zemědělskou praxí je i zpoplatnění primárních údajů a jejich aplikovaných výstupů pro uživatele v rámci České republiky.
- b) Celorepublikové a lokální sítě meteorologických stanic vytvářené a spravované soukromými a státními subjekty. Tyto sítě se vyznačují rozdílnou hustotou pokrytí monitorovaného území a rozdílnou standardizací, zpracováním a interpretací meteorologických dat. Do této kategorie lze zahrnout amatérské až profesionální meteorologické sítě s rozdílným stupněm profesního zpracování dat. Část z těchto sítí je lokálně využitelná pro precizní zemědělství.
- c) Individuální, jednotlivé či skupinově propojené meteorologické stanice bez zapojení do systémově spravované sítě. Zde se jedná o rozdílné meteorologické stanice (variabilní senzorické vybavení s rozdílnou přesností měření a s rozdílnou úrovní sběru a zpracování dat), které jsou využívány zemědělskými subjekty. Jedná se jak o „klasické“ meteorologické stanice, tak o systémy „SMART senzorů“ měřících omezený počet parametrů na půdním bloku. Jejich využití je v rámci systémového přístupu k problematice precizního zemědělství velmi omezené.

Využití meteorologických dat pro precizní zemědělství je spojeno s tvorbou nových meteorologických sítí a systémů zpracování dat pro zemědělské využití. Z hlediska zahuštění monitorovacích stanic a i z důvodu ekonomické efektivity je potřebné

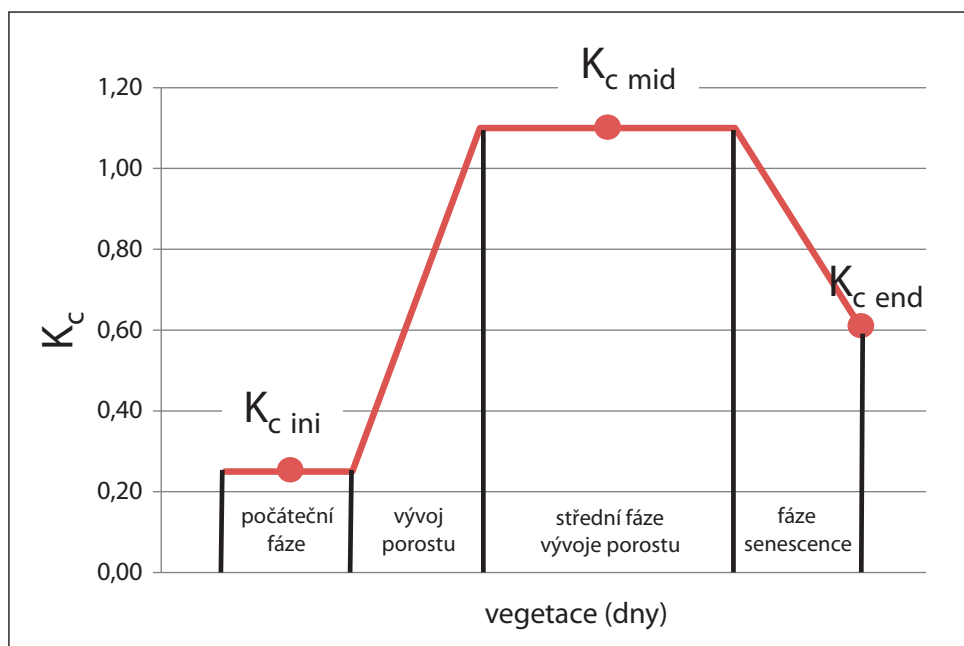
hledat řešení propojení sítě ČHMÚ a dalších, z hlediska standardizace měření, vhodných meteorologických sítí. Vznik samostatných meteorologických sítí pro zemědělské využití je však spojen s dodržováním standardizovaných kritérií z hlediska validity získaných údajů a jejich následné interpretace. Mezi primární kritéria patří sensorová a softwarová uniformita umožňující stanovení přesnosti měření a případnou kvantifikaci rozdílů měření v souladu s platnými certifikačními postupy. Dále se jedná o zajištění dlouhodobé kontinuity měření danými senzory, včetně jejich oprav a nahrazení shodnými čidly při jejich poškození apod. V neposlední řadě nelze opomenout procesy standardizace přenosu a ukládání primárních dat ve vztahu k jejich následnému automatickému zpracování. Jako modelový příklad lze uvést zemědělskou meteorologickou síť Isidor. Tato síť je vytvářena pomocí standardizovaných polo- a plně profesionálních meteorologických stanic s rozdílnou úrovní měření počtu meteorologických prvků, včetně interpolace srážek a teploty vzduchu do meteorologických dat (obr. 65).

Stanovení hodnot potenciální evapotranspirace za krátké časové období a interpolace hodnot do mapového podkladu, včetně jejich vztahu ke srážkám, není důležité jen pro regionalizaci vláhových oblastí v rámci rozdílných zájmových území (plocha republiky až



Obr. 65: Rozmístění meteorologických stanic v zemědělské síti Isidor s interpolací výše srážek. Vzdálenost stanic na zobrazeném území se pohybuje ve vzdálenosti jednotek až desítek kilometrů (zdroj: <http://www.emsbrno.cz/p.axd/cs/Sr%C3%A1%C5%BEky.a.teploty.ISIDOR.html>).

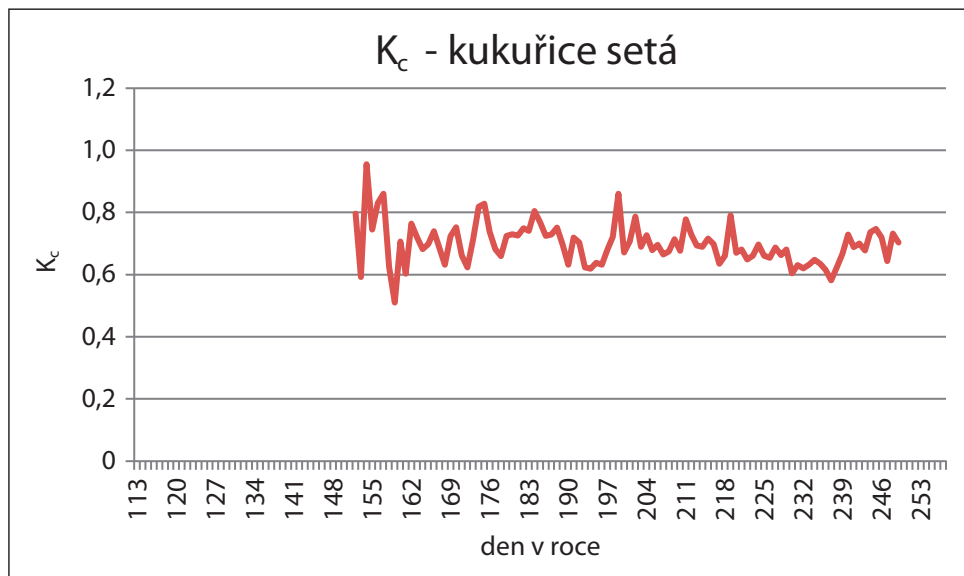
půdní blok), ale umožňuje přesnější stanovení aktuální spotřeby vody porosty kulturních plodin. Pro specifikaci aktuální spotřeby vody porosty lze využít hodnot crop koeficientů (K_c). Crop koeficienty jsou klasifikovány jako jednoduché nebo duální (Allen a kol., 1998). Jednoduchý koeficient zahrnuje jak odpařování z půdy, tak transpiraci rostlin. Koeficienty duální se skládají z koeficientů základní plodiny a z koeficientů bazálních, které popisují odpařování z půdy. Bazální koeficienty odrážejí podmínky suchého povrchu půdy a dostatečného množství půdní vody pro udržení maximální transpirace rostlin (Hanson a May, 2006). Znalost crop koeficientů umožňuje stanovení aktuální evapotranspirace porostů, přičemž účinek různých povětrnostních podmínek je začleněn do potenciální evapotranspirace plodin (Allen a kol., 1998). Hodnoty aktuální transpirace porostů závisí na způsobu obhospodařování, včetně systémů hnojení (Shepherd a kol., 1987), termínu setí (Connor a kol., 1992) a na druhu či odrůdě plodiny (Eastham a Gregory, 2000). Stanovení crop koeficientů lze provést na základě výpočtu nebo přímým měřením. Denní hodnoty crop koeficientů pro vybrané plodiny v podmínkách České republiky (střední Čechy) zpracovali Zábranský a kol. (2015). Potenciální evapotranspirace (ET_0) vyjadřuje vláhové nároky prostředí na základě algoritmu FAO (Allen, 1998) a je vztažena na travnatý povrch. Aktuální evapotranspirace (ET_c) naopak určuje hodnoty evapotranspirace daného porostu v závislosti na aktuálních podmínkách stanoviště. Získání aktuálních hodnot evapotranspirace pro danou plodinu je možné na základě výpočtu hodnot K_c (opět metodika Allen, 1998, obr. 66). Vynásobením hodnoty referenční evapotranspirace hodnotou K_c se poté



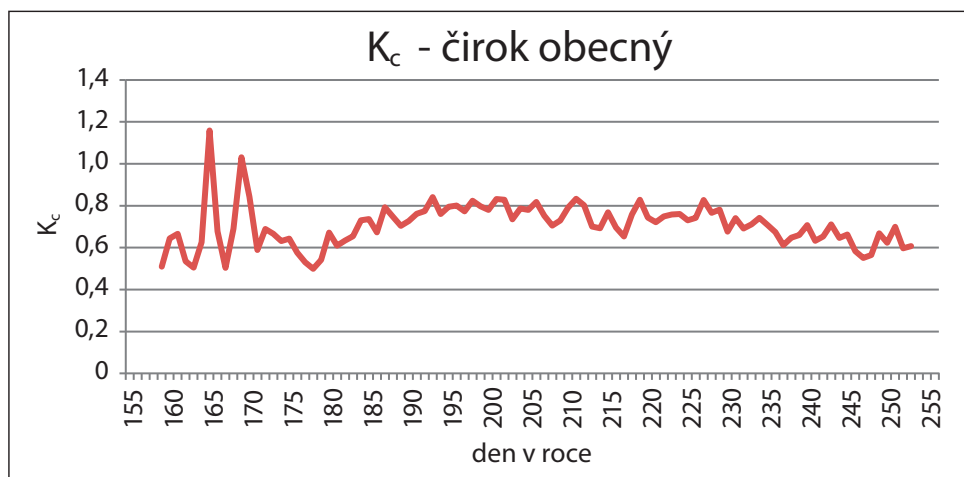
Obr. 66: Grafické znázornění obecného průběhu hodnot crop koeficientu v průběhu vývoje porostu. $K_{c\ ini}$ - jsou hodnoty po zasetí porostu a na začátku jeho vývoje. $K_{c\ mid}$ jsou hodnoty odpovídající období vývoje porostu a hlavnímu období růstu. $K_{c\ end}$ jsou hodnoty platné pro období stárnutí porostu (upraveno dle Allen a kol., 1998).

získá vypočtená (modelová) hodnota aktuální evapotranspirace požadovaného porostu. Hodnota crop koeficientu tedy vychází z následujícího vztahu: $K_c = ET_c/ET_0$.

Obrázky 67 a 68 dokumentují průměrné denní hodnoty crop koeficientů pro porosty kukuřice seté, čiroku obecného a cukrové řepy (obr. 69) stanovené pro oblast středních Čech a tabulka 11 udává tytéž hodnoty pro desetidenní období pro porosty jarního ječmene a ozimé pšenice. Výsledky měření aktuální evapotranspirace porostů podle



Obr. 67: Průměrné denní hodnoty crop koeficientů (K_c) porostu kukuřice seté za období let 2009 až 2012 na lokalitě Budihostice (Brant a kol., 2015e).



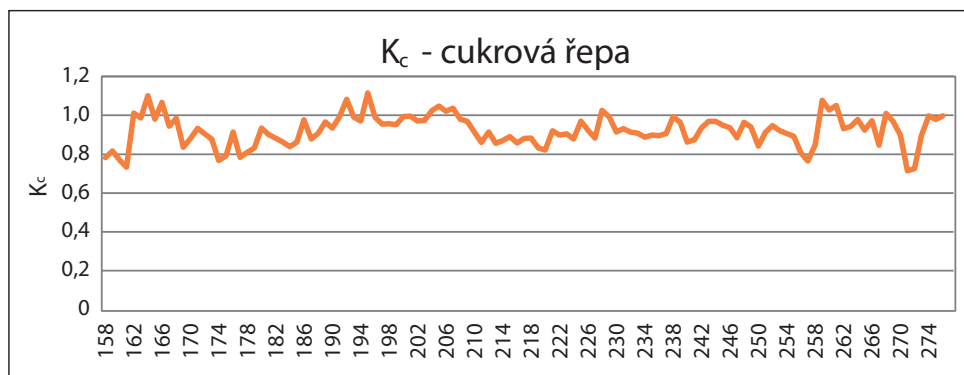
Obr. 68: Průměrné denní hodnoty crop koeficientů (K_c) porostu čiroku obecného - průměr let 2010 až 2012 na lokalitě Budihostice (Brant a kol., 2015f).

metodiky uvedené v práci Zábanský a kol. (2015) dokládají, že u porostů s nižšími nároky na spotřebu vody (kukuřice setá a čirok obecný) jsou hodnoty aktuální evapotranspirace nižší než hodnoty potenciální evapotranspirace (tedy hodnota K_c je nižší než 1). U obilnin a cukrové řepy jsou vláhové nároky během vegetace srovnatelné nebo vyšší, než vypočtené hodnoty potenciální evapotranspirace.

Tab. 11: Průměrné hodnoty aktuální evapotranspirace (ET_a , měřeno metodou BREB) a crop koeficientů (K_c) porostů ječmene jarního a pšenice ozimé za desetidenní období během vegetace v hodnocených letech (Brant a kol., 2015g a Zábanský a kol., 2015, upraveno).

Porost	rok	období (den v roce)																
		81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140	141-150	151-160	161-170	171-180	181-190	191-200	201-210	211-220	221-230	231-240	
ječmen jarní	2007	ET_a				3,9	2,9	3,8	2,8	2,9	2,5	2,4	2,7	2,4				
		K_c				1,14	1,29	1,17	1,13	1,09	1,20	1,73	1,35	1,34				
	2011	ET_a				3,8	3,4	4,4	4,1	3,7	4,1	2,4	2,3	1,5				
		K_c				0,96	1,03	0,95	0,99	0,95	0,97	0,73	0,50	0,74				
pšenice ozimá	2009	ET_a	2,4	2,9	3,3	4,1	3,6	3,2	3,4	2,7	3,4	2,3	2,3	2,2	2,4	2,5	2,1	1,9
		K_c	1,60	0,92	1,05	1,01	1,09	1,03	1,07	0,83	0,91	0,98	0,56	0,69	0,56	0,61	0,53	0,50
	2010	ET_a	2,5	1,9	2,7	3,7	2,0	2,0	2,6	3,0	3,1	3,6	3,2	2,6	2,1	2,0	2,1	1,9
		K_c	1,04	0,84	1,16	0,97	1,12	1,06	1,10	0,98	0,92	0,80	0,69	0,54	0,66	0,77	0,72	0,62

V rámci precizního zemědělství je nutné kalkulovat i s porostní srážkou. Rostlinný pokryv výrazně ovlivňuje distribuci srážek dopadajících na povrch půdy. V případě redistribuce srážky se jedná o porostní srážku, která zahrnuje odkap vody z listů, přímý propad srážky na půdu a stok vody po rostlině (kmen, stéblo, lodyha). Stok vody po rostlině výrazně ovlivňuje koloběh vody a živin ve fytoceózách (např. Price a kol., 1997 a Butler a kol., 1985), erozní procesy (např. Neave a Abrahams, 2002; Brant a kol., 2017c a další). Dle literárních údajů (Bui a Box, 1992) může až jedna třetina stoku vody po stéble kukuřice seté přispívat ke vzniku povrchového odtoku. Z hlediska závislosti mezi hodnotou srážky (nezávisle proměnná) a hodnotami porostní srážky a stoku po stéble byla u rostlin kukuřice seté potvrzena pozitivní korelace (Paltineanu a Starr, 2000). Tito autoři rovněž poukazují na skutečnost, že

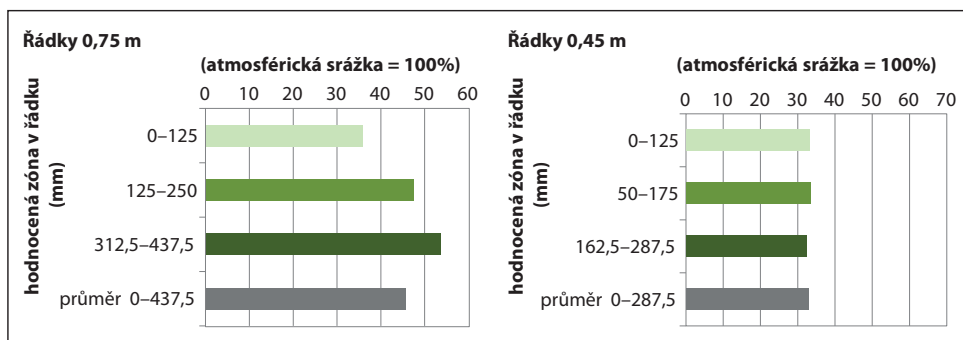


Obr. 69: Průměrné denní hodnoty crop koeficientů (K_c) porostu cukrové řepy za období let 2008, 2012, 2013 a 2014 na lokalitě Budihostice (Brant a kol., 2016c).

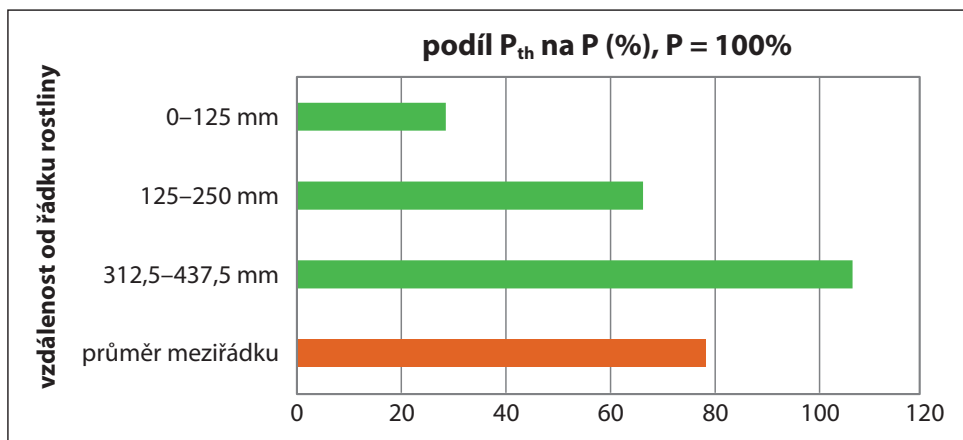
při nižších hodnotách srážky narůstá v porostu kukuřice seté hodnota podílu mezi stokem a porostní srážkou. S nárůstem srážky hodnota tohoto podílu klesá. Z hlediska kalkulace distribuce porostní srážky do půdy hraje výraznou roli i intercepce, tedy voda, která po srážce zůstane zachycená na povrchu listů a následně dojde k jejímu odpaření. Podíl intercepce na atmosférické srážce může zásadním způsobem ovlivnit množství vody, které dosáhne povrchu půdy. Na základě měření Záborský a kol. (2013) se podíl intercepce ve vzrostlém porostu kukuřice seté na celkové atmosférické srážce pohyboval v rozmezí 2–35 %.

Porostní srážka je sekundárním faktorem určujícím místo dopadu srážkové vody na povrch půdy a následné zóny infiltrace srážkové vody do půdy a včetně tvorby preferenčních zón čerpání vody kořenovým systémem. Problematika redistribuce nadporostní atmosférické srážky porosty polních plodin je intenzivně zkoumána především v porostech širokořádkových plodin a v porostech zelenin. Tuto problematiku v porostech kukuřice seté, včetně vlivu na rozložení vlhkosti vody v půdě, popisují např. Paltineanu a Starr 2000; Hupet a Vanclooster, 2005; Liu a kol., 2015; Martello a kol., 2015; Brant a kol., 2016b a 2017g). V porostech slunečnice roční například Škeříková a kol. (2017). Obrázky 70 a 71 dokumentují vliv porostů kukuřice seté a slunečnice roční na distribuci srážek v jednotlivých částech meziřádku. Distribuce vody porostem rovněž ovlivňuje dynamiku vlhkosti půdy v jednotlivých částech řádku a meziřádku plodiny (Martello a kol., 2015), a tím i dobu dostupnosti vody pro rostliny v rámci jednotlivých částí půdního profilu. Opomenout nelze ani vliv porostní srážky ve vztahu k parametrům porostů na primární erozní procesy, tedy na kapkovou erozi (Poesen a Torri, 1988; Morgan, 2005). Zásadní vliv na modifikaci porostní srážky a na hodnoty kapkové eroze má nejen rostlinný druh, ale i struktura porostu (např. Brant a kol., 2012, 2014a a 2015g), včetně pokryvu půdy živým či mrtvým mulčem v meziřádkách (např. Morgan, 2005 a Brant a kol., 2017h).

Přesná znalost dopadu srážkové vody do jednotlivých zón povrchu půdy v porostu je základem pro rozvoj cílených systémů optimalizace struktury porostů za účelem efektivního hospodaření se srážkovou dotací během vegetace. Dále se jedná o rozvoj precizních systémů ukládání hnojiv do zón infiltrace majoritní složky porostní srážky za účelem jejich



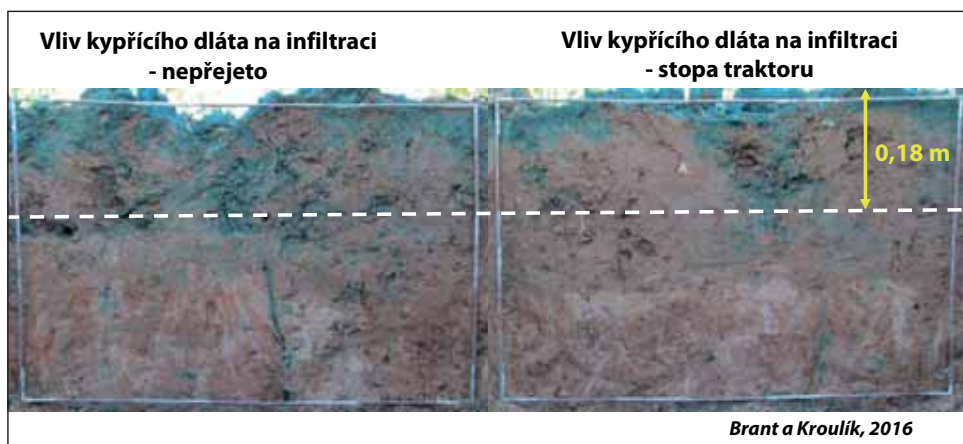
Obr. 70: Vliv rozteče řádků kukuřice seté na hodnoty porostní srážky (P_{th} , %) v rámci meziřádku (průměr let 2012–2014) vyjádřené jako podíl z atmosférické srážky (P , mm) představuje 100 % (Brant a kol., 2015h).



Obr. 71: Procentuální podíl porostní srážky (P_{th} , mm) na hodnotě nadporostní srážky (P , mm) v jednotlivých zónách meziřádku slunečnice roční při rozteči řádků 0,75 m (Škeříková a kol., 2017).

dostupnosti pro rostliny. Tyto skutečnosti se promítají i do systémů cíleného kypření během vegetace podporujícího infiltraci vody do půdy při vyšších srážkách, což potvrzují i naše výsledky při využití tvorby zonálně vytvořených infiltračních rýh při kultivaci porostů kukuřice seté (obr. 72).

Další možností monitoringu vláhových podmínek na půdním bloku je využití kontinuálního měření půdní vlhkosti senzory umístěnými na pracovních nástrojích strojů. Tento princip je využit například u systémů variabilní hloubky setí, kdy jedním z faktorů určujícím hloubku setí je parametr vlhkosti půdy. Sensoricky je snímána vlhkost půdy ve výsevní rýze a v kombinaci se systémem variabilního přitlaku na secí botku je optimalizována hloubka setí (obr. 73).



Obr. 72: Cílené vytvoření infiltrační rýhy při kultivaci porostu kukuřice seté kypřícím dlátem v místě soustředného dopadu porostní srážky (mimo a v trase kolejové stopy tažného prostředku) za účelem eliminace povrchového odtoku, výše simulované srážky činila 40 mm.



Obr. 73: Výsevní sekce vybavená senzorikou pro měření vlhkosti půdy a systémem pro variabilní hloubku setí firmy Precision Planting (foto Brant).

Dostupnost meteorologických dat pro zemědělský podnik - Implementační část (Brant a Krček)

V rámci rozvoje metod precizního zemědělství se společnost AGRA Řisuty zapojila do meteorologické sítě Isidor. Meteorologická síť Isidor vychází z koncepce sítě tzv. páteřních automatických meteorologických stanic, která je doplněna podpůrnými automatickými stanicemi. Páteřní stanice měří širší škálu meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, globální radiace, rychlost a směr větru, srážky, půdní charakteristiky apod.) a umožňují stanovení odvozených veličin, jako jsou sytostní doplněk, teplota rosného bodu, potenciální evapotranspirace apod. Podpůrné stanice (obr. 3.1.) „zahušťují“ páteřní síť a měří primárně teplotu vzduchu a srážky.

Na budování sítě se podílí Centrum precizního zemědělství při České zemědělské univerzitě v Praze ve spolupráci s firmou EMS Brno, která je dodavatelem profesionálního přístrojového vybavení, software a zajišťuje primární zálohování a kontrolu naměřených dat. Dále se na rozvíjení sítě podílí Chmelařský institut v Žatci a zemědělské subjekty, které jsou vlastníky jednotlivých stanic.

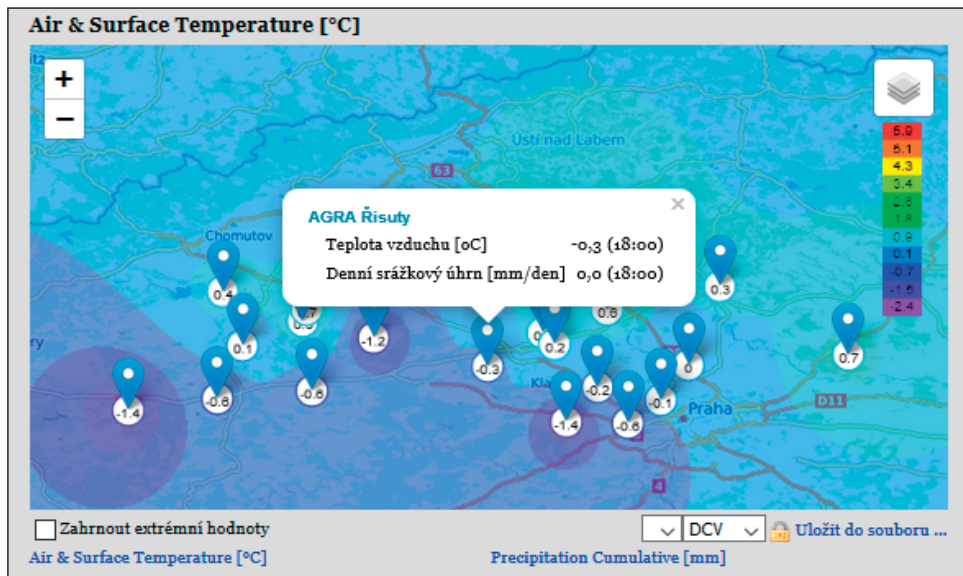
Na základě principů využívání výsledků sítě Isidor mohou jednotliví vlastníci stanic využívat recipročně meteorologická data ze stanic ostatních uživatelů. Bezdrátový přenos 20-ti minutových hodnot na internet probíhá standardně v hodinových intervalech. V případě srážky se údaje aktualizují každých 10 minut.

Dosavadní stav vývoje meteorologické sítě Isidor zajišťuje získání především meteorologických údajů o teplotě vzduchu a o srážkách. Získaná data jsou uživatelům on-line dostupná na internetových stránkách meteorologické sítě Isidor: <http://www.emsbrno.cz/>.

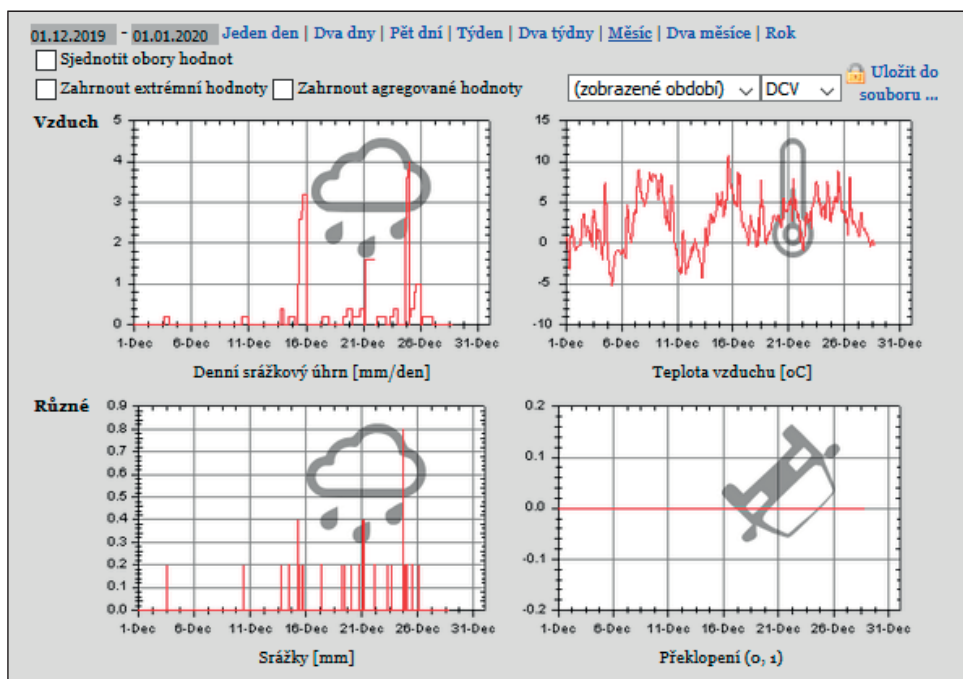
Možnosti aktuálních grafických výstupů hodnocení meteorologických dat dokládají obrázky 3.2.–3.4. Naměřené aktuální hodnoty měřených charakteristik a denní sumy srážek či průměrné denní teploty vzduchu jsou registrovaným uživatelům dostupné ve složce Archiv na internetových stránkách sítě Isidor.



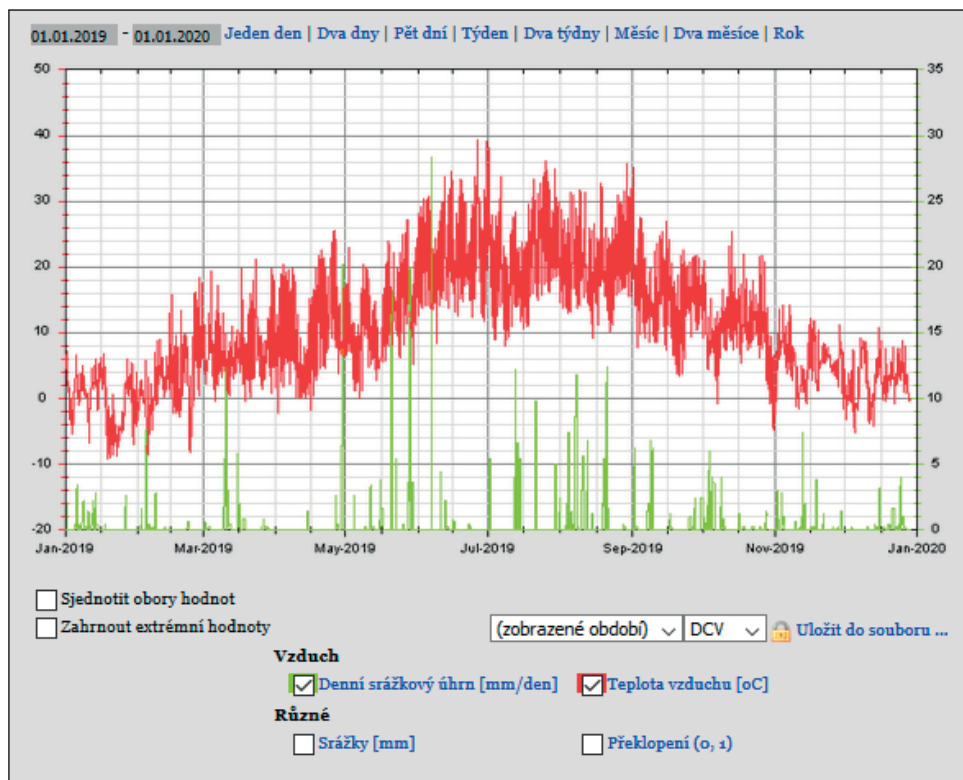
Obr. 3.1.: Podpůrná meteorologická stanice RainSet 2 na pozemcích společnosti AGRA Řisuty (foto Brant).



Obr. 3.2.: Mapa interpolovaných aktuálních teplot vzduchu s označením meteorologické podpůrné stanice RainSet 2 sítě Isidor společnosti AGRA Řisuty (internetové stránky sítě Isidor).



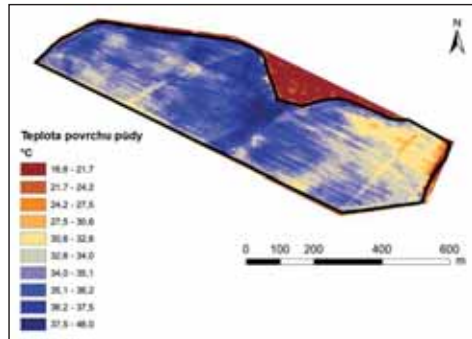
Obr. 3.3.: Vizualizace aktuálních hodnot za vybrané období z meteorologické podpůrné stanice RainSet 2 sítě Isidor společnosti AGRA Řisuty. Graf překlopení dokládá informační údaje o případném odchýlení se stanice od kolmého postavení vůči zemskému povrchu (internetové stránky sítě Isidor).



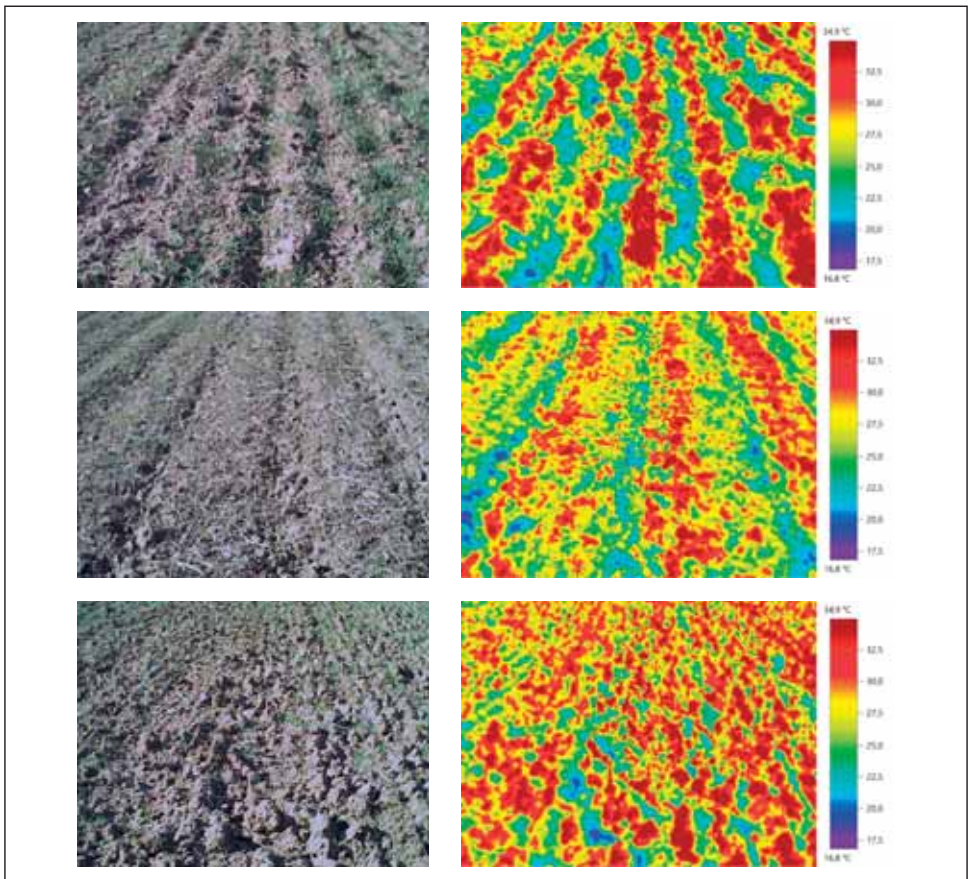
Obr. 3.4.: Grafické vyjádření záznamu průběhu teploty vzduchu (°C) a denních sum srážek z meteorologické podpůrné stanice RainSet 2 sítě Isidor společnosti AGRA Řisuty za období 1. 1. 2019 až 1. 1. 2020 (internetové stránky sítě Isidor).

Teplotní podmínky půdního prostředí

Variabilitu teplotních podmínek půdního bloku lze specifikovat na základě měření povrchové teploty termometrickými metodami. Na základě povrchové teploty půdy je možné uvažovat o podmínkách přenosu tepla v půdním prostředí. Teplota půdy je zásadním způsobem ovlivněna poměrem obsahu vody a vzduchu v půdním prostředí, včetně tepelných vlastností pevné fáze půdy. Zde se jedná o stanovení teplotní makrovariability půdního bloku například z hlediska optimalizace výsevu, zejména pro využití variabilního výsevku (obr. 74).



Obr. 74: Teplota povrchu půdního bloku stanovená pomocí termokamery umístěné na UAV.



Obr. 75: Rozdíly v povrchové teplotě půdy na jaře na plochách s rozdílným systémem podzimního zpracování půdy.

Na základě povrchové teploty půdy lze specifikovat rozdílný vliv zpracování půdy na její ohřev, tedy nepřímo na prosychání horní vrstvy půdy ve vztahu k dalším agrotechnickým operacím na pozemku. Zde se jedná již o specifikaci teplotní mezovariability s jejíž pomocí lze specifikovat i podrobnější zonální variabilitu, například při různých systémech zonálního kypření půdy (Hermann a kol., 2012). Obrázek 75 dokumentuje rozdíly v povrchové teplotě půdy na jaře na plochách s rozdílným systémem podzimního zpracování půdy.

Další možností využití měření povrchové teploty půdy je pro monitoring ohřevu půdy v porostech s rozdílnou strukturou, například pro odhad počátku vegetace porostů na jaře (obr. 76). Měření povrchové teploty půdy před založením či před vzejitím hlavní plodiny má však omezující faktory. Zásadním problémem je přítomnost rostlinných zbytků, ale i výskyt plevelných rostlin. Termometrická měření povrchové teploty půdy je nutné verifikovat s dalšími údaji o variabilitě půdního bloku.

Monitoring teplotní variability půdního prostředí v půdním horizontu na půdním bloku je samozřejmě možné provádět rozdílnými, stabilně umístěnými, teplotními senzory, většinou vybavených systémem bezdrátového přenosu dat pro rychlou informaci o daném stavu. Z praktického hlediska je však jejich využití značně limitováno omezujícími faktory, jako potřeba individuální instalace každého (nebo skupiny) senzoru, riziko poškození při agrotechnických operacích (včetně poničení volně žijícími živočichy či ztráta odcizením), vysoká cenová náročnost apod.



Obr. 76: Monitoring povrchové teploty půdy v meziřádcích ozimé řepky na začátku vegetace. Obrázek dokládá překrytí reálného snímku stavu porostu vrstvou povrchové teploty vycházející z termosnímků (foto Brant).

Zásoba živin v půdě v kontextu variability

Významnou roli z hlediska vlivu podmínek půdního bloku na rostlinná společenstva je variabilita zásoby živin a pH. Pro získání těchto údajů o variabilitě půdního bloku lze při metodě bodového nekontinuálního odběru půdních vzorků využít dva základní metodické postupy. Nejčastěji je využíváno postupu stanovení odběrových bodů na principu jejich rastrového rozmístění. Lorenz a Münchhoff (2015) upozorňují na skutečnost, že na základě dosavadních studií lze za optimální velikost pravidelného čtvercového rastru považovat plochy o velikosti $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$ ha. Využití menších ploch naráží na časovou náročnost a náklady na odběry a analýzy vzorků. Podle výše uvedených autorů se v praxi často pracuje s rastrem o velikosti 1 ha (100×100 m). Údaje získané na základě rastrových odběrů jsou však velmi často překryty vlivem jiných půdních vlastností. Z tohoto důvodu je za vhodnější postup považováno vzorkování na základě stanovení variabilních zón půdního bloku. Ty vycházejí například z variability půdního bloku stanovené na základě výnosových map, map výnosových potenciálů apod. Z hlediska vzorkování jednotlivých zón lze opět rozlišit rozdílné přístupy pro odběr vzorků. Jedna z možností je specifikace odběrových bodů ve vztahu k jejich velikosti či velikostního poměru vůči půdnímu bloku, kdy jednotlivé vzorky z odebraných bodů se analyzují samostatně. Další možností je specifikace odběrových linií v rámci zón variability, které jsou udány větším počtem odběru vzorků, ze kterých mohou být následně získány směšné vzorky pro danou vrstvu půdy. Volba metodického postupu odběru půdních vzorků pro analýzy obsahu živin je závislá i na způsobu jejich odběru (obr. 77). V rámci zvýšení plošného výkonu odběru vzorků a eliminace chyb při odběru jsou v současné době považovány za výhodnější systémy poloautomatického a automatického odběru vzorků. Mapy zásoby živin tak slouží jako základ pro variabilní zásobní hnojení především fosforem a draslíkem. Obdobný význam mají i pro optimalizaci hnojení vápenatými hnojivy ve vztahu k udržení požadovaného pH půdy. Za určitou alternativu ve vztahu k aplikaci vápenatých hnojiv je monitoring půdního prostředí pomocí mobilních senzorových platform (např. VERIS MS3), kde lze přímo v polních podmínkách monitorovat pH půdy (obr. 78).



Obr. 77: Poloautomatické a automatické systémy odběru půdních vzorků vykazují vyšší výkon než ruční odběry (foto Brant a Kroulík).



Obr. 78: Monitoring půdního prostředí pomocí mobilní senzorové platformy VERIS (foto Kroulík).

Další otázkou z hlediska validity výsledků je způsob zpracování dat. Pro využití zemědělskou praxí mají zásadní význam půdní mapy zásoby živin vzniklé na základě interpolace rastrových hodnot získaných z měřených bodů. V rámci monitoringu je však potřebné pracovat i s časovým vývojem daného faktoru na půdním bloku. Z hlediska správnosti interpolace a následných agrotechnických opatření prováděných na základě map zásoby živin, je potřebné se zaměřit na ověření aktuálního stavu daných parametrů na hranici přechodových zón půdních map. Obrázek 79 dokládá variabilitu obsahu fosforu a draslíku na půdních blocích. Využití map zásoby živin pro stanovení dynamiky vývoje živin je však podmíněno dodržением stálosti metodických postupů monitoringu a zpracováním dat.

Mapy zásobního hnojení představují optimalizaci hnojení na úrovni makrovariability půdního bloku. Z hlediska cíleného ovlivnění jednotlivých jedinců rostlinného společenstva lze tyto postupy, především z hlediska přesnosti monitoringu (metody odběru vzorků až po následné interpolace výsledků), považovat za nepřesné. V rámci principů precizního zemědělství je snaha o zajištění výživného stavu rostliny na úrovni mezovariability či spíše mikrovariability. Většina těchto systémů je založena na cíleném ukládání hnojiv do budoucí zóny čerpání živin rostlinou za účelem ovlivnění výživného stavu půdy a vývoje kořenového systému rostliny ve vztahu k jejímu vývoji během vegetace (Hermann a kol., 2012; Brant a kol., 2016a a 2017c,d). Systémy cílené aplikace hnojiv v rámci precizního hnojení lze rozlišit na mělké zonální aplikace, které jsou označovány jako tzv. „hnojení pod patu“ a na systémy zonálního hnojení. Ty představují ukládání hnojiva do hloubky půdy větší než 0,1 m přímo pod setové lože či do meziřádků úzkořádkových plodin. Systémy



Varistar

AGRA Říšuty s. r. o.

Půdní rozbor Fosfor P

Rok: 2018

NAZEV: Pod Cardou
 PID: 11096637
 ČTVEREC: 770-1020
 ZKOD_DPB: 13047

VÝMĚRA: 59,84 ha

Min: 36 mg/kg
 Max: 135 mg/kg
 Průměr: 76 mg/kg
 Medián: 73,5 mg/kg

Obsah P (mg/kg)

- Velmi nízká 0-30
- Nízká 30-50
- Vyhovující 50-80
- Dobrá 80-115
- Vysoká 116-185
- Velmi vysoká nad 185

Agrinova Group

*) Neuvádíme data mohou být celková
 čištění při údržbě



Varistar

AGRA Říšuty s. r. o.

Půdní rozbor K

Rok: 2018

NAZEV: Pod Cardou
 PID: 11096637
 ČTVEREC: 770-1020
 ZKOD_DPB: 13047

VÝMĚRA: 59,84 ha

Min: 164 mg/kg
 Max: 605 mg/kg
 Průměr: 299 mg/kg
 Medián: 276,5 mg/kg

Obsah K (mg/kg)

- Nízký do 105
- Vyhovující 105-170
- Dobry 170-310
- Vysoký 310-420
- Velmi vysoký nad 420

Agrinova Group

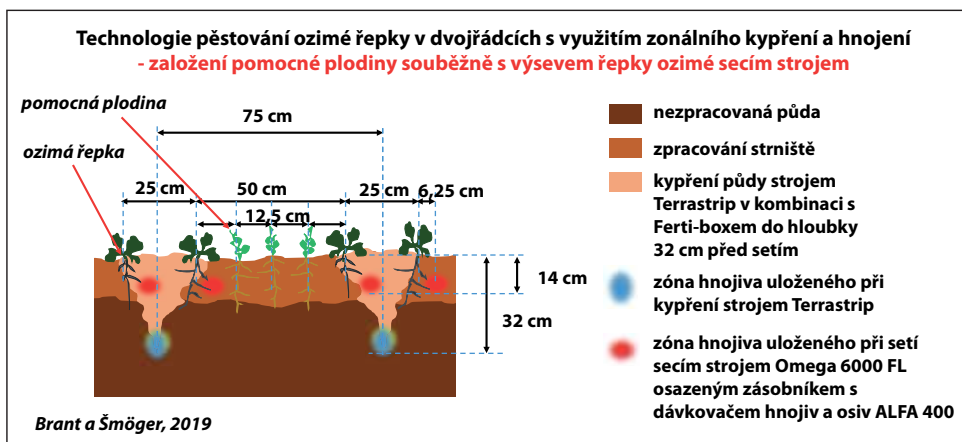
*) Neuvádíme data mohou být celková
 čištění při údržbě

Obr. 79: Variabilita zásoby živin (fosfor a draslík) na půdních blocích obhospodařovaných subjektem AGRA Říšuty. Mapy vycházejí z půdních rozborů provedených společností MJM Litovel a.s., zpracovaných do mapové podoby systémem Varistar.

zonálního hnojení lze z hlediska hloubky uložení hnojiva do půdy a ve vztahu k následnému umístění vysévané plodiny rozlišit:

- (hloubka větší než 0,1 m pod budoucí seťové lože) při základním plošném a pásovém zpracování půdy. Do této skupiny patří i dvou-, případně více, zonální hnojení do rozdílné hloubky pod seťové lože, včetně bočních aplikací. Na zóny s uložení hnojiva poté následuje přesný výsev s využitím navigací.
- Cílená zonální aplikace minerálních (pevných a kapalných) hnojiv do hlubších vrstev půdy (hloubka větší než 0,1 m pod budoucí seťové lože) při setí (většinou se jedná o systémy zajišťující zonální hnojení při setí obilnin, ozimé řepky a luskovin do užších řádků, 125–300 mm). Do této skupiny patří i dvou-, případně více, zonální hnojení do rozdílné hloubky pod seťové lože, včetně bočních aplikací.
- Cílené ukládání minerálních pevných a kapalných hnojiv k blízkosti osiva do samostatné hnojivové rýhy do hloubky 0,1 m, většinou bočně od výsevní rýhy, za účelem uložení startovací dávky hnojiva.
- V praxi se často využívá kombinace hlubšího a mělkého zonálního hnojení s využitím rozdílných minerálních hnojiv či jejich forem (obr. 80). Opomenout nelze ani kombinované využití minerálních hnojiv pro zajištění startovací dávky hnojení a kapalných organických hnojiv pro zonální hnojení.
- Do daného rozdělení lze zahrnout i systémy s ukládáním hnojiva přímo do výsevní rýhy k osivu či do pásu společně s osivem.

Cílené zonální hnojení může mít pozitivní vliv na lepší přezimování ozimých plodin a jejich počáteční start na jaře. Na pozitivní vliv zonálního hnojení na vývoj rostlin ozimé pšenice poukazují např. Brant a kol. (2015d a 2017c) a u ozimé řepky Hermann a kol. (2012) a Brant a kol. (2017d). Kombinace zonálního hnojení a kypření při setí hrachu setého na jaře měla pozitivní vliv na výnos při zakládání porostů do řádků s roztečí 0,25 m (Brant



Obr. 80: Systém pěstování ozimé řepky v dvojřádcích s využitím cíleného hlubšího uložení hnojiva při předseťové přípravě s následným přesným výsevem a mělkým zonálním přihnojením se startovací dávkou hnojiva k řádce ozimé řepky, včetně přísevu pomocné plodiny (Brant a kol., 2019b).

a kol., 2017e). Fernández a White (2014) uvádějí, že hlubší aplikace P a K pod osivo zvyšovala obsah vodorozpustných frakcí těchto prvků pod řádkem kukuřice seté oproti plošné povrchové aplikaci. Na základě našich výsledků však nebyl prokázán vliv zonální aplikace hnojiv na prostorové rozmístění kořenů kukuřice seté v půdě. Tuto skutečnost potvrzují i Fernández a White (2014).

Vliv zonální aplikace hnojiv do půdy je rovněž spojen s možností cíleného ovlivnění rozvoje kořenového systému rostlin. Tuto skutečnost potvrzují u ozimé řepky např. Hermann a kol., (2012) a Brant a kol. (2014b a 2016b). Literární údaje poukazují na skutečnost, že u kukuřice seté je efekt zonálního hnojení přímo pod budoucí řádek kukuřice seté spíše sporadický (Fernández a White, 2014 a Brant a kol., 2016b).

Z hlediska současného stavu vývoje dané problematiky však nejsou k dispozici údaje o efektivitě variabilního zonálního hnojení ve vztahu k variabilitě půdního bloku, včetně údajů o interakci variabilního mělkého nebo hlubšího variabilního hnojení a variabilního setí. Dosavadní výsledky hodnocení variability rozložení hnojiva v půdním profilu ukazují, že stávající systémy dávkování a transportu hnojiva mohou být spojeny s jeho nerovnoměrným rozložením v aplikační rýze, včetně výrazného vlivu toku zeminy za aplikačním nástrojem při hlubším ukládání do půdy (Brant a kol., 2017f). Zásadním způsobem nebyla doposud řešena problematika vlivu systémů zonálního kypření a hnojení u širokořádkových plodin na variabilitu rozložení a rozkladu rostlinných zbytků na půdním bloku, především na úrovni horizontální variability. Systémy zonálního hnojení a kypření jsou považovány za faktor zvyšující homogenitu půdního prostředí pro vyrovnaný vývoj založených porostů. Dosavadní výsledky však ukazují, že za určitých okolností mohou naopak přispívat ke zvýšení variability mezi trajektoriemi s ukládaným hnojivem a bez něj, včetně projevu samotného vlivu vývoje rostlin v dané linii na půdním bloku. Tato skutečnost může mít vliv na validitu odběru půdních vzorků pro stanovení obsahu živin v půdě, zejména při nezohlednění místa odběru ve vztahu k předchozí lokalizaci zonálního hnojení.

Variabilita rostlinných zbytků a mulče

Významným faktorem ovlivňujícím parametry variability půdního bloku jsou rostlinné zbytky předplodiny a živý či mrtvý mulč mezplodin. Přítomnost této organické hmoty má samozřejmě vliv i na následný vývoj porostů polních plodin, včetně dlouhodobějšího působení na fyzikální, chemické a biologické parametry půdy. V rámci principů precizního zemědělství dochází k vývoji metod umožňujících kvantitativní a kvalitativní stanovení jejich přítomnosti na půdním bloku (povrch půdy a v půdním profilu) po sklizni a po provedení následných agrotechnických operací, především zpracování půdy a setí.

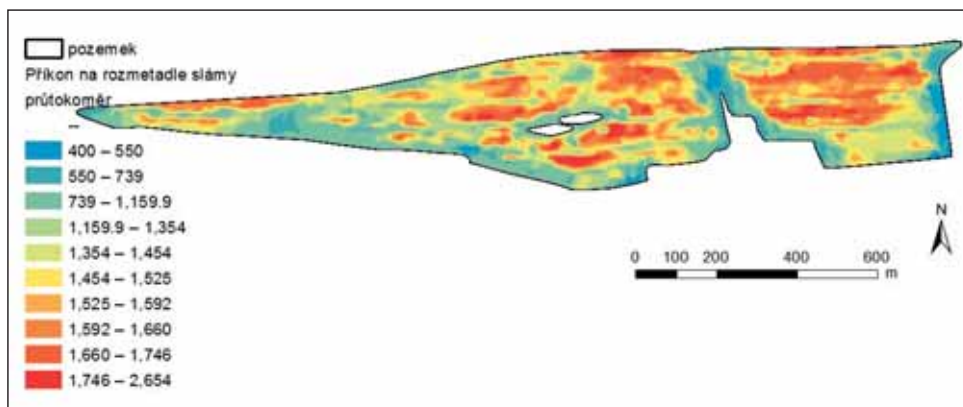
S nástupem systémů bezorebného zpracování půdy představují především posklizňové zbytky předplodiny významný parametr, který umožňuje eliminovat erozní rizika, omezit neproduktivní výpar a stabilizovat strukturu půdy. Na druhé straně se rostlinné zbytky nacházející se na povrchu půdy a v jejích horních vrstvách, podílejí na zpomalová-

ní ohřevu půdy pro setí, mechanicky omezují vzházení porostů a vývoj klíčenců, zvyšují fyto-sanitární rizika, vyřazují z pěstebních systémů použití preemergentních herbicidů apod. Přítomnost rostlinných zbytků na povrchu půdy a v její horní vrstvě může negativně ovlivnit i výsledky dalších měření prováděných za účelem stanovení variability půdního bloku (měření povrchové teploty půdy, využití metod na principu elektrické vodivosti půdy apod.).

Znalost kvantitativních a kvalitativních parametrů rostlinných zbytků ve vztahu k jednotce plochy a variability rozložení na půdním bloku je primárním faktorem pro správné stanovení nadzemní, ale i podzemní produkce biomasy na půdním bloku, včetně následných kalkulací koloběhu živin a hmoty. Zde se jedná jak o bilanci živin a organické hmoty na stanovišti, ale také o bilanci koloběhu a stanovení dočasné fixace CO₂. Získané údaje jsou rovněž základem pro stanovení energetické efektivity pěstebních systémů.

Role posklizňových zbytků je bohužel jednostranně a omezeně vnímána především z protierozního hlediska. Zde se dlouhodobě vychází z definice Morgana (2005), který za minimální pokryvnost půdy rostlinnými zbytky považuje hodnotu 30 % pokryvnosti, jejíž hmotnost odpovídá 1,2 t hmotnosti na ha u obilnin. V rámci produktivnosti pěstebních systémů ve střední Evropě je však při daných výnosech produkce slámy na jednotku plochy výrazně vyšší. Z praktického hlediska může být již tato hranice problematická u plodin vysévaných do úzkých řádků. Při vyšší vrstvě mulče není při úzkých řádcích dostatek prostoru k jeho uložení do meziřádku a mulč po zasetí pokrývá vyseté řádky. V důsledku vlivu mulče na fyzikální, ale i chemické vlastnosti půdy může docházet nejen ke zpomalení klíčení a vzházení, ale i ke snížení počtu rostlin na jednotku plochy. Problematické může být rovněž prorůstání rostlin slehlou vrstvou mulče. Za mezní hranici pokryvnosti půdy mulčem při pěstování úzkořádkových plodin (rozteč řádků do 250 mm) lze považovat pokryvnost půdy mulčem nad 50 %. U širokořádkových plodin může být tato hranice vyšší. Při rozteči řádků nad 450 mm nehraje již míra pokrytí půdy mulčem významnější roli (Brant a kol., 2016a).

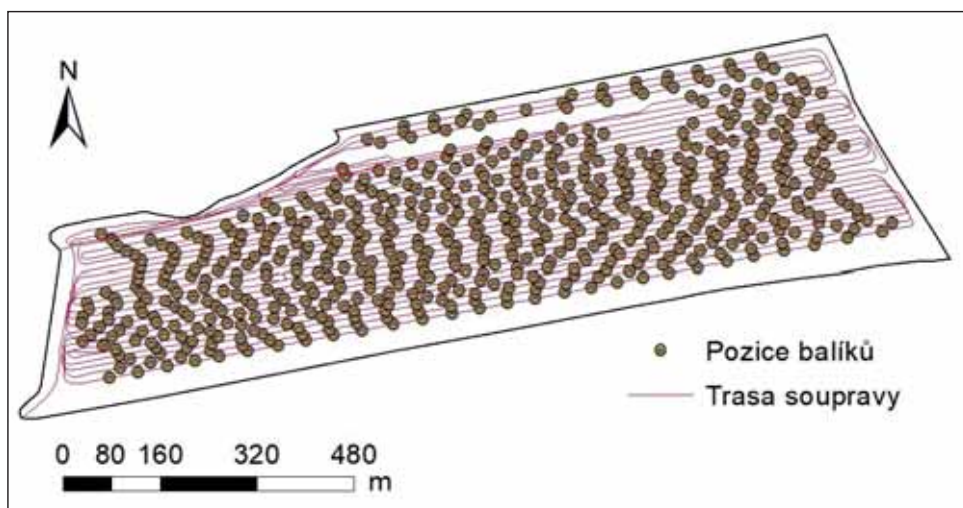
Z hlediska stanovení produkce rostlinných zbytků předplodiny lze využít například znalosti o variabilitě výnosu stanovené při sklizni sklízecí mlátičkou, nebo lze s určitou mírou nepřesnosti využít údaje o výnosovém potenciálu. Pro stanovení produkce nadzemní biomasy rostlinných zbytků je možné použít obecně uváděné poměry mezi hmotnostní produkcí semen a slámy plodin. I zde je však potřebné poukázat na skutečnost, že obecně používané poměry zrna a slámy u obilnin (1 : 1 ozimá pšenice, 1 : 0,9 jarní ječmen a 1 : 1,2 žito) jsou nepřesným parametrem. Do jejich parametrizace za účelem zpřesnění se nepromítl ani vývoj odrůd, ani změny v pěstebních technologiích. Obdobně tomu je u luskovin, kde se jedná o pěstování např. úponkových a listových forem hrachů, včetně rozdílného habitu mezi ozimými a jarními formami (Brant a kol., 2017i,j). Obdobně jako u rostlin ozimé řepky ve vztahu k hybridním a liniovým odrůdám, trpasličím formám a k technologiím s rozdílnou roztečí řádků a počtem rostlin na jednotku plochy. Dlouhodobě podceňovanou skutečností je sledování kvalitativních parametrů rostlinných zbytků, kde se dlouhodobě pracuje s údaji staršího data.



Obr. 81: Variabilita množství slámy na půdním bloku stanovená na základě měření změny příkonu čerpadla na rozmetadle slámy.

Další možností je monitoring makrovariability produkce slámy přímo při sklizni. Tuto skutečnost lze posoudit měřením změny příkonu čerpadla na rozmetadle slámy (obr. 81). Výsledkem je získání variability množství slámy na pozemku, ale problémem zůstává kvantifikace množství. Omezením metody je i samotná možnost měření pouze při drcení a rozmetání slámy.

Pro monitorování výnosu slámy, píce a celkově všech plodin lisovaných svinovacími lisami nebo lisami na hranolovité balíky, již byly představeny rozdílné systémy měření výnosu. S využitím telematiky nyní představíme relativně jednoduchou metodu odhadu výnosu. Rovněž je to ukázka obecné možnosti práce s daty. Na obrázku 82 je záznam pohybu soupravy traktoru a svinovacího lisu. V jednotlivých trajektorích jsou rovněž vyznačeny pozice vytvořených balíků.



Obr. 82: Trajektorie pohybu soupravy traktoru a lisu a záznam pozice balíků.

Z exportovaného výkazu práce jsou patrná data, která byla využita v modelu. V našem případě to byla data ujeté vzdálenosti, potřebné pro vytvoření balíku a GPS pozice rozjetí a zastavení (obr. 83). Úvaha je následující, s menším výnosem slámy bude zapotřebí urazit delší trasu. Při známé šířce záběru mlátičky a relativně konstantní hmotnosti balíku můžeme následně odhadnout výnos slámy. Kromě výnosu máme rovněž k dispozici informaci o počtu balíků.

Výkaz jízdy

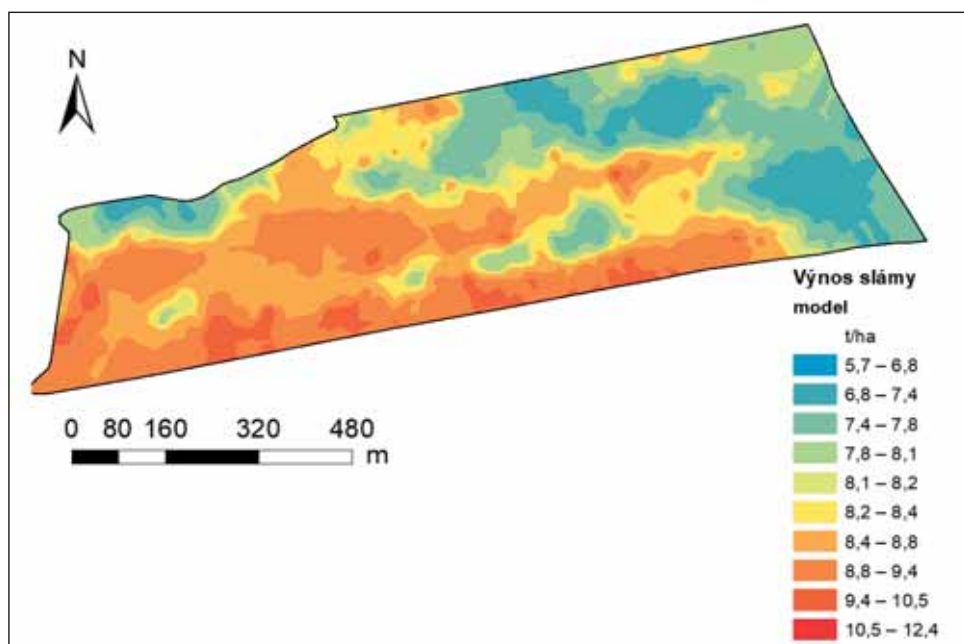
SPZ:04 TG 175 Traktory kromě
Norma pracovních hodin [P160 hod]:0
Datum: sobota 17. srpna 2018
Rok: 2

Časová skupina	Časová příjizda	Úlka příjizdy	Úlka jízdy	Výnos odštěpení	Množ. balíků	Úlka	Úlka	Množ. balíků	Úlka	Úlka	Kategorie traktoru	Úlka traktoru	Přidělená rychlost	Max. rych. traktoru
1	8:27:28	15:50:19	2:12:51	0:00:25	73	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	08 205622	08 205622	0:00:16	4,16

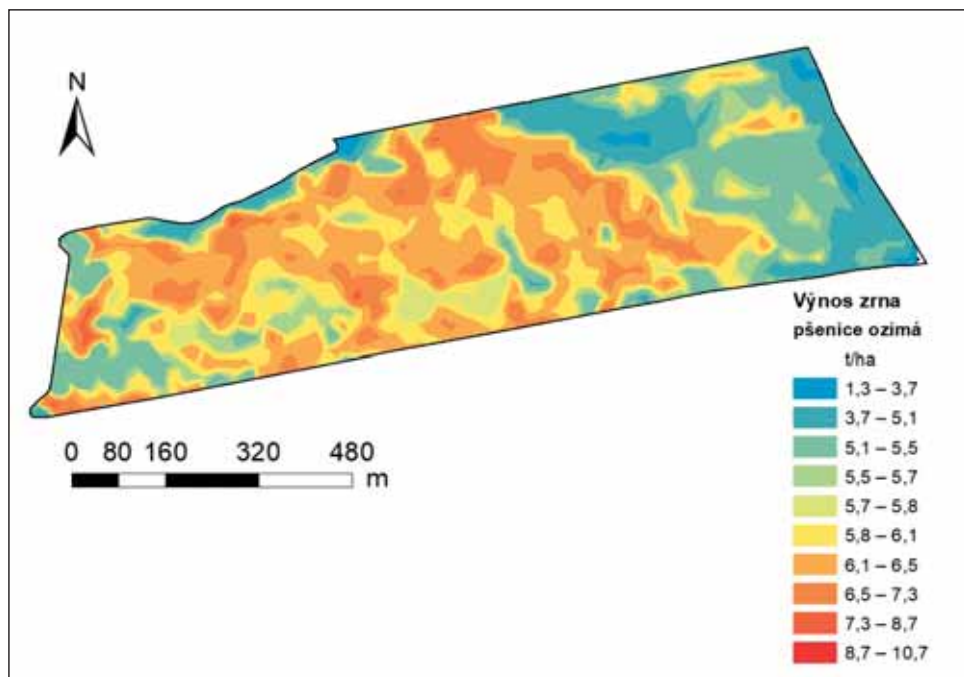
SPZ:04 TG 175 Traktory kromě
Norma pracovních hodin [P160 hod]:0
Datum: sobota 17. srpna 2018
Rok: 2

Časová skupina	Časová příjizda	Úlka příjizdy	Úlka jízdy	Výnos odštěpení	Množ. balíků	Úlka	Úlka	Množ. balíků	Úlka	Úlka	Kategorie traktoru	Úlka traktoru	Přidělená rychlost	Max. rych. traktoru
2	9:26:41	15:50:19	9:23:22	0:00:22	23	0:00:00	04 017907	08 205621	0:00:00	04 017904	08 205622	08 205622	0:00:14	4,40
3	9:27:31	15:50:19	9:26:57	0:00:16	29	0:00:00	04 017903	08 205620	0:00:00	04 017941	08 205620	08 205620	0:00:14	6,3
4	9:27:42	15:50:19	9:27:27	0:00:16	36	0:00:00	04 017908	08 205626	0:00:00	04 018357	08 205626	08 205626	0:00:16	6,76
5	9:28:14	15:50:19	9:28:33	0:00:16	38	0:00:00	04 018068	08 205719	0:00:00	04 018176	08 205627	08 205627	0:00:16	6,76
6	9:28:45	15:50:19	9:29:01	0:00:16	32	0:00:00	04 018172	08 205838	0:00:00	04 018302	08 205837	08 205837	0:00:14	6,76
7	9:29:17	15:50:19	9:29:33	0:00:16	35	0:00:00	04 018216	08 205918	0:00:00	04 019643	08 205936	08 205936	0:00:16	7,20
8	9:29:48	15:50:19	9:30:03	0:00:16	28	0:00:00	04 019682	08 206006	0:00:00	04 020663	08 206076	08 206076	0:00:16	6,76
9	9:30:00	15:50:19	9:30:03	0:00:16	26	0:00:00	04 020687	08 206079	0:00:00	04 020687	08 206076	08 206076	0:00:16	6,76

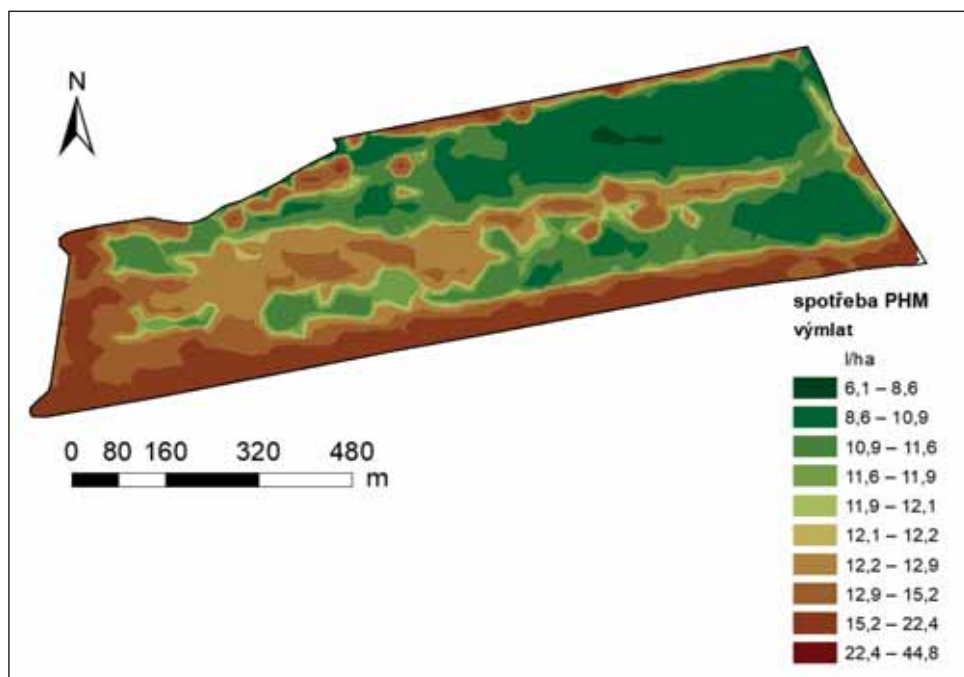
Obr. 83: Náhled výkazu práce se záznamem údajů o průběhu práce.



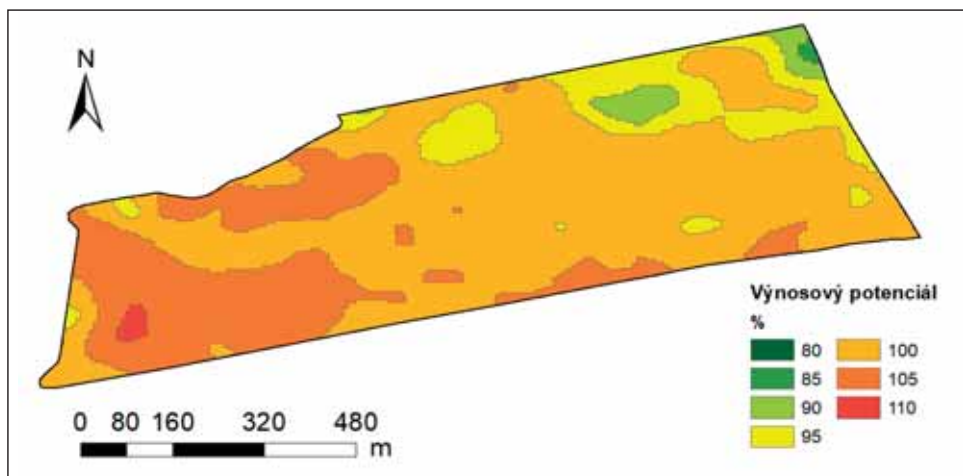
Obr. 84: Mapa odhadovaného výnosu slámy na hodnoceném půdním bloku.



Obr. 85: Výnosová mapa zrna na hodnoceném půdním bloku.



Obr. 86: Mapa spotřeby paliva během sklizně



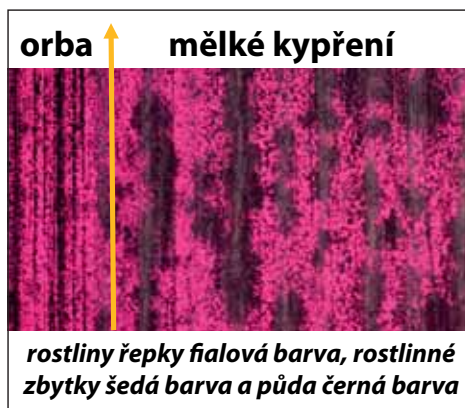
Obr. 87: Mapa výnosového potenciálu stanovená pro hodnocení půdního bloku.

Z uvedených dat se znalostí polohy bylo možné sestavit mapu odhadu výnosu slámy (obr. 84). Pochopitelně je rovněž obtížné kvantifikovat reálné množství. Nicméně se jedná o určitý ukazatel variability pozemků a produkce. K dispozici byly také další údaje. Jako významný ukazatel variability je rovněž výnos zrna během sklizně. Mapa výnosu je na obrázku 85.

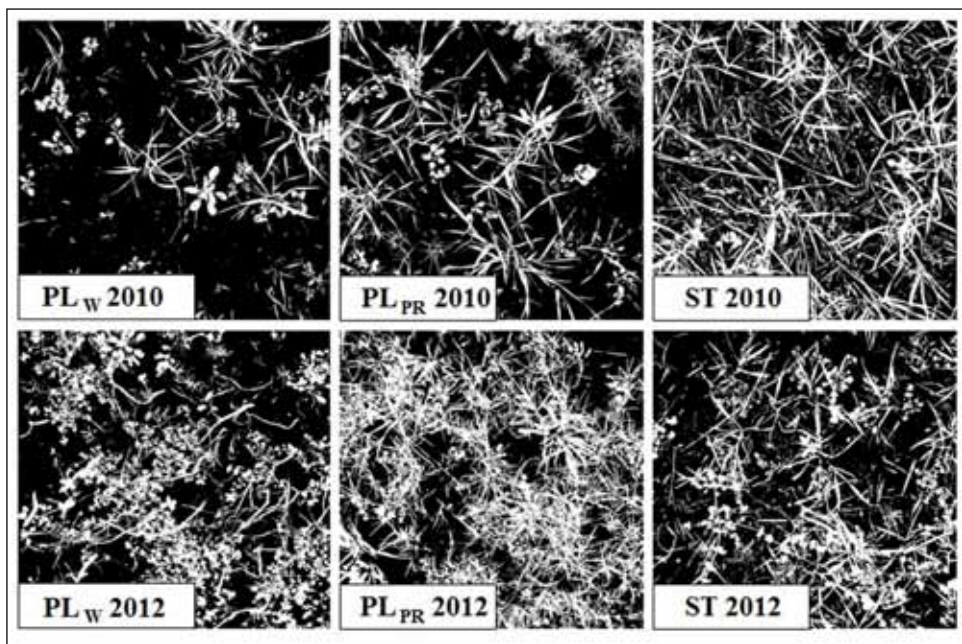
Následující ukázka dokládá nové možnosti získávání dat díky monitorování pracovních parametrů stroje. Významným ukazatelem pro ekonomické hodnocení je bezesporu záznam spotřeby pohonných hmot během sklizně (obr. 86). Pro případ, kdy není k dispozici záznam výnosu, lze do určité míry vycházet z mapy výnosového potenciálu. Pro úplnost je doložena na obrázku 87.

Opomenout nelze ani systémy monitoringu pokryvu půdy rostlinnými zbytky v měřítku makrovariability pomocí metody infrasmíčku. Obrázek 88 dokládá pokryvnost povrchu půdy rostlinnými zbytky a rostlinami ozimé řepky v závislosti na systému zpracování půdy.

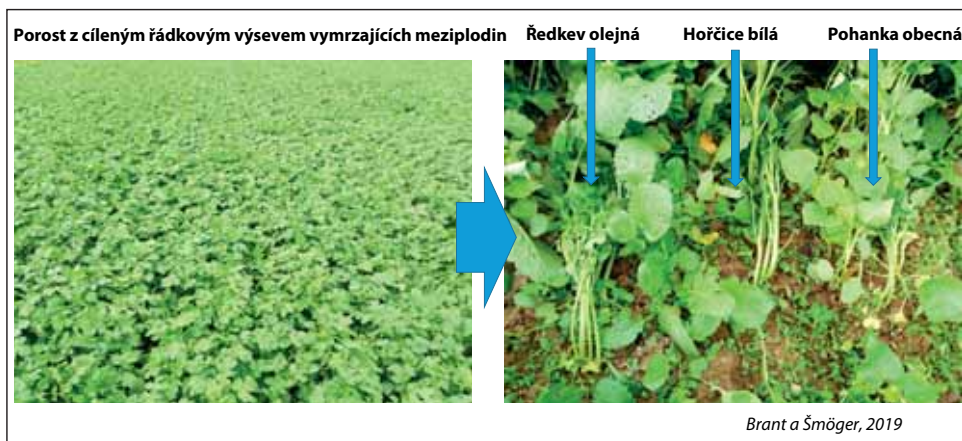
Na úrovni mezovariability se jedná o stanovení pokryvnosti povrchu půdy a kvantitativního vyjádření množství zbytků na povrchu půdy při lokálním systému měření. Při hodnocení míry pokryvu půdy mají zásadní roli metody analýzy obrazu prováděné například v meziřádcích plodin apod. Obrázek 89 dokumentuje grafické znázornění pokrytí povrchu půdy v mezi-



Obr. 88: Ukázka nekvalitně rozptýlených a zapravených rostlinných zbytků po předplodině a zapojení porostu řepky na shodné ploše v závislosti na systému základního zpracování půdy (Brant a kol., 2016d).



Obr. 89: Grafické znázornění pokrytí povrchu půdy v meziřádku kukuřice seté rozdílným mulčem (bílá barva), černá barva dokládá holou půdu (Brant a kol., 2017g). Na snímcích (PL_w) je pokrývnost půdy v meziřádku silážní kukuřice po zasetí do zoraného pozemku urovnaného na podzim bez předseťové přípravy (pokryv půdy tvoří plevely), na snímcích (PL_{pr}) je porost jílku vytrvalého v meziřádku (podzimní pásový výsev po orbě) a snímky označené ST dokumentují pokryv půdy slámou obilní předplodiny (mělké zpracování půdy). Záznam pokrývnosti půdy v letech 2010 a 2012.



Obr. 90: Cílený řádkový výsev mezplodiny na Statku Bureš pro jarní výsev cukrové řepy do nezpracované půdy. V budoucím řádku cukrové řepy je vyseta pohanka obecná, ve středu budoucího meziřádku melioračně fungující a obtížně vymrzající ředkev olejná a mezi těmito plodinami je vždy řádek hořčice bílé (Brant a kol., 2019d).

řádku kukuřice seté rozdílným mulčem (bílá barva). Dané metody umožňují jednoznačnou kvantifikaci procenta pokryvnosti půdy.

V souvislosti s rozvojem technologií využití pomocných plodin a meziplodin se rozvíjejí i precizní systémy jejich zakládání (Brant a kol., 2019). Případné negativní působení pomocných plodin a meziplodin je eliminováno cílenými výsevy těchto plodin mimo budoucí řádky hlavní plodiny, zde se jedná jak o pásové výsevy meziplodin (Brant a kol., 2019b, c), tak o systémy setí do živého či čerstvě umrtveného mulče. Další možností uplatnění principů precizního zemědělství je cílený výsev vymrzajících meziplodin ve vztahu k budoucímu řádku hlavní plodiny (Brant a kol., 2019d, obr. 90).

Regulace plevelů v precizním zemědělství (Hamouz, Kroulík a Brant)

Cílené metody regulace plevelů vycházejí v rámci principů precizního zemědělství ze znalosti lokalizace výskytu plevelných druhů nebo ze znalosti souřadnic růstu kulturní plodiny. Informace o výskytu plevelů v rámci půdního bloku na základě jejich monitoringu rozdílnými senzory jsou využívány především v rámci chemické ochrany rostlin. Přesná znalost výskytu ohniska plevelů či jednotlivých rostlin je primární informace pro následnou práci postřikovače z hlediska aplikace postřikové jichy na místo jejich výskytu. Opomenout nelze ani systémy umožňující druhovou identifikaci plevelů, která umožňuje cílený zásah pouze na vybrané problematické druhy, nebo využití znalosti druhového spektra pro volbu vhodného herbicidu s požadovanou účinnou látkou na konkrétní plevelný druh (obr. 91). Lokalizaci výskytu plevelů či specifikaci jejich souřadnic v kombinaci s determinací rostlinného druhu lze provést rozdílnými metodami a v různém časovém období ve vztahu k aplikaci (před aplikací nebo přímo po aplikaci).

Mechanické způsoby cílené regulace plevelů v precizním zemědělství využívají nejen systémy detekce přítomnosti plevelů na půdním bloku, ale pracují i s menšími částmi půdního bloku ve vztahu ke struktuře porostu, především s přítomností plevele v meziřádku hlavní plodiny. Cílená regulace plevelných rostlin v meziřádku vychází poté z principu



Obr. 91: Ověřovány jsou systémy umožňující cílenou aplikaci rozdílných účinných látek (foto Brant).

sledování výskytu plevelů v meziřádku, kdy detekce přítomnosti plevele je spouštěcím signálem pro práci pracovního nástroje určeného pro odstranění plevelné rostliny. Další možností je znalost souřadnic hlavní plodiny, která umožňuje cílenou mechanickou kultivaci plevelů i v meziřádku. Určitým zjednodušením je přesné založení porostů, které zajistí přesné rozmístění rostlin do průsečíků linií řádků. Znalost pozice těchto linií ve vztahu k souřadnicím půdního bloku umožní mechanickou kultivaci porostů ve dvou směrech jejich orientace, což zajistí efektivní kultivaci v liniích určujících směr meziřádků hlavní plodiny, tak při druhém přejezdu mezi rostlinami v řádcích (obr. 92). Dominantní postavení mají mechanické systémy precizní regulace plevelů především v širokořádkových plodinách.



Obr. 92: Přesné založení porostů, které zajistí přesné rozmístění rostlin do průsečíků linií řádků a následnou kultivaci porostů v meziřádku a v řádku plodiny (zdroj: Kverneland Group, Systém GEOSEED).

Způsob regulace plevelných rostlin určuje podmínky pro přesný pohyb aplikační techniky či strojů pro mechanickou regulaci. Pohyb klasických postřikovačů na půdním bloku (ošetření celého půdního bloku) je podmíněn způsobem aplikace ve vztahu k termínu jejího provedení. U aplikací mimo vegetační dobu hlavní plodiny (regulace plevelů před a po sklizni porostu) se jedná o specifikaci linií jednotlivých jízd postřikovače ve vztahu k tvaru půdního bloku nebo budoucích trajektorií jízd pásových kypřičů, secích strojů apod. Pro postemergentní aplikace herbicidů, včetně desikací před sklizní, lze využít opět přesně stanovených optimalizací pohybu po stanovených liniích secího stroje, nebo využít systémy kolejových řádků. Při využití systémů detekce výskytu plevelů před aplikací herbicidu se může jednat o pohyb postřikovače pouze po vybraných liniích, které umožní lokální zásahy jen na požadovaných částech půdního bloku s výskytem plevelů. Aplikační schéma při aplikaci herbicidů je třeba navrhnout tak, aby přesně korespondovalo s kolejovými řádky postřikovače, tedy aby jednotlivé sekce postřikového rámu přesně pokrývaly aplikační buňky. Pokrytí pozemku aplikačními buňkami



Obr. 93: Pásová aplikace herbicidu na dvojrádek rostlin ozimé řepky se současnou meziřádkovou kultivací meziřádku s využitím optické navigace plečky (foto Brant).

lze navrhnout v některém z GIS programů. K tomu je nezbytné zaměřit hranice pozemku s chybou pokud možno menší než 0,5 m (Hamouz, 2014).

Pásové preemergentní aplikace herbicidů (aplikace na řádek hlavní plodiny, meziřádková aplikace) jsou vázány většinou na linie pohybu secího stroje s případnou korekcí linií ve vztahu k záběrům použitých strojů. Základem těchto systémů je požadavek na vysokou přesnost navigačních systémů. Přesnost navigačních systémů zároveň rozhoduje i o způsobu pohybu strojů pro pásovou aplikaci při použití postemergentních herbicidů. Z důvodu možných odchylek od stanovených linií při seti se uplatňují především systémy optické navigace strojů monitorující řádky plodiny. Pro pásovou aplikaci jsou využívány především stroje pro mechanickou kultivaci širokořádkových plodin, vybavené systémy pásové aplikace kapalných látek (obr. 93). Pásovou aplikaci herbicidů lze využít i při výsevu. Zde se jedná o cílenou aplikaci herbicidu do řádku či meziřádku hlavní plodiny. Pohyb pracovní soupravy je zde určován liniemi pohybu secího stroje. Tento způsob zajišťuje přesnou aplikaci herbicidu ve vztahu k řádku vyseté plodiny (obr. 94).



Obr. 94: Cílená pásová aplikace herbicidu na řádek vyseté plodiny při výsevu (foto Šmöger).

Dalším způsobem určujícím řízený pohyb strojů při rozdílných systémech precizní regulace plevelů je systém využití kolejových řádků odpovídajících rozchodu kol nosiče aplikačních systémů či pracovních nástrojů. Kola jsou umístěna po stranách tažného prostředku a agregovaného stroje nebo nosiče nástrojů (většinou využívajícího autonomní pohyb). Dominantní využití má systém především u rozdílných robotických platform pro mechanickou kultivaci při menších výměrách osetých či osázených ploch (obr. 95).

Tyto postupy vycházejí z využití kolejových řádků, které slouží pro návazné využití pohybu stroje pro jednu kolejovou stopu při jízdě tam a následně zpět. Systém je především využíván při uplatnění robotických platform pro mechanickou kultivaci při menších



Obr. 95: Rozdílné robotické platformy využívají systém pohybu v kolejových stopách tvořící hranice mezi obhospodařovanými plochami (foto Brant).



Obr. 96: Robot Naio Dino (foto Kroulík).



Obr. 97: Platforma Oz určená pro práci v omezených prostorách a menších výměřích. Snímek byl pořízen během soutěžního klání (foto Kroulík).

výměřích osetých či osázených ploch (obr. 96). Komerčně dostupnými jsou dnes roboti společnosti Naio. U nasazení platform se počítá především s kultivačními pracemi. Na obrázku 96 je představen robot Naio Dino. Tato platforma původně řešila kultivaci v řádku. Nyní je již vybavována kamerovými systémy a společně s pokročilými algoritmy dokáže identifikovat kulturní rostliny, především saláty, a zajistit mechanickou regulaci plevelů v řádku. Kamerový systém každopádně poskytuje řadu dalších informací, jako je mapa výskytu plevelných rostlin, počet rostlin, růstová fáze nebo termín odhadu sklizně. Oproti dále představeným systémům tato koncepce spouští plecí nože pouze při detekci plevelných rostlin. Výhodou popsaného řešení je také on-line práce s daty a řízení zásahu. Pro práci v omezených prostorách je možné využívat platformu Oz (obr. 97). Ve vinicích nebo speciálních plodinách se uplatní například platforma TED (obr. 98).



Obr. 98: Platforma TED určená pro práci ve vinicích (foto Kroulík).



Obr. 99: Předváděcí akce společnosti Leading Farmers a.s. a představení robota Agroboti Roboti (foto Kroulík).

V roce 2018 byla společností LeadingFarmers a.s. v České republice představena robotická platforma AgrobotiRobotti (obr. 99). Koncepce je založena na dvou motorových jednot-

kách, které jsou spojeny nosnou trubkou. Na té je umístěn standardní třibodový závěs pro připojení běžného zemědělského nářadí. V roce 2019 byly autonomně zasety první plochy.

Nasazení každého nového stroje vyvolává pokaždé mnoho otázek - jeho pořízení, způsobení se specifickému prostředí, jeho ziskovost, dlouhodobá účinnost apod. To platí o to více, když je tento stroj robot. Řádná příprava a schopnost vypořádat se se změnami jsou klíčovými faktory, pro jeho úspěšné nasazení. Je proto nutné připravit farmu ... a sebe! Ačkoli robotika patří mezi řešení pro budoucnost zemědělství, tyto technologie se dosud v profesionální sféře často nepoužívají. Při prezentacích a výstavách tak odborníci využívají zpětnou vazbu od zemědělců. S nasazením robotů však přichází nové výzvy a omezení. V současné době se začínají řešit samotná legislativní opatření pro nasazení robotů. Rovněž otázka zabezpečení dat je aktuálním předmětem při nástupu nových technologií.

Chemická regulace plevelů

Cílená regulace zaplevelení při použití konvenčních postřikovačů vychází ze zohlednění výskytu plevelů na konkrétních částech pozemku. V rámci přístupu k míře regulace plevelů se jedná o systémy vycházející z principu regulace všech plevelů, nebo zohledňující práh škodlivosti. Systémy pracující s parametry prahu škodlivosti lze považovat za efektivnější jak z agronomického, tak ekologického hlediska. Regulační zásah proti plevelům je poté uskutečněn pouze v těch částech pozemku, kde výskyt plevelů překračuje práh škodlivosti (Sökefeld a kol., 2000; Gerhards a kol., 2000). Tím je možné dosáhnout významné úspory herbicidu (Hamouz a kol., 2013), omezit ekologickou zátěž prostředí, a v některých případech také omezit herbicidní poškození plodiny (Gerhards a kol., 2012). V ošetřovaných částech pozemku může být intenzita regulačního zásahu jednotná, nebo může dále zohledňovat hustotu zaplevelení. V případě aplikace herbicidů bývá například regulována dávka přípravku dle aktuální hustoty zaplevelení. Použití těchto metod však předpokládá, že je na dostatečně podrobné úrovni zmapováno zaplevelení pozemku (Hamouz a kol., 2014).

Technická řešení postřikovačů využitelných pro precizní regulace plevelů lze rozlišit na:

- Postřikovače umožňující aplikaci jedné postřikové kapaliny

Jedná se o standardní postřikovače s možností automatického ovládní jednotlivých sekcí nebo trysek v kombinaci s navigačním systémem. Tato technika umožní rychlé otevírání a uzavírání sekcí postřikovače na základě aplikační mapy bez nutnosti další investice. Nevýhodou však je, že není možné měnit dávkování v závislosti na intenzitě výskytu plevelů a není možné aplikovat nezávisle více herbicidních látek. V případě potřeby aplikace více přípravků je tedy nutné uskutečnit jejich aplikaci samostatně (opakovaným přejezdem pozemku) nebo použít tank-mix více přípravků.

- Postřikovače umožňující aplikaci více postřikových kapalin

Umožňují aplikaci více pesticidních látek, jedná se o aplikační systémy obsahující více hydraulických okruhů včetně samostatných nádrží na postřikovou kapalinu. Gerhards a Oebel (2006) vyvinuli postřikovač pro nezávislou aplikaci tří postřikových kapalin. Tento

počet je pro běžné praktické použití dostačující a oproti standardním postřikovačům zajistí úsporu času i provozních nákladů. Na druhou stranu lze předpokládat výrazně vyšší cenu stroje a kvůli složitějšímu technickému řešení také jeho vyšší poruchovost.

- Přímá injektáž pesticidních přípravků

Systémy přímé injektáže představují technicky pokročilé řešení, kde k mísení pesticidního přípravku s nosičem (vodou) dochází až v průběhu aplikace. Přípravky jsou čerpány obvykle přímo z původních obalů a dávkování přípravku je zajištěno pomocí mikročerpadel nebo elektromagnetických ventilů. Jednoznačnou výhodou tohoto systému je, že v nádrži postřikovače je pouze voda a po ukončení aplikace nezůstávají zbytky postřikové jichy v nádrži. Nespotřebované pesticidy zůstávají v původních obalech, které je možné uzavřít a přípravky uložit do skladu k pozdější spotřebě. Další významnou výhodou je možnost změny dávky jednotlivých přípravků v průběhu aplikace, přičemž počet aplikovaných přípravků je kromě jejich mísitelnosti omezen jen počtem dávkovacích mikročerpadel. Hlavním nedostatkem, který v současné době limituje použití těchto systémů je zpoždění skutečné aplikace přípravku oproti signálu k aplikaci. Toto zpoždění je způsobeno zejména nutností dopravy namíchané postřikové jichy k aplikačním tryskám. Při injektáži přípravků do hlavního potrubí může zpoždění aplikace činit i několik desítek vteřin. Při běžné pracovní rychlosti postřikovače tak prostorová chyba aplikace může být vyšší než 100 m. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny systémy, u nichž je injektáž realizována v rámci jednotlivých sekcí postřikového rámu nebo dokonce k jednotlivým tryskám. Jejich značná složitost a vysoká cena však zatím brání praktickému využití při variabilní aplikaci pesticidů (Hamouz, 2014).

Pásové systémy aplikace pesticidů jsou v současné době dominantně prováděny souběžně při různých pracovních operacích (setí a mechanická kultivace), nebo se v praxi můžeme setkat s jednoduchými konstrukcemi vyrobenými svépomocí zemědělských subjektů s omezeným pracovním záběrem (většinou se šířkou 6–8 m). Především při meziřádkové aplikaci herbicidu lze vycházet z map zaplevelení, nebo z detekce přítomnosti plevelů přímo při aplikaci. Principy precizního zemědělství jsou u pásových aplikací většinou využívány pro přesnou navigaci strojů a úspora herbicidu při pásové aplikaci řádku plodiny je dána poměrem velikosti aplikované plochy k ploše půdního bloku (pohybovat se může v rozmezí 40 až 60 %).

Cílené mechanické způsoby regulace

Další úroveň mechanické regulace plevelů vychází většinou z aktuálního monitoringu výskytu plevelů v meziřádku, kdy detekce plevele v meziřádku je signálem pro spuštění mechanického systému robotické plečky (obr. 100) nebo robotické autonomní platformy. V uvedeném případě se využívá kamerového systému pro detekci hlavní plodiny. Pracovní nástroje plečky pro kultivaci půdy v řádku jsou aktivně ovládány a v případě, že je kamerou zaznamenána kulturní rostlina, jsou tyto nástroje vychýleny nebo odkloněny (obr. 101). Součástí osazení je tak přísvis, který umožní práci během celého dne.



Obr. 100: Robotické plečky představují současný trend v mechanické regulaci plevelů v systémech precizního zemědělství (foto Brant).



Obr. 101: Detail pracovních nástrojů pleček pro cílenou kultivaci v řádku (foto Kroulík).

Sběr agronomických dat

Náklady spojené s pořizováním a aktualizací dat představují významnou část nákladů na zavedení systému operativního řízení rostlinné výroby. Automatizace řízení agrotechnických opatření na úrovni jednotlivých pozemků je podmíněna existencí adekvátního expertního systému, jehož intelektuálním jádrem jsou růstové a výnosové modely ošetřovaných zemědělských plodin. "Pohonem" těchto modelů by se měla stát průzkumová data propojená s meteorologickými a agronomickými údaji. K výkonu této funkce musí veškerá použitelná data splňovat základní požadavky - pohotovost a prostorovou rozlišovací schopnost.

Obecně pro načasování termínu zásahu je důležitá krátká reakční doba, kterou máme od zjištění požadavku do provedení zásahu. Zatímco u herbicidů máme možnou optimální operativní dobu 4 až 6 dnů, u škůdců a chorob mohou být rozhodující jen 2 dny.

Podobně má na užitečnost dat vliv opakování jejich sběru. Optimálním stavem pro řízení agronomických aktivit by byl kontinuální každodenní průzkum, neboť po delší periodě než 2 až 3 dny jejich aplikační užitečnost pro posuzování zdravotního stavu a škůdců klesá o více než 50 %. Stav zaplevelení je nutno znát krátce před provedením aplikace nebo přímo v době aplikace (Soukup, 2000).

Třetím významným parametrem u průzkumových dat je jejich prostorová rozlišovací schopnost. Většina produkčních ploch jsou monokultury. Zkušenosti ukazují, že u nich na pozemcích vykazujících relativně stejnorodé půdní podmínky si vystačíme s rozlišovací schopností průzkumových dat na úrovni 5 m. Na méně stejnorodých pozemcích nebo pro zjišťování heterogenity (např. výskytu plevelů) se může uplatnit i rozlišovací schopnost adekvátně vyšší.

Mapování výskytu plevelů

Jak ukazují řady studií, je mnoho plevelů rozloženo v porostu nerovnoměrně, ale ohniska jsou relativně stabilní v rámci sezóny i mezi sezónami (Godwin a Miller, 2003; Krohmann a kol., 2002; Werner a Garbe, 1998). Soukup a kol. (2003) naopak upozorňují na biologické odlišnosti plodin v osevních postupech a specifické charakteristiky ročníku, které mají výrazný vliv na každoroční změny v zaplevelení. Zásadním faktorem ovlivňujícím prostorovou stabilitu výskytu plevelů jsou biologické vlastnosti jednotlivých druhů plevelů. Poměrně vysokou stabilitu lze očekávat u vytrvalých druhů, které na stanovišti udržují pomocí vegetativních rozmnožovacích orgánů. U jednoletých druhů je potom hlavním faktorem produkce semen a jejich schopnost přežívání v půdě. Druhy s dlouhověkými semeny mohou díky půdní zásobě semen na stanovišti i přes účinnou regulaci přetrvávat řadu roků. Naopak u plevelů s krátkou životností semen dochází při cílené regulaci k velmi rychlým změnám distribuce v rámci pozemku (Hamouz, 2014). V takových případech může být cílená ochrana provedena pouze na základě každoroční diagnostiky. Rovněž dochází k přesunu semen plevelů při zpracování půdy nebo sklizni (Godwin a Miller, 2003). Ohniska plevelů bývají často protažena ve směru pohybu techniky při obhospodařování pozemku (Hamouz a kol., 2003).

Pro vytvoření informace o stavu zaplevelení pozemku je z praktického hlediska důležité co nejvyšší přiblížení realitě a zároveň co nejmenší časová a finanční náročnost. Prostorovou distribuci populací plevelů v rámci pozemku je možné mapovat manuálně nebo pomocí sensorové techniky. Při manuálním mapování je zaplevelení v porostu zjišťováno pomocí rámců o známé velikosti, v nichž je hodnocen počet jednotlivých druhů plevelů nebo jejich pokryvnost. Zvláště v případě hodnocení početnosti je manuální způsob mapování poměrně časově náročný a může být efektivní jen v situacích, kdy se na pozemku nachází velmi malé množství plevelů. V takovém případě je hodnocení vzorkovaných ploch rychlé a dosažená úspora herbicidu vysoká. Rychlejší způsob mapování může být zajištěn pomocí automatizovaných metod využívajících sensorovou a výpočetní techniku (Hamouz, 2014). Alternativní metoda spočívá v cílené obchůzce zájmových ploch, které mohou být vybrány na základě vegetačních indexů získaných z dálkového průzkumu,

nebo z radiometrů osazených na strojích (Godwin a Miller, 2003). Pro všechny způsoby mapování však platí, že intenzita vzorkování musí být dostatečná, aby bylo dosaženo dostatečně spolehlivé mapy, která bude odrážet skutečný výskyt plevelů na pozemku.

Intenzita vzorkování je dána velikostí a počtem vzorkovaných ploch a souhrnně ji lze vyjádřit procentem vzorkované plochy oproti celkové ploše pozemku. Hamouz (2014) uvádí, že pokud jsou u druhů s nižší hustotou populace, jako např. svízel přítula, při vzorkování analyzována přibližně 3 % celkové plochy, korelační koeficient mezi skutečnými a naměřenými hustotami populace se pohybuje v rozmezí 0,4–0,72 a průměrná relativní chyba může dosáhnout až 86 %. Chyba vzorkování pro jednotlivá vzorkovaná místa pozemku však může být i podstatně vyšší. Pro dosažení přijatelné míry spolehlivosti map výskytu plevelů lze doporučit vzorkování 3–5 % celkové plochy pro druhy s vysokým prahem škodlivosti (např. violka rolní, rozrazil perský, hluchavky apod.). U druhů s nízkým prahem škodlivosti (např. svízel přítula, pcháč rolní) je nutné vzorkování zintenzivnit na cca 10 % celkové plochy. Hustota vzorkování je obvykle přizpůsobena velikosti aplikačních buněk.

Automatizované způsoby získávání dat

- Pozemní senzorové systémy

Systémy pro pozemní detekci plevelů lze primárně rozdělit do dvou základních skupin. První z nich jsou metody, které pomocí senzorů monitorují, zda na dané části půdního bloku nachází odpovídající množství biomasy (Hamouz, 2014). Tento faktor poté rozhoduje o otevření nebo uzavření trysky postřikovače (např. Wartenberg a Dammer, 2002). Tyto systémy vycházejí například z intenzity odrazivosti ve vybraných spektrálních pásmech a následné specifikace přítomnosti podílu zelené vegetace. Metody však neumožňují rozlišit kulturní či plevelnou rostlinu a samozřejmě tedy ani druhové spektrum plevelů. Tyto systémy představují jednoduché a relativně levné řešení využitelné například pro stanovení zaplevelení na strništi nebo v meziřádcích širokořádkových plodin. Příkladem může být systém Weed-Seeker od společnosti Trimble Inc. nebo systém AmaSpot firmy Amazone.

Druhou skupinu zastupují metody zahrnující podrobnou digitální analýzu obrazu. Ty lze využít pro odlišení kulturní a plevelné rostliny, včetně detekce druhu plevelů nebo alespoň skupiny plevelů (např. Gerhards a kol., 2000). Díky záznamu dat s jejich současnou georeferencí umožňují následnou analýzu a tvorbu map.

Objekty zachycené ve snímcích jsou extrahovány na základě spektrálních vlastností. Po extrakci obrysu jsou objekty porovnávány s databází známých tvarů a jsou přiřazovány k jednotlivým rostlinným druhům podle a tvarových charakteristik jako např. rozpětí listů, jejich plocha, poměr šířky a délky nebo úhlová funkce obvodu rostliny. Jedním z mála komerčně dostupných senzorů pro pokročilou detekci zaplevelení přímo v plodině je například kamerový systém H-sensor společnosti Agricon. Systém umožňuje rozlišit plodinu, dvouděložné plevele a trávovité plevele. Kamerové moduly mohou být umístěny přímo na rámu postřikovače a kromě vytváření mapy zaplevelení mohou být využity

i v tzv. on-line režimu, kdy rozpoznání plevelů a herbicidní aplikace probíhají v jednom kroku. Díky vlastnímu zdroji světla jsou nezávislé na okolních světelných podmínkách a umožňují zachycování snímků při pracovní rychlosti až 12 km/h.

V oblasti analýzy obrazu a strojového učení probíhá v současné době velmi rychlý vývoj. Kromě jiných výpočetních algoritmů se rozšířilo zejména využívání neuronových sítí, které napodobují funkci mozkových struktur. Neuronová síť se skládá z neuronů, které jsou uspořádány do vrstev. Mezi vrstvami jsou neurony vzájemně propojeny, předávají si signály a transformují je pomocí definovaných přenosových funkcí. Výstupní vrstva zajišťuje klasifikaci objektů. Jedním z hlavních znaků neuronových sítí a dalších algoritmů využívaných v oblasti umělé inteligence je schopnost učení. Algoritmus reaguje na nová vstupní data a operativně upravuje výstupy, čímž dochází k postupnému zpřesňování výsledku. Mezi nejúspěšnější algoritmy strojového učení patří v současné době tzv. „deep learning“. Tato metoda obvykle využívá hlubokých neuronových sítí, tedy sítí s velkým počtem vrstev. Pro analýzu obrazu se nejčastěji využívají konvoluční neuronové sítě. Zatímco jednodušších metod strojového učení je nutné předem stanovit charakteristiky, které budou použity k rozpoznání a klasifikaci objektů, systémy založené na principu deep learningu jsou schopné sami tyto charakteristiky definovat a postačuje tedy učicímu algoritmu poskytnout hrubá nestrukturovaná data (např. fotografie). Mnohvrstevná architektura sítí umožňuje data analyzovat v mnoha krocích, kdy jsou z dat postupně extrahovány charakteristiky vyšších úrovní, které jsou nakonec využity ke klasifikaci objektů. Deep learning modely mohou dosahovat vysoké přesnosti, pro odhad parametrů sítí (trénování) však vyžadují velké množství dat, které se obvykle pohybuje v řádech desítek tisíců či statisíců vzorků.

Pokročilé metody umělé inteligence jsou stále častěji využívány i pro detekci plevelů, praktické nasazení je zatím omezené. Např. Dyrmann et al. 2016 využili konvoluční neuronové sítě pro rozpoznání jednotlivých druhů plevelů a vybraných plodin ve snímcích zachycených RGB kamerou. Přesnost klasifikace vytvořené neuronové sítě dosáhla v průměru 86 %. Přestože s jedná o dobrý výsledek, pro spolehlivou detekci a následnou regulaci zaplevelení je třeba dosáhnout ještě vyšší přesnosti. Problematické jsou případy, kdy rostlinné druhy vykazují tvarovou podobnost a zejména pak situace, kdy dochází k překryvu plevelů kulturní plodinou. Z tohoto důvodu jsou systémy založené na analýze obrazu využitelné zejména v počátečních růstových fázích plodiny, kdy jsou překryvy minimální.



V poslední době dochází také k rozvoji aplikací pro mobilní telefony založených na bázi algoritmů strojového učení. Příkla-

Obr. 102: Aplikace pro okamžitou analýzu fotografií k identifikaci a lokalizaci plevelných rostlin (zdroj: Xarvio).



Obr. 103: Robotická platforma Ecorobotix a detail ramene s aplikační hlavou (foto Kroulík).

dem mohou být aplikace společnosti Xarvio (Obr. 102). Tyto aplikace neslouží pro přímou regulaci zaplevelení, ale spíše jako podpůrný prostředek pro agronomy a další pracovníky zabývající se regulací zaplevelení.

Koncepce robotické platformy Ekorobotix (obr. 103) je určena pro cílenou aplikaci herbicidů v širokořádkových plodinách. Jedná se o robotický systém pro detekci a cílenou likvidaci plevelů. Pro obdobné robotické platformy se dále vyvíjí systémy pro cílenou mechanickou likvidaci například v podobě trnu, který zatlačuje jednotlivé plevelné rostliny, nebo pro aplikaci horké vody, případně oleje. Byly rovněž představeny metody spálení laserem po předchozím cíleném zaměření a lokalizaci plevelné rostliny.

- Dálkový průzkum

Většina metod dálkového průzkumu využívá pro detekci vegetace oblast elektromagnetického spektra v rozmezí od 400 do 2500 nm. Významné rozdíly ve spektrální odrazivosti vegetace a půdy lze nalézt zejména v červeném a NIR pásmu (Hamouz, 2014). V případě dálkového průzkumu bývá obvykle snímkována celá plocha pozemku a odpadá tedy riziko nedostatečné intenzity vzorkování. Hlavním faktorem, který určuje použitelnost dálkového průzkumu pro detekci plevelů, je v tomto případě prostorové a spektrální rozlišení získaných dat. Dálkový průzkum má v současné době pro monitoring zaplevelení zatím jen malý význam. Rozlišení satelitních snímků není dostačující k tomu, aby bylo schopné zachytit plevele v časných růstových fázích. Kromě toho může oblačnost znemožnit získání vhodných snímků. Monitoring pomocí letadla či vrtulníku je pro své vyšší rozlišení a relativně nižší náklady vhodnější. Pro detekci plevelů v současné době představují značný potenciál zejména bezpilotní letecké platformy, a to zejména díky nízkým provozním nákladům, malé letové výšce a tím možnosti dosažení vysokého rozlišení snímků.

Pro identifikaci ohnisek plevelů na základě spektrálních vlastností jsou obvykle využívány tzv. vegetační indexy, tedy matematické kombinace hodnot odrazivosti v jednotlivých spektrálních pásmech. Jedním z nejběžnějších vegetačních indexů je NDVI (Normalized Difference

Vegetation Index) (Ashley a Rea, 1975), později však byly vytvořeny nové indexy omezující vliv půdy na spektrální odezvu porostu (např. Huete, 1988; Qi a kol., 1994).

Ukázkou výstupu z dálkového průzkumu Země je monitoring ohnisek pcháče rolního a pýru plazivého v porostech cukrové řepy (vegetační fáze 4 pravých listů). Fotografie byla pořízena v měřítku 1 : 5000. Snímky byly pořízeny během pilotovaného letu profesionální technikou. Jak je níže uvedeno, v současné době se pro mnohé účely využívá operativní bezpilotní prostředek. Celková výměra pozemku byla 17,5 ha. Snímek byl pořízen v pravých barvách. I když na fotografii zatím nejsou patrné řádky cukrovky, je možné odhalit ohniska plevelů. Ta byla oddělena při řízené klasifikaci snímku (obr. 104).

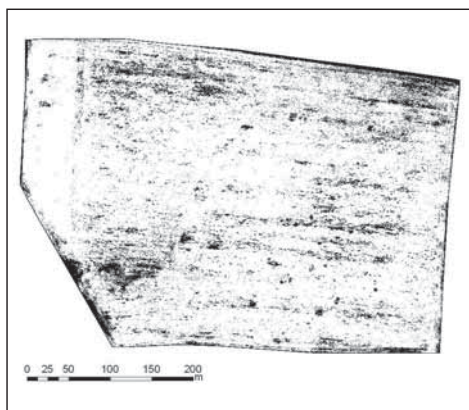
Plevelná ohniska zaujímají 12 % plochy (2,1 ha) pozemku. Ze snímku však není možné rozdělit plevele do jednotlivých druhů (obr. 105). Také rozložení ohnisek pokrývá téměř celý pozemek. Přestože se na pozemku rozsáhlejší plochy bez zaplevelení nevyskytují, potvrdila se skutečnost o ohniskovém výskytu plevelů. Snímek přinesl také jiné poznatky. Na větším pozemku je dobře patrné původní říční rameno, které vedlo přes stávající pozemek před regulací toku. Na menším, svažitém pozemku s jarní obilninou jsou patrné známky vodní eroze půdy. Postupující erozní procesy nezastavil ani biopás vedený po vrstevnici.

Snímek porostu ozimé pšenice s výskytem pýru plazivého (obr. 106) byl pořízen před sklizní v červenci na spektrozónální film. Je zobrazen v nepravých barvách. Měřítko bylo rovněž 1 : 5000.

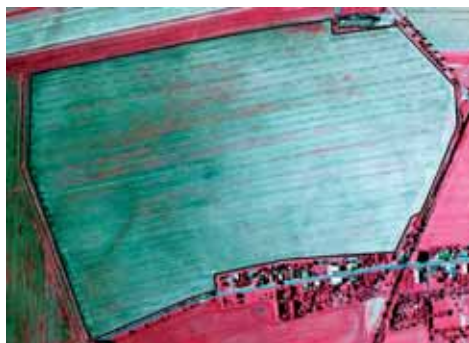
Zelená barva v tomto případě zobrazuje zralý porost pšenice ozimé na konci vegetačního období. Rozdílný odstín zelené je dán rozdílnou zralostí porostu. Levá část pozemku vykazovala vlhké půdy. Porost v důsledku lepšího příjmu živin dozrával později a na sním-



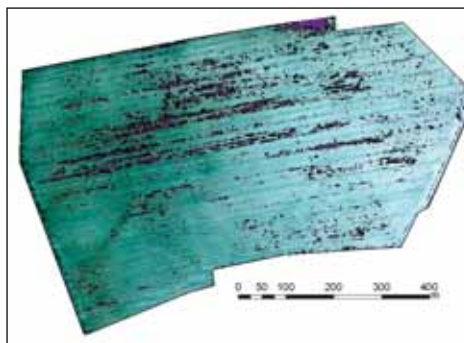
Obr. 104: Letecká fotografie pozemku s cukrovkou (velký pozemek) a jarní obilninou (malý pozemek), (foto Kovaříček).



Obr. 105: Ohniska plevelů oddělená řízenou klasifikací snímku.



Obr. 106: Letecká fotografie pozemku s pšenící (foto Kovaříček).



Obr. 107: Ohniska plevelů oddělená pomocí řízené klasifikace snímku.

ku je tedy tmavší. Plochy zelené vegetace se v tomto případě jeví jako červené. Této vlastnosti se dalo využít při identifikaci ploch zaplevelených pýrem plazivým. K vyznačení ohnisek pýru plazivého byla rovněž použita řízená klasifikace. Výsledek je na obrázku 107. Z celkové výměry pozemku (43 ha) byl pýr rozšířen na 4,5 % (1,9 ha) plochy.

Podpůrné systémy pro zajištění požadované kvality aplikace pesticidů

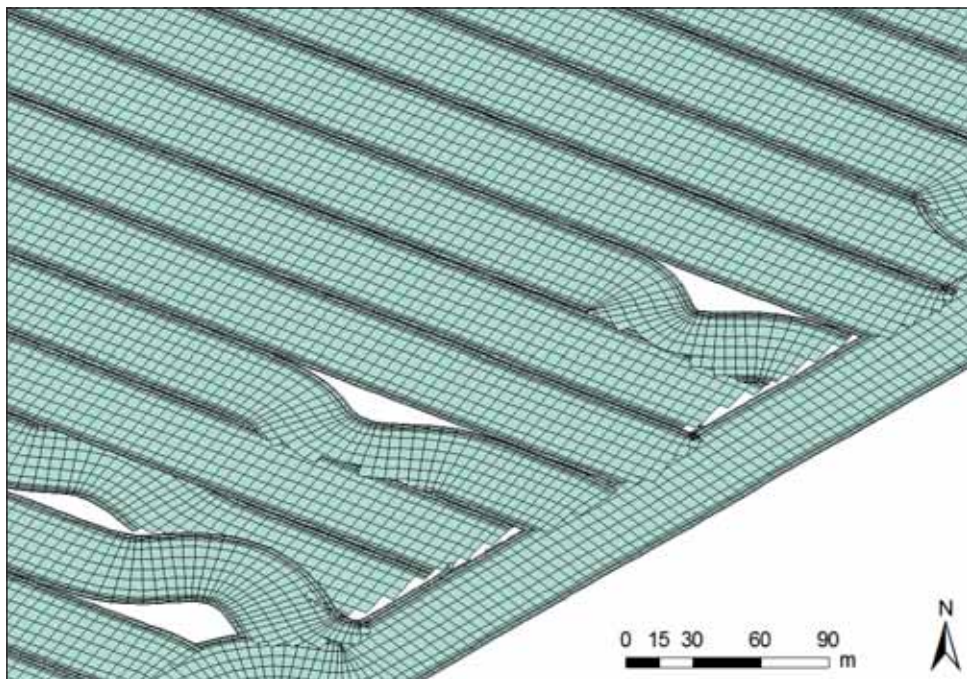
V současné době je ochrana plodin a hnojení kapalných hnojiv realizováno moderními postřikovači, které zajišťují přesnou a cílenou ochranu a aplikaci přípravků. Do řízení a ovládání strojů stále více zasahují autonomní prvky. Ty mohou v konečném důsledku přinést výrazné úspory. Zavádění autonomie je tedy jednoznačným trendem. K naplňování uvedených požadavků výrazně přispívá také technická výbava stroje. K té patří možnost ovládání, resp. vypínání a zapínání jednotlivých sekcí, stále častěji trysek, možnost variabilních aplikací, plánování jízd, přesný záznam práce, telematika a pochopitelně konstrukční řešení postřikového rámu. Na druhou stranu jsou stále provozovány starší typy postřikovačů s omezenými možnostmi využití moderních prvků a technologií, jako je variabilní řízení dávek postřiku, vypínání jednotlivých sekcí a především nastavení a udržení postřikového rámu nad porostem v požadované minimální vzdálenosti.

S ohledem na tvar pozemku je potřeba vyzdvihnout další fakt. S nepravidelnými tvary pozemků nebo zakřivenými stranami pozemků narůstá počet přejezdů, otoček, překryvů, přesévání nebo vynechávek. I minimální zakřivení strany pozemku je zdrojem opakovaných přejezdů. V našich podmínkách platí, že pozemky, kde nejsou dvě protilehlé strany rovnoběžné, můžeme považovat za standard. V případě manuálního ovládání aplikační techniky výrazně narůstají překryvy a opakované ošetření ploch. S navyšováním ošetřených ploch, a tím i množství přípravků nebo hnojiv, je dalším negativním dopadem, včetně nárůstu rizika poškození porostu vlivem nadměrné zátěže hnojivy nebo pesticidy (obr. 108).

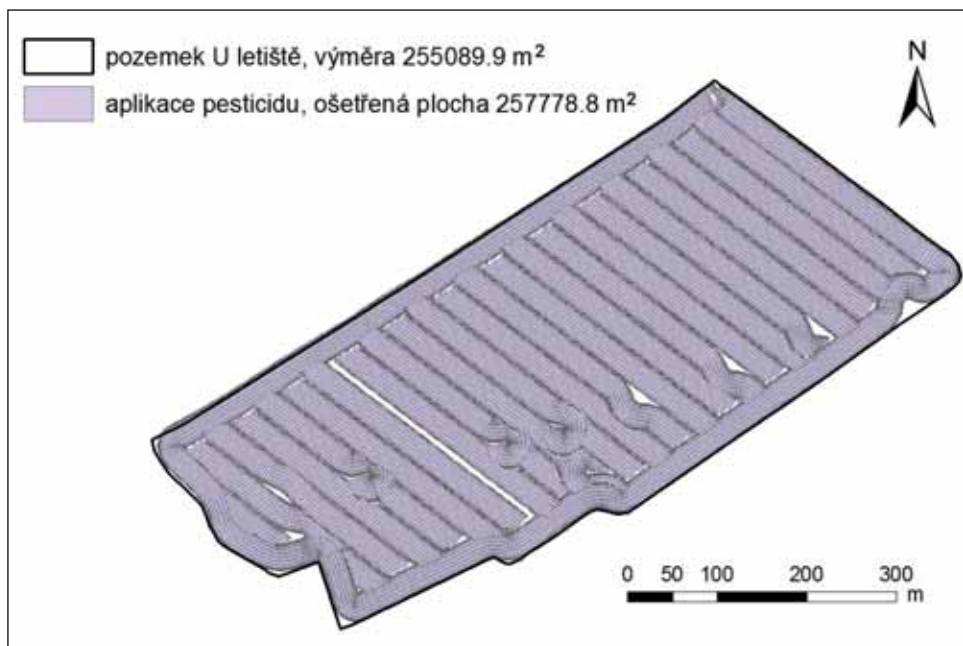
Jistým problémem je rovněž přítomnost překážek na pozemcích, nejčastěji sloupů elektrického vedení. Na obrázku 109 je patrná práce sekcí postřikovače v detailním pohle-



Obr. 108: Poškození porostu řepky ozimé vlivem nadměrné chemické zátěže (foto Jursík).



Obr. 109: Detail záznamu práce postřikovače s ukázkou ovládnání sekcí aplikačních ramen.



Obr. 110: Záznam práce postřikovače během aplikace pesticidu.

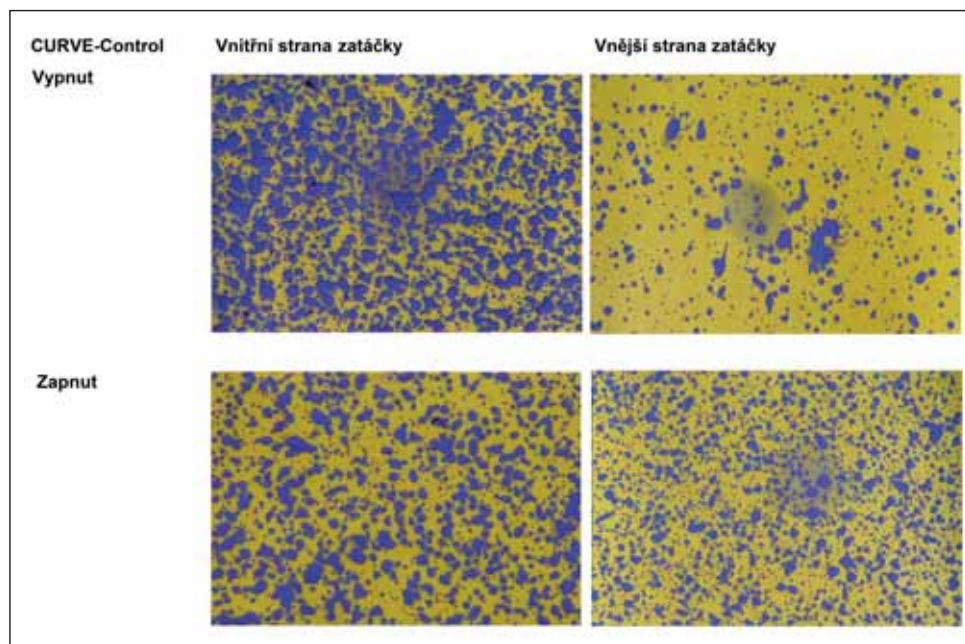
du. Na obrázku je kromě práce na souvrati patrná rovněž práce autonomního ovládní při objíždění překážek. Obrázek 110 přináší celkový pohled na práci stroje. S ohledem na technické možnosti provedení vypínání sekcí ramen je zapotřebí zmínit, že k částečnému překryvu záběrů bude vždy docházet. Při porovnání s manuálním vypínáním se však jedná o výrazné snížení opakovaně ošetřených ploch. Absence možnosti záznamu u staršího stroje neumožnila provést hodnocení výchozího stavu, nicméně na základě předchozích měření a sledování pracovních souprav lze konstatovat, že na pozemku s různoběžnými protilehlými stranami a obecné průměrné výměře pozemků 20 ha, je překryv na úrovni 6 % z výměry pozemku.

Hodnoty ošetřené plochy se pohybovaly v hodnotách 259 370,2 m² pro aplikaci herbicidu, 255 354,6 m² pro aplikaci hnojiva, 257 778,8 m² pro aplikaci fungicidu a regulátoru. To představuje navýšení hodnot plochy na 101,6 %, 100,1 % resp. 101,0 %. Celková chyba se tak v průměru pohybovala na úrovni 0,9 %. Oproti obvyklým 6 % se jedná o výrazné snížení překryvů a v konečném důsledku finančních prostředků a ekologické zátěže.

Jeden faktor se řeší stále omezeně. Při práci na souvratích nebo v zakřivených kolejových řádcích dochází k příčné nevyrovnanosti dávky. S vysokou tvarovou variabilitou pozemků, které jsou v našich podmínkách běžné, tato nerovnoměrnost výrazně narůstá. Narůstají tak plochy s nedostatečným ošetřením a rovněž zásahem nadměrným. S ohledem na požadavek střídání plodin a ochranné protierozní opatření v podobě vrstevnicového obhospodařování přibudou zakřivené trajektorie v hlavní produkční ploše. Následující obrázek 111 přináší pohled na práci postřikovače s výbavou CURVE-Control firmy Müller-Elektronik v zatáčce



Obr. 111: Ověření práce systému CURVE-Control v zatáčce o poloměru 30 m (foto Kroulík).

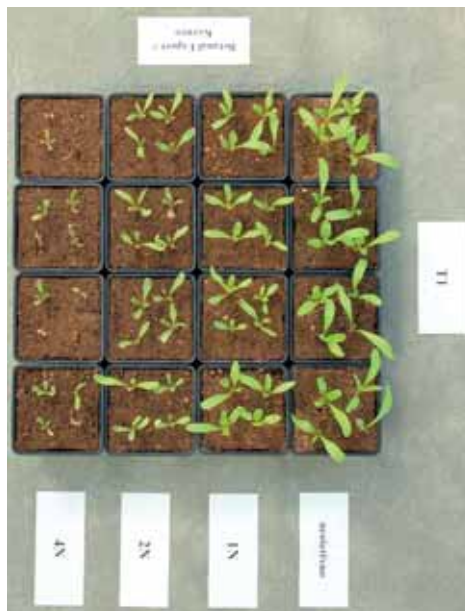


Obr. 112: Výsledek testu s aplikací CURVE-Control (foto Kroulík).

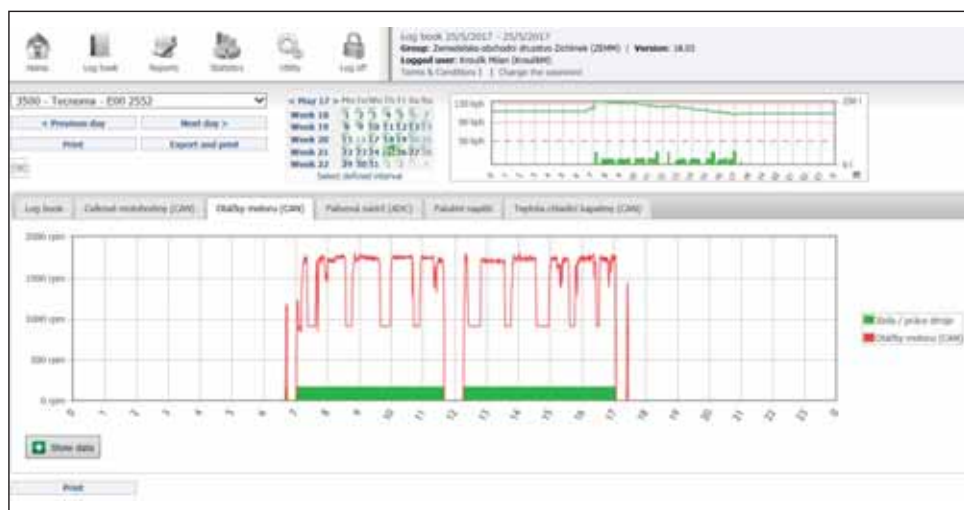
o poloměru 30 m. Na záběr stroje 36 m byly po 2 m rozmístěny vodocitlivé papíry, na kterých jsou patrné jednotlivé dopadající kapky. Rozdíly u krajních sekcí jsou patrné i bez dalších analýz (obr. 112). Opakované ošetření s sebou přináší kromě vyšších nákladů na prostředky také vyšší zátěž pro zasaženou plochu a riziko poškození rostlin (obr. 113).

Pro omezení úletu přípravků je doporučena celá řada opatření, která riziko úletu zmírňují, mohou však narážet na řadu technických omezení. Při záběru stroje 36 m vyžaduje kontrola polohy ramen výrazné snížení pracovní rychlosti, navýšení výšky rámu nad porostem a značnou zátěž na obsluhu stroje. Pro používané typy trysek na stávajícím postřikovači je doporučeno, na základě „Tabulky tříd omezení úletu - Zařízení pro polní plodiny“

z roku 2015 vydané ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský), nastavení pracovního tlaku na 600 kPa a výšky rámu nad porostem 0,5 m pro snížení úletu o 50 %. Pro 70% snížení je tlak dále snížen na 250 kPa. Důležitá je rovněž poznámka, že v případě polních plodin nelze překročit jezdovou rychlost 8 km/h a rychlost větru 3 m/s, pokud to další prováděcí předpisy neuvádějí jinak. Jedná se o opatření, která mají zamezit úletu mimo ošetřovanou plochu, především při ošetřování okrajů pozemků. I když je v odborné



Obr. 113: Vliv opakovaného nebo nadměrného ošetření (foto Hamouz).



Obr. 114: Provozní záznam postřikovače s exploatačními údaji o stroji dne 25.5.2017.



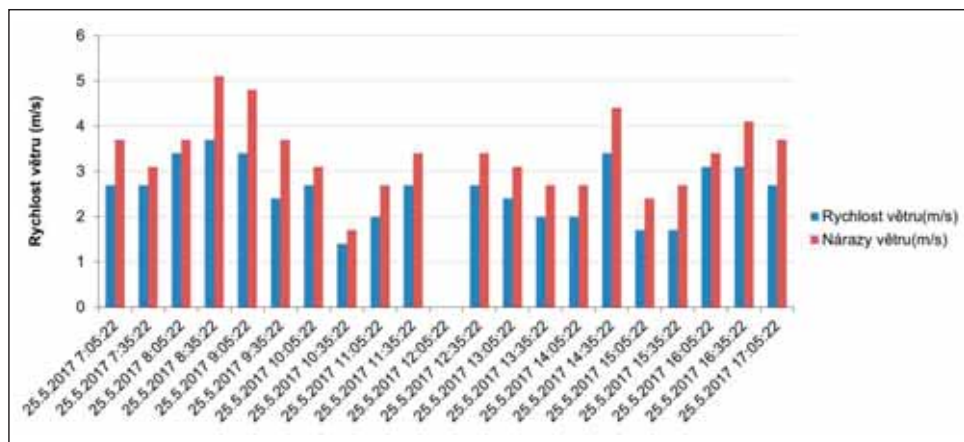
Obr. 115: Trajektorie pohybu postřikovače dne 25.5.2017.

literatuře za úlet kapek považován odnos části objemu kapaliny z postřikovače, mimo cílovou plochu prostřednictvím větru, v obecném zájmu je každopádně zamezit úletu také v rámci pozemku. Následující text přináší modelovou situaci pro reálný záznam. Ze záznamů provozu strojů vyplynulo, že se postřikovač pohyboval průměrnou rychlostí 8 km/h. Rozmezí rychlostí bylo od 5 do 12 km/h. Součástí obrazové dokumentace je ukázka záznamu během jednoho pracovního dne (obr. 114 a 115).

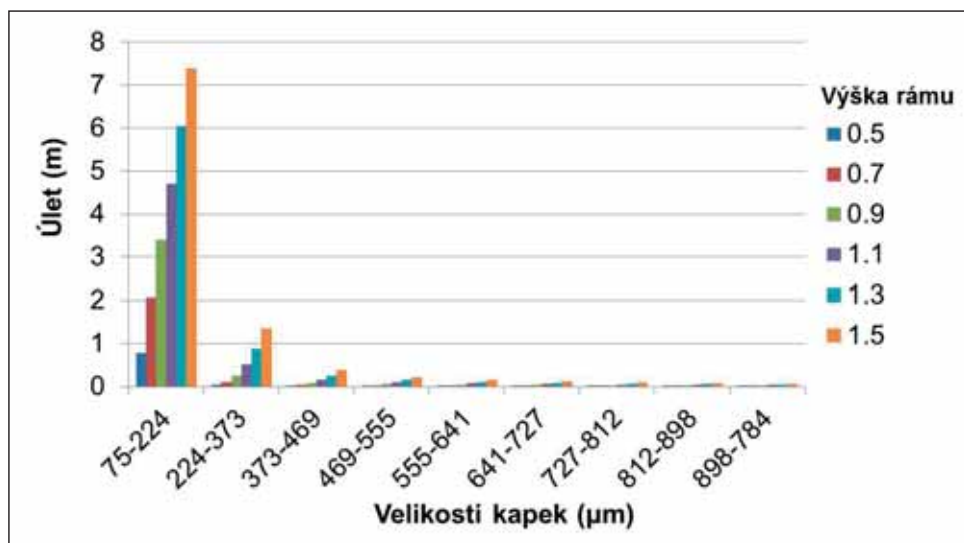
Celkově byl postřikovač nasazen v období od dubna do října 2017 celkem 90x. Jako významné limitující faktory pro dosažení požadované kvality aplikace jsou meteorologické údaje. V oblasti, kde podnik hospodaří, převládají západní, severní až severovýchodní větry. Síla větru se potom v průběhu dne mění. Data pocházejí z automatické meteorologické stanice, s kontinuálním záznamem dat po 30 min (obr. 116). Podrobné půlhodinové záznamy odhalily, že rychlost větru narůstá okolo 7. hodiny ranní. Práce s postřikovačem byla v průměru zahajována okolo 6:45 a končila 15:45 s polední přestávkou. Příkladový záznam z jednoho dne práce ukazuje změny rychlosti větru v průběhu pracovní směny. Do grafu jsou rovněž vyneseny hodnoty rychlosti nárazového větru. Průměrné hodnoty se pohybovaly okolo 2,6 m/s, resp. 3,4 m/s pro vítr nárazový s teplotou vzduchu 14 °C a relativní vlhkostí 70 %.

Z technického hlediska je klíčové dodržování doporučené výšky rámu nad povrchem půdy případně porostu 0,5 m. Na druhou stranu se vystavujeme riziku při ošetřování vzrostlého porostu, kdy kontakt rámu s porostem může znamenat, i přes technická řešení sklápění rámu při kontaktu s překážkou, závažné poškození rámu a dlouhodobější odsta-

vení stroje. Z tohoto důvodu je mimo okrajové plochy pozemku, z důvodu nerovnosti terénu, volena pracovní výška od 0,9 m až po 1,5 m. Při použití modelu DRIFTSIM (Zhu a kol., 2004) bylo možné sestavit, pro daný typ trysek a pracovní nastavení, modelové situace pro dané podmínky práce a nastavení. Při zadání rychlosti větru 3 m/s a pracovním tlaku 500 kPa byl vypočítán úlet nejmenších kapek (74 – 224 μm), při výšce rámu 0,9 m, do vzdálenosti 3,4 m (obr. 117). S výškou 1,5 m vzdálenost se úlet navýšil na 7,4 m. Kapky o velikosti 224–373 μm se dostávaly do vzdálenosti 1,4 m. Při zesílení větru na 4 m/s byla vzdálenost úletu při shodné výšce rámu 1,5 m již 9,7 m. Ke změnám rovněž dochází při změně vlhkosti vzduchu a teploty, kdy dochází současně k výparu kapek. Oproti tomu



Obr. 116: Povětrnostní podmínky během práce postřikovače (25.5.2017).



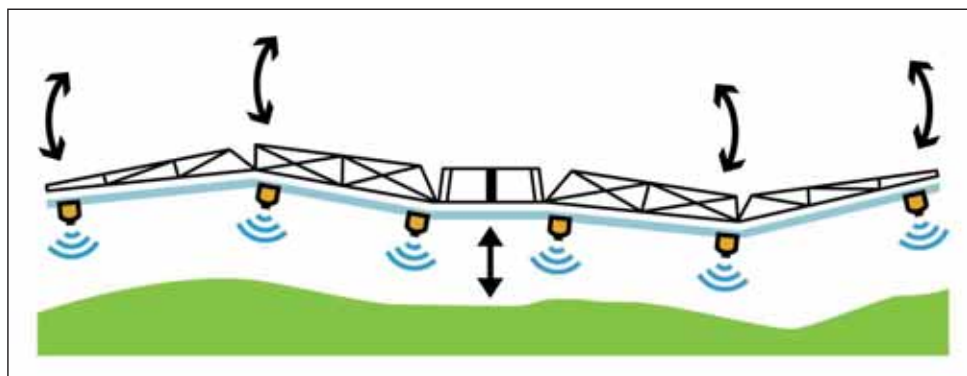
Obr. 117: Modelový výpočet úletu kapek pro používaný typ trysek při rozdílné výšce rámu. Parametry nastavení modelu: pracovní tlak 500 kPa, rychlost větru 3 m/s, teplota vzduchu 14 °C, relativní vlhkost 70 %.

doporučené nastavení rámu 0,5 m v modelové situaci výrazně eliminovalo úlet kapek na minimum. Dodržování uvedené výšky by však bylo zajištěno na úkor pracovní rychlosti a výkonnosti soupravy.

Konstrukce ramen postřikovače, a především zajištění požadované stability, patří k nejnáročnějším úkolům pro konstruktéry. Na obrázku 118 je zachycen ultrazvukový snímač pro nastavení a udržování požadované výšky nad porostem. V současné době jsou již nabízeny systémy s vícenásobnou kontrolou výšky, kdy se eliminuje vliv nevyrovnaného porostu na zaznamenaný údaj o výšce a především konstrukční řešení s děleným ovládním výšky ramen (obr. 119).



Obr. 118: Ultrazvukový snímač sloužící ke kontrole nastavení výšky aplikačního rámu (foto Kroulík).



Obr. 119: Dělené ovládní ramen zajišťují přizpůsobení terénu a stavu porostu (zdroj: Horsch).

Desikace porostu a možnosti variabilních aplikací

Na základě změny rozhodnutí o povolení přípravků na ochranu rostlin s účinnou látkou glyfosát nemohou zemědělci od 1. ledna 2019 používat přípravky s obsahem glyfosátu pro tzv. desikaci, tedy urychlení dozrávání některých plodin či zvýšení podílu sušiny porostu před sklizní, omezilo se rovněž plošné používání glyfosátu.

Ministerstvo dlouhodobě podporuje udržitelné a bezpečné používání přípravků na ochranu rostlin v rámci Integrované ochrany rostlin a Integrované produkce, podporuje rozvoj ekologického zemědělství a zavádění metod precizního zemědělství.

Předložené výsledky jsou tedy ohlednutím za možnostmi desikace porostů řepky ozimé během dozrávání. Při návrhu řešení variabilní desikace se vycházelo z předpokladu, že dozrávání porostu není vyrovnané a plošné ošetření není zcela účelné. Pro získání

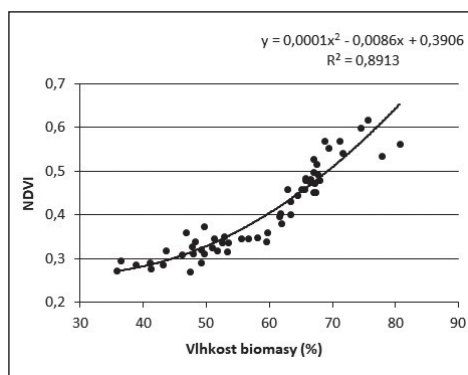
potřebných podkladů pro stanovení stupně zralosti, resp. vlhkosti porostu, byla sestavena metodika hodnocení založená na spektrálním chování porostů řepky. Prvním krokem bylo získání vztahu mezi vlhkostí porostu a vegetačními indexy porostu. V průběhu dozrávání porostu tak byly opakovaně snímkovány a odebírány vzorky porostu pro stanovení vlhkosti. V porostu řepky ozimé byly pomocí plastových desek vyznačeny vzorkovací plochy o velikosti 2 × 2 m (obr. 120). Tyto plochy byly snímkovány multispektrální kamerou Tetracam ADC Micro nesenou bezpilotním prostředkem Falcon 8. Kamera NIR (blízkého infračerveného), červeného a zeleného kanálu, které byly později pomocí kalibračních standardů přepočteny na skutečnou hodnotu reflektance. Ze získaných dat byly pro každou vzorkovanou plochu vypočteny hodnoty indexů NDVI a SAVI (Soil-adjusted vegetation Index). Na obrázku 120 je patrná monitorovaná plocha s vyznačenými odběrovými místy.



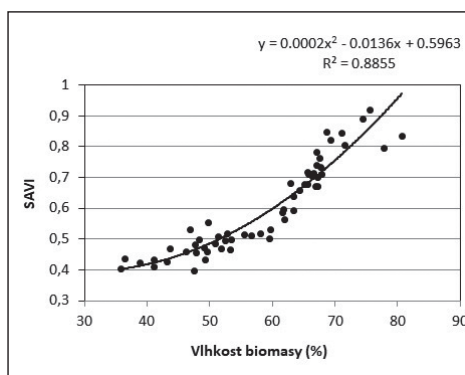
Obr. 120: Odběrová místa v porostu řepky ozimé pro získání kalibračních dat (foto Kroulík).

Bezprostředně po snímkování byla ze vzorkovacích ploch odebrána nadzemní biomasa a byla stanovena její hmotnost. Po vysušení byla pro každou vzorkovanou plochu vypočtena procentuální vlhkost biomasy. Hodnoty NDVI byly porovnány s vlhkostí odebraných vzorků a byl vytvořen graf jejich vzájemné závislosti a data byla proložena regresním modelem.

Ze získaných dat je zřejmé, že existuje těsná závislost mezi vlhkostí nadzemní biomasy řepky a hodnotami obou vegetačních indexů. Koefficient determinace činí 0,891 pro NDVI a 0,886 pro SAVI. Průběh závislosti je patrný z grafů na obrázcích 121 a 122.



Obr. 121: Závislost hodnot indexu NDVI na vlhkosti nadzemní biomasy řepky ozimé v průběhu dozrávání.



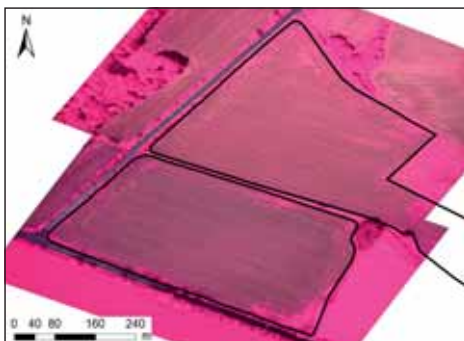
Obr. 122: Závislost hodnot indexu SAVI na vlhkosti nadzemní biomasy řepky ozimé v průběhu dozrávání.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že hodnoty obou sledovaných indexů silně korelují s vlhkostí nadzemní biomasy řepky ozimé v průběhu dozrávání a bylo by tedy možné je využít ke spolehlivé detekci stavu zralosti porostů v rámci cílené desikace.

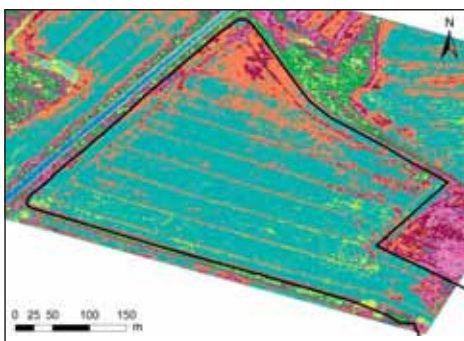
K desikaci lze využít metodu tvorby snímku zájmového území pomocí bezpilotního prostředku, který slouží k výpočtu indexu NDVI a na základě známé závislosti indexu na vlhkosti porostu následně stanovit vymezení ploch, které budou během desikace ošetřeny a které budou z ošetření vyloučeny. Na základě výsledku je tak připravena aplikační mapa a uložena do řídicího terminálu postřikovače. Obrázky 123 a 124 předkládají snímek dvou pozemků porostů řepky před chystanou desikací. Snímky jsou pořízeny v nepravých barvách.

Na základě kalibračních hodnot byly připraveny aplikační mapy pro aplikaci desikantu. Rozlišení mapy bylo upraveno pro možnosti vypínání sekcí postřikovače. Následující obrázek (obr. 125) přináší aplikační mapu, která byla vytvořena na základě snímků porostů a rozdělila pozemek na dvě aplikační zóny. Aplikace byla provedena v režimu předepsaná dávka a bez aplikace. V uvedeném případě byla aplikace provedena přípravkem Roundup.

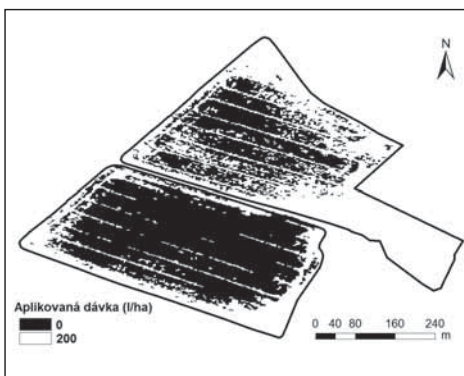
Z aplikační mapy je patrný výrazný okrajový efekt a rovněž přítomnost vodního zdroje ve východní části pozemku. Rovněž je patrné zmlazování porostů v kolejových řádcích. Pokud vyjádříme podíl ošetřené a neošetřené plochy dojdeme k následujícím závěrům. Na základě stavu zralosti bylo v případě severní části pozemku ošetřeno 48,8 % z výměry 8,15 ha a pozemek jižní byl ošetřen na ploše odpovídající části 32,2 % z výměry 7,55 ha.



Obr. 123: Snímek porostu řepky ozimé pořízen před plánovanou desikací.



Obr. 124: Pozemek řepky ozimé zobrazený v indexu NDVI.

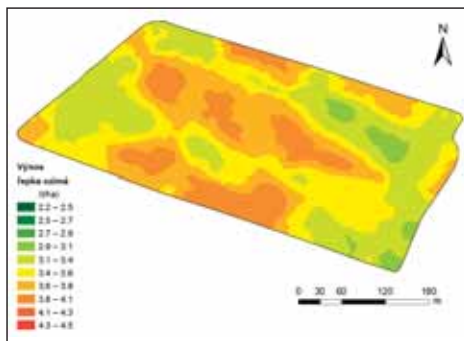


Obr. 125: Aplikační mapa pro desikaci porostů řepky.

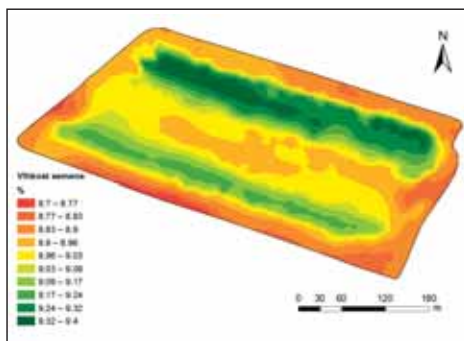
Pořízením monitoringu výnosu do sklízecích mlátiček je možné ověřovat zásahy v rámci celého pozemku. Výnosová data předkládá obrázek 126. Z hlediska dopadu aplikace desikantu je důležitá vlhkost semene. Měření vlhkosti semene řepky během sklizně dokládá, že absence desikace na 50 až 70 % plochy pozemku ve výsledku nevedlo k navýšení vlhkosti semene, resp. desikace dorovnala zralost v rámci pozemku (obrázek 127). Mezi hodnotami vlhkosti nebyly shledány statisticky významné rozdíly. Charakter plošného rozložení vlhkosti je dán především vysycháním porostu v průběhu sklizně, kdy při zahájení sklizně byla vlhkost vyšší a v průběhu dne se snižovala.

Desikace porostu a celkově aplikace chemických látek je v současné době vnímána jako citlivé ekologické téma s důrazem na maximální přesnost aplikace. Řešení variabilních zásahů jednoznačně naplňují Národní akční plán (NAP) ke snížení používání pesticidů v České republice s cílem omezení nepříznivého vlivu přípravků na ochranu rostlin na zdraví lidí a životní prostředí. Mimo ekonomický přínos je tak sledován přínos ekologický. S tímto ohledem je také možné řešit obrůstající výdrol obilniny na pozemcích po předchozí plodině. Také v tomto případě je zřejmá nevyrovnanost pokryvu (obr. 128). S použitím bezpilotního prostředku a monitoringu zájmové plochy je možné tuto variabilitu podchytit a připravit aplikační mapu. Aplikace tak může být spojena s výraznou úsporou prostředků.

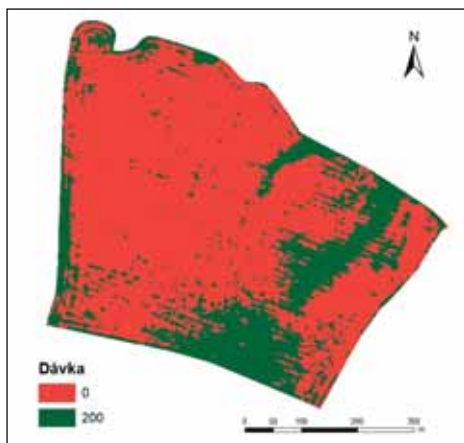
Někdy byly zmíněny bezpilotní prostředky (UAV), především v souvislosti se sběrem dat a pořizováním snímků. Jistou alternativou nebo doplňkem pro stroje na ochranu rostlin jsou bezpilotní prostředky vybavené aplikačním zařízením (obr. 129). Využití naleznou především v hůře dostupném terénu, případně v ohniskovém ošetření



Obr. 126: Výnos semene řepky ozimé.



Obr. 127: Mapa vlhkosti semene řepky během sklizně.



Obr. 128: Podkladová mapa pro chemickou regulaci výdrolu obilniny.



Obr. 129: Bezpilotní prostředek AGRAS vybavený aplikačním zařízením (foto Kroulík).



Obr. 130: Koncepte aplikačních bezpilotních prostředků a samoobslužných kontejnerů (foto Kroulík).

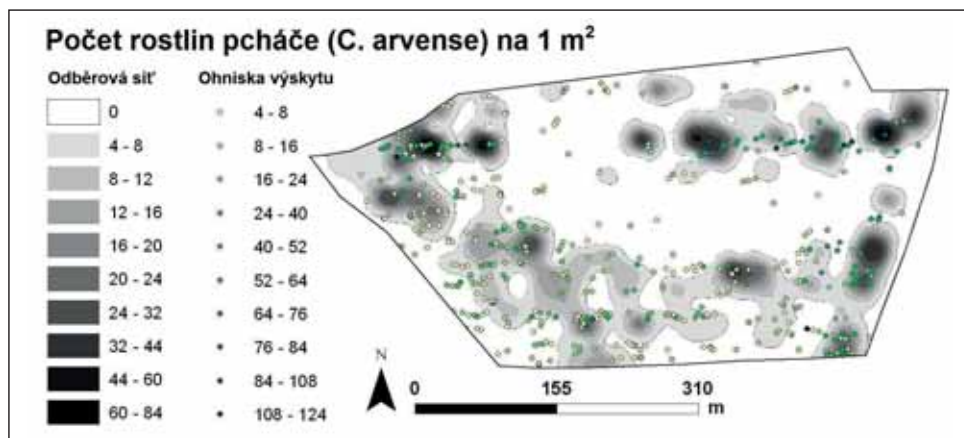
ploch. Rovněž může ošetřit příslušné partie vzrůstnějších výsadeb, které stroje pro ochranu rostlin již nedokáží spolehlivě ošetřit. V rozvojových zemích tito roboti představují náhradu za ruční ošetření, kdy dochází k intenzivnímu kontaktu člověka s používanými chemikáliemi a výraznému navyšování dávek aplikovaných přípravků.

Koncepce řešení cílených zásahů a ošetření bezpilotními prostředky, představené firmou John Deere, prezentuje ucelené řešení spojené s výměnou akumulátorů a doplňováním kapaliny v podobě samoobslužných kontejnerů (obr. 130). Kapacita akumulátorů a nosnost bezpilotního prostředku jsou jedním z limitujících faktorů. Rovněž vzhledem ke stále se zpřísnujícím pravidlům pro celkové užívání UAV, je reálné nasazení omezené.

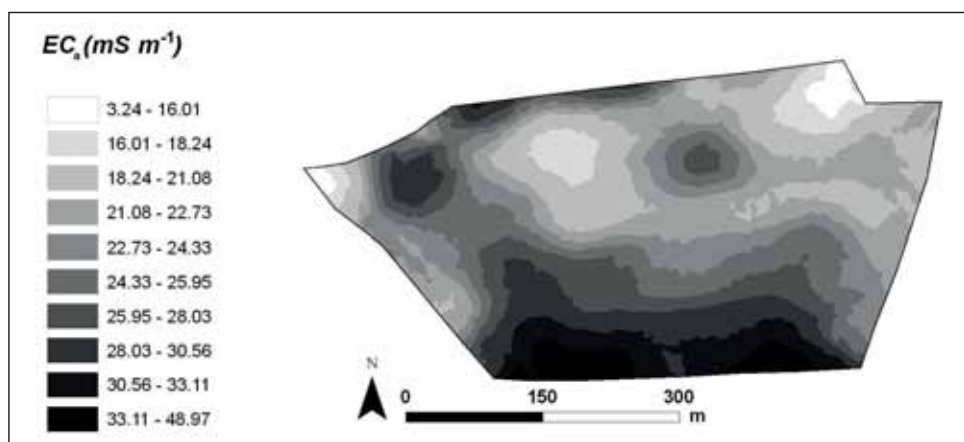
Variabilita pozemku ve vztahu k účinnosti herbicidů

Pokročilé metody rozhodování by v sobě měly zahrnovat širokou škálu vlivů. Jak uvádějí Jursík a kol. (2011), popsat a kvantifikovat chování herbicidů v prostředí je velmi složité, neboť je ovlivňováno velkým množstvím faktorů. Především je třeba uvést, že pouze malá část z celkového aplikovaného množství účinné látky herbicidu dosáhne určeného cíle a je přijata plevelnou rostlinou. Účinnost herbicidů je tak ovlivňována mnoha vnějšími faktory.

Na obrázku 131 je patrné, jak rostliny a ohniska pcháče rolního na pozemku preferují rozdílné půdní podmínky, které jsou identifikovány při měření elektrické vodivosti půdy (obr. 132). Skladba plevelného společenstva je dána konkrétními podmínkami stanoviště. Ty se samozřejmě mohou měnit v rámci pozemku. I toto je doklad nezbytnosti detailního monitoringu plevelů a možnosti úspor při variabilních aplikacích.



Obr. 131: Mapa výskytu pcháče rolního na pozemku.



Obr. 132: Mapa elektrické vodivosti půdy.

Ochrana rostlin v precizním zemědělství (Lukáš)

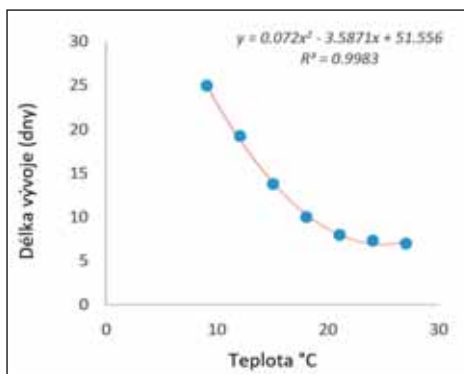
Popis heterogenity prostředí je základem precizního zemědělství. Heterogenita má složku prostorovou, časovou a faktorovou. Prostorová komponenta je spojena s umístěním v prostoru (souřadnice X, Y, Z), k jejímu zachycení slouží geopoziční systém (GPS). Variabilita faktoru je spojena s determinací příčiny, kterou může být abiotický (výživa, voda, teplota atp.) či biotický (škodlivý organismus v podobě hmyzu, plevele, viru atp.) stresor. Časová pak složka akcentuje proměnlivost výskytu, intenzity a dynamiky konkrétního faktoru v časové řadě.

Ochrana rostlin, resp. rostlinolékařství se tradičně nejlépe vyrovnává s faktorovou komponentou variability. Dokáže precizně rozlišovat původce biotických stresorů na druhotné úrovni u škodlivého hmyzu, plevelných rostlin, bakteriálních, virových i houbových

původců chorob. Pro tento účel disponuje robustní metodologií sahající na škále od molekulárních metod (ELISA), přes metody založené na chemických (feromony) či fyzikálních principech (mikroskopování, ultrazvuk, NIR).

Zároveň uspokojivě vizuálně popisuje rekce rostlinných pletiv zemědělských plodin na napadení škodlivými organismy, které zahrnují jejich morfologické i fyziologické změny. S tím souvisí i determinace rozlišování podobných reakcí vyvolaných výživovou deficiencí či nerovnováhou,

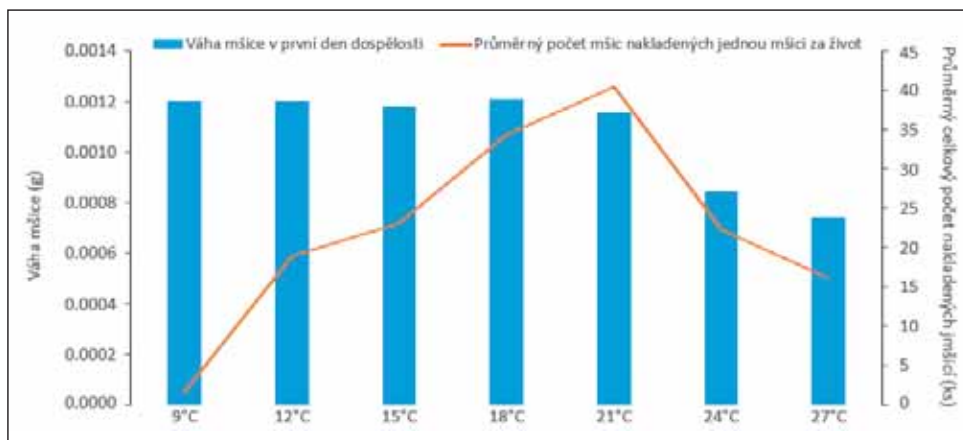
případně poškození spojená s toxicitou biocidních přípravků nebo hnojiv (fytotoxicity při aplikaci DAM). Časová komponenta je v ochraně rostlin nahlížena nejčastěji ze dvou úhlů. Prvním je dynamika faktoru v čase ve smyslu změny intenzity výskytu, druhým pak časování (timing) ochranného zásahu. Zde vstupují do hry nejen informace o bionomii a biologii konkrétních druhů, ale i abiotické faktory (teplota a vlhkost), které podmiňují výskyt konkrétních druhů, rychlost jejich vývoje či šíření. V případě škodlivého hmyzu je dominantním faktorem určujícím rychlost jejich vývoje teplota (obr. 133). Ta je využívána v tzv. teplotních modelech, které jsou schopné na základě znalosti spodních prahů vývoje (SPV) a sumy efektivních teplot (SET) u konkrétních druhů, resp. jejich vývojových stádií determinovat klíčové události (např. kladení vajíček, dobu vývoje larev, letovou aktivitu) zásadní jak pro popis časové dynamiky, tak časování ochranných zásahů.



Obr. 133: Závislost doby vývoje mšice travní na teplotě vzduchu (Skuhrovec a kol., 2019).

Například u mšice kyjatky travní je $SPV = 2.9\text{ °C}$ a $SET = 159\text{ ds}$ (denní stupně /ds/ jsou hodnoty nad SPV). SET je kumulativní součet hodnot denních stupňů nad SPV, který se vypočítá $SET_{ds} = \sum ((T_{max} + T_{min})/2 - SPV)$, kde výpočet denní teploty $T = (T_{max} + T_{min})/2$ se nejvíce blíží hodnotě 24 hodinového průměru $\sum Th/24$ za předpokladu, že $T_{min} > SPV$. Je-li $T_{min} < SPV$ počítá se efektivní teplota ET jako integrál plochy pod křivkou sinu nad SPV: $ET = [(c/2) - SPV * (\pi/2 - \theta) + ((T_{max} - T_{min})/2) * \cos(\theta)] / \pi$. Po dosažení $SET = 159\text{ ds}$ je vývoj mšic (narození-dospělost, resp. indikuje začátek kladení nové generace mšic) a tedy i model, ukončen. Problematika teplotních modelů škodlivého hmyzu je detailně zpracována (např. Dixon a kol., 2009) a jednotlivé modely i se svými parametry pro tyto účely publikovány (např. Honěk, 1996). Přehled SPV a SET pro hlavní druhy obilních mšic je uveden v tabulce 12.

U houbových chorob bývá důležitá konkrétní specifické kombinace teploty a vlhkosti vzduchu, případně doba ovlhčení listů. Dostupnost a kvalita meteorologických dat, postihujících variabilitu sledovaného prostoru, jsou určující pro přesnost chodu prediktivních modelů a jejich předpovědní síly. Nejslabší místo celého systému bývá postihnutí variability meteorologických dat, resp. jejich dostupnost. Velmi dobře jsou modelové situace zpracovány pro trvalé kultury typu ovocných sadů a vinic, kde bývá síť meteo čidel tradičně instalována a využívána. Ze sezónních plodin je podobně kvalitně zvládnutá i oblast pěstování zeleniny.



Obr. 134: Teplotní závislost fitness parametrů (váha, počet nakladených jedinců) u kyjatky travní (Skuhrovec a kol., 2019).

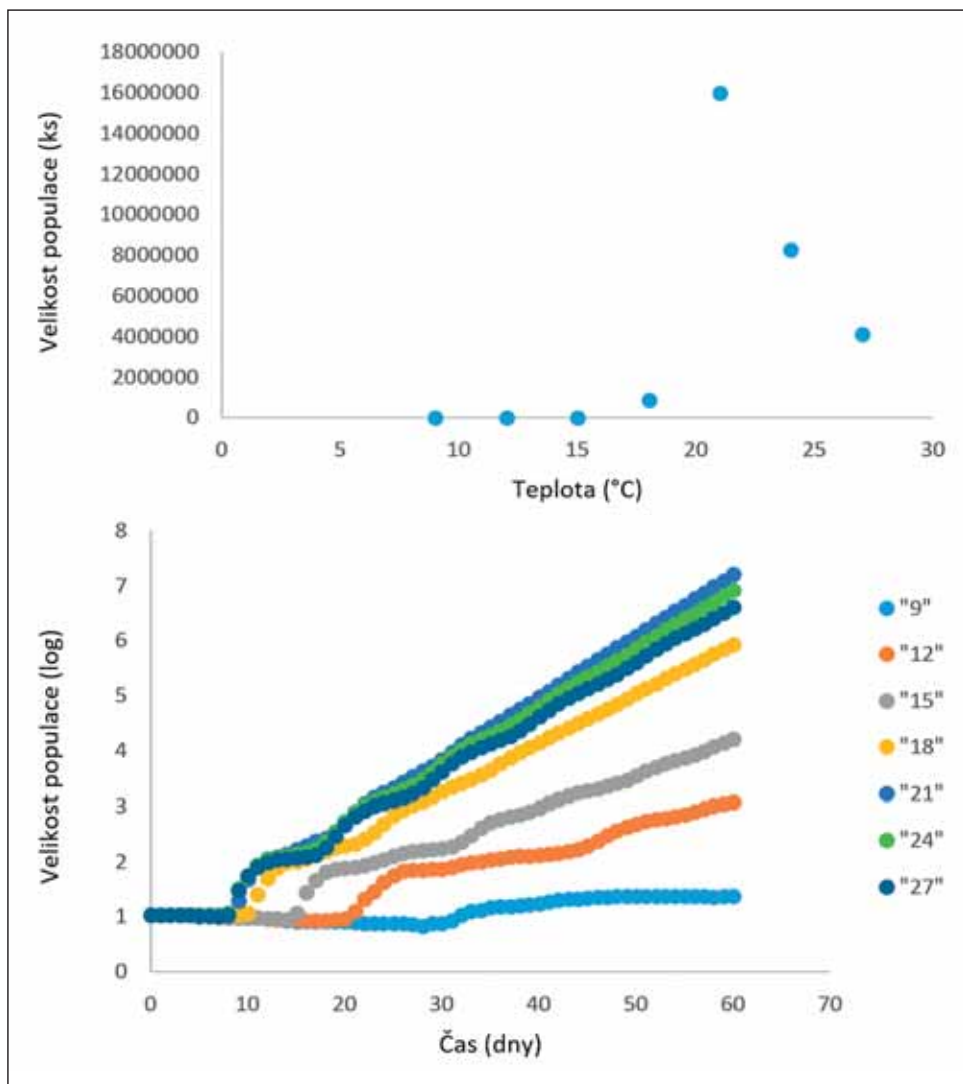
Popis populační dynamiky škodlivých organismů je jednou z nejnáročnějších oblastí ochrany rostlin, neboť vyžaduje pro sestavení pro praxi použitelných modelů (Tab. 13, obr. 134 a 135), robustní datové sady. Dostupnost a kvalita těchto modelů je prozatím velmi omezená. Podobně tomu je v případě modelů popisujících následně populační disperzi v prostorovém měřítku.

Tab. 12: Spodní práh vývoje (SPV) a suma efektivních teplot (SET) pro hlavní druhy mšic na obilninách (Honěk a kol., 2017).

Druh	SPV	SET
kyjatka travní	2,9 °C	159 denních stupňů
kyjatka osenní	2,2 °C	171 denních stupňů
mšice střemchová	3,2 °C	122 denních stupňů
mšice zhoubná	5,7 °C	141 denních stupňů
mšice obilná	8,1 °C	88 denních stupňů

Tab. 13: Vybrané parametry pro populační růst mšic v podobě střední hodnoty uváděného faktoru u kyjatky travní (Skuhrovec a kol., 2019).

Parametry populačního růstu	9 °C	18 °C	27 °C
r - vnitřní rychlost růstu populace (d ⁻¹)	0,03	0,21	0,23
λ - konečná rychlost růstu populace (d ⁻¹)	1,03	1,23	1,26
R ₀ - čistá rychlost reprodukce	3,41	29,88	15,93
T - průměrná generační doba	42,00	16,46	12,02
plodnost	7,58	33,51	17,41
délka života (dny)	30,82	26,23	20,09
přežívání	0,45	0,89	0,91
doba před kvetením (dny)	28,91	10,01	7,16
doba kladení (dny)	14,14	16,91	13,77
velikost (mm)	0,88	1,18	0,93



Obr. 135: Vliv teploty vzduchu na velikost populace kyjatky travní a projekce teplotně závislého populačního růstu během 60 dní (Skuhrovec a kol., 2019).

Navzdory velmi pokročilým a propracovaným metodám ochrany rostlin, je jejich integrace do praxe precizního zemědělství, prozatím, omezená. Překážkou může být doposud neuspokojivé zvládnutí komplexního monitoringu škodlivých organismů nebo projevů jejich přítomnosti v prostorovém měřítku pro tvorbu podkladových aplikačních map, ale i koncovky v podobě strukturovaného ochranného zásahu v porostu zemědělských plodin, která vyžaduje v minimální podobě navigaci techniky nad aplikační mapou, v ideálním případě pak postřikovací techniku s vypínáním sekcí či konkrétních trysek. Tato technika není prozatím obecně dostupná a v praxi používaná v dostatečné míře.

V souvislosti s tím vyvstává problematika vzorkování porostů zemědělských plodin při zjišťování výskytu škodlivých organismů a abiotických stresorů. Povaha distribuce škodlivých organismů se liší v závislosti na původci, typu zemědělské kultury, topografických podmínkách, heterogenitě meteorologických faktorů, odrůdové rezistenci/ náchylnosti, kondici porostu s ohledem na výživový stav, dostatek vody či přítomnost jiného biotického či abiotického stresoru. Komplexnost působení všech těchto faktorů vyžaduje optimalizovat metodu vzorkování. V této souvislosti je od sebe nezbytné odlišit termín vzorkování a monitorování, jakkoliv se mohou v některých případech překrývat či zastupovat.

O monitorování se mluví především ve vztahu k samotnému škodlivému organismu při zjišťování jeho přítomnosti/absence, časové dynamiky a intenzity výskytu. Vzorkování je více orientováno na samotné rostliny či půdu. Volba metody vzorkování je důležitá nejen z hlediska kvality popisu reality, ale promítá se do ní i hledisko proveditelnosti a ekonomické náročnosti. Distribuce vzorkovacích bodů v porostu je klíčová. Snazší integrace se odehrává v trvalých kulturách typů vinic či ovocných sadů, které mají detailně propracované metody integrované ochrany rostlin. Názorným příkladem v této oblasti je možnost vybavení feromonových lapačů na obaleče jablечného kamerou pro časové snímkování lepkové plochy, kde se zachycují samci motýlů. On-line sběr dat a obrazová analýza umožňuje automatizovanou detekci sledovaného druhu, průběžné sledování, detekci prvního výskytu a celkové dynamiky výskytu v čase (obr. 136).

V jednoletých kulturách jsou nejpokročilejší příklady aplikací v zelenině. Faktor výměry pěstované plodiny, strukturování porostu, resp. jeho prostupnost ve vegetačním období, hraje rovněž důležitou roli. Různé strategie vzorkování s jejich přednostmi i nedostatky vhodně shrnuje pro tyto účely metodika zaměřená na optimalizaci vzorkování (Minařík a kol., 2018).



Obr. 136: Automatizovaný feromonový lapač TrapView integrovatelný do IoT (zdroj: <http://trapview.blogspot.com/2016/12/modelling-of-up-to-three-different.html>).

V současné době přetrvává v ochraně rostlin paradigma akcentující patologii systému na úkor fyziologie a zdraví rostlin. Jedná se o zavedený přístup vycházející z podstaty ochrany rostlin, tj. vyhledávání patologických stavů i jejich původců, který byl historicky mimořádně úspěšný. Jakkoliv je toto pojetí opodstatněné a racionální, představuje v současnosti překážku, která brání rychlejšímu používání metod precizního zemědělství v ochraně rostlin kvůli aktuální absenci konkrétních postupů a řešení, které vyžadují náročný a dlouhodobější výzkum. Ten v oblasti využití senzorové techniky pro ochranu pokročil pouze velmi selektivně nikoliv plošně, napříč všemi disciplínami. S ohledem na maximalizaci využití prostředků precizního zemědělství pro ochranu rostlin je v současné době produktivnější nahlížení na porost nikoliv jako na soubor skutečných či pravděpodobných patologických stavů a jevů, ale z hlediska vymezení zdravého porostu, který je napříč plodinami snadnější definovat a začlenit do expertních systémů. První otázka se při tomto přístupu vlastně se ptá po fyziologickém stavu porostu a zní: „Jak velká část porostu je zdravá?“ (Waggoner a Berger, 1987). V tomto rozhodovacím módu vstupuje do hry koncept tzv. prahů škodlivosti, používaný v integrované ochraně rostlin. Ten předpokládá, že existuje taková míra intenzity výskytu škodlivého organismu, nad kterou je zdůvodnitelné (ať už z hlediska předpokládané škody nebo ekonomické ztráty) realizovat ochranný aplikační zásah. Ztráty výnosu se liší v závislosti na odrůdě, pěstebních podmínkách konkrétním druhu škodlivého organismu v daných ekonomických podmínkách. Udávané hodnoty snížení výnosu se proto mohou významně lišit. Např. přítomnost 10 mšic kyjatky travní na praporcovém listu působí ztrátu váhy klasu o 6 %, 20 mšic o 12 % a 40 mšic o 17 %. Pro kyjatku osenní je uváděna při početnosti 5 mšic na klas ztrátu váhy klasu o 1 %, přítomnosti 10 mšic na klas působí ztrátu 8 % a 20 mšic poté ztrátu 17 % váhy klasu. Jiní autoři zjistili, že pro kyjatku osenní při početnosti 10 mšic na klas dochází ke snížení výnosu o 7 %, přítomnost 20 mšic sníží výnos o 11 %, a 30 mšic o 18 %. Údaje zde uváděné jsou pravděpodobnostního charakteru s experimentální oporou v polních pokusech. Údaje jiných autorů, rovněž pokusně podložené, se značně liší v obou směrech (Honěk a kol., 2017).

Zásadní přínos senzorové techniky pro ochranu rostlin v precizním zemědělství je potřebné vnímat z hlediska:

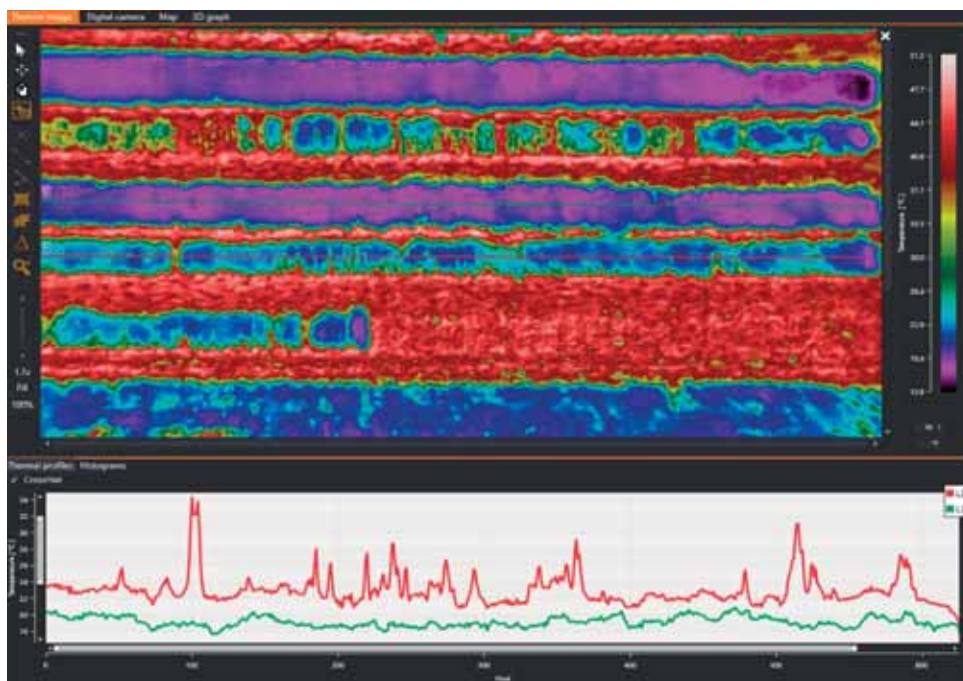
1. včasné detekce výskytu škodlivého organismu,
2. operativnosti průzkumu,
3. kontroly kvality ochranných opatření.

To vše ve velkoplošném měřítku a opakovatelnosti v krátkém čase. Excelentním příkladem včasné detekce výskytu škodlivých organismů je využití termokamerové techniky, která identifikuje teplotní změny rostlin s ohledem na přítomnost abiotického nebo biotického stresoru (Lukáš a kol., 2019). Primární reakcí rostlin na stresové faktory je změna fyziologicko-chemických reakcí, které následně vedou i k vizuálně dobře pozorovatelným anatomicko-morfologickým změnám (např. vadnutí, nekrózy, zpomalení růstu apod.). Brant a kol. (2014c) prokázali pomocí měření toku vody v rostlinách velmi rychlý vliv herbicidních přípravků ze skupiny inhibitorů fotosystému II na omezení transpirace ve srovnání s inhibitory auxinů. Z hlediska účinku chemických látek na rostliny se jedná o samotný

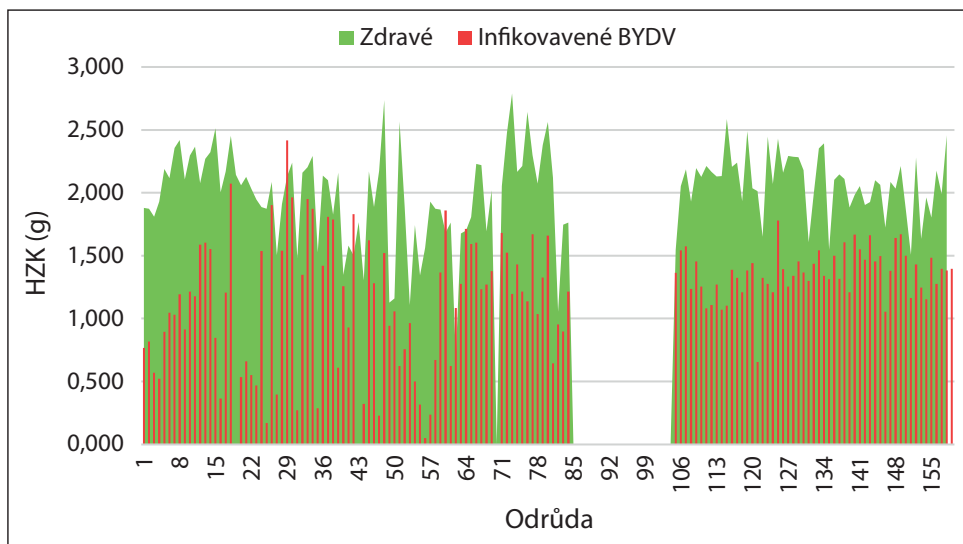
proces vlivu aplikace na fyziologické projevy rostliny, zejména v souvislosti s chemickými procesy v rostlině. Tyto procesy mohou být spojeny s omezenou funkcí autoregulačních procesů spojených např. s porušením systémů ovlivňujících otevírání a uzavírání průduchů. Efekt zavírání/otevírání průduchu provázený změnou povrchové teploty lze vhodně kvantifikovat pomocí teplotních indexů.

Nejjednodušší index počítá s rozdílem povrchové teploty porostu (T_c) – aktuální teploty vzduchu (T_a), další rozšířený index CWSI (Idso a kol., 1977 a 1981; Jackson a kol., 1981) se vypočte podle rovnice: $CWSI = ((T_c - T_a) - b) / (a - b)$, kde a je rozdíl mezi hodnotou aktuálního rozdílu teplot porostu a vzduchu ($T_c - T_a$) a spodní hraniční přímky pro plně transpirující porost při dané úrovni sytostního doplňku, b je rozdíl mezi $T_c - T_a$ a hodnotou maximálního rozdílu mezi teplotou vzduchu a nejvyšší teplotou netranspirujícího porostu a vzduchu. Obrázek 137 ukazuje teplotní reakci různých odrůd pšenice ozimé na přítomnost viru BYDV. V kontrolní neinfikované řadě odrůd je teplota (zelená křivka) nižší než u infikovaných rostlin (červená křivka). Teplotní meziodrůdové kolísání zároveň ukazuje odlišnou náchylnost, resp. rezistenci jednotlivých odrůd k tomuto viru která se ve výsledku promítla do výnosu v podobě změny hmotnosti zrn v klasu (obr. 138).

V neposlední řadě lze využít změnu odrazivosti vegetačního krytu pro podrobnější identifikaci biotických a abiotických stresorů, které vyvolávají snížení odrazivosti v oblasti NIR a nárůst v červené části spektra. Tyto změny jsou spojeny s posuny zastoupení jed-



Obr. 137: Termogram zobrazující rozdílnou teplotní odezvu u zdravých a BYDV napadených odrůd pšenice ozimé.



Obr. 138: Závislost hmotnosti zrn v klasu (HZK) na zdravotním stavu různých odrůd pšenice ozimé (Chrpvá a kol., 2018).

notlivých rostlinných pigmentů. Jelikož ke změně dochází nejdříve v infračervené části spektra, je možné a vhodné navázat touto analýzou na termografickou detekci. Informace z multispektrálních nebo hyperspektrálních senzorů se informačně zjednodušují do podoby vegetačních indexů při využití jednoduchých aritmetických operací, které s dvou či více spektrálními pásmy pro zvýraznění vlastností zkoumané vegetace, jako například celkové množství a kvalita fotosyntetizujícího materiálu nebo stres v rostlině. Přehled nejpoužívanějších vegetačních indexů uvádí tabulka 15. Pro detekci projevů přítomnosti patogenů či škodlivého hmyzu hraje významnou roli prostorové rozlišení, které je definováno velikostí pixelu, tedy základní jednotky digitálních obrazových dat. Obecně platí, že družicové snímky mají nižší prostorové rozlišení než snímky pořizované pomocí senzorů nesených bezpilotními prostředky. V oblasti ochrany rostlin jsou družicové snímky omezeně použitelné nebo zcela nepoužitelné pro včasnou detekci iniciálních fází napadení porostu. Nabývají však na význam při kalamitních stavech či při vyčíslování velkoplošných škod.

Tab. 15: Vztahy pro výpočet vybraných vegetačních indexů používaných při detekci vodního stavu rostlin (Lukáš a kol., 2019).

Index	Vzorec	Reference
Xantophylové indexy		
Fotochemický reflektanční index RPI₅₇₀	$(R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$	Gamon a kol. (1992)
Normalizovaný PRI_{norm}	$PRI_{570} / [RDVI \cdot (R_{700} / R_{670})]$	Berni a kol. (2009)
Fotochemický reflektanční index PRI₅₁₅	$(R_{515} - R_{531}) / (R_{515} + R_{531})$	Hernández a kol. (2011)
sFotochemický reflektanční index sPRI	$(R_{560} - R_{510}) / (R_{560} + R_{510})$	Elvanidi a kol. (2017)
Strukturální indexy		
Normalizovaný diferenční vegetační index NDVI	$(R_{790} - R_{670}) / (R_{790} + R_{670})$	Rouse a kol. (1974)
Renormalizovaný diferenční vegetační index RDVI	$(R_{790} - R_{670}) / ((R_{790} + R_{670}) \cdot 0,5)$	Rougean a Breon (1995)
Optimalizovaný půdou adjus- tovaný vegetační index OSAVI	$(1 + 0,16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0,16)$	Rondeaux a kol. (1996)
mrSRI	$(R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{670})$	Elvanidi a kol. (2017)
mrNDVI	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2 \cdot R_{445})$	Elvanidi a kol. (2017)
Chlorofylové indexy		
Transformovaný chlorofylový adsorbční a reflektanční index TCARI	$3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700} / R_{670})]$	Haboudane a kol. (2002)
TCARI / OSAVI	$[3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700} / R_{670})]] / [(1 + 0,16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0,16)]$	Gamon a kol. (1992)
Vodní indexy		
Normalizovaný diferenční vodní index NDWI	$(R_{820} - R_{1240}) / (R_{820} + R_{1240})$	Gao (1996)
Jednoduchý poměrový vodní index SRWI	R_{800} / R_{1200}	Zarco-Tejada a Ustin (2001)
Index vodního pásma WBI	R_{970} / R_{900}	Peñuelas a kol. (1997)
NMDI		
Moisture Stress Index MSI	R_{1600} / R_{820}	Hunt a Rock (1989)
Hyperspectral Normalized Difference Vegetation Index hNDVI	$(R_{900} - R_{685}) / (R_{900} + R_{685})$	Rouse a kol. (1974)
Normalized Difference Infrared Index NDII	$(R_{820} - R_{1649}) / (R_{900} + R_{1649})$	Hardisky a kol. (1983)
Maximum Difference Water Index MDWI	$(R_{max_{1500-1750}} - R_{min_{1500-1750}}) / (R_{max_{1500-1750}} + R_{min_{1500-1750}})$	Eitel a kol. (2006)
Ratio Index	(R_{1650} / R_{2220})	Elvidge a Lyon (1985)

Optimalizace pohybu zemědělských souprav (Kroulík a Brant)

Přesná znalost polohy byla vždy považována za strategicky významnou hodnotu. Bezpochyby se ukázalo, jak efektivní a významná může být znalost aktuální polohy také v zemědělství. Především s možností měření polohy v systému GPS byly položeny základy precizního zemědělství. Na přesném určení polohy je mnoho zásahů a opatření závislá. O jednotlivých výhodách navigací a jejich přínosu bylo napsáno mnohé. Dnes je již celkem běžné pracovat, díky korekčnímu signálu RTK (Real-time kinematic), doslova s přesností v řádech milimetrů. Díky této korekci je možné se dostávat přesně na jednotlivé pracovní trajektorie i s odstupem času. V minulosti bylo zkoušeno a vyvíjeno více možností určování polohy, nicméně v současné době bude platit, že pouze satelitní navigace představuje komerčně dostupný a prakticky využitelný systém. Záměrně uvádíme satelitní navigace, protože soudobé navigační přístroje přijímají signál z více systémů satelitních navigací. Kromě GPS je to ruský Glonass a evropský projekt Galileo a další, zejména asijské systémy. Z hlediska využití přesného určení polohy se v zemědělství pracuje zejména na podpůrných systémech, které informace o poloze využívají. Jedním z příkladů může být monitoring souprav, který slouží k hodnocení efektivity práce strojů a plánování jejich nasazení. Společně s požadavky na vyšší produktivitu práce a výkonnost souprav roste také průměrný výkon, a především hmotnost zemědělských strojů.

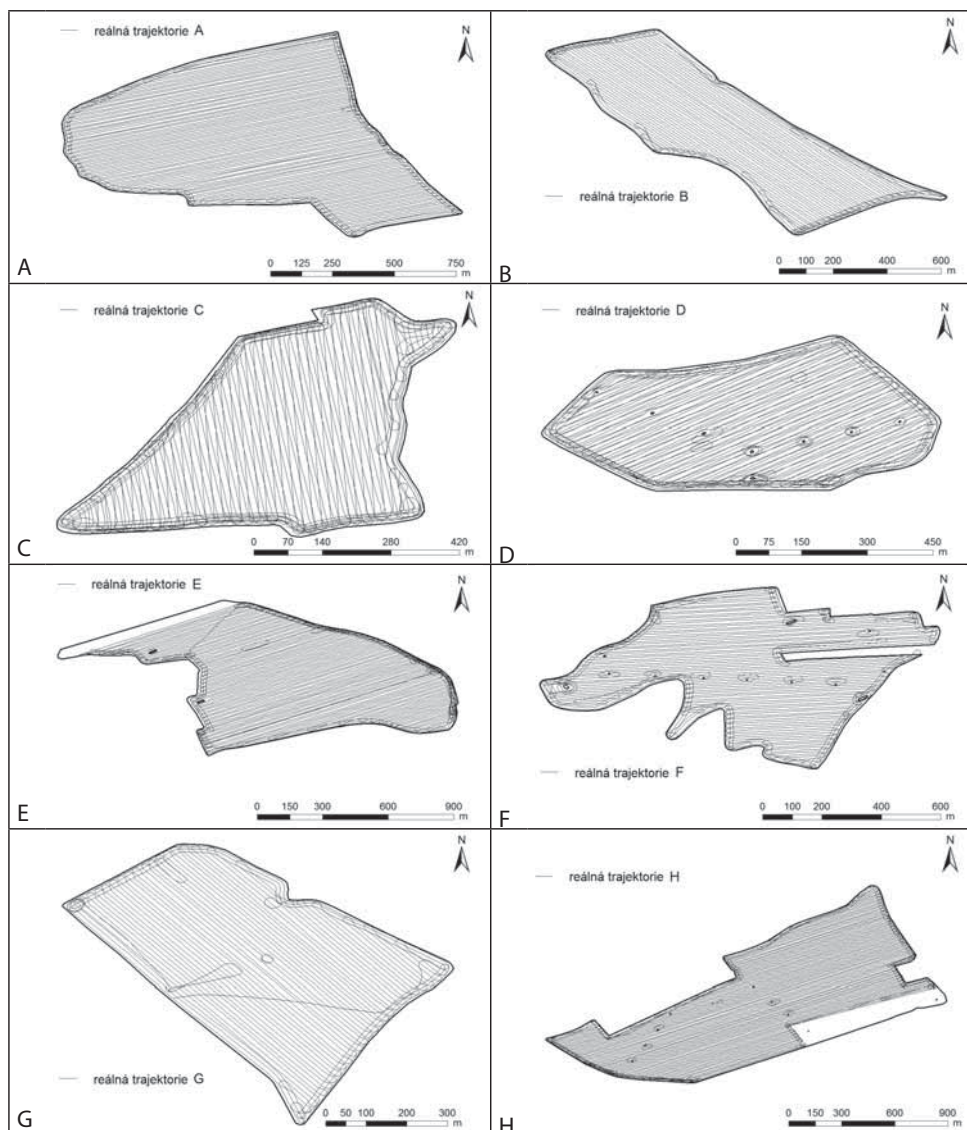
Zemědělská půda je stále více vystavována tlakům vyvíjeným pojezdovými ústrojími traktorů, sklizňových strojů a dopravních prostředků. S přejezdy těžkou mechanizací je také nejčastěji spojováno nežádoucí technogenní zhutnění. Zhutnění půdy je tak jedním z hlavních problémů moderního zemědělství. Na základě našich výsledků měření intenzity přejezdů bylo zjištěno, že v závislosti na velikosti souprav a zvolené technologii se velikost přejeté plochy pohybuje od 42 % pro přímé setí po 88 % u orby. Změna povahy průmyslu, zemědělství, energetiky, obchodu, logistiky a dalších odvětví hospodářství, které souvisí se zaváděním moderních prvků komunikace, záznamů a zpracování dat, předkládá možnost efektivnějšího využívání a kontrolu vstupů. A jsou to mnohdy právě zmiňované detaily, které ve finále mohou představovat rozdílové úspory. V této kapitole jsou prezentovány a diskutovány výstupy ze záznamu provozních dat strojů, které byly zaznamenány a ukládány během práce stroje. Z dat obecně mohou být patrné rozdílné přístupy k technologické kázi obsluhy, nebo vliv rozdílných pracovních podmínek daných velikostí pozemku a půdními podmínkami.

Přejezdy po pozemcích jsou v současném zemědělství nevyhnutelné. Z důvodu nárůstu celkové hmotnosti pracovních souprav je proto významné optimalizovat trajektorie pracovních jízd a omezit vstupy techniky na pozemek. V současné době je volba směru jízd založena především na zkušenostech řidičů nebo zvycích zemědělců.

Existuje celá řada faktorů, které ovlivňují efektivitu práce strojních souprav. Tvar pozemku, jeho velikost, terén, překážky a pracovní zátěže strojů hrají v tomto ohledu významnou roli. Tažné prostředky a další zemědělské stroje dnes umožňují díky integrovaným senzorům shromažďovat velké množství dat při práci a odesílat je na vzdálené uložení.

Optimalizace trajektorií půdních bloků - implementační část (Kroulík a Krček)

V rámci implementací principů precizního zemědělství do rostlinné výroby byly navrženy a ověřeny optimalizace směrů pohybu pracovních souprav i pro subjekt AGRA Řisuty. Pro účely hodnocení strojních souprav byly traktory ve sledovaném podniku vybaveny monitorovacími jednotkami ITineris. Byl získán přehled o volených směrech jízdných trajektorií a délkách pracovních a nepracovních jízd. Na základě tvaru pozemku byly modelovány trajektorie jízd a hledány vhodné směry jízd z pohledu poměru pracovních a nepracovních jízd.



Obr. 4.1.: Vybrané pozemky a záznam reálného směru jízd strojní soupravy.

Z výsledků je patrné, že především u složitějších tvarů pozemků bylo optimalizací docíleno výrazného zkrácení nepracovních přejezdů a otoček v porovnání s původně zvolenými směry jízd. Svůj význam hraje také časová úspora. Pro vzorový příklad bylo vybráno 8 pozemků, které se lišily tvarem a výměrou. Výměry pozemků se pohybovaly od 14,7 ha až po 68 ha. Kontinuální záznam aktuální polohy stroje umožnily získat reálné pracovní jízdy soupravy při setí secím strojem o pracovním záběru 8 m (pozemky A, B, E, F, G, H) a předsetové přípravě půdy (pozemky C a D). Tyto záznamy prezentuje obrázek 4.1.

Následným krokem bylo modelování trajektorií pro jednotlivé pozemky. K modelování trajektorií byl využit program OptiTrail (Leading Farmers a.s., ČR). Pro každý pozemek bylo celkem stanoveno 180 jízdnic směrů, tedy s odstupem po 1°. Pro jednotlivé trajektorie byly vypočítány délky pracovních a nepracovních jízd, počty otáček a délky jízd po souvratí. Na základě délky jízd byla vybrána nejvhodnější varianta a následně byla porovnána s variantou, která byla shodná se směrem jízdy podle skutečného záznamu.

Na základě skutečných záznamů trajektorií jízd bylo možné stanovit reálné směry pracovních jízd. K těmto směrům byly na základě modelu vypočteny délky pracovních jízd. Tyto hodnoty přináší tabulka 4.1. U pozemku C a D byly stanoveny délky pro dvě jízdy z důvodu dvojí jízdy během přípravy půdy. Délka jízdy na souvratích pro každý pozemek byla stanovena ze dvou objetí pozemku.

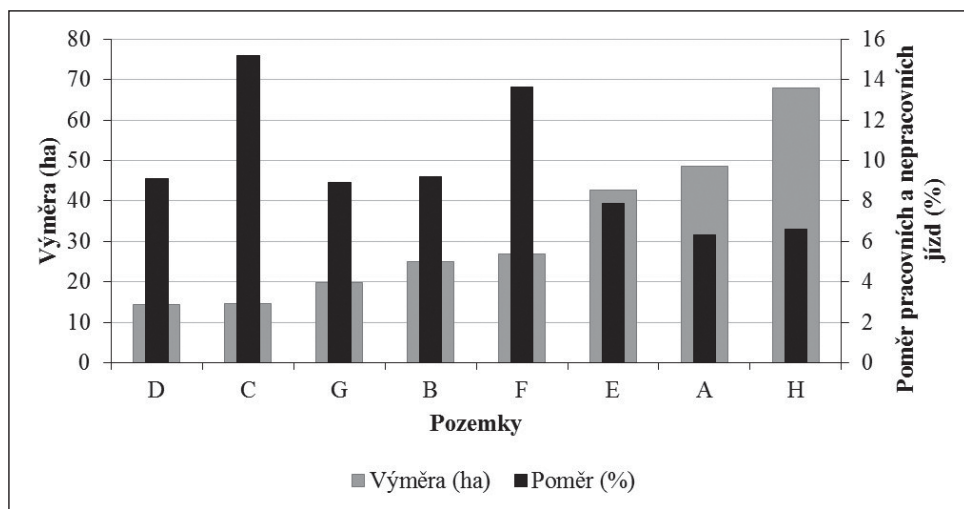
Tab. 4.1.: Modelové hodnoty délek jízd vycházející ze skutečných azimutů jízd.

Pozemek	Azimut	Délka celkem (m)	Pracovní linie (m)	Délka otoček (m)	Počet otoček	Délka souvratě (m)	Přejezdy (m)
A	79°	65 632,14	56 176,61	3 191,88	97	5 905,55	358,10
B	124°	35 223,06	27 662,62	1 842,74	56	5 022,57	695,13
C	165°	21 561,24	15 800,06	2 402,14	73	3 359,04	0,00
	175°	21 698,85	15 835,03	2 237,61	68	3 359,04	267,18
D	65°	20 232,78	15 902,32	1 447,86	44	2 882,59	0,00
	75°	20 599,80	15 993,90	1 283,33	39	2 882,59	439,97
E	72°	58 723,93	48 532,71	2 895,73	88	6 368,83	926,66
F	85°	39 587,26	28 897,48	2 895,73	88	6 744,64	1 049,41
G	130°	27 518,20	21 823,51	1 776,92	54	3 747,85	169,91
H	70°	92 323,62	78 757,01	3 323,51	101	8 382,97	1 860,13

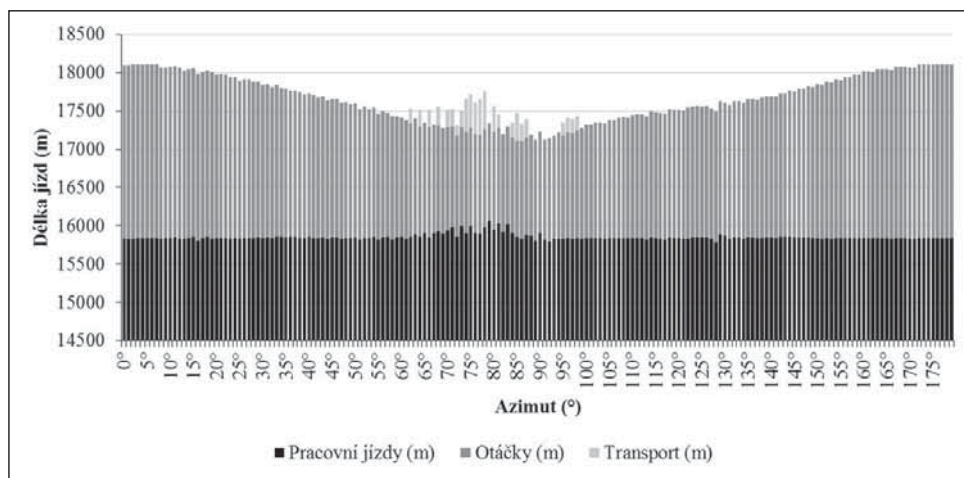
Při vyjádření podílu pracovních a nepracovních jízd se hodnoty pohybovaly od 3,3 do 15,2 %. Jak dokládá graf na obrázku 4.2. S narůstající výměrou pozemku má poměr pracovních a nepracovních jízd klesající trend.

V našem případě byla hlavním sledovaným faktorem celková délka jízdy po pozemcích. Graf na obrázku 4.3. ukazuje změny délek pracovních a nepracovních jízd v závislosti na zvoleném azimutu. V uvedeném příkladu byl použit pozemek A.

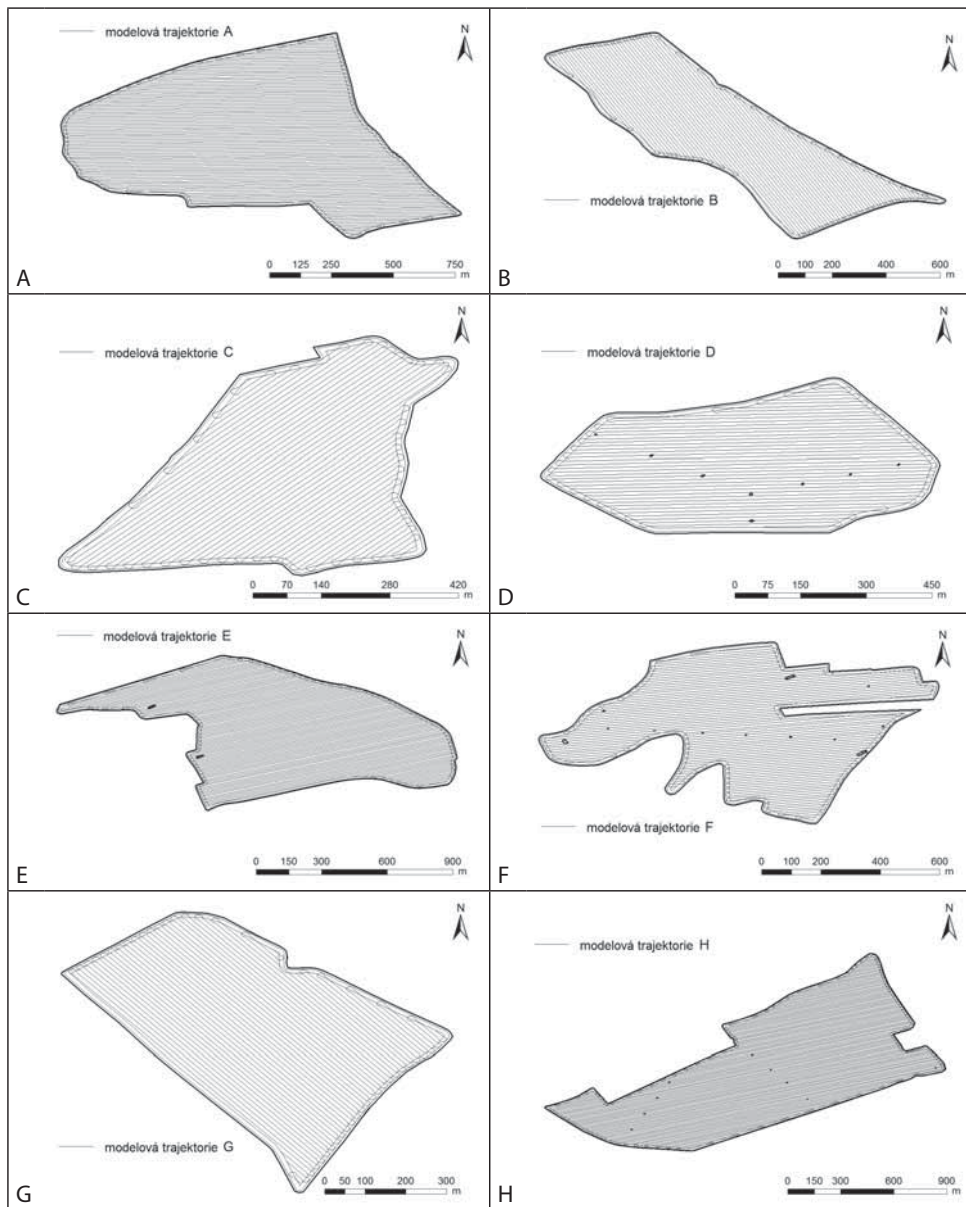
Jak je patrné z obrázku 4.3., celkovou délkou jízdy po pozemku výrazně ovlivňuje počet a charakter otáček. K podílu nepracovních jízd rovněž přispívají transportní přejezdy. Obrázek 4.4. přináší modelové trajektorie stanovené jako optimální, vypočítané na základě tvaru pozemku.



Obr. 4.2.: Hodnoty poměru pracovních a nepracovních jízd vztahované k výměře pozemků.



Obr. 4.3.: Délky pracovních a nepracovních jízd stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií.



Obr. 4.4.: Modelové návrhy směru jízd strojních souprav.

Z výstupů je patrné, že pro modelové trajektorie se ve všech případech lišily azimutem od tras reálných. Výkonnost pracovních souprav, při shodné velikosti půdního bloku, je modifikována jeho tvarem. Z nákresu je patrné, že pozemky vykazovaly, kromě výměry, významné tvarové odlišnosti. Ani v jednom případě nebyly protilehlé strany rovnoběžné. Z hlediska obsluhy je tak náročnější vybrat optimální směr jízd na základě odhadu nebo zkušeností.

Tabulka 4.2. přináší přehled hodnot pro optimalizované trajektorie. Délky souvratí zůstávají shodné. V tabulce je uveden poměr pracovních a nepracovních jízd pro jednotlivé pozemky.

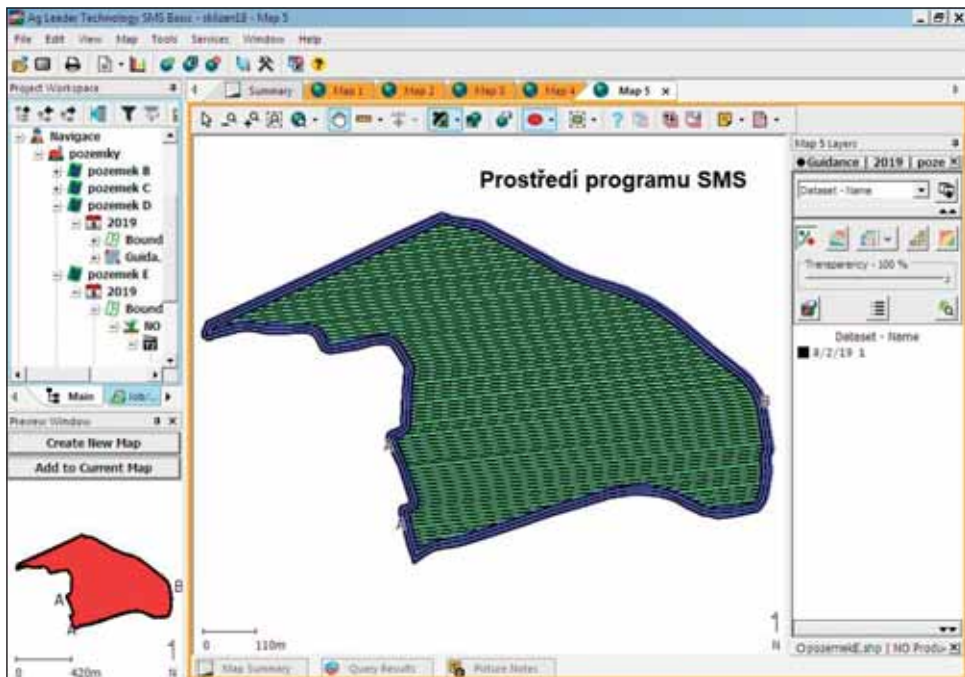
Tab. 4.2.: Modelové hodnoty délek jízd vycházející z optimalizovaných azimutů jízd

Pozemek	Azimut	Délka celkem (m)	Pracovní linie (m)	Délka otoček (m)	Počet otoček	Přejezdy (m)	Podíl
A	90°	65 406,42	56 210,27	3 290,60	100	0,00	5,85
B	153°	34 835,16	27 542,07	2 270,51	69	0,00	9,17
C	45°	20 817,41	15 845,98	1 612,39	49	0,00	10,18
D	89°	20 002,07	15 803,24	1 316,24	40	0,00	8,33
E	73°	58 146,10	48 474,97	2 961,54	90	340,76	6,81
F	83°	39 464,26	28 632,53	2 895,73	88	1 191,36	14,27
G	143°	27 448,53	21 727,31	1 645,30	50	328,07	9,08
H	73°	91 318,82	78 785,44	3 718,38	113	432,02	5,27

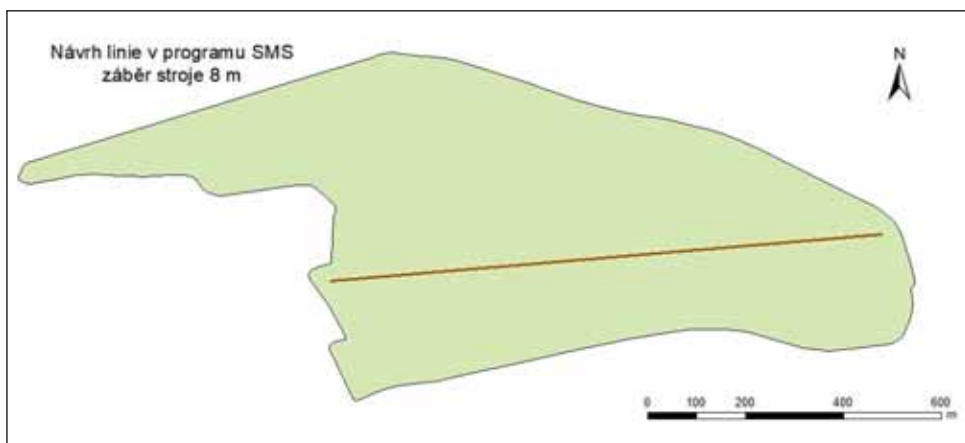
Kromě pozemků G a F došlo ve všech případech ke snížení počtu otáček a zlepšení poměru pracovních a nepracovních jízd oproti reálnému stavu. Rozdíly v poměru se pohybovaly od 7,3 do 35,6 %. U pozemků G a F došlo k navýšení nepracovních jízd, nicméně se zkrátila celková délka jízd. Pozemek F představuje složitý tvar s vysokým podílem otáček. Rozdíl v azimutu trajektorií byl nejvyšší u pozemku C, kde se odklon rovnal hodnotě 120°. Pro pozemky B a D činil odklon 29°, respektive 24°. Pro ostatní pozemky se odklon tras oproti optimálnímu modelu pohyboval od 1° do 13°.

Výsledky dokládají, že i minimální změna směru jízdy může přispět k snížení celkové délky jízd po pozemcích a rovněž přispívá ke snížení otáček na souvratích. Toto opatření přispívá k efektivnější práci strojů a snížení zátěže půdy. Výsledky navíc odhalují další směry řešení a návrhů jízd. Sklon pozemku nedovolí vždy optimální směr jízd vzhledem k tvaru pozemku. Dalším významným prvkem na pozemcích jsou například sloupy elektrického vedení, které je nutné opakovaně objíždět. Optimalizace tras může rovněž sledovat linii těchto zástaveb a určovat směr trajektorií.

Nástroje pro tvorbu navigačních linií se stávají součástí programů pro zpracování, interpretaci a ukládání dat ze zemědělské techniky. Jedná se o velmi užitečný nástroj k využití potenciálu polních navigací ve snaze minimalizovat pracovní čas, snižovat přejezdy po pozemcích, snižovat energetickou náročnost, případně upravovat tvary pozemků. Význam tohoto kroku narůstá s výměrou půdního bloku, kdy větší výměra pozemku vede ke komplikovanějším tvarům jeho hranic. Pro optimalizaci trajektorií jízdních souprav lze využít také prostředí softwaru SMSTM Basic (Ag Leader Technology, USA). Uživatelé SMS softwaru rovněž ocení možnost ukládat výstup ve formátech většiny současných značek výrobců zemědělské techniky. Na obrázku 4.5. je ukázka prostředí programu SMS, s nástrojem pro modelování jízdních trajektorií. Praktickým výstupem optimalizace je příprava a export řídicí křivky, která se následně přenese do polní navigace (obr. 4.6.)

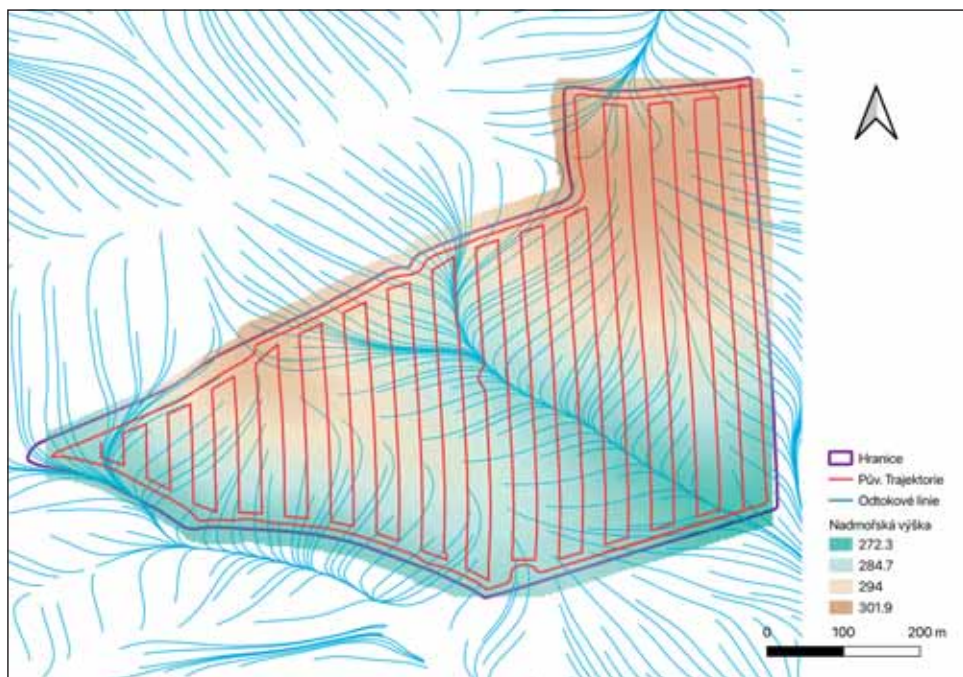


Obr. 4.5.: Prostředí softwaru SMSTM Basic (Ag Leader Technology, USA).

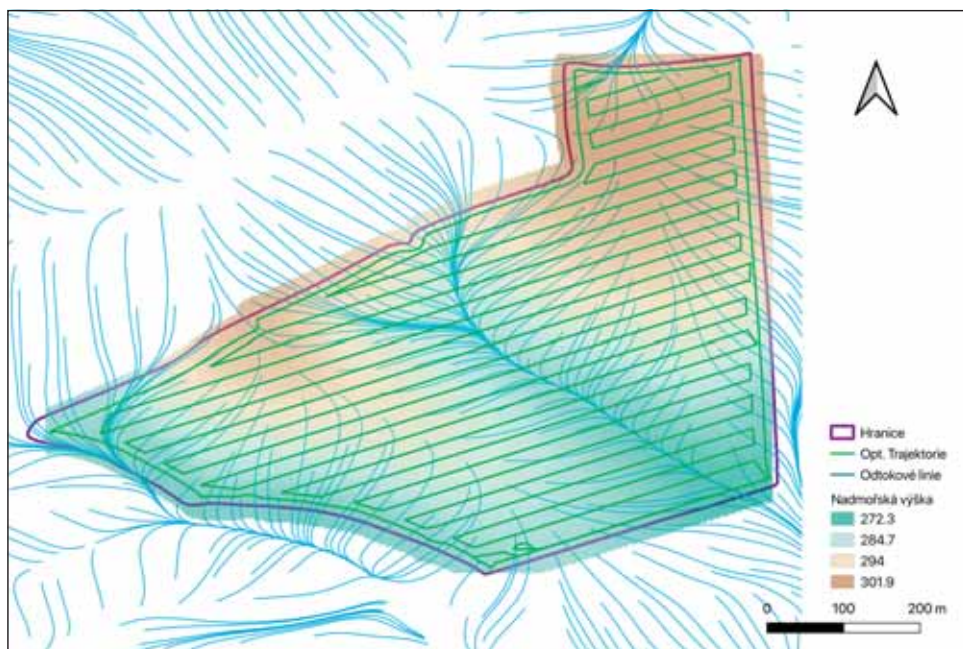


Obr. 4.6.: Řídicí křivka připravená pro export do navigačního přístroje.

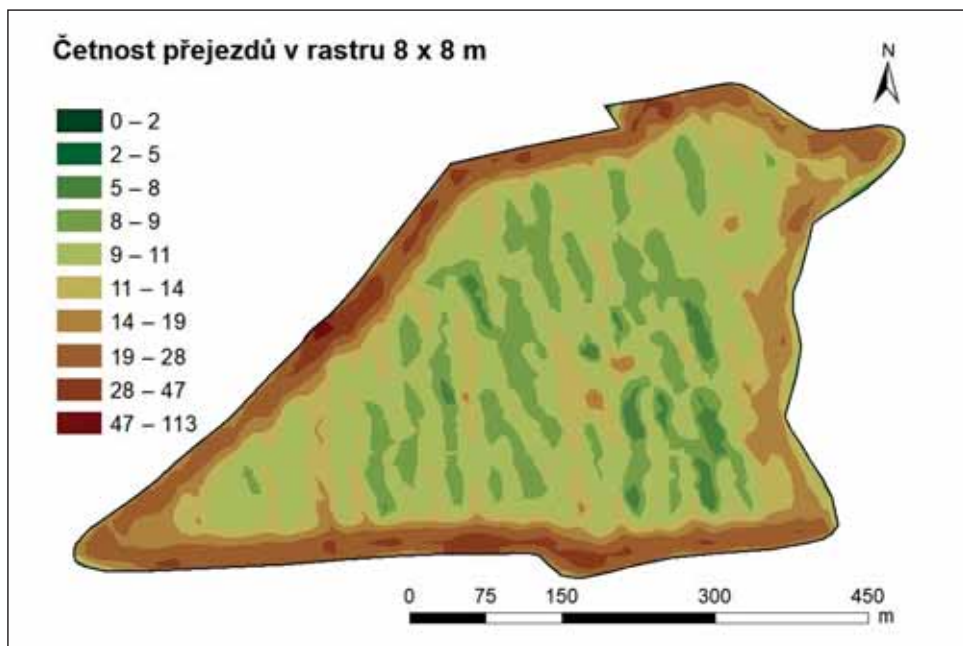
S ohledem na požadavky například protierozních opatření se nabízí možnost kombinace návrhu trajektorií s odtokovými liniemi na konkrétním pozemku. Obrázek 4.7. přináší pohled na pozemek s vyznačenými trajektoriemi, které linie nerespektují. Návrh na obrázku 4.8. již s odtokovými liniemi pracuje.



Obr. 4.7.: Pozemek s vykreslenými odtokovými liniemi a zanesenou trajektorií jízdy, bez ohledu na směr linií.



Obr. 4.8.: Optimalizace na základě odtokových linií. V uvedeném případě je zapotřebí zasáhnout do návrhu ručně.



Obr. 4.9.: Mapa intenzity přejezdů vytvořená na základě dat z monitorovacích jednotek.

Společně s monitoringem souprav může být přenášena řada informací o provozních ukazatelích strojů. Dalo by se říci, že se jedná o jeden z prvků nového směru v zemědělství, a tím je digitalizace výrobních procesů a naplňování nových myšlenek na využití informací. Díky tomu se i v zemědělství budeme stále častěji setkávat s pojmem Internet věcí, známý pod zkratkou IoT. Jedním ze záměrů na využití IoT je kontrola věcí kolem nás, informovanost o jejich stavu a vyšší efektivita v rozhodování. Jedním z příkladů, který vychází čistě ze znalosti polohy strojů, je mapa zatížení pozemku pojezdovými mechanizmy (obr. 4.9.). Ukazuje na místa, kde dochází k akumulaci přejezdů a možnému zvýšení rizika utužení půdy. Rovněž je možné cíleně plánovat a provádět velmi nákladná nápravná opatření v podobě hloubkového kypření.

Cílem optimalizace trajektorií pracovních souprav bylo specifikovat přínosy pro zemědělskou společnost AGRA Řisuty.

Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

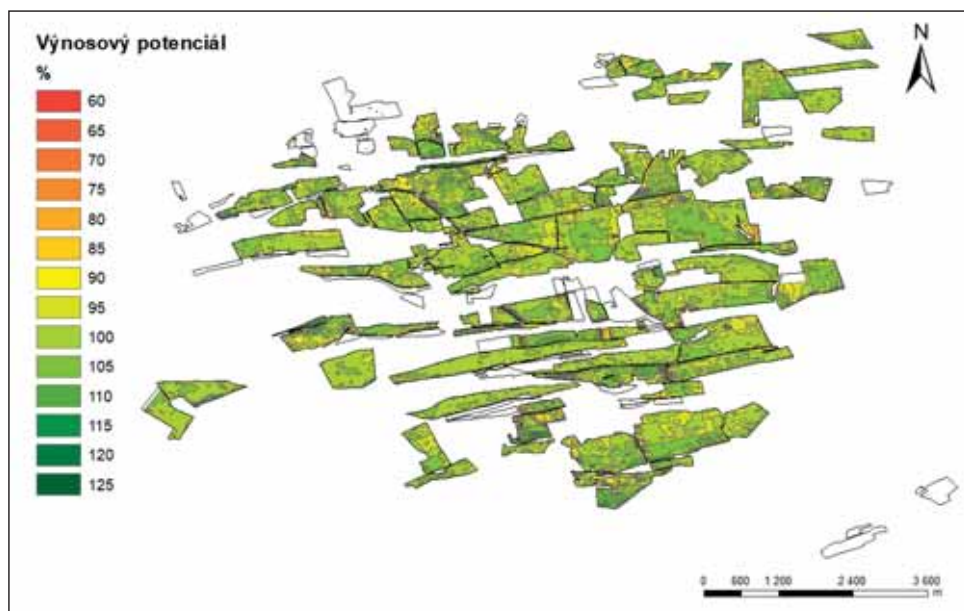
- Optimalizace směru jízdy může přispět ke snížení celkové délky jízdy po pozemcích.
- Provedení optimalizací je spojeno se snížením počtu otáček na souvracích.
- Optimalizace trajektorií je většinou spojena se zlepšením poměru mezi pracovními a nepracovními jízdami.
- Na nepravidelných pozemcích může být snížení délky pracovních jízd spojeno s nárůstem počtu nepracovních jízd.

Variabilní setí v precizním zemědělství (Kroulík, Brant, Krček a Záborský)

Chceme-li přistupovat k pozemku a jeho částem individuálně, vytvořit aplikační mapy a zóny, obvykle je třeba zvážit tři faktory: informace, které mají být použity jako základ pro vytvoření zóny, postup, který má být použit pro zpracování informací (tj. klasifikace), a optimální počet zón, do kterých by pole mělo být rozděleno (Fridgen a kol., 2004). Prostorově specifické hospodaření zahrnuje několik pracovních kroků, jako je zpracování půdy, setí, hnojení a aplikace pesticidů. Jednou z aplikací, citovaných ve spojení s prostorově specifickými zásahy, je možnost změny výsevku na základě konkrétních půdních podmínek na půdním bloku. Variabilita půdních podmínek a tedy i výnosového potenciálu jednotlivých částí pozemků je obecně známa. To jednoznačně potvrzují mapy výnosu, půdních vlastností nebo například letecké snímky dokumentující především stav porostů a půdy. Na obrázku 139 je rozložení hodnot výnosového potenciálu na podniku Agra Řisuty, Středisko Ledce. Kromě rozmanitosti tvarů pozemku a jejich výměry jsou patrné rozdíly v úrovni stanovených výnosových potenciálů.

Výnosové potenciály pro následnou kvantifikaci variabilního výsevku byly stanoveny pro pozemky s výměrou vyšší než 5 ha. Výraznější zastoupení hodnot výnosového potenciálu se pohybuje od 90 do 110 % (obr. 140).

Úroveň variability výnosového potenciálu je v současné době považována za primární faktor ovlivňující ekonomické hlediska ve vztahu k variabilnímu provedení agrotechnických opatření, včetně variabilní změny výsevku, počtu jedinců na jednotku plochy, ale i ve vztahu



Obr. 139: Přehled pozemků a hodnot rozložení výnosových potenciálů.



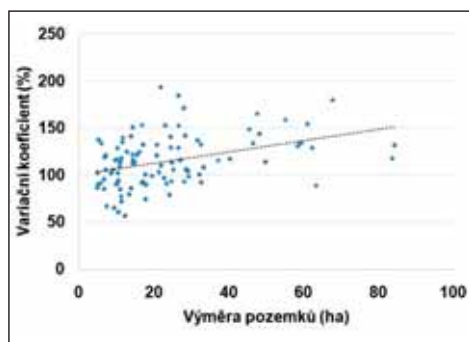
Obr. 141: Systém přesného setí obilnin a řepky firmy Horsch (vlevo) a na počet jedinců (vlevo), foto Brant.

k cílené variabilitě struktury porostu. V současné době se práce s variabilitou porostu řeší na základě změny počtu vysévaného množství osiva na jednotku plochy (přesné setí nebo variabilní setí na počet jedinců, obr. 141). Zajímavou možností reakce na variabilitu podmínek půdního bloku může být i práce se změnou rozteče řádků v rámci jednotlivých částí pozemků, která je však spojena s dodržáním rozteče pro jednotlivé pracovní jízdy (obr. 142). Tyto systémy jsou dostupné omezeně, ale mohou nabízet reakci na vláhové podmínky půdního bloku.

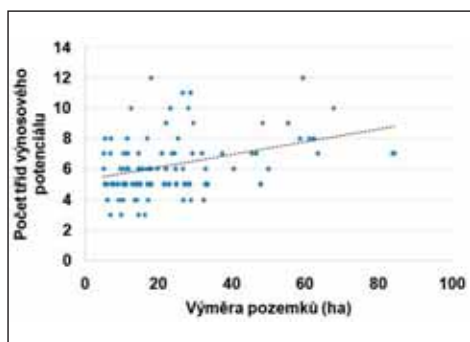


Obr. 142: Systém umožňující variabilní změnu rozteče řádků sečívá stroje u širokořádkových kultur (foto Brant).

Pokud pro jednotlivé půdní bloky vyjádříme úroveň variability na základě variačního koeficientu, dojdeme k závěru, že s velikostí pozemku narůstá variabilita úrovně (obr. 143). Rovněž přibývá počet jednotlivých zón výnosového potenciálu (obr. 144).



Obr. 143: S vyšší výměrou narůstá úroveň variačního koeficientu.



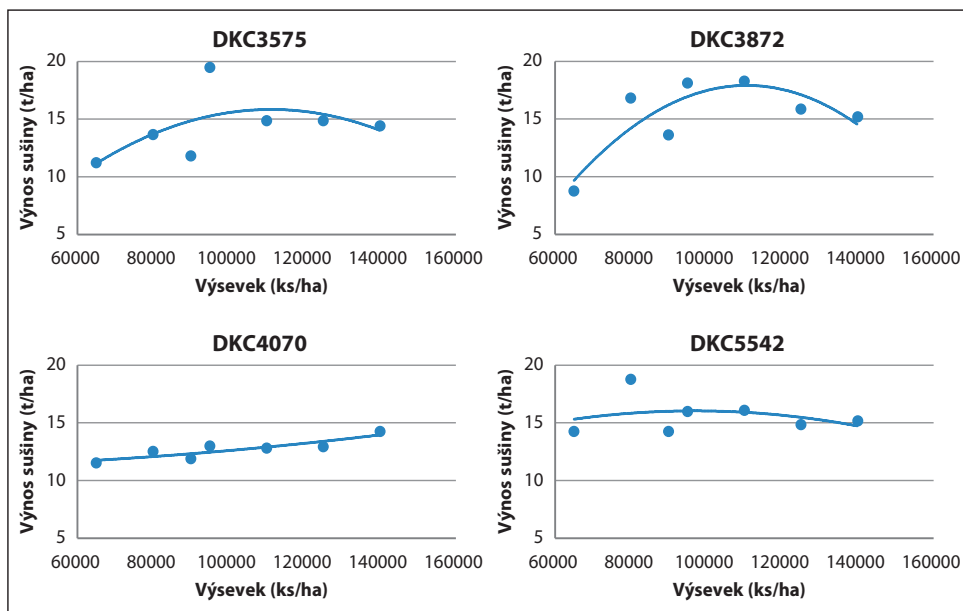
Obr. 144: S vyšší výměrou pozemku narůstá úroveň, ale také počet zón výnosového potenciálu.

Možnost variabilního výsevu je nejčastěji spojována se zakládáním porostu kukuřice seté. Nielsen (1995) poukazuje na skutečnost, že, právě výnosový potenciál by měl být základem pro stanovení výše výsevu, či počtu semen na jednotku plochy. Odhad výnosového potenciálu by měl být založen na znalosti výnosu za období minimálně 3 až 5 let. Autor dále přináší závěry ze sledování výnosů kukuřice na zrno, získané od firmy Pioneer Hi-Bred International, Inc. Data byla získávána v letech 1978 až 1993. Počty rostlin na akr se pohybovaly od 26 000 do 30 000 kusů (cca. 64 000 do 74 000 rostlin/ha) a výnosy zrna se pohybovaly od 101 do více než 180 bušlů na akr. Pokud budeme uvažovat hektolitrovou váhu semen kukuřice 67,1 kg/hl, odpovídá 1 bu/a přibližně 60,3 kg/ha, výnos zrna se tedy pohyboval od 6 t/ha do 10,8 t/ha. Na základě výsledků byly doporučeny následující výsevky podle výnosového potenciálu pozemku. Pro výnos v úrovni 121 bu/a a více výsevek 28 000–32 400 semen/a, pro výnos 101 až 120 bu/a 28 000 semen/a a pro výnosy pod 100 bu/a výsevek 19 500 semen/a.

Hörbe a kol. (2013) využili pro specifikaci zón pro variabilní setí kukuřice seté jednak zkušenosti zemědělců a rovněž výnosová data z předchozích devíti sezón. Pozemek dělili rovněž na tři oblasti. Výsevek se pohyboval od 50 000 do 90 000 semen/ha. Optimalizace výsevu přinesla navýšení výnosu v porovnání s referenčním výsevem (70 000 semen/ha)

Lowenberg a DeBoer (1998) považují za významný ukazatel pro uplatnění variabilního setí kukuřice seté také výnosový potenciál ploch. Variabilní setí bylo doporučeno pro zemědělce, kteří obhospodařují pozemky s plochami s nízkým výnosovým potenciálem (méně než 100 bu/a). Ke stejnému závěru došel rovněž Doerge (1997), který uvádí, že variabilní setí může být efektivní, pokud část ploch vykazuje výnos nižší než 100 bu/a. DeBoer (2002) uvádí, že variabilní setí má ekonomický potenciál pro zemědělce s pozemky, kde je nízká výnosová úroveň a podíl těchto pozemků je malý. Pro zemědělce, kteří obhospodařují pozemky se středním a vysokým výnosovým potenciálem, je doporučen jednotný výsevek. Na druhou stranu se ukazuje, že variabilní výsevek je ekonomicky efektivní i v případě, že plocha s nízkým výnosovým potenciálem je malá. Dokonce i při podílu ploch s nízkým výnosovým potenciálem pod 10 %. Efektivita roste s vyšším podílem ploch s nízkým výnosovým potenciálem. Na druhou stranu nelze opomenout také celkovou výměru oseté plochy, výkupní cenu a charakter rozložení variability ploch. Ukazuje se, že jednotlivé zóny jsou na pozemku roztroušené, mají nepravidelný tvar a jsou poměrně malé. Za účelem získání podkladů pro vytvoření zón vyhovují výnosové mapy. DeBoer (2002) využil pro členění variability půdního bloku skutečné výnosy zrna kukuřice. Pozemek poté rozdělil na tři výnosové zóny: vysokou (nad 180 bu/a) střední (120 až 140 bu/a) a nízkou (pod 100 bu/a). Na druhou stranu je potřeba zmínit, že odhad výnosového potenciálu pouze na základě výnosových map není přesný, neboť na výnos plodiny působí řada faktorů.

S ohledem na variabilitu pozemku je rovněž významné stanovit vhodný hybrid a volbu výsevu pro jednotlivé úrovně výnosového potenciálu jednotlivých ploch. Na variantním poloprovozním pokusu byly sledovány výnosové parametry rozdílných hybridů silážní kukuřice a dopad hustoty porostu, daného výsevem, na výnos a na ukazatele kvality



Obr. 145: Průběh hodnoty výnosu sušiny čtyř odrůd kukuřice na siláž v závislosti na výsevku.

řezanky. Z výsledků, které přináší grafy na obrázku 145 je patrná reakce výnosu na zvolený výsevek.

Kromě výnosu je pro zajištění konzervace a výroby kvalitní siláže dosáhnou příslušných kvalitativních parametrů. Tabulky 16 a 17 dokládají vliv změny výsevku na biometrické, výnosové a kvalitativní parametry sklizené biomasy. Z výsledků je patrné, že hustota výsevu ovlivňuje nejen biometrické parametry, ale také i sušinu rostlin.

Tab. 16: Biometrické parametry porostů silážní kukuřice na hodnocených variantách při sklizni 7. 8. 2018 (lokalita Budihostice). Rozdílné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey, $\alpha = 0,05$)

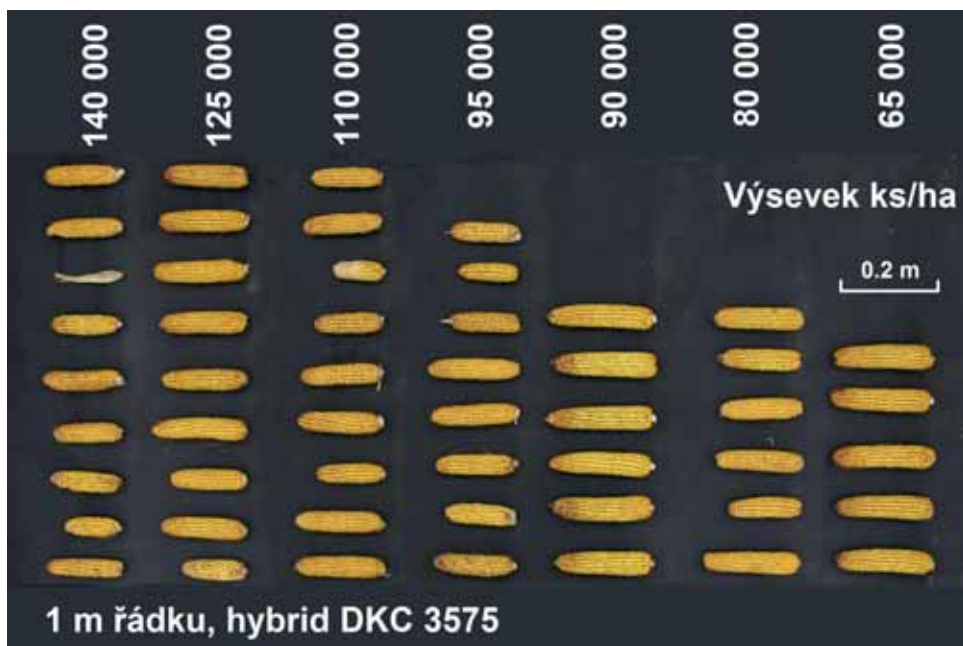
hybrid	rostlin na ha (kusy)	výška (m)	počet listů (ks)	vyvinutá palice (ks)	nevyvinutá palice (ks)	suchá hmotnost listů na rostlině (g)	suchá hmotnost stébla na rostlině (g)	suchá hmotnost palic na rostlině (g)	suchá rostlina celkem (g)						
DKC 3730	85 000	2,925	a	12,7	a	1	0,7	38,5	ab	105,8	b	135,5	b	279,7	b
Futurixx		3,133	c	13,5	b	1	0,8	43,2	b	107,5	b	132,4	b	283,1	b
DKC 3730	95000	3,005	ab	12,9	ab	1	0,2	33,6	a	81,1	a	99,1	a	213,7	a
Futurixx		3,091	bc	12,9	ab	1	0,5	36,3	a	89,5	ab	92,4	a	218,2	a
DKC 3730	105000	3,116	c	13,0	ab	1	0,6	35,5	a	83,2	a	96,5	a	215,3	a
Futurixx		3,184	c	13,2	ab	1	0,5	35,5	a	93,0	ab	89,2	a	217,6	a

Tab. 17: Výnosové parametry porostů silážní kukuřice na hodnocených variantách při sklizni 7. 8. 2018 (lokalita Budihostice). Rozdílné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokumentují statisticky průkazné rozdíly (ANOVA, Tukey, $\alpha = 0,05$)

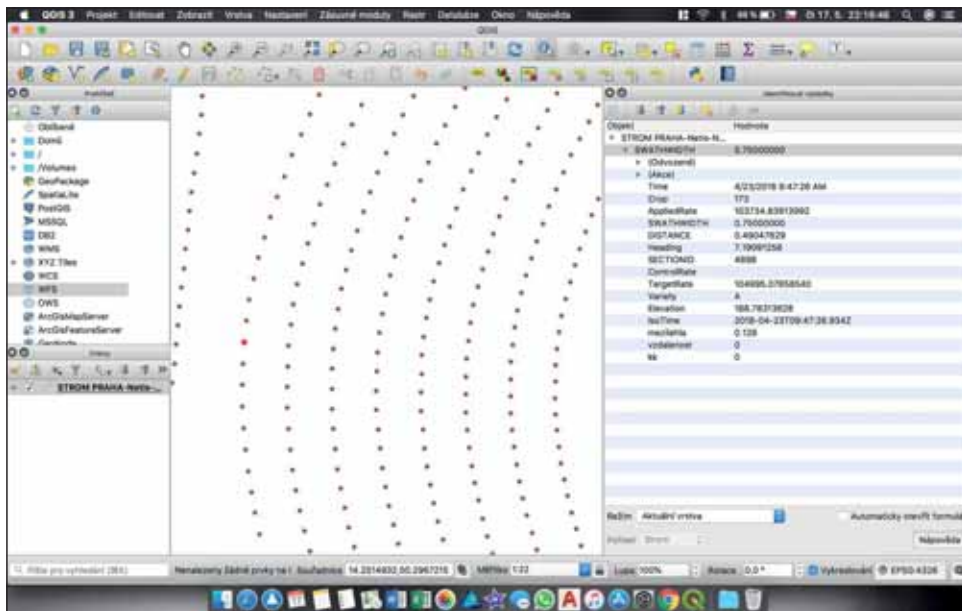
hybrid	rostlin na ha (kusy)	suchá biomasa porostu t/ha	sušina rostliny (%)	sušina listů (%)	sušina stébla (%)	sušina palic (%)
DKC 3730	85 000	23,685	a	24,7	a	28,5
Futurixx		23,953	a	25,4	a	27,4
DKC 3730	95000	20,203	a	25,6	a	27,6
Futurixx		20,454	a	25,6	a	24,7
DKC 3730	105000	21,084	a	30,1	b	38,4
Futurixx		23,654	a	31,0	b	36,0

Obrázek 146 dokládá vliv variability výsevku s ohledem na zvolený hybrid. Na velikosti palic je dobře patrný rozdíl. Velikost palic klesala s vyšší výsevkou. Na těchto palicích jsou rovněž patrné známky poškození během vegetace. Jedním z výrazných stresových faktorů je nedostatek vláhy, který se s vyšším výsevkem a vyšší vzájemnou konkurencí mezi rostlinami ještě prohloubil. Na základě literárního přehledu a získaných výsledků se nabízí cesta k nižšímu výsevku na méně produkčních plochách.

Otázka hustoty a vyrovnanosti porostu je také významná v případě setí na souvratích a obsévání hranic pozemků, kde se pohybujeme v zatáčkách. Zde nastupují moderní prvky řízení a pohonu výsevních mechanismů, které zajistí shodné rozestupy rostlin



Obr. 146: Vliv hustoty porostu na velikost palic ve vztahu k použitému hybridu kukuřice seté (foto Kroulík).



Obr. 147: Mapa rozmístění semen osiva kukuřice seté při zatáčení secího stroje ExactEmerge (John Deere), zdroj: Strom Praha a.s.

v zakřivených liniích (obr. 147). S požadavky na protierozní opatření budou požadavky na vyrovnávání výsevku v zatáčkách ještě narůstat. Zejména se bude jednat o technologie tzv. vrstevnicového obhospodařování svažitých pozemků, kde řídicí křivka navigace traktoru respektuje vrstevnici svahu.

S ohledem na vývoj klimatických změn a s nárůstem rizika negativního vlivu vodního stresu na vývoj porostů může docházet nejen k optimalizaci struktury porostů kukuřice seté, ale také k její částečné náhradě rostlinami široko obecného. I u široko obecného může být variabilita výsevu jedním z faktorů určujícím efektivitu pěstování. Snider a kol. (2012) ověřovali na základě polních experimentů vliv rozteče řádků na produkci nadzemní biomasy široko obecného. Byly hodnoceny varianty s roztečí meziřádků 0,76, 0,38 a 0,19 m a s výsevky 218 000, 306 000 a 393 000 semen/ha pro jedno stanoviště a 116 000, 204 000 a 291 000 semen/ha pro druhé. Hodnocena byla produkce nadzemní biomasy, výška rostlin, hustota porostu a průměry stonků. Z výsledků vyplynulo, že nejvyšší produkce biomasy a nejlepší ekonomické výsledky byly shledány u úzkých řádků s výsevkem 116 000 semen/ha. Navyšování výsevku postupně vedlo ke snižování výnosu a dalším morfologickým změnám, jako byla výška porostu nebo průměry stonků. Struktura porostu může být spojena i s potřebou eliminace erozních rizik u širokořádkových plodin. Habyarimana a kol. (2004) rovněž dospěli k závěru, že zvyšování výsevku z 100 000 na 200 000 semen/ha navýšilo výnos pouze na jednom ze tří pokusných stanovišť.

Variabilní setí není pouze o změně výsevku

Při setí vyvstává mnoho požadavků a je obtížné stanovit priority. Respektování stanovištních podmínek při zakládání porostů polních plodin je významným krokem do nové pěstební sezony. Kromě možnosti variabilního výsevku se nabízí k nastavení řadu dalších parametrů, které jsou pro zajištění zdárného klíčení a růstu plodin neméně důležité. Systémy pro změnu hloubky setí a přitlaku na secí botky, s ohledem na původ, jsou rozvíjeny nejvíce pro širokořádkové plodiny, konkrétně kukuřici. Ukazují ale možné cesty pro další plodiny.

Jedním z významných parametrů je zmíněná hloubka setí. Podmínky pro klíčení a vzházení jsou určeny hydraulickými, teplotními a mechanickými vlastnostmi půdy. Na heterogenních pozemcích se tak bude lišit i optimální hloubka setí.

Variabilní hloubka setí není stále používaná v systému precizního zemědělství. Kukuřice setá je běžně seta na hloubku 40 až 60 mm bez ohledu na variabilitu půdních podmínek. Přitom teplota, dostupnost vody a velikost půdních agregátů v seťovém lůžku jsou považovány za klíčové faktory pro vzházení. Osivo přijímá vodu tak dlouho, dokud vodní potenciál osiva je menší než vodní potenciál půdy. Pokles vodního potenciálu pod kritickou mez vede k poklesu klíčení. Hunter a Erickson (1952) uvádějí minimální hodnotu vodního potenciálu pro hlinitou půdu pro klíčení kukuřice -1.25 MPa.

Garrido a kol. (2011) sledovali variabilitu v hloubce setí při uplatnění technologie přímého setí. Hloubka setí se pohybovala v rozmezí od 17,1 mm do 29,5 mm. Na secím stroji, který byl osazen čidly, byla měřena hloubka setí, pracovní rychlost a přitlačná síla potřebná na zahloubení secí botky. Test ukázal, že v případě vyššího přitlaku na botku je kontrola hloubky přesnější, nicméně z důvodu variability penetračního odporu půdy bylo až 30 % osiva uloženo pouze na povrch půdy. V reálných podmínkách však velmi často dochází k variabilnímu uložení osiva z důvodu rozdílné reakce jednotlivých druhů secích potek na aktuální půdní podmínky. To se nakonec projeví v rozdílném vzházení, růstu a samozřejmě i na výnosu. Podle Bragachiniho a Peirettia (2007) musí být osivo kukuřice seté uloženo co nejpřesněji, aby se zabránilo vzniku nevyrovnaného porostu. V opačném případě dochází ke vzájemné konkurenci rostlin, což ve finále může znamenat výnosovou ztrátu až 10 %.

Canacki a kol. (2009) konstatují, že setí kukuřice seté, sóji luštinaté a bavlníku na větší hloubku ve vlhčí půdě vedlo k opoždění vzházení v porovnání se suššími podmínkami. Knappenberger a Köller (2012) ověřovali vliv hloubky setí na vzházivost a výnos zrna kukuřice. Kukuřice setá byla seta na hloubku 40, 50, 60, 70, 80 a 90 mm. Také v tomto případě bylo využito měření elektrické vodivosti půdy. Elektrická vodivost byla zvolena jako ukazatel zrnitostního složení, hloubky orniční vrstvy, zóny prokořenění, vlhkosti půdy a struktury půdy. Pomocí statistických modelů byly zjišťovány prostorové závislosti mezi vzházivostí, výnosem a elektrickou vodivostí. Výsledky vykazaly významnou korelaci mezi elektrickou vodivostí, ročníkem, hloubkou setí a vzházivostí. Hlubší setí (80 a 90 mm) vykazovalo vyšší vzházivost v porovnání s mělčí hloubkou setí kukuřice (4,4 % v roce 2006,

1,2 % v roce 2007 a 1,5 % v roce 2008). Vzcházivost klesala s vyššími hodnotami elektrické vodivosti. Zvyšování hodnot elektrické vodivosti korelovalo se snižováním výnosu, kdy se vyšší hodnoty vzcházivosti promítaly do vyšších výnosů.

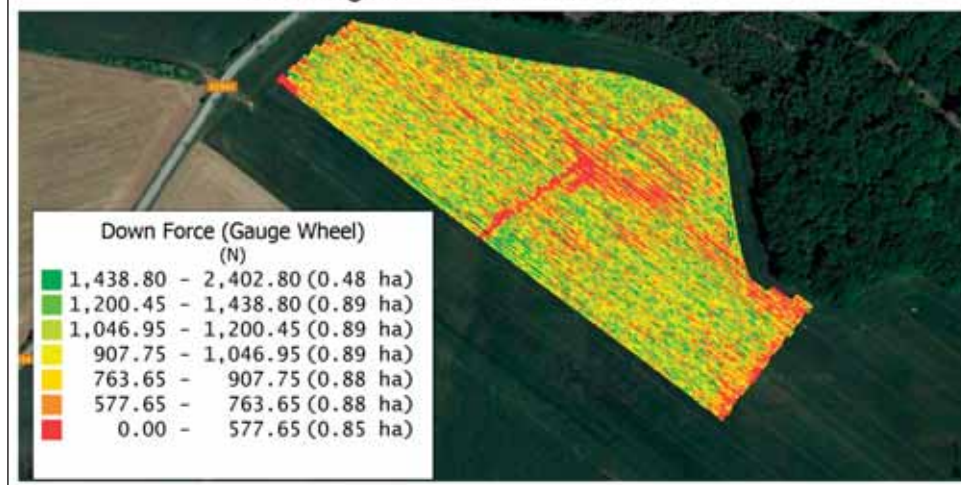
Na heterogenním pozemku má variabilní setí své opodstatnění. Pommel (1990) přisuzuje rychlejší růst u kukuřice seté na 70 mm v porovnání se setím do hloubky 20 mm vyšší dostupností vody v hlubší vrstvě. Itabari (1993) poukazuje na souvislost mezi pozdějším termínem setí a lepší vzcházivostí u hlouběji setých variant. Tento efekt rovněž připisuje dostupnosti vody. Na druhou stranu Gupta a kol. (1988) upozorňuje na opoždění ve vzcházení u hlubších variant setí kukuřice (75 mm), z důvodu nižší teploty půdy až o 18 dní. Pokud vlhkost půdy nebyla limitujícím faktorem, vliv teploty byl kompenzován u přímého setí menší hloubkou setí (25 mm). Výsledky pokusů Chen a kol. (2004) dokumentují vliv uspořádání pracovních nástrojů secí botky na rychlost vzcházení porostu pšenice, kukuřice a sóji v technologii přímého setí. Secí botka se sestávala z kopírovacího kola, dvou disků a přítlačného kola. Celkem byly ověřovány čtyři kombinace výše uvedených nástrojů. Pokud bylo demontováno přítlačné kolo, rychlost vzcházení a celková populace rostlin byla redukována v případě normálních a suchých půdních podmínek. Ve vlhčí půdě byla absence přítlačného kola naopak výhodou. V případě demontáže kopírovacího kola byla v laboratorních podmínkách naměřena dvojnásobná hloubka setí v jemně připravené půdě, což vedlo ke snížení rychlosti vzcházení. Sestavení secí botky bez kopírovacího nebo přítlačného kola vedlo ke snížení výnosu v normálních a sušších podmínkách. Vliv kopírovacího nebo přítlačného kola se měnil mezi suchými a vlhkými půdními podmínkami.

Suomi a kol. (2009) ověřovali systém kontroly hloubky setí s využitím vícenásobného použití senzorů, které sledovaly hloubku setí. V reálných polních podmínkách bylo dosaženo přesnosti ± 8 mm.

Knappenberger a Köller (2012) uvádějí, že hodnoty výnosu zrna kukuřice a vzcházivosti rostlin významně korelovaly s vodivostí půdy. Neprokázali však vliv variabilní hloubky setí na výnos zrna, i když hloubka setí měla vliv na vzcházení. Absence vlivu na výnos byla vysvětlena kompenzací rostlin při nižší hustotě výsevu. Rovněž nebyly nalezeny významné interakce mezi hloubkou výsevu a elektrickou vodivostí s ohledem na vzcházení a výnos. Proto se kloní k závěru, že hloubka setí tak nemůže být stanovena pouze na základě měření variability podmínek pomocí elektrické vodivosti. Přesto podle Knappenbergera a Köllera (2012) není vyloučeno, že variabilní hloubka setí nemůže být přínosem pro pozemky s větší výměrou a rozdílnými klimatickými podmínkami.

Aldrich a kol. (1975) navrhuje hloubku setí pro kukuřici setou v rozmezí 25 až 125 mm, v závislosti na půdní vlhkosti a zrnitostním složení půdy. Na půdách vlhkých je doporučena hloubka 50 mm, při nižší vlhkosti je doporučena hloubka setí 75 až 88 mm pro půdy jílovité, 110 až 112,5 mm pro půdy hlinité a 125 mm pro půdy písčité. Hloubka 25 mm je doporučována v případě dřívějšího termínu setí, pokud vlhkost půdy není limitující.

Planting 2018 - Pole za lesem

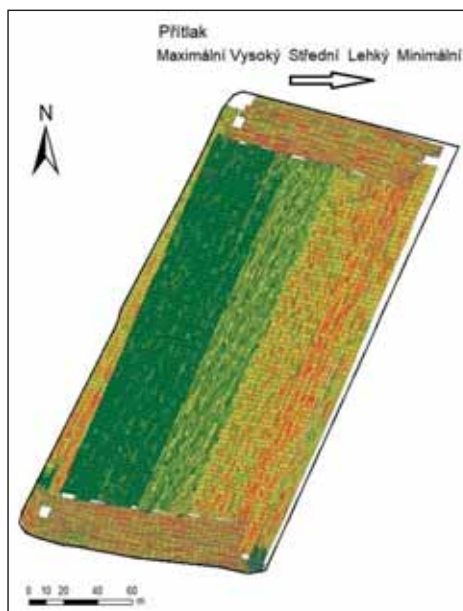


Obr. 148: Hodnoty naměřené přítlačné síly na opěrné kolo secí botky při setí kukuřice.

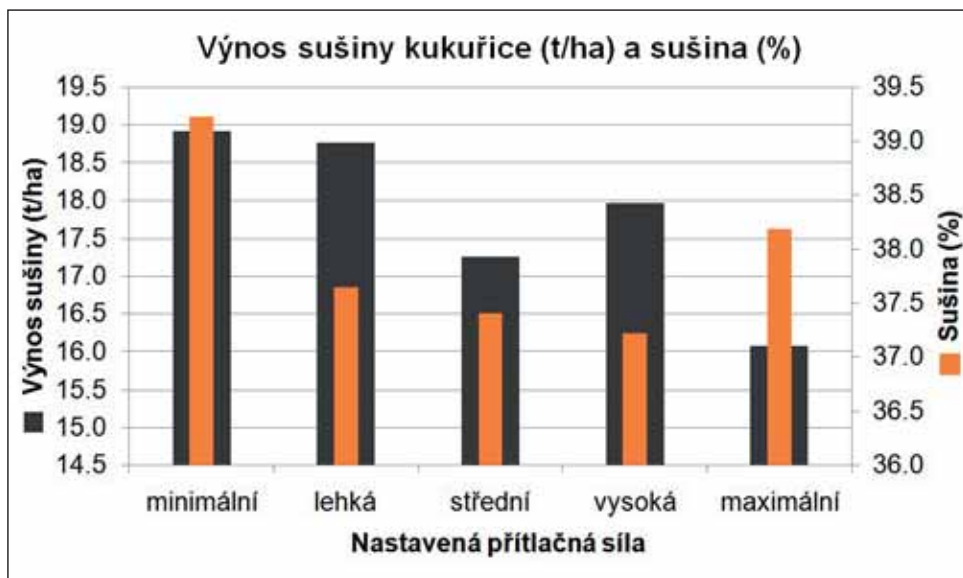
Je patrné, že požadavky na dodržení korektní hloubky ukládání osiva narůstají s variabilitou pozemku. Vzhledem k tomu, že velikost přítlačné síly je klíčová pro dodržování požadované hloubky setí, výrobci techniky se začínají orientovat na tento parametr. Obrázek 148 znovu přináší mapu přítlačné síly, působící na opěrné kolo secí botky, která je zároveň informací pro nastavení vhodné hloubky setí. Uvedený systém představila firma AgLeader.

Nastavení přítlaku na secí botku je zajištěno automaticky. Na začátku ještě předchází volba režimu, který vychází z půdních podmínek stanoviště. Pro ověření vlivu přítlaku a tedy hloubky setí byl proveden provozní pokus při setí kukuřice s variantním nastavením režimu přítlaku. Výsevek byl nastaven na 91 000 jedinců/ha. Obrázek 149 dokládá nastavené režimy přítlaku. Graf na obrázku 150 dokládá význam nastavení přítlačné síly na secí botky při variabilitě pozemku.

V uvedeném případě se jedná o praktickou ukázkou individuálního přístupu k jednotlivým řádkům rostlin a rostlinám. Jak ukazuje technický pokrok ve sběru dat a jejich interpretace, přítlak je jedna z cest. Termogram na obrázku 151 dokládá, jak



Obr. 149: Varianty pokusu s přítlakem na secí botky.

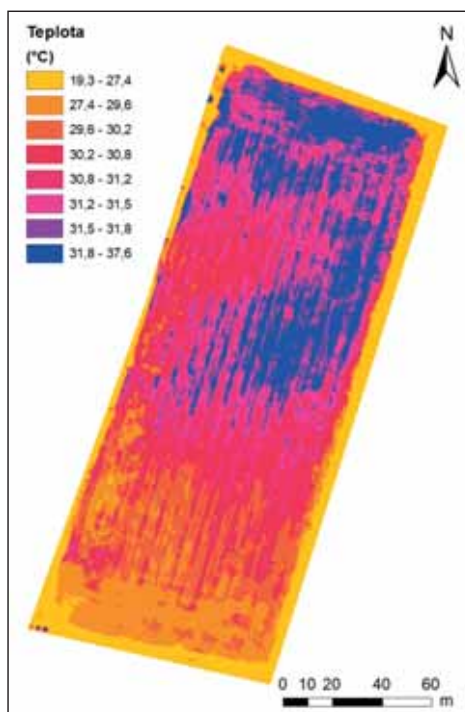


Obr. 150: Výnos sušiny silážní kukuřice a hodnoty sušiny při rozdílném nastavení přítlaku na seči botky.

variabilní je pozemek z hlediska teploty povrchu v termínu založení porostu. Přestože se jedná o pozemek o pouhé výměře cca 2 ha, můžeme pozorovat rozdíly v teplotě povrchů půdy až 10° C.

Teplota povrchu půdy je odezvou na několik faktorů. Významná je vlhkost půdy, obsah organické hmoty, barva půdy, případně pokrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Každopádně je to jeden ze vstupních parametrů pro nastavení hloubky setí. Informace o teplotě půdy využívá systém pro změnu hloubky setí, který prezentuje firma PrecisionPlanting, prostřednictvím senzoru SmartFirmer. Uvedené řešení již bylo prezentováno v předchozích kapitolách.

Důležitým parametrem pro zajištění vyrovnaného porostu je organizace rostlin v řádku. Obrázek 152 přináší pohled na dva řádky kukuřice seté s rozdílnou úrovní pravidelnosti rozmístění rostlin, resp. osiva.



Obr. 151: Termogram povrchu pozemku zobrazující teplotu půdy v době setí kukuřice seté.



Obr. 152: Řádky kukuřice seté s pravidelným rozmístěním rostlin (vlevo) a vpravo s nepravidelným rozmístěním (foto Kroulík).

Pravidelnému rozmístění osiva napomáhají také speciální semenovody, opatřené dopravníky, které eliminují nerovnoměrnosti v dopravě osiva. Varianty řešení uvedených systémů přináší obrázek 153 a 154.

Jedním z významných parametrů, s ohledem na zajištění omezení kontaktu osiva s rostlinnými zbytky ať už předplodiny nebo meziplodiny, je přístup k odstranění rostlinných zbytků. Rozdílná vrstva rostlinných zbytků, nebo konkrétní půdní podmínky jsou důvodem k variabilnímu přitlaku na kotouče, které zajišťují odkliz zbytků z budoucího řádku. Obrázek 155 přináší pohled na technické řešení jednotky pro pásové zpracování půdy, kde je pomocí pneumatické soustavy řešena změna přitlaku.

Jistou oprávněnost pro použití variabilního výsevu a technických možností



Obr. 153: Semenovod sečí botky s rychloběžným dopravníkem pro transport osiva (foto Kroulík).



Obr. 154: Kartáčový dopravník sečí botky (foto Kroulík).

nastavení parametrů setí dokládá index NDVI pořízený v průběhu dozrávání kukuřice seté (obr. 156). Ten dokládá vysoký stupeň variability pozemku porostu do značné míry ovlivněný půdními podmínkami stanoviště.

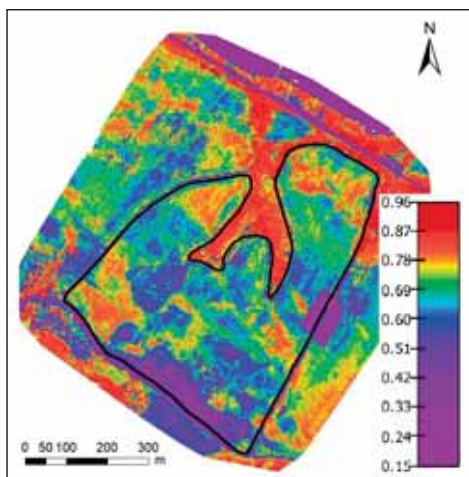
Je to rovněž jeden z podkladů, protože z hlediska rozhodování a získávání podkladů pro rozhodování můžeme vycházet ze dvou postupů. Výše uvedené příklady jsou ukázkou principů okamžité reakce na daný stav. V druhém případě máme k dispozici data o rostlinách nebo půdě, která zpracováváme po naměření a na základě daných výsledků připravujeme aplikační zásah.

Shanahan et al., (2004) ve svých pokusech s dvěma hybridy kukuřice seté a čtyřmi hustotami porostu dospěl k následujícím závěrům. Hybridy reagovaly shodně na variabilitu pozemku, zatímco hustota porostu vykazovala rozdíly. Jako ekonomicky optimální se ukázaly rozdíly v hustotě porostu na úrovni 5 000 rostlin/ha při respektování ploch s vysokým a nízkým výnosovým potenciálem. Přesto zůstává určitá skepse v případě ekonomické výhodnosti variabilního setí. Zejména při práci s variabilním výsevem bez znalosti půdních podmínek, pouze s přihlédnutím na výnosy v předchozích letech. Podrobná charakteristika prostředí tak bude nezbytná (Kitchen a kol., 2003; Kravchenko a kol., 2003). Licht a kol (2017) poukazují na skutečnost, že stanovení jediné optimální metodiky výsevu založené na půdních vlastnostech a/nebo topografických parametrech pozemku se zdá nepravděpodobné, zejména z důvodu odezvy rostlin na klimatické podmínky. Z tohoto důvodu bude zapotřebí přistupovat k jednotlivým pozemkům z roku na rok.

Současné technologické možnosti setí mají potenciál zvýšit produktivitu plodin díky přesnému nastavení parametrů setí. Vývoj v oblasti „BIGdata“ pro zemědělství odráží potřebu sběru kvalitních a detailních dat. To klade vyšší nároky na přesné nastavení a seřízení stroje. Bez tohoto nastavení nelze docílit požadovaného efektu a přesnosti výsevu (Virk a kol., 2019).



Obr. 155: Technické řešení pro změnu přitlaku na kotouče pro odkliz rostlinných zbytků (foto Kroulík).



Obr. 156: NDVI snímek pozemku s kukuřicí setou (19. 8. 2029).

Zpracování podkladů pro variabilní setí

Výzkumná pracoviště a výrobci projevují zájem o charakteristiku půdního prostředí a členitost terénu ve vazbě na růst rostlin a výnos. Na jedné straně řada autorů (např. Kravchenko a Bullock, 2000; Nolin a kol., 2001; Ward a Cox, 2001) uvádějí, že obvykle neexistují, případně pouze na nízké úrovni, vztahy mezi variabilitou výnosu a individuálními půdními vlastnostmi jako je obsah organické hmoty, kationtová výměnná kapacita a zrnitost.

Na druhou stranu elektrická vodivost půdy, která je ovlivněna řadou půdních vlastností, silně koreluje s obsahem jílnatých částic v orniční vrstvě, která ovlivňuje vododržnost půdy a tím se podílí na variabilitě výnosu ve srážkově průměrném roce (např. Kachanoski a kol., 1990; Morgan a kol., 2001; Doolittle a kol. 1994; Sudduth a kol., 2001; Kitchen a kol., 1999). Corwin a kol. (2003) pozorovali nejednotnost v korelaci mezi elektrickou vodivostí půdy a výnosem, přesto existují specifické případy, kdy spolu elektrická vodivost a výnosy korelují. Vyvinuli tak model, zahrnující elektrickou vodivost půdy a výnos, který poslouží jako nepřímý ukazatel faktorů, které mohou být rozhodující pro zlepšení výnosů.

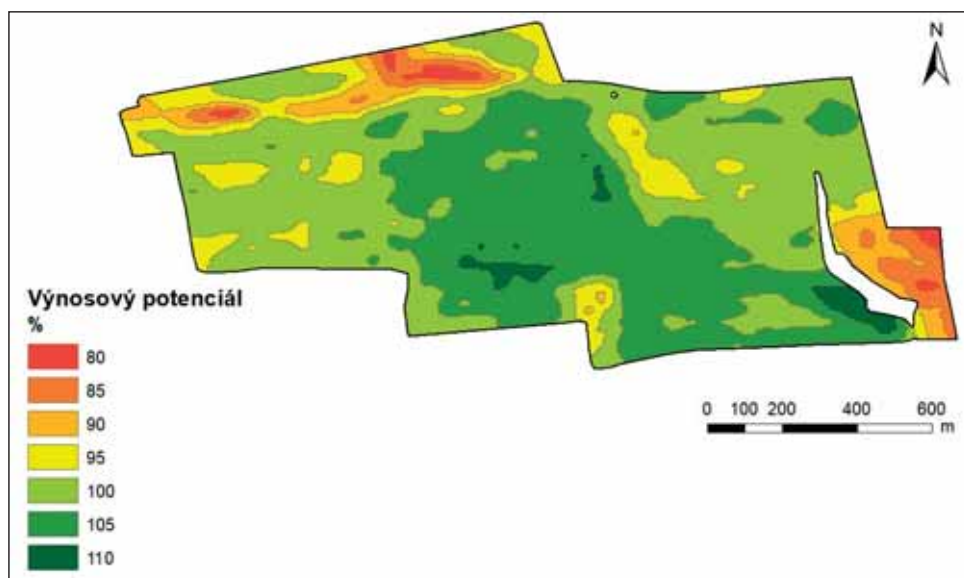
Ve spojení s popisem půdních vlastností je elektrická vodivost půdy zmiňována často. Na základě řady prací, je možné konstatovat, že data ze senzorů vodivosti půdy jsou často využívána při návrhu tzv. management zón pro variabilní vstupy. Měření vodivosti půdy se stává jednou z nejpoužívanějších technik mapování polní variability pro potřeby technologií precizního zemědělství (Corwin a kol., 2003; Terrón a kol., 2011).

Reining a kol. (2003) využili ve své práci model půdních vlastností a výnosového potenciálu půdy pro stanovení výsevku. Výnosový potenciál byl sledován na základě víceletých sledování výnosu plodin. Na základě ukazatelů kvality půdy byl pozemek rozdělen na polygony. Pro stanovení potenciálu byly provedeny korekce podle data výsevu, předplodiny a terénu na základě aktuálních podmínek. Výsledné hodnoty, odhad výnosu, představuje základ pro stanovení výsevku doplněné o informace o odrůdě, termínu výsevu, kvalitě setového lože, vlhkosti půdy v termínu setí, předplodinu a další. Detailní popis algoritmu přinesl Roth a kol. (2001). Výsledky porovnání modelové hustoty porostu se skutečnými hodnotami ukázaly shodu na úrovni $\pm 10\%$ očekávané hustoty vzešlých rostlin na 40 % polygonů, 51 % polygonů vykázalo shodu v rozmezí $\pm 15\%$. Zbytek vykazoval rozdílný, mnohdy opačný trend oproti předpokladu, kdy počet vzešlých rostlin klesal s navyšováním výsevku. Zde se však předpokládá vliv řady faktorů, které nelze zahrnout do modelu. Důvodem mohou být také nedostatečné informace o půdě nebo technické problémy během setí. Následující přehled předkládá výčet parametru, které byly použity v modelu stanovení výsevku: kvalita půdy (body), roční úhrn srážek (mm), výnosový potenciál (t/ha), relativní čas setí, čas na klíčení (dny), předplodina, hloubka setí (3 třídy), kontakt půdy s osivem (3 třídy), vlhkost půdy (3 třídy), kvalita setového lože (3 třídy), reliéf (%), výnos zrna na klas (g), počet plodných odnoží, hustota porostu (rostlin/m²), klíčivost (%), hmotnost tisíce zrn (g). I když se ukázal model jako použitelný pro plánování variabilního výsevku, je zdůrazněna potřeba zlepšit informovanost o půdních vlastnostech. Rovněž je zmíněna potřeba technického vývoje secích strojů.

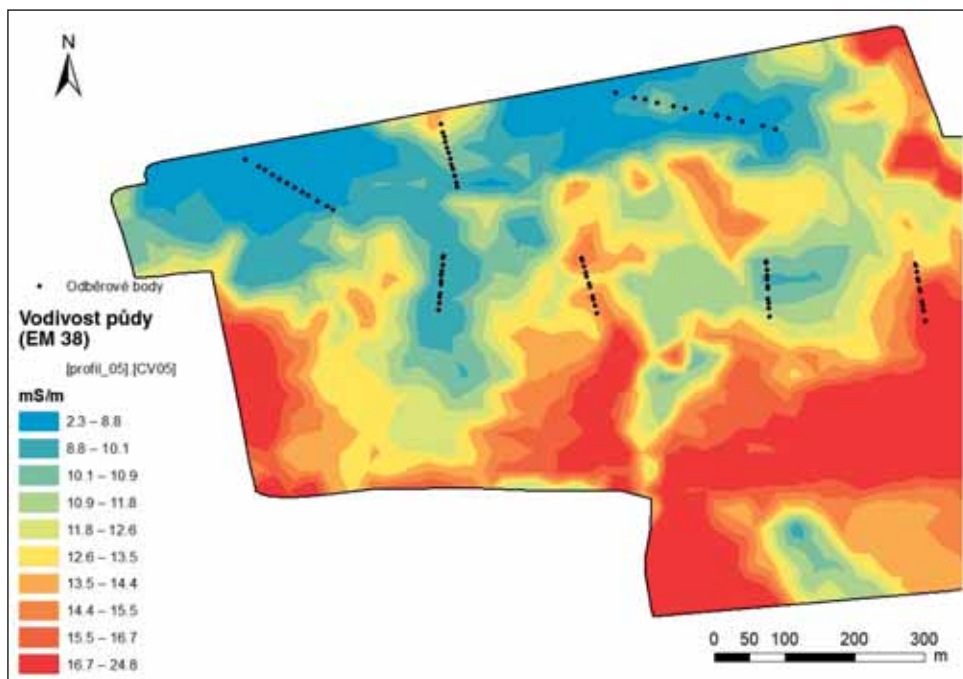
Kravchenko a kol., (2003) uplatnili model, kde sledovali hodnoty výnosů kukuřice a sóji, elektrické vodivosti a modelu terénu, ve snaze popsat vzájemné vztahy. Významnou roli ve výsledcích hrály srážky během března. Pozitivní korelaci mezi výnosem a elektrické vodivosti našel Johnson a kol., (2003). Přes všechny protichůdné výsledky, představuje znalost elektrické vodivosti významný nástroj pro precizní zemědělství. Je ale potřeba zdůraznit, že vztah mezi výnosem a elektrickou vodivostí je potřeba modelovat pro konkrétní výrobní oblast. Dalším významným faktorem, který ovlivňuje výnos je členitost pozemku (Bakhsh a kol., 2000; Kravchenko a Bullock, 2000; Fraisse a kol., 2001). Svažítost ovlivňuje především dostupnost vody pro rostliny. Jiang a Thalan (2004) uvádí, že svažítost pozemku je pro výnos v porovnání s nadmořskou výškou významnějším faktorem. Vedle důkazů, že půdní podmínky a svažítost pozemku ovlivňuje výnos, existují rovněž důkazy, že založení porostu tak, aby byly respektovány stanovištní podmínky, vede k optimalizaci výnosu. Jedním z řešení je výsevek na konkrétních lokalitách, především nižší výsevek na plochách méně výnosných a navýšení výsevku na úrodnějších místech (Ehsani kol. 2005). Kumhálová a kol. (2011) ve svých výsledcích upozorňují na význam svažítosti a sklonu pozemku ve vztahu k ovlivnění výnosu plodin, dostupnosti vody pro rostliny, rozvoji chorob, akumulace vody a pěstební sezóny. Z těchto důvodů nemůže být význam topografie v systému precizního zemědělství opomíjen.

Variabilní setí obilnin

Z důvodu ověření dopadu variabilní setí na výnos zrna a morfologické parametry porostu byly ověřovány rozdílné výsevky a variabilní setí pšenice ozimé a ječmene jarního. Na obrázku 157 je mapa výnosového potenciálu pozemku, ze které je patrné, že se jedná o velký a variabilní pozemek.

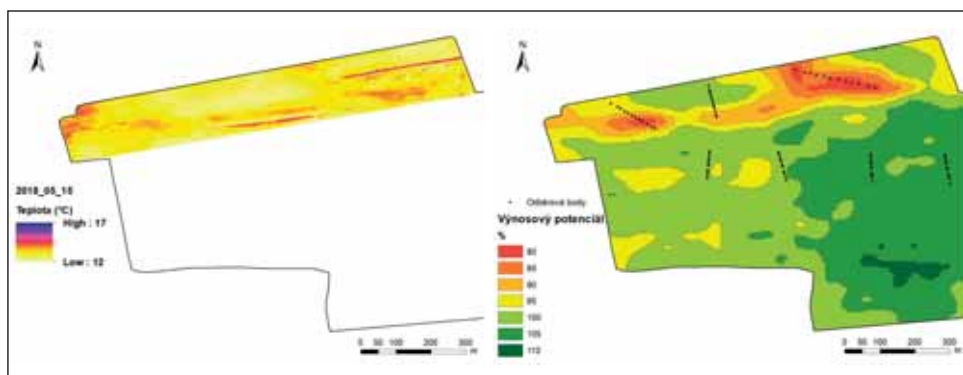


Obr. 157: Hodnoty výnosového potenciálu.



Obr. 158: Hodnoty vodivosti půdy v hloubce 0–0,5 m.

S ohledem na často uváděnou metodu stanovení variability půdy vodivost půdy, byla tato stanovena měřením s využitím sondy půdní vodivosti EM 38. Do mapy půdní vodivosti jsou rovněž vyznačeny body, ve kterých byly sledovány výnosové parametry porostu (obr. 158). Výsevek pšenice ozimé byl zvolen 180 semen/m², 230 semen/m² a 280 semen/m². Výsevek byl vždy jednotný pro příslušnou jízdu, tak aby protínal jednotlivé zóny výnosového potenciálu. Výsevky se střídaly v jednotlivých jízdách. Body odběru tedy prezentují jednotlivé jízdy a výnosové potenciály.



Obr. 159: Termogram vrchní části pozemku (vlevo) a hodnoty výnosového potenciálu příslušné části pozemku (vpravo).

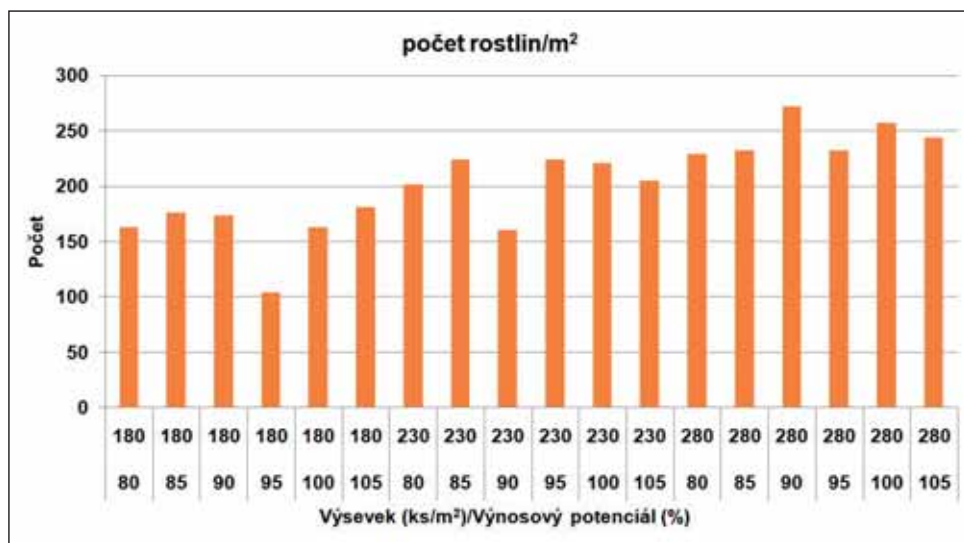
Z důvodu podrobnějšího popisu variability pozemku byl pro horní část pozemku, která vykazovala značnou míru variability, pořízen termogram. Ten rovněž dokládá rozdíly v teplotě povrchu půdy a porostu. Na základě porovnání s daty výnosového potenciálu pro danou část pozemku (obr. 159), je možné pozorovat shodu mezi jednotlivými zónami pozemku. Z porovnání ploch je patrné, že plochy s nižším výnosovým potenciálem vykazovaly vyšší teplotu povrchu.

Během jara byly odebrány rostliny z řádků pro stanovení biometrických ukazatelů porostu. Z tabulky 18 je patrné, že nastavenému výsevku nejvíce odpovídaly hodnoty pro výsevku 180 semen/m². S navýšením výsevku byla odchylka v průměru vyšší. Na některých variantách docházelo ke značným propadům. Ty byly rovněž výraznější s vyšším výsevkem.

Tab. 18: Porovnání nastavených a naměřených hodnot výsevku u ozimé pšenice

Výsevku (ks/m ²) / výnosový potenciál (%)	80	85	90	95	100	105
180	162,7	176,0	173,3	104,0	162,4	181,0
230	201,6	224,0	160,0	224,0	220,9	204,8
280	229,3	232,0	272,0	232,0	257,3	244,0

Podrobnější výsledky s počtem rostlin přináší obrázek 160, který dokládá rovněž variabilitu ve výsevku. V rámci variant výsevku nebyl shledán statisticky významný rozdíl. Z hlediska průměrného počtu odnoží na rostlinu nebyly rovněž prokázány statisticky významné rozdíly, nicméně z dat vynesných v grafu je možné vypočítat rostoucí trend v počtu odnoží pro jednotlivé hladiny výnosového potenciálu.



Obr. 160: Počet rostlin pšenice ozimé stanovený na jednotlivých variantách výsevku a výnosového potenciálu.

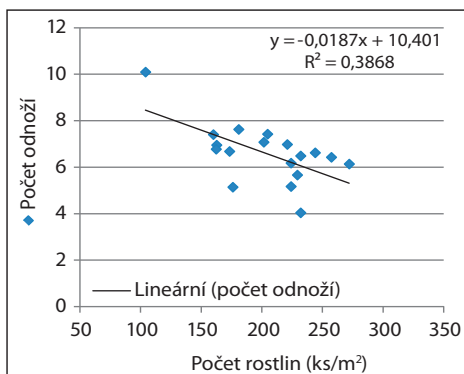
Pokud byl vyneseno do grafu sopečně počet odnoží na rostlinu a skutečné hodnoty počtu rostlin na m² můžeme pokles počtu odnoží se zvyšujícím se počtem rostlin (obr. 161).

Klesající trend měla s navyšováním výsevku i hmotnost jednotlivých rostlin. Pokles však nebyl průkazný.

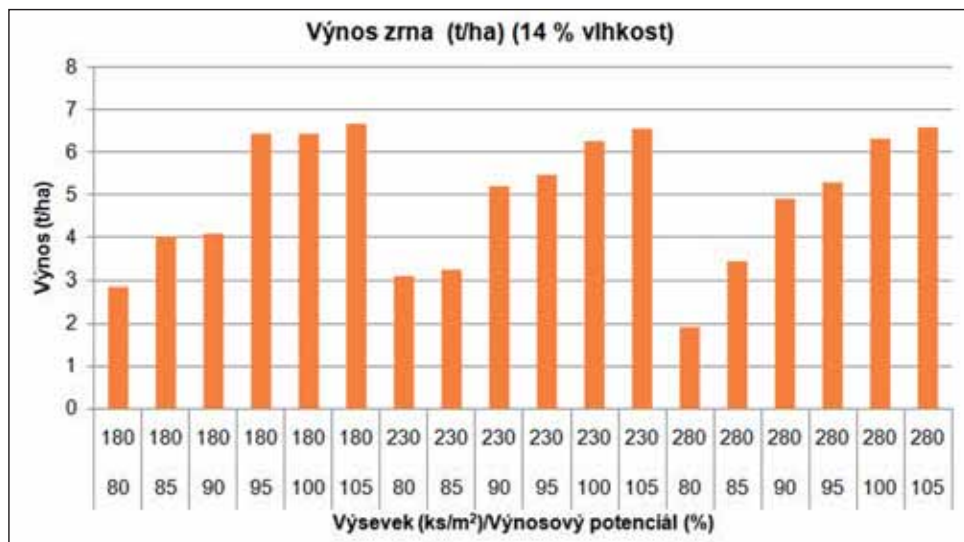
Před sklizní byly odebrány opět vzorky rostlin pro stanovení odhadovaného výnosu a výnosotvorných prvků. Ze všech ukazatelů je patrný výrazný vliv úrovně výnosového potenciálu, oproti výsevku. Každopádně s nižšími výsevky došlo k mírnému navýšení hodnot výnosu oproti vyšším výsevkům (obr. 162). Z dat je patrná vysoká kompenzační schopnost odrůdy vyseté pšenice ozimé, což je jeden ze základních prvků pro stanovení tříd výsevků. Ukázalo se, že nižší výsevek měl pozitivní vliv na výnos, kdy bylo dosaženo shodných, nebo vyšších hodnot výnosu pro jednotlivé zóny.

Ve shodných parametrech se pohybovaly další ukazatele, jako jsou například HTZ, počet fertálních odnoží nebo výška rostlin pšenice ozimé (obr. 163 až 165).

Pro setí jarního ječmene již byly stanoveny výsevky pro jednotlivé úrovně výnosového potenciálu. Obrázek 166 přináší pohled na výnosový potenciál pozemku společně s návrhem výsevků. Z obrázku výsevku je patrné, že byly řešeny dvě varianty a to navyšování výsevku

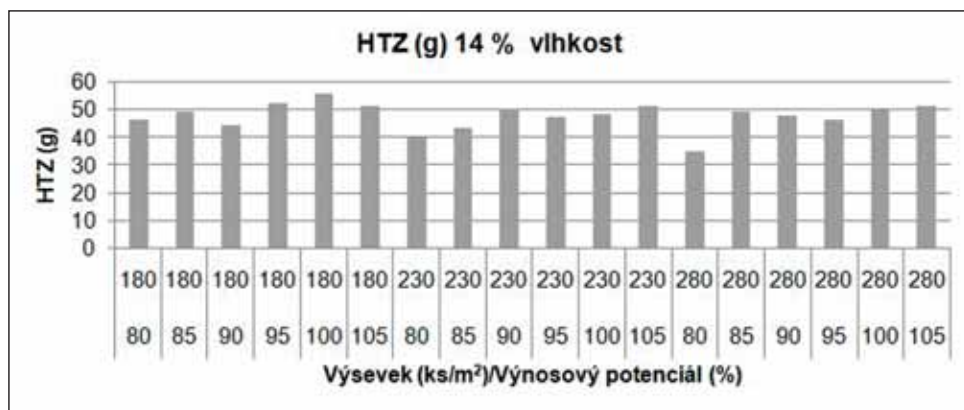


Obr. 161: Závislost počtu odnoží na rostlinu na počtu rostlin pšenice ozimé.



Obr. 162: Odhadovaný výnos zrna (t/ha) pro jednotlivé varianty výsevku pšenice ozimé.

s vyššími hodnotami výnosového potenciálu a snižování výsevku s vyššími hodnotami potenciálu. Jako kontrolní varianta byla oseta uniformě plocha se střední hodnotou výsevku 450 semen/m². Tato metoda ověření je vhodná pro srovnání s výsledky variabilního setí, protože protíná jednotlivé zóny. Shodné metody se využívá také u ověřování variabilního přihnojování.



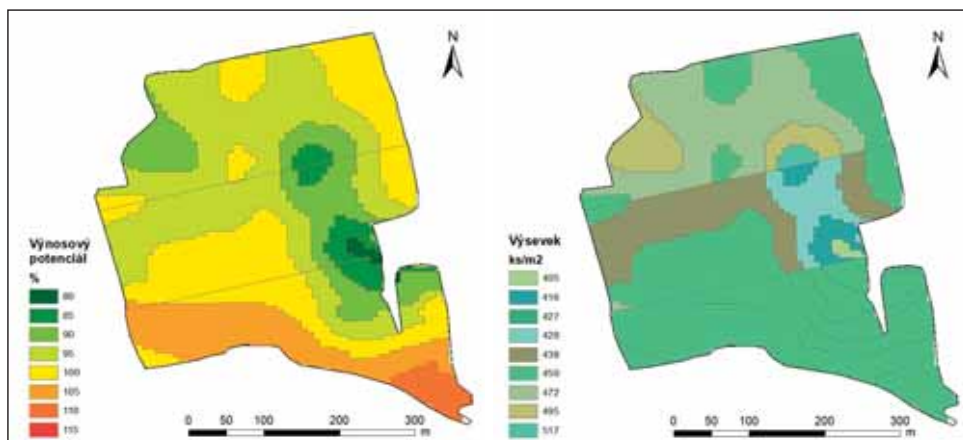
Obr. 163: Hmotnost tisíce zrn (HTZ) pro jednotlivé varianty výsevku a výnosového potenciálu.



Obr. 164: Počet fertilních odnoží pro jednotlivé varianty výsevku a výnosového potenciálu.



Obr. 165: Výška rostlin na jednotlivých variantách výsevku a výnosového potenciálu.

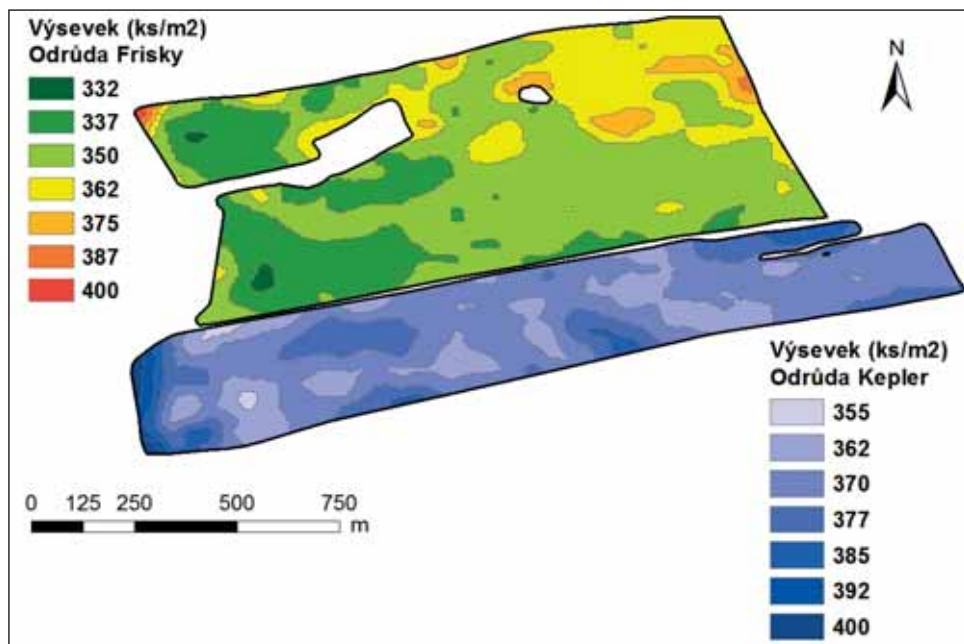


Obr. 166: Mapa výnosového potenciálu a aplikační mapa připravená pro setí ječmene jarního.

Výsledky z odběrů na stanovení odhadovaného výnosu a výnosotvorných prvků však neprokázaly žádný trend ve výnosu zrna. Dokonce uniformní výsevky na nejnižších hodnotách výnosového potenciálu vykazovaly výrazné navýšení výnosu oproti ostatním plochám a variantám.

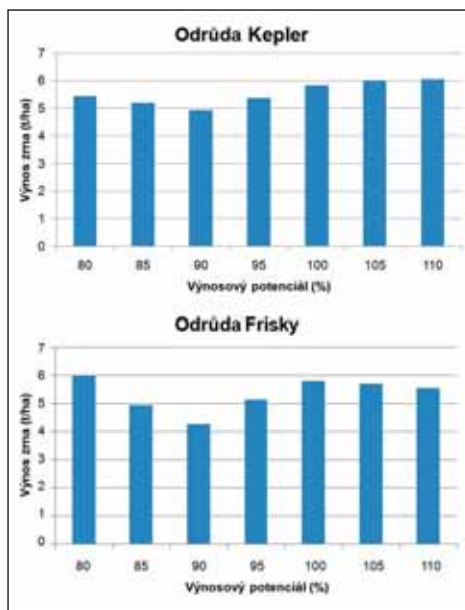
V průběhu agrobiologických kontrol porostů se však ukázaly některé nedostatky v práci secího stroje. S rozdílným naplněním zásobníku se díky konstrukci stroje a připojení k traktoru mění rozložení hmotnosti stroje a tím také přítlak na secí botky, spojený s hloubkou setí. Rovněž na svažitém pozemku docházelo k bočnímu posunu botek a přesevu řádků. Tato chyba narůstala s těžší půdou. Otázkou dodržování hloubky se zabývalo několik autorů. Chen a kol (2004) uvádí, že v běžných podmínkách přímého setí může hloubka setí kolísat na velmi krátké vzdálenosti. S použitím individuálních kopírovacích kol zajistíme stálou hloubku setí. Udržení stálé hloubky setí může zajistit vysokou rychlost vzcházení. Například Loepky a kol. (1989) uvádějí, že i malá změna hloubky setí u přenice (17 mm) vyvolá výrazné opoždění vzcházení. Rozhodující je rovněž typ kopírovacího kola. Významným prvkem je dále přítlačné kolo. Například u zakládání porostu pšenice ozimé mělo použití přítlačného kola pozitivní dopad na založení porostu, u ječmene jarního nejsou hodnoty pro přítlak známy. V každém případě by neměl být tlak na povrch a brázdu příliš intenzivní. Požadavkem je, aby každé části secí botky byla věnována individuální studie, bez dopadu na ostatní části stroje (Chen a kol. 2004). Zjištěné chyby každopádně vedly ke změnám v přístupu nastavení secího stroje.

Obrázek 167 přináší informaci o variabilním výsevku dvou odlišných odrůd pšenice ozimé. Jedná se o ukázkou práce s rozdílnými kompenzačními vlastnostmi odrůd. Pro více kompenzační odrůdu Frisky byla hodnota výsevku pro 100% potenciál 350 semen/m². Pro méně kompenzační odrůdu Kepler byl výsevok pro 100% potenciál 370 semen/m². Volila se varianta navyšování výsevku u nižšího výnosového potenciálu. Výnosové parametry hodnocených odrůd ve vztahu k výnosovému potenciálu dokládá obrázek 168.



Obr. 167: Hodnoty výsevku dvou odrůd ozimé pšenice.

Zatímco variabilní setí kukuřice seté je vcelku propracované, variabilní setí úzkorádkových plodin je v podstatě na začátku uplatňování. Na základě výsledků je každopádně patrné, že rostliny reagují na výnosový potenciál a existují prostředky, které mohou být využity pro mapování půdních podmínek a přinášet informace pro předpisové mapy. Každopádně se ukazuje, že svůj podíl bude mít také konstrukce secího stroje.



Obr. 168: Výnos zrna odrůd ozimé pšenice Kepler a Frisky v závislosti na výnosovém potenciálu půdního bloku.

Spotřeba osiva při výsevu na počet jedinců a při výsevu na stanovenou hmotnost výsevku - implementační část (Brant, Krček, Kroulík, Záborský a Škeřík)

Na podzim roku 2018 byla ověřována skutečná hodnota spotřeby osiva triticales (kg/ha) při výsevu secím strojem Väderstad Rapid A800 (obr. 5.1.). Tento secí stroj umožňuje provést výsev plodin na základě nastavení hmotnostního výsevu (kg/ha) a na základě stanovení výsevku pomocí počtu semen na ha. Hodnocení probíhalo na osevních plochách společnosti AGRA Řisuty, s.r.o. Pro ověření výsevu bylo použito certifikované osivo triticales.

Metodický postup pro ověření výše výsevku

Před naplněním zásobníků secího stroje (secí stroj má dva zásobníky) byla stanovena hmotnost vaku s osivem pomocí polních přenosných vah. Po naplnění zásobníků byl vak s osivem opět zvážen a byla stanovena hmotnost osiva nasypaného do zásobníků. Pro každý způsob hodnocení výsevu byla stanovena průměrná hodnota hmotnosti tisíce zrn (HTZ, g). HTZ byla stanovena jako průměr čtyř opakovaní měření. Následně byl secím strojem proveden výsev triticales podle typu výsevu. Při signalizaci nedostatku osiva v zásobnících byl proces výsevu ukončen a byla odečtena hodnota oseté plochy (ha) z řídicího modulu secího stroje a hodnoty vysetého množství podle výpočtových algoritmů secího stroje (kg/ha nebo počet vysetých zrn na osetou plochu). Následně bylo ze zásobníků vybráno nevyseté osivo, které bylo zváženo. O hmotnost nevysetého osiva bylo následně sníženo množství osiva, které bylo použito pro stanovení hodnoty výsevku ze skutečně vyseté hmotnosti. U každého způsobu setí (setí podle hmotnostního nastavení výsevku a setí na nastavený počet jedinců) byly provedeny dvě výsevní zkoušky. Velikost osevní plochy se při výsevních zkouškách pohybovala v intervalu 1,88–3,99 ha (údaje o oseté ploše ze secího stroje). Pro zjednodušení ověření bylo u použitého osiva počítáno se 100 % čistotou a klíčivostí osiva. Při výsevu na základě hmotnostního stanovení výsevku byl výsevek nastaven na hodnotu 160 kg/ha (HTZ při použitém osivu činila 46,85 g). U výsevu na stanovený počet jedinců na jednotku plochy odpovídal hodnotě 3 420 000 semen na ha (to při HTZ 46,92 odpovídalo hmotnosti osiva 160,5 kg/ha).



Obr. 5.1.: Secí stroj Väderstad Rapid A800 využívaný v podniku AGRA Řisuty (foto Záborský).

Výpočet hodnot výsevku vycházel z následujících algoritmů. Ověření probíhalo dvěma způsoby. První vycházel z dat získaných pouze z řídicího modulu secího stroje - hodnota oseté plochy a vyšetá hmotnost osiva nebo vyšetý počet zrn na danou plochu. Druhý způsob vycházel z hodnoty oseté plochy z modulu secího stroje a ze skutečné hodnoty hmotnosti vyšetého osiva.

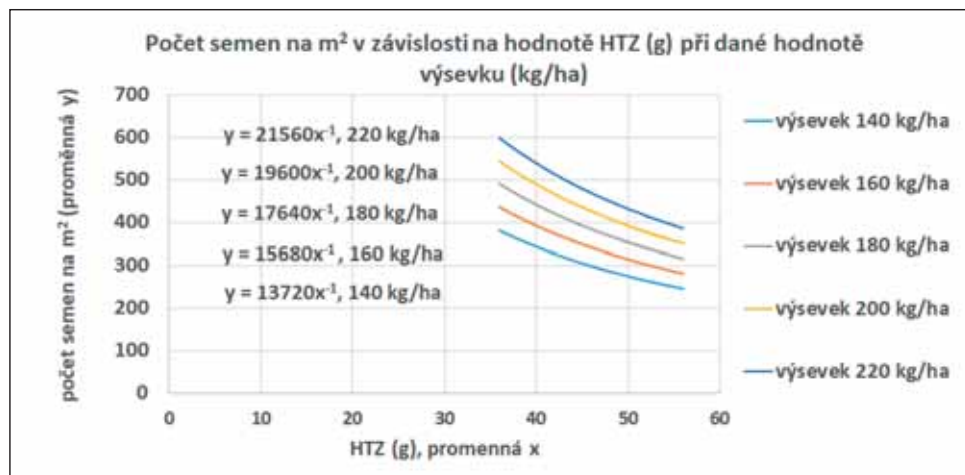
Tabulka 5.1. dokumentuje srovnání vyšetého množství osiva na základě stanovených výpočtů s hodnotou nastaveného výsevku na secím stroji. Jedná se o průměrné hodnoty ze dvou opakování pro daný typ výsevu. Výsledky stanovené pouze na základě parametrů modulu secího stroje vykazují minimální odchylky vůči nastavené hodnotě výsevku. Výsevky vycházející ze skutečné vyšeté hmotnosti osiva poukazují na vyšší odchylku ve výsevu. Pokles spotřeby osiva při výsevu na počet zrn na jednotku plochy vůči výsevku vycházejícího ze stanovené hmotnosti na plochu potvrzují i subjektivní zkušenosti obsluhy secího stroje po roční práci s tímto secím strojem.

Tab. 5.1.: Srovnání vyšetého množství osiva na základě stanovených výpočtů s hodnotou nastaveného výsevku na secím stroji - reálné ověření v polních podmínkách.					
Typ provedení výsevu a způsob výpočtu vyšetého množství	Nastavený výsevek (kg/ha)	HTZ (g)	Vypočtené hodnoty výsevku (kg/ha)	Rozdíl ve výsevku (kg/ha) vůči nastavenému výsevku VÝSLEDEK = skutečný výsev (kg/ha) - nastavený výsev (kg/ha)	Rozdíl ve výsevku (%) vůči nastavenému výsevku VÝSLEDEK = nastavený výsevek - skutečný výsevek číni 100 %
Nastavený výsevek na hmotnost osiva na plochu (kg/ha) na secím stroji	160	46,85			
Výsevek podle ukazatelů secího stroje (kg/ha)			160,3	0,3*	100,2
Výsevek podle vyšeté hmotnosti osiva (kg/ha)			171,5	11,5*	107,2
Nastavený výsevek na počet jedinců (zrn/ha) na secím stroji - přepočteno na hmotnost osiva (kg/ha)	160,5 (odpovídá 3 420 000 zrn/ha)	46,92			
Výsevek podle ukazatelů secího stroje (kg/ha)			158,5	-2,0*	98,8
Výsevek podle vyšeté hmotnosti osiva (kg/ha)			143,6	-16,9*	89,5

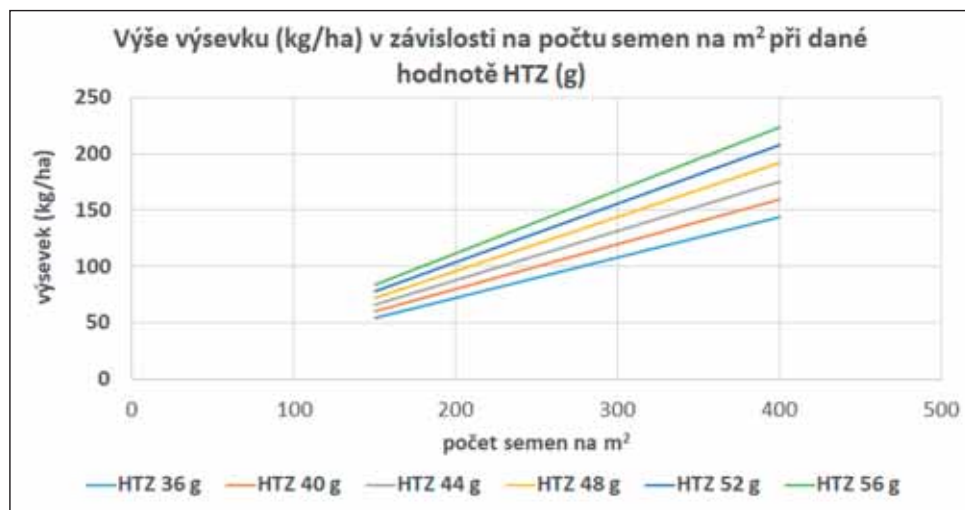
* kladné hodnoty znamenají překročení nastaveného výsevku, záporné snížení nastaveného výsevku při daném způsobu výsevu

Pokles snížení spotřeby osiva při výsevu na počet jedinců lze zdůvodnit především velikostní a hmotnostní variabilitou jednotlivých obilek. Samotná hmotnost obilek má zásadní vliv na hmotnost vyšetého množství osiva (obrázek 5.2., modelový příklad pro zrniny), který dokumentuje vliv HTZ (g) na počet semen na m² v závislosti na hodnotě výsevku (kg/ha). Samotná hodnota HTZ následně samozřejmě ovlivňuje výši výsevku při daném počtu semen na plochu. Výši výsevku (kg/ha) v závislosti na počtu semen na m² při dané hodnotě HTZ (g) dokládá obrázek 5.3. (modelový příklad). Průměrná HTZ poté ovlivňuje i náklady na osivo (obrázek 5.4., modelový příklad).

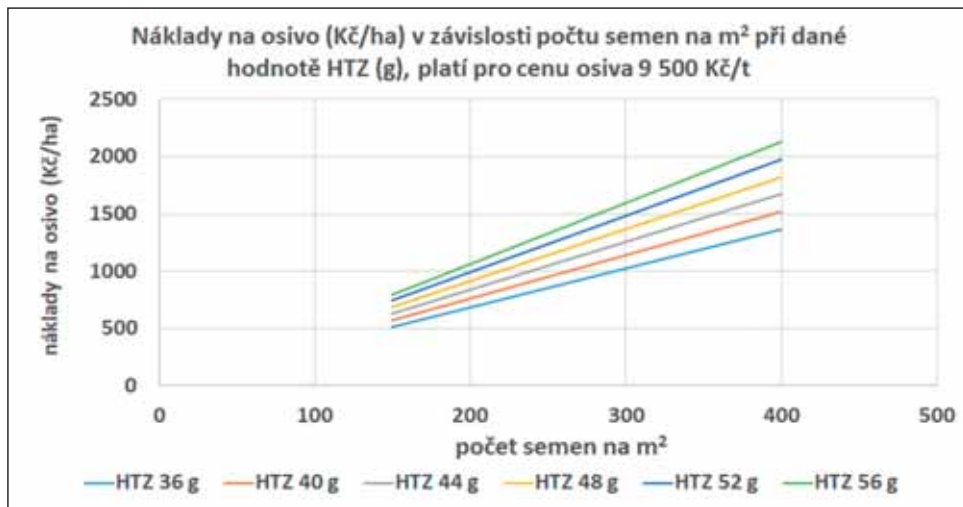
V konečném důsledku se typ výsevu může projevit i na počtu pracovních jízd po půdním bloku a na počtu plnění zásobníku secího stroje ve vztahu k jeho velikosti. Obrázek 5.5. dokládá na vliv velikosti zásobníku secího stroje na počet pracovních jízd na půdním bloku a na počet plnění zásobníku na půdním bloku při daném typu výsevu. Pro výpočet byl použit modelový půdní blok o výměře 40 ha (obdélník), délka souvratě 222 m, délka pracovní jízdy 1737 m (sníženo o dvě šířky souvratě 64 m). Výše výsevku pro výpočet byla stanovena pro obilninu o HTZ 44 g a pro výsevek na počet jedinců 200 a 300 rostlin m^2 a pro výsevek odpovídající 200 kg osiva na ha. Do modelu je použit secí stroj o pracovním záběru 6 m.



Obr. 5.2.: Modelové stanovení vlivu HTZ (g) na počet semen na m^2 v závislosti na hodnotě výsevku (kg/ha).



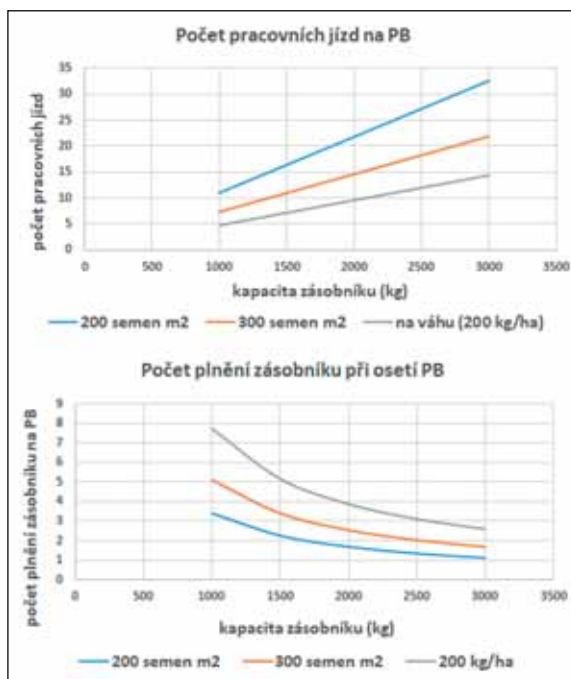
Obr. 5.3.: Modelové stanovení výše výsevku (kg/ha) v závislosti na počtu semen na m^2 při dané hodnotě HTZ (g).



Obr. 5.4.: Modelové stanovení nákladů na osivo (Kč/ha) v závislosti počtu semen na m² při dané hodnotě HTZ (g), platí pro teoretickou cenu osiva 9 500 Kč/t.

Závěry vyplývající z polních měření:

- Výsev na počet jedinců snižuje potřebu osiva na jednotku plochy.
- Při výsevu na počet jedinců se snižuje negativní vliv variability osiva na kolísání výsevku a omezuje se nerovnoměrnost počtu rostlin na jednotku plochy ve srovnání s výsevkem stanoveným na hmotnost osiva na jednotku plochy.
- V důsledku snížení spotřeby osiva na jednotku plochy při výsevu na počet jedinců dochází ve srovnání s výsevem na hmotnost na jednotku plochy k nárůstu výkonnosti pracovních souprav a ke snížení potřeby plnění zásobníku secího stroje při práci na půdním bloku.



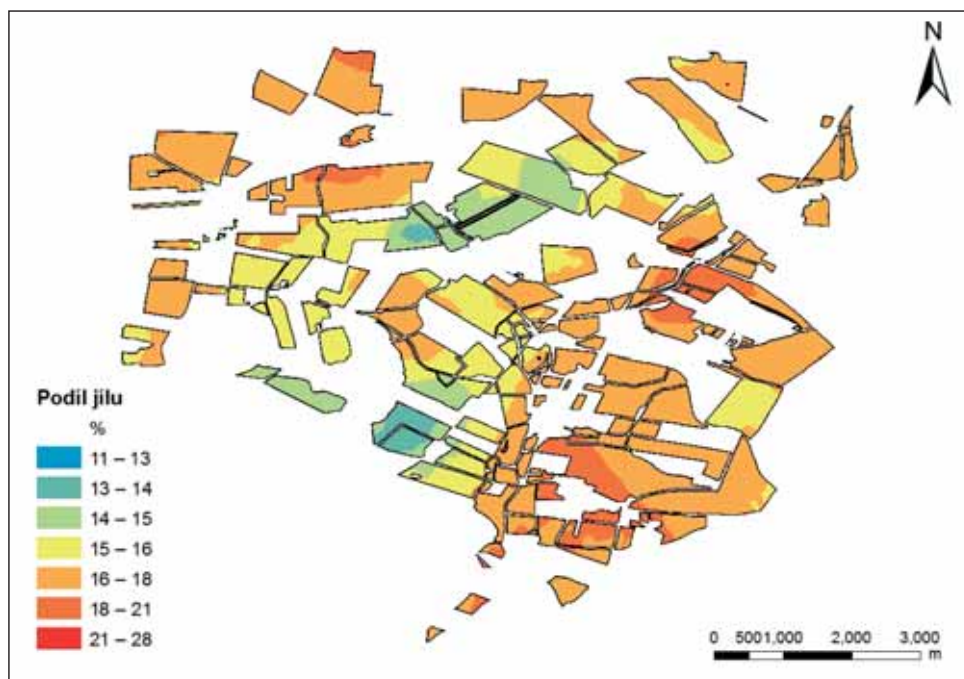
Obr. 5.5.: Vliv velikosti zásobníku secího stroje na počet pracovních jízd na půdním bloku (PB) a na počet plnění zásobníku na půdním bloku při daném typu výsevu.

Variabilní hnojení v precizním zemědělství (Kroulík, Krček a Zábanský)

Významnými položkami v ekonomice pěstování plodin jsou náklady spojené s ochranou rostlin a jejich výživou. Kromě ekonomických hledisek je rovněž zapotřebí věnovat pozornost ekologické zátěži krajiny, spojené s aplikacemi chemických přípravků a hnojiv.

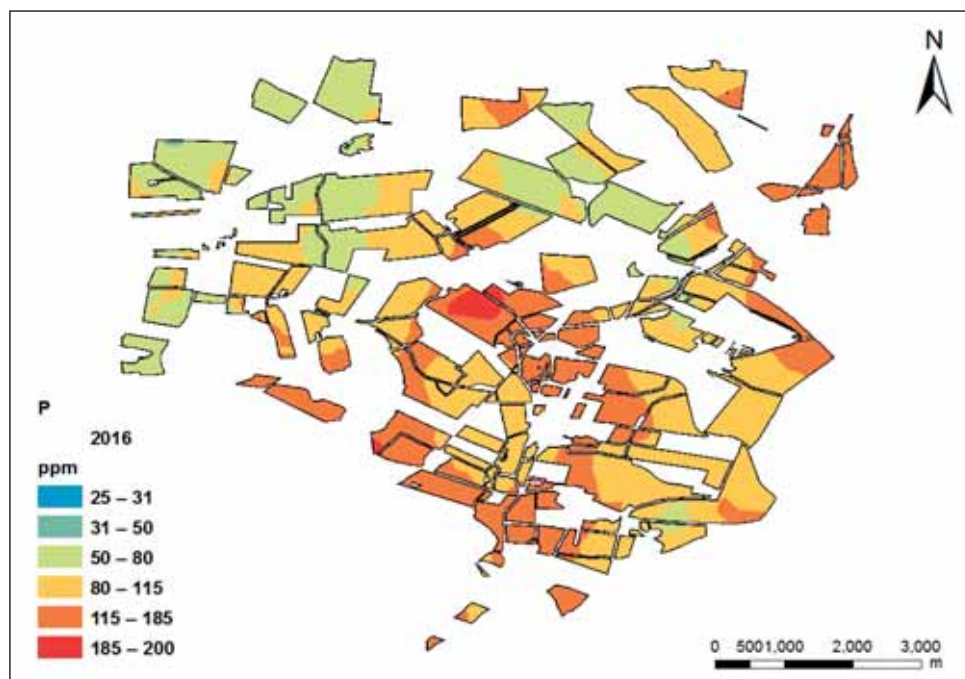
Z hlediska přístupu k preciznímu zemědělství lze konstatovat, že účelem variabilních zásahů nemusí být například vyrovnání porostu, protože to mnohdy není ani možné, ale přizpůsobit vstupy konkrétním potřebám rostlin, v kombinaci s výnosovým potenciálem půdy, aktuálním stavem porostu, půdními podmínkami. Do rozhodování o pořízení technologie pro variabilní aplikaci vstupuje také faktor úrovně variability, protože vyrovnané pozemky nepřinášejí potřebný efekt. Vzhledem k charakteru krajiny v České republice a také historii jednotlivých velkých pozemků lze konstatovat, že budou převládat pozemky s vyšší úrovní variability.

Jako základ hodnocení variability půdy často slouží bodový odběr a následná analýza a mapové vyjádření. Následující mapy (viz obrázky 169 a 170) dokládají úroveň zásobenosti půdy základními živinami a zrnitostní složení půdy. Tyto mapy lze považovat za jeden z výchozích bodů pro pořízení inovativní technologie. Jak dokládají předkládané mapy, úroveň variability je poměrně vysoká.

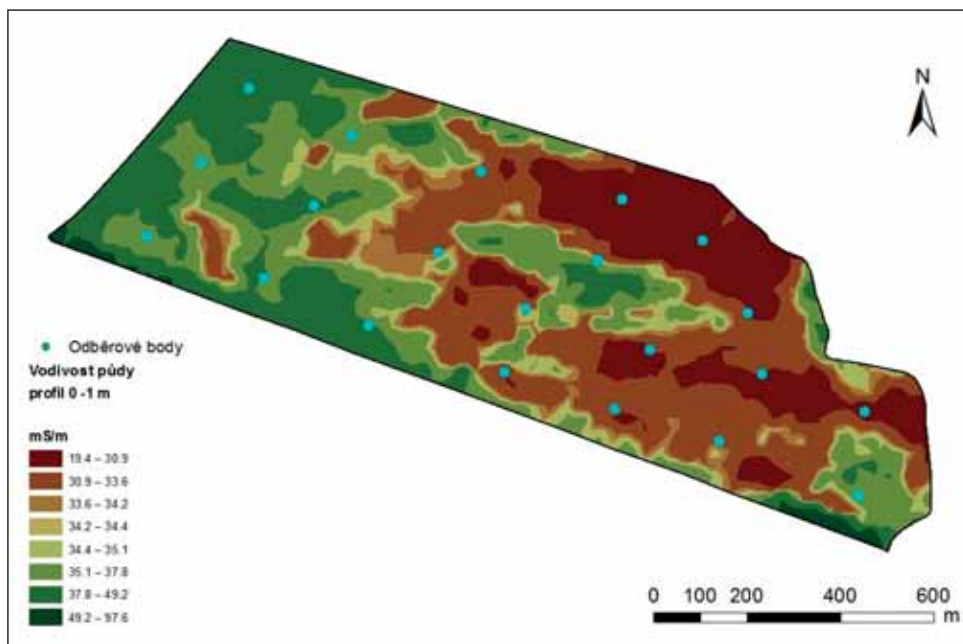


Obr. 169: Procentuální zastoupení částic menších než 0,01 mm.

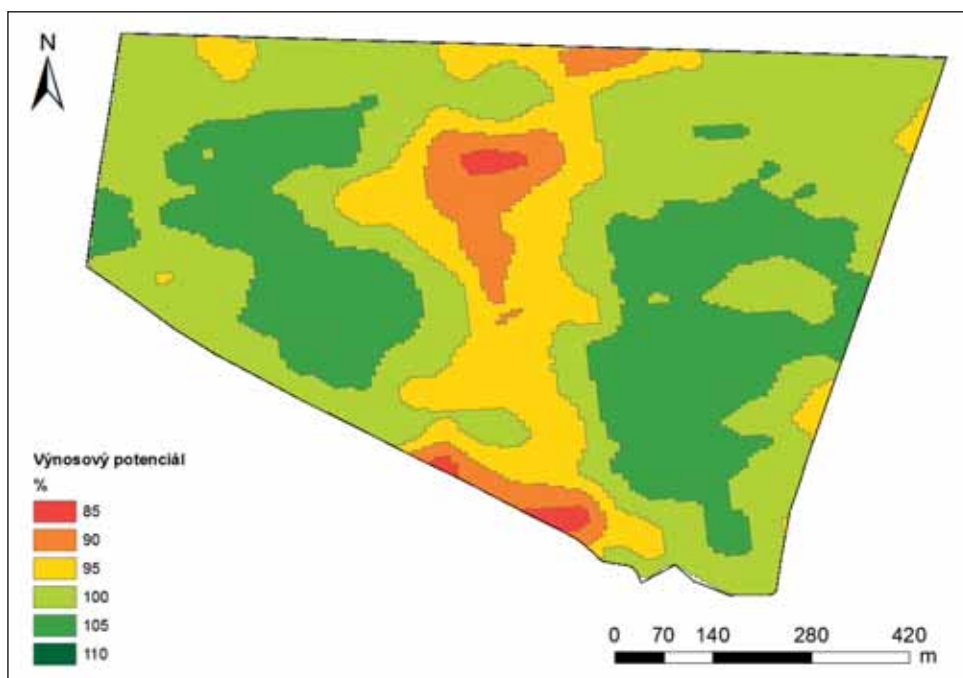
Současným trendem sběru dat pro potřeby uplatnění technologií precizního zemědělství je uplatnění geofyzikálních přístrojů. Tyto přístroje umožní rychlý sběr dat ze zájmového území v krátkém časovém období, s minimální náročností a s dostačující hustotou vzorkování. Pro uvedené přístroje se vžil název on-the-go. Pro potřeby mapování pozemků byl použit přístroj pro měření elektrické vodivosti půdy EM 38. Výstupy výrazně koreluji s půdními vlastnostmi, které mají vazbu na výnos, a do jisté míry můžou vysvětlit variabilitu výnosu. Jedná se zejména o zrnitostní složení, kationtovou výměnnou kapacitu, obsah organické hmoty, hloubku půdního profilu, pH, vodní kapacitu a další. Na základě dostupných informací je možné konstatovat, že data ze senzorů vodivosti půdy jsou často využívána při návrhu tzv. management zón pro variabilní vstupy. Obrázek 171 přináší hodnoty vodivosti půdy na pozemku U sila. Zároveň jsou do mapy vyneseny odběrové body, kde byly odebírány vzorky pro agrochemické rozboru. Cena odběru vzorku a jeho rozboru se pohybuje na částce 280 Kč/ha. Pro odběry byl zvolen odběrový rastr 3 hektary. Prvotním přínosem informace o úrovni variability pozemku je optimalizace odběrové sítě. Rozvržení odběrových bodů do pravidelného čtvercového schématu není vždy vhodné s ohledem na rozložení variability půdních podmínek. Mohou tak uniknout informace významné pro rozhodování a na druhou stranu se hodnotí opakovaně části pozemku, které vykazují obdobné půdní vlastnosti. V konečném důsledku může tento krok přispět ke snížení počtu odběrů, případně efektivně odběrové body rozmístit. Vypuštění odběrů, nebo jejich nahrazení přístrojovou technikou, není rovněž možné. Hodnoty z odběrových bodů přispívají ke kalibraci hodnot z nepřímých metod měření, kdy uvedené přístroje v jedné hodnotě integrují celou řadu dat popisující variabilitu půdního prostředí.



Obr. 170: Úroveň zásobenosti půdy fosforem.



Obr. 171: Mapa vodivosti půdy s vyznačenými odběrovými body.



Obr. 172: Mapa výnosového potenciálu.

Jak je patrné z hodnot vodivosti půdy, jedná se o pozemek velmi variabilní. Obrázek 172 přináší pohled na pozemek, kde byla v roce 2018 pěstována cukrová řepa. Popis variability pozemku byl v uvedeném případě získán na základě volně dostupných družicových snímků, ze kterých byl vyjádřen výnosový potenciál pozemku. Do mapy výnosového potenciálu byly rovněž vloženy odběrové body. Je patrné, že v uvedeném případě nebyly některé plochy do odběru zařazeny.

V souvislosti s variabilními aplikacemi, jako je řešené přihnojování dusíkatými hnojivy, lze uvedená data využít ve chvíli, kdy nelze využít data například z plodinových čidel. Jedná se zejména o rané fáze růstu rostlin, kdy porost není zcela zapojen a listová plocha není dostatečná pro získání odpovídajících hodnot.

S ohledem na zvyšující se ceny vstupů a zároveň zvyšující se povědomí o ochraně životního prostředí, hledají výrobci a zemědělské podniky řešení v technologii precizního zemědělství. Precizní zemědělství je dlouhodobě považováno za základ budoucího vývoje systémů hospodaření na půdě. Jeho principy, které vycházejí z požadavků na včasné, cílené a kvalitní provedení agrotechnických opatření, mají zajistit nárůst ekonomické efektivity, snížení energetických vstupů a skutečný rozvoj systémů trvale udržitelného zemědělství.

Chceme-li přistupovat k pozemku a jeho částem individuálně, vytvořit aplikační mapy a zóny, je obvykle třeba zvážit tři faktory:

1. Informace, které mají být použity jako základ pro vytvoření zón.
2. Postup, který má být použit pro zpracování informací (tj. klasifikace).
3. Optimální počet zón, do kterých by pole mělo být rozděleno.

Prostorově specifické hospodaření zahrnuje několik pracovních kroků, jako je zpracování půdy, setí, hnojení a aplikace pesticidů. Zajímavou aplikací, citovanou ve spojení s prostorově specifickými zásahy, je variabilní aplikace dusíkatých hnojiv během přihnojování porostů na základě konkrétních půdních podmínek a stavu porostu. Variabilita půdních podmínek, a tedy i výnosového potenciálu jednotlivých částí pozemků, je obecně známa. To jednoznačně potvrzují mapy výnosu, půdních vlastností nebo například letecké snímky. Dopady heterogenity pozemku na výsledky hospodaření mohou vycházet právě z nevyužívání výnosového potenciálu určitých částí pozemku a na druhé straně z nevyužívání potenciálu osiva a hnojiva na plochách ostatních.

Do rozhodování o pořízení technologie pro variabilní aplikaci vstupuje také faktor úrovně variability, protože vyrovnané pozemky nepřináší potřebný efekt. Vzhledem k charakteru krajiny v České republice a také historii jednotlivých velkých pozemků lze předpokládat, že budou převládat pozemky s vyšší úrovní variability. Z hlediska přístupu k variabilnímu hnojení dusíkem je potřeba hned na úvod uvést, že účelem variabilního hnojení nemusí být vyrovnaní porostu, protože to mnohdy není ani možné, ale přizpůsobení dávky hnojiva konkrétním potřebám rostlin v kombinaci s výnosovým potenciálem půdy. K mapování úrovně variability pozemků lze využít několik technických možností.

Bezpilotní prostředky

Pořízení snímků pozemků nebo jakéhokoliv zájmového území z výšky přináší ve většině případů zajímavé informace a souvislosti, kterých si při obchůzce nebo sledování jen stěží povšimneme. Požadavkům na sběr dat s využitím dálkového průzkumu Země vyhovuje použití bezpilotních prostředků pro jejich vysokou míru flexibility v nasazení. Jedná se rovněž o alternativu k družicovým snímkům, ale též dalším metodám měření včetně plodinových čidel. Hlavním kladem je již zmíněná vysoká míra flexibility a také detailní rozlišení zájmové plochy. V našem případě byly uplatněny dva konstrukční typy bezpilotních prostředků. Jedná se o osmivrtulový bezpilotní letoun model AsctecFalcon 8 s výbavou pro uchycení a ovládání RGB nebo multispektrálního fotoaparátu a dále letoun EBe, osazený multispektrálními kamerami nebo termokamerou (obr. 173). Pro ověření hodnot z plodinových čidel bylo rovněž využito služby společnosti Soufflet Agro. Kombinací snímků, pořízených v rozdílných spektrech, můžeme přistoupit k výpočtu vegetačních indexů, které mohou ještě výrazněji poukázat na variabilitu porostu.



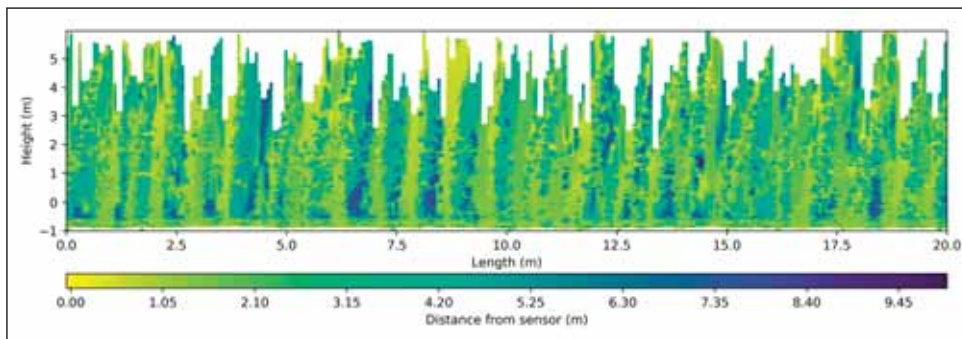
Obr. 173: Použité bezpilotní prostředky (foto Kroulík).

Plodinové senzory

Po zapojení porostu je analýza jeho struktury při pohledu z ptačí perspektivy problematická. Zde se však začínají využívat systémy horizontálního hodnocení. Jednou z možností je stanovení např. hustoty porostu obilnin při využití průchodu laserového paprsku kolmo na stébla rostlin. Projde-li paprsek měřenou vrstvou porostu, narazí na kolmou desku procházející společně s laserem porostem. Příklad aplikace je na obrázku 174. Fenotypovací soupravu nese polní robot BoniRob. Jedná se o svislé profily umístěné pod rámem stroje.



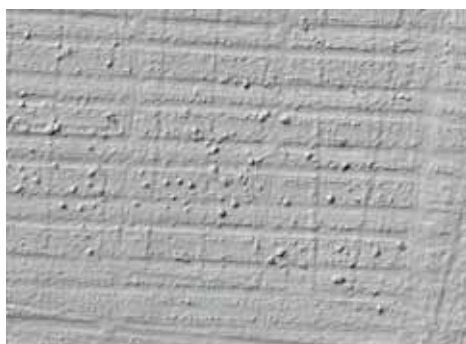
Obr. 174: Polní robot BoniRob osazený soupravou pro fenotypování porostu (foto Kroulík).



Obr. 175: Výškové rozdíly mezi rostlinami chmele otáčivého ve chmelnici stanovené systémem LIDAR.

Zajímavou možností hodnocení porostu z hlediska výškových rozdílů je využití systému LIDAR. Na obrázku 175 je zachycena řada chmelnice, kde data z Lidaru dokládají výškovou nevyrovnanost porostu.

Intenzivně se rozvíjenou metodou pro 3D analýzy rostlin je využití mobilních 3D skenerů. Prostorové vyjádření sledované scény je rovněž možné získat ze série snímků pořízených s vysokým překryvem. Takový model předkládá obrázek 176. Na obrázku jsou patrné jak jízdní stopy, tak také řádky kukuřice a trsy brambor, jako zaplevelující rostliny.



Obr. 176: Model povrchu terénu získaný složením snímků s vysokým překryvem.

Kromě struktury porostu je důležitý i sběr dat o fyziologických procesech rostlin. Termometrická měření se využívají pro stanovení stresových reakcí u rostlin. Primární reakcí rostlin na stresové faktory je změna fyziologicko-chemických reakcí, které následně vedou i k vizuálně dobře pozorovatelným anatomicko-morfologickým změnám (např. vadnutí, nekrózy, zpomalení růstu apod.). Rostlinné orgány a jejich struktura se vyznačují rozdílným obsahem vody, což má vliv na jejich tepelné vlastnosti a zároveň je teplota eurytermních rostlin ovlivněna transpiračními procesy. Proto jsou termometrická měření velmi často využívána pro stanovení vodního stresu, jehož důsledkem je omezení transpirace rostliny z důvodu uzavření průduchů, což se projeví zvýšením povrchové teploty listů. U jednotlivých rostlinných druhů, jakož i u jednotlivých poddruhů, jsou však projevy rozdílné. Obecně je pokles transpirace u rostlin v důsledku nedostatku vody výraznější než pokles intenzity fotosyntézy.

Z předchozího textu je patrné, že v hodnocení stavu porostu hraje významnou roli snímkování porostu a následné hodnocení a interpretace snímků. Optické senzory využívají odrazivost světla, případně další signály elektromagnetických vln k charakteristice

půdních vlastností nebo rostlinného pokryvu. Jedná se především o nedestruktivní metodu měření. Optické senzory mohou, tak jako lidské oko, pracovat ve viditelném pásmu světla, případně pracují v blízkém infračerveném pásmu (NIR), středním infračerveném pásmu (MIR), středním infračerveném pásmu (SWIR), polarizovaném světle, případně dalších pásmech elektromagnetického záření. Rozdílné spektrální charakteristiky porostů nebo povrchu půdy využívá široce využívaný dálkový průzkum Země. Jako nosiče se dnes využívají satelity, letadla, případně stále populárnější bezpilotní prostředky.

K prostředkům dálkového průzkumu řadíme rovněž optické senzory, kterými sledujeme především výživný stav porostu. Tyto senzory umísťujeme přímo na stroje. Při sledování rostlin se uplatňuje zejména viditelná a blízká infračervená oblast vlnových délek. Výhoda těchto systémů spočívá v „on-line“ způsobu měření a hodnocení. Obecně se pro uvedené senzory vžilo pojmenování N-senzor, jedná se však o konkrétní typ a značku firmy Yara. Nabídka senzorů, jak dokládá obrázek 177, je každopádně širší. Tabulka 18 přináší přehled vlnových délek elektromagnetického záření, se kterým pracují uvedené senzory. Pro práci a aplikace se z uvedených vlnových délek stanovují vegetační indexy.

Tab. 18: Přehled vlnových délek elektromagnetického záření pro jednotlivé senzory.

Typ/vlnová délka (nm)	Viditelné spektrum	NIR
ISARIA	670	700, 740, 780
OptRx	670	730, 780
GreenSeeker	660	770
CropSpec	735	808



Obr. 177: Příklady technického řešení optických senzorů a jejich zavěšení nebo montáž na stroji (shora): Yara N-senzor, Fritzmeier/Claas ISARIA, AgLeaderOptRx, TrimbleGreenSeeker, TopconCropSpec (foto Kroulík).

Praktické využití senzoru AgLeader OptRx

V uvedeném případě byla použita následující technika: tažený postřikovač Mamut Topline, výrobce AGRIO MZS s.r.o. (Česká republika) s možností variabilního ovládání sekcí aplikačního rámu a možností variabilního dávkování během aplikace. Dále bylo nasazeno nesené rozmetadlo tuhých minerálních hnojiv Amazone ZATS 3200 Profis Hydro, výrobce Amazone (Německo). Konstrukce rozmetadla rovněž umožňuje variabilní dávkování hnojiv a omezení rozhozu při najíždění a vyjíždění do záběru, případně omezení rozhozu hnojiv při aplikaci na okrajových částech pozemků. Nezbytnou součástí technologie jsou plodinová čidla OptRx (obr. 178), výrobce AGleader (USA). Jedná se o aktivní senzor, který je osazen světelným zdrojem a následně měří intenzitu odraženého světla. Na základě spektrálních charakteristik sledovaných plodin lze stanovit plodinové indexy NDVI nebo NDRE. Na základě hodnot indexů je následně stanovena dávka dusíkatých hnojiv. Plodinová čidla jsou umístěna na paralelgramovém rámu, který je nesen v předním závěsu traktoru. Na základě výšky porostu je možné nastavit optimální výšku senzoru nad porostem. Jako ovládací panel pro oba stroje byl zvolen palubní počítač společnosti AGLeaderInCommand 1200 (AGleader), který zajistil požadovanou kompatibilitu připojeného stroje, optického čidla a navigace.



Obr. 178: Traktor Case v agregaci s rozmetadlem Amazone během přihnojování porostu pšenice ozimé. Senzory OptRx jsou nesený na předním závěsu (foto Kroulík).

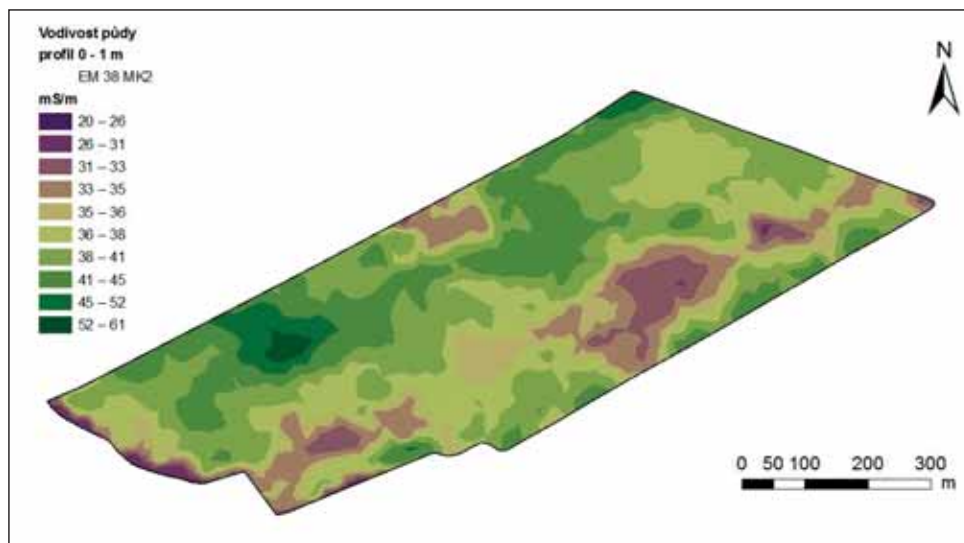
Variabilní hnojení porostů jarního ječmene

Pozemek s výměrou 25,5 ha byl oset 7.4.2018 jarním ječmenem, odrůdou Laudis 550. Výsevek činil 185 kg/ha. Předplodinou byla řepka ozimá. Na pozemku převládá hlinitá půdy bez skeletu. Na podzim byla uniformě aplikována hnojiva dolomitický mletý vápenec 50%, draselná sůl 60%, Amofos 12,52 a Kieserit 26%. 6.4.2018, před setím byly rovněž uniformě aplikována hnojiva Amofos 12,52, draselná sůl 60% a močovina 46%. Pro variabilní aplikace byl 3.5.2018 aplikován DAM 390. Pro účely pokusu byl pozemek rozdělen na 3 díly. Uniformní dávka byla stanovena na 125 l DAM 390/ha. U variabilní dávky byly nastaveny dva režimy hnojení. Nastavení režimu „snížení“ reaguje snížením dávky s vyššími hodnotami NDVI indexu. Režim „navýšení“ reaguje navýšováním dávek hnojiva s rostoucími hodnotami NDVI indexu.

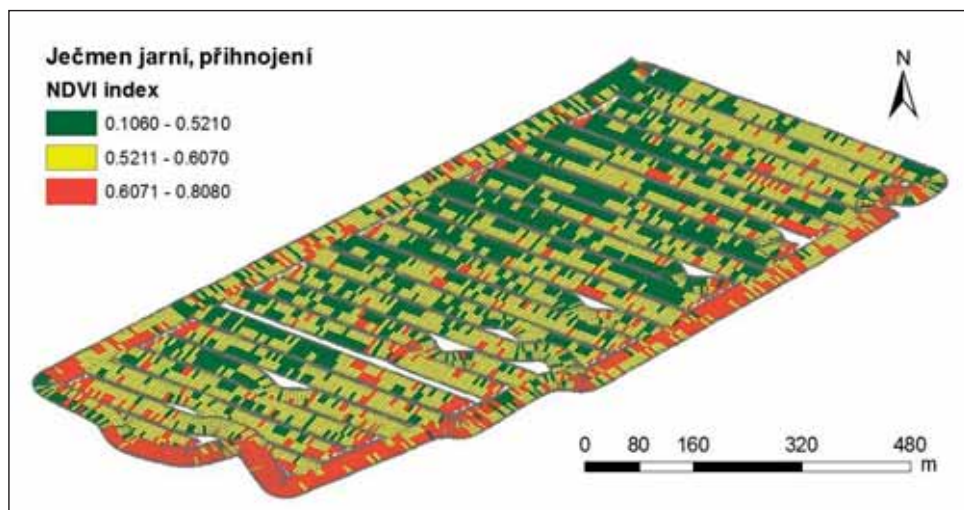
Pro stanovení úrovně variability pozemku byla na pozemku změřena vodivost půdy. Vysoká variabilita pozemku byla předpokladem pro uplatnění technologie variabilních vstupů. Obrázek 179 představuje hodnoty vodivosti půdy pro sledovaný pozemek.

Pro stanovení dávek hnojiva se vychází z hodnot NDVI, který se stanovuje z dat měřených optickým senzorem. Obrázek 180 předkládá mapu hodnot NDVI indexu během hnojení. Vyšší hodnoty indexu vykazuje vitálnější porost. Porost, který vykazuje například nedostatky ve výživě, poskytuje nižší hodnoty NDVI indexu.

Následující obrázek (obr. 181) předkládá záznam z aplikace hnojiva DAM 390, kde jsou patrné jednotlivé varianty hnojení. Pro vyhodnocení byly využity pouze hodnoty z hlavní produkční plochy. Souvratě byly z hodnocení vyloučeny.

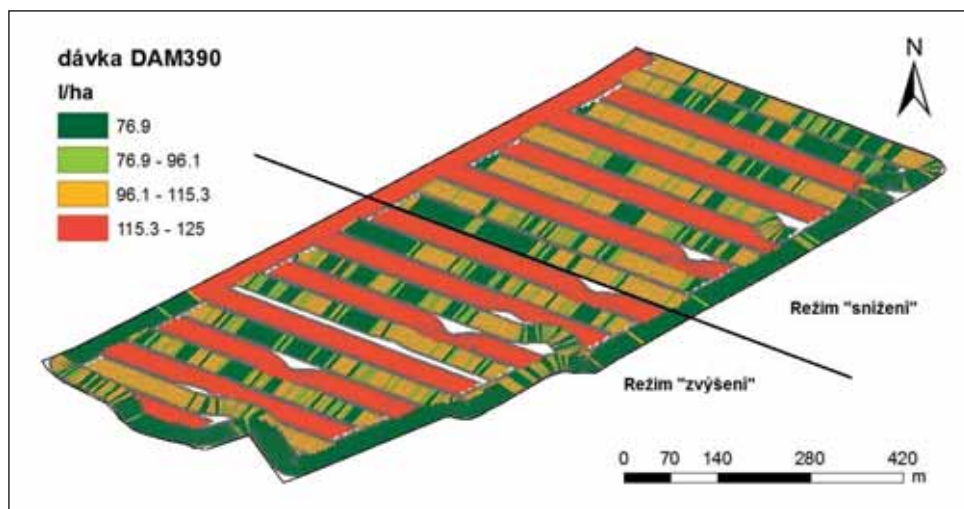


Obr. 179: Hodnoty vodivosti půdy na sledovaném pozemku.

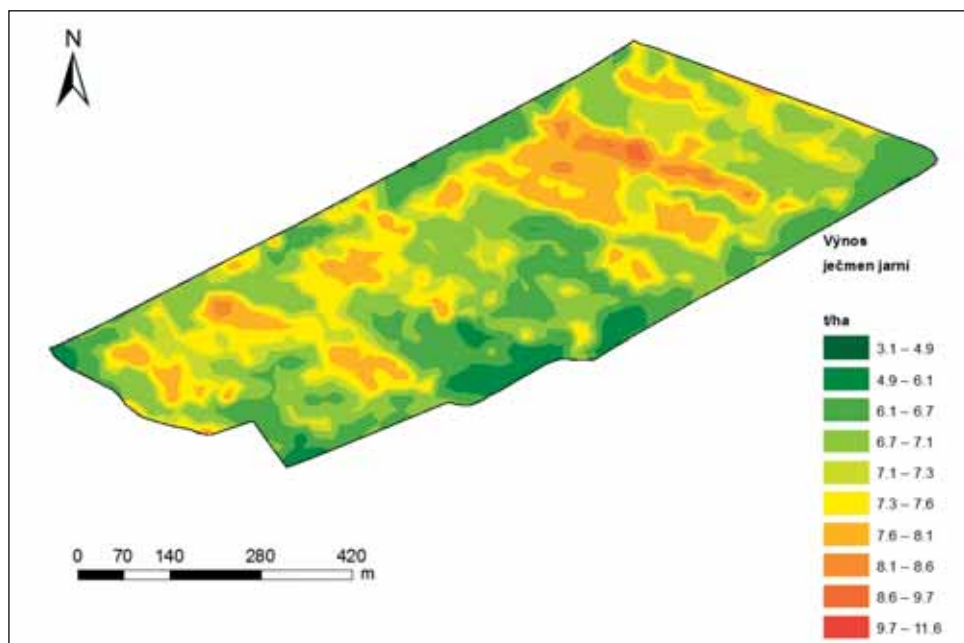


Obr. 180: Hodnoty NDVI indexu porostu ječmene jarního během přihnojení dne 3. 5. 2018.

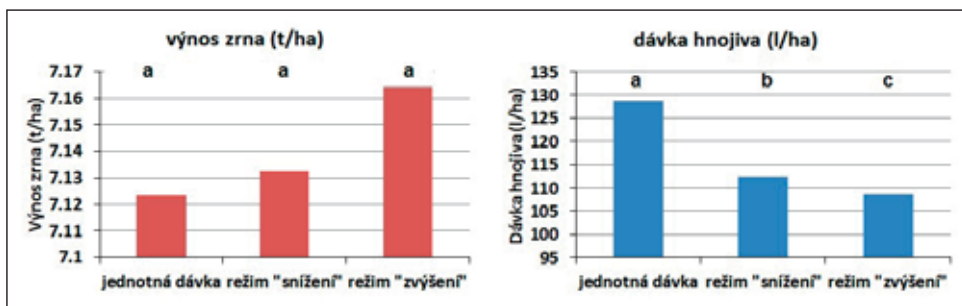
Pro zhodnocení pokusu byla využita mapa výnosů. Jako ostatní mapy výnosových dat, za účelem získání kvalitního odhadu, byla data ošetřena na extrémní hodnoty a chyby vzniklé při najíždění a vyjíždění sklízecí mlátičky ze záběru. Výnosová data zobrazuje mapa na obrázku 182.



Obr. 181: Rozdělení pozemků na jednotlivé varianty, vyjádřené dávkami hnojiva dne 3. 5. 2018.



Obr. 182: Výnosová mapa pozemku.



Obr. 183: Rozdíly ve výnosech zrna ječmene jarního a dávkách hnojiva k přihnojení pro jednotlivé režimy nastavení. Rozdílné indexy dokumentují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

Grafy na obrázku 183 dokumentují hodnoty výnosu zrna a dávky hnojiva pro jednotlivé varianty. Nárůst výnosu byl pozorován u variabilního hnojení rostlin. Jako nejvýhodnější se ukázal režim zvýšení dávky s rostoucím indexem NDVI. Navýšení výnosu nebylo shledáno jako statisticky významné. Statisticky významně, na hladině významnosti 0,05, však klesla potřeba hnojiva. Podrobnější výsledky předkládá také tabulka 19.

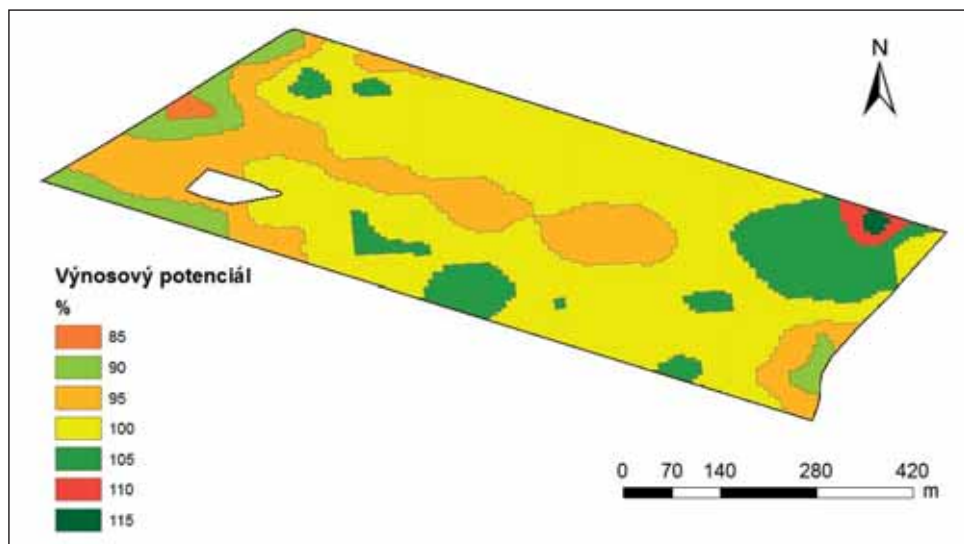
Tab. 19: Hodnoty výnosu zrna ječmene a dávek hnojiva pro hodnocené varianty. Rozdílné indexy v rámci řádků představují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

	jednotná dávka	%	index	variabilní dávka, režim "snížení"	%	index	variabilní dávka režim "zvýšení"	%	index
dávka hnojiva (l/ha)	128,69	100	a	112,39	87,33	b	108,65	84,42	c
výnos zrna (t/ha)	7,12	100	a	7,13	100,12	a	7,166	100,57	a

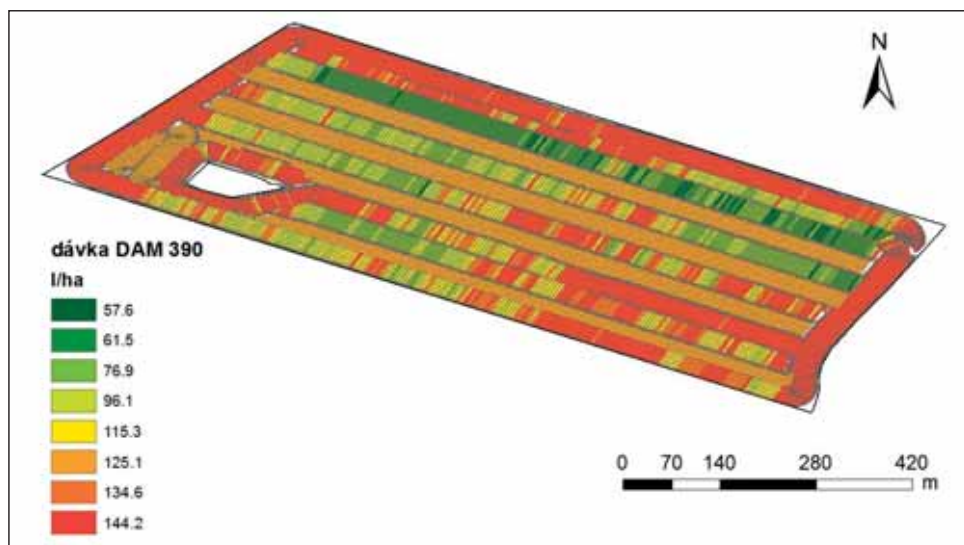
Variabilní hnojení porostů pšenice ozimé

Pozemek s výměrou 21,7 ha byl vybrán pro vedení provozního pokusu s variabilním přihnojením dusíkatými hnojivy k porostu pšenice ozimé. Porost pšenice byl založen v roce 2017 po sklizni cukrové řepy. Na pozemku převládá písčitohlinitá půdy bez skeletu.

Na podzim 2017 byla uniformně aplikována hnojiva draselná sůl 60%, Amofos 12,52 a Kieserit 26%. První aplikace dusíkatých hnojiv byla provedena 14. 2. 2018 hnojivem LAV 27,5 %. Následovalo přihnojení hnojivem DAM 390 v termínu 6. 4. 2018. Uvedená přihnojení byla provedena uniformně. Následovalo variabilní přihnojení hnojivy DAM 390 (2. 5. 2018) a LAV 27,5 % (21. 5. 2018). Uniformní dávky byly stanoveny na hodnoty 125 l/ha, resp. 110 kg/ha. U variabilních dávek byly nastaveny režimy „snížení“.



Obr. 184: Výnosový potenciál pozemku.

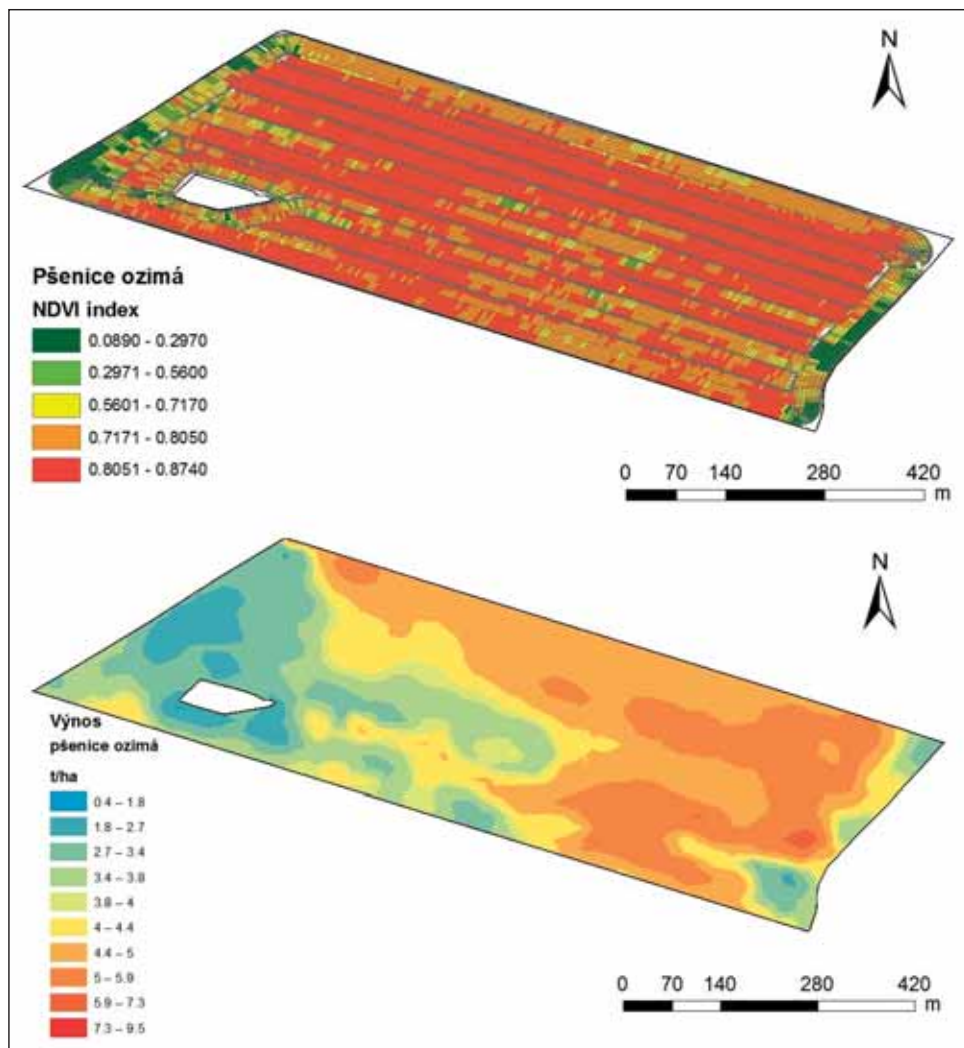


Obr. 185: Rozdělení pozemků na jednotlivé varianty, vyjádřené dávkami hnojiva dne 2. 5. 2018.

Variabilitu pozemku v daném případě popisuje hodnota výnosového potenciálu půdy. Obrázek 184 zobrazuje rozložení hodnot výnosového potenciálu. Při aplikaci hnojiv byl pozemek rozdělen na část uniformní a část s variabilní dávkou hnojiv. Rozdělení pozemku je zobrazeno na obrázku 185.

Jak dokládá obrázek 186, v době třetího přihnojení vykazoval porost poměrně vyrovnané a vysoké hodnoty NDVI indexu. Z pozemku byla rovněž získána mapa výnosu během sklizně (obr. 186).

Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce 20. Hodnocení přineslo následující výsledky. Rovněž u výnosu zrna došlo k navýšení na ploše variabilně hnojené, oproti ploše s jednotnou dávkou hnojiva. Navýšení však nebylo statisticky významné. Jako statisticky významné bylo snížení dávek hnojiva, kdy na variantě s variabilním hnojením byl zaznamenán pokles dávky.

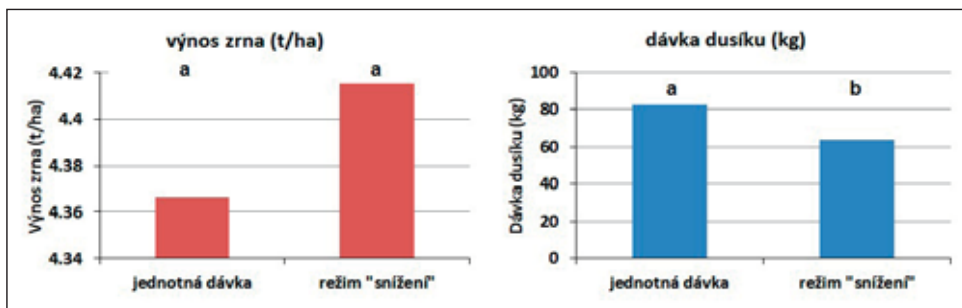


Obr. 186: Hodnoty NDVI indexu porostu pšenice ozimé během na hodnoceném pozemku při přihnojení dne 2. 5. 2018 (nahore) a výnosová mapa shodného pozemku (dole) získaná při sklizni.

Tab. 20: Hodnoty výnosu zrna pšenice ozimé a dávek dusíku pro hodnocené varianty. Rozdílné indexy v rámci řádků představují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

	jednotná dávka	%	index	variabilní dávka režim "snížení"	%	index
dávka dusíku (kg)	82.82	100	a	64.00	77,3	a
výnos zrna (t/ha)	4.36	100	a	4.41	101,1	b

Grafy na obrázku 187 přinášejí hodnoty výnosu zrna a dávky dusíku pro jednotlivé varianty.



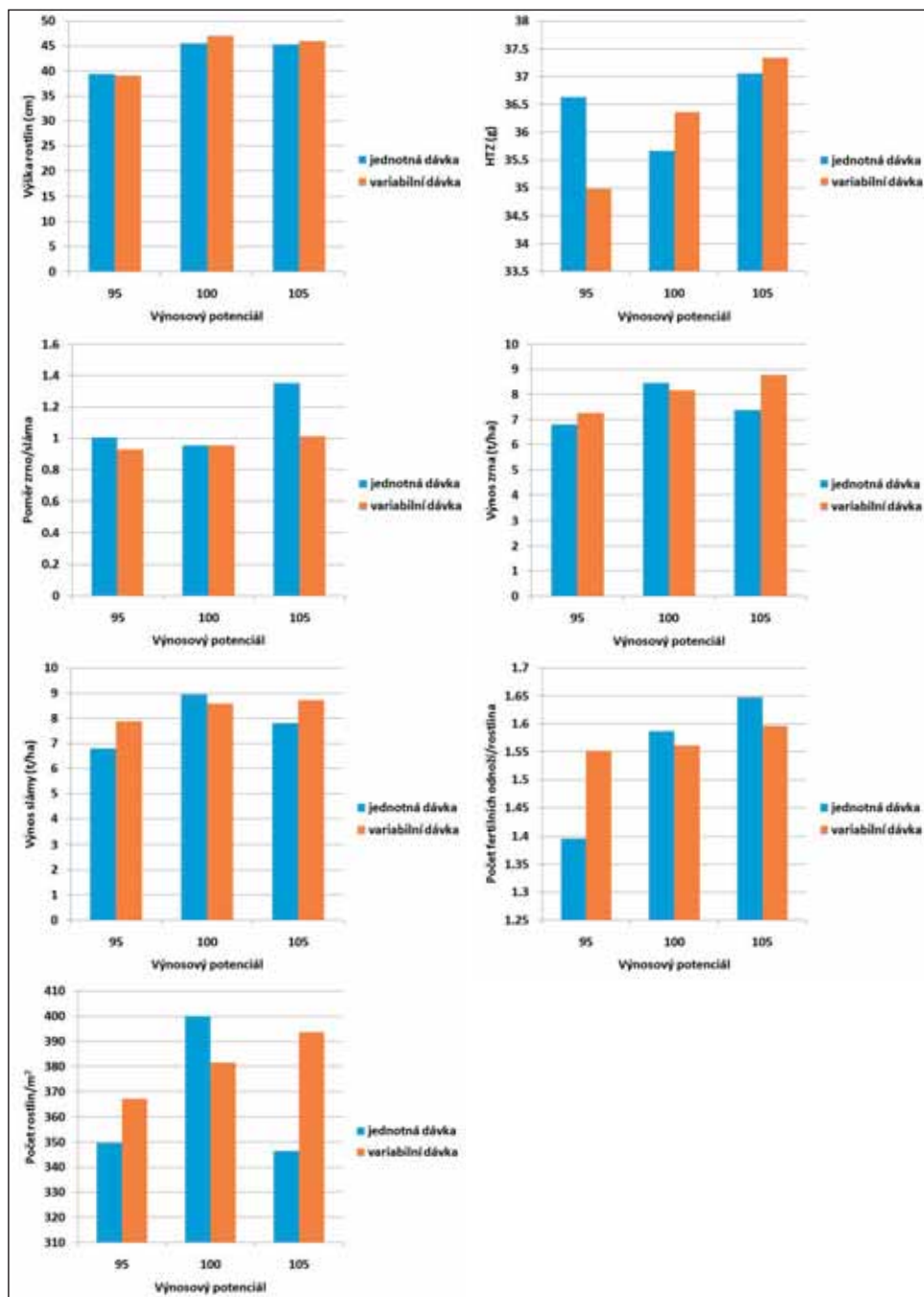
Obr. 187: Rozdíly ve výnosech zrna pšenice ozimé a dávek dusíku k přihnojení pro jednotlivé režimy nastavení. Rozdílné indexy dokumentují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

Jako referenční hodnoty k datům ze sklízecí mlátičky byly před sklizní odebrány vzorky rostlin pro stanovení biometrických ukazatelů. Celkem bylo odebráno 60 vzorků z 6 stanovišť. Jednotlivá stanoviště prezentovala 3 výnosové potenciály pozemku a 2 varianty hnojení. Hodnoty pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulce 21, včetně indexů, které dokládají statisticky významné rozdíly v rámci variant.

Tabulka 21: Přehled hodnot biometrických parametrů porostu z odběrů vzorků.

Dávka	Výnosový potenciál	Výška rostlin (cm)	HTZ (g)	Poměr zrno/sláma	Výnos zrna (t/ha)	Výnos slámy (t/ha)	Počet fertilních odnoží (ks/rosl.)	Počet rostlin (ks/m ²)							
jednotná	95	39,40	a	36,64	a	1,00	a	6,81	a	6,79	a	1,40	a	349,60	a
	100	45,50	b	35,67	a	0,95	a	8,47	c	8,94	c	1,59	a	400,00	a
	105	45,20	b	3705	a	1,35	a	7,39	abc	7,79	ac	1,65	a	346,40	a
variabilní	95	39,00	a	34,98	a	0,93	a	7,27	ab	7,87	ac	1,55	a	367,20	a
	100	47,00	b	36,36	a	0,95	a	8,17	abc	8,57	ac	1,56	a	381,60	a
	105	45,90	b	37,34	a	1,01	a	8,78	c	8,72	ac	1,60	a	393,60	a

Jednotlivé výsledky jsou rovněž vyneseny do grafů na obrázku 188. Získaná dat poskytují podrobnější informace o tom, rostliny reagují na vstupy a konkrétní půdní podmínky.



Obr. 188: Přehled hodnot biometrických parametrů porostu z odběrů vzorků.

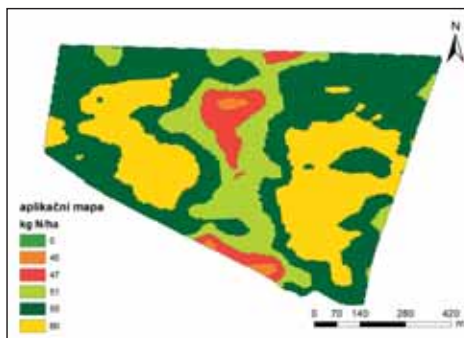
Variabilní hnojení porostů cukrové řepy

Na pozemku o výměře 42,78 ha byl založen 8. 4. 2018 porost cukrové řepy. Na pozemku převládala hlinitá půdy bez skeletu. Jedná se o mírně svažité pozemek. Na podzim 2017 byly na pozemek aplikovány dolomitický vápenec mletý a saturační kaly. Před setím byla dále aplikována draselná sůl 60%, močovina 46% a Amofos 12,52. Pro variabilní aplikace byla vybrána aplikace LAV 27,5% v termínu aplikace 18. 5. 2018. Pozemek byl rozdělen na dvě varianty s uniformní dávkou 200 kg LAV 27,5% na hektar a variabilní aplikaci. Tentokrát se pro variabilní dávku hnojiva vycházelo z mapy výnosového potenciálu, protože listová plocha rostlin nebyla v době aplikace dostatečně velká pro snímání optickými senzory.

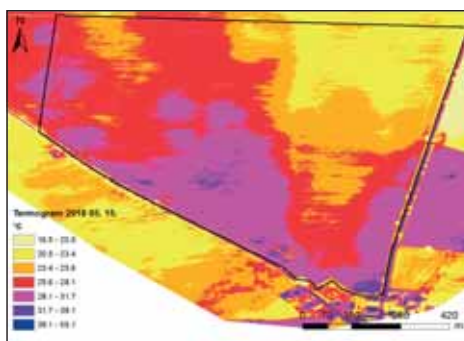
Mapa výnosového potenciálu vykazovala značnou variabilitu pozemku. Na variabilitě se pravděpodobně podílela také svažitosť pozemku, kdy vrchní části pozemku vykazovaly nejnižší výnosový potenciál. Pro variabilní přihnojení bylo rozhodnuto pro dávku v rozmezí 45 až 60 kg N/ha. Rovněž bylo rozhodnuto pro snižování dávek na plochách s nižším výnosovým potenciálem. Aplikáční mapa (obr. 189) vycházela z mapy výnosového potenciálu. V programu SMS byla naformátována pro terminál rozmetadla.

Jako doplnění pro vysvětlení variability pozemku je předložen termosnímek zájmové oblasti (obr. 190), který dokládá rozdíly v ohřevu půdy. Jedná se o nově se rozvíjející obor s potenciálem detekovat stresové stavy porostů.

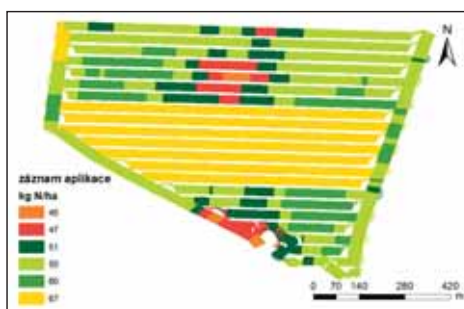
Záznam aplikace (obrázek 191) dokládá práci rozmetadla v rozdílných režimech práce. Je dobře patrná variabilní hnojení a uniformní dávky. V rámci uniformní dávky bylo na základě záznamu aplikováno 67 kg N/ha.



Obr. 189: Aplikáční mapa pro přihnojení cukrové řepy dusíkatým hnojivem.



Obr. 190: Termogram zájmové oblasti pořízený bezpilotním prostředkem.

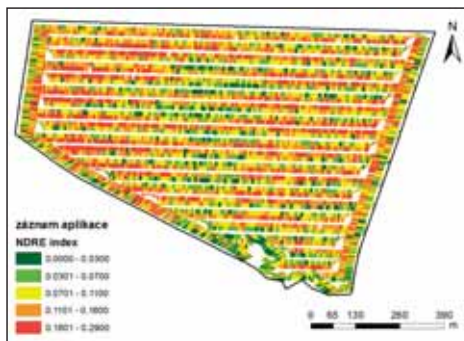


Obr. 191: Záznam aplikace hnojiva získaný z terminálu rozmetadla hnojiv dne 18. 5. 2018.

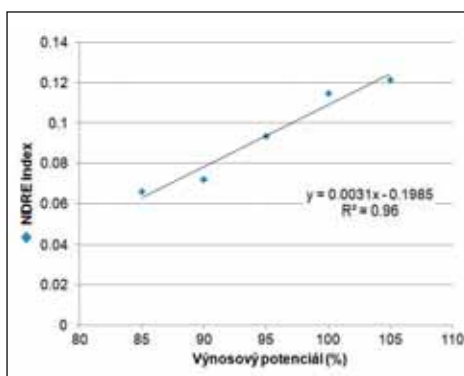
Současně s aplikací byl zaznamenán index NDRE (Normalized Difference RedEdge), který systém OptRx™ rovněž využívá (obr. 192). Jedná se o index, který se uplatňuje v pozdějších fázích růstu rostlin, kdy je přesnější než NDVI.

I když porost cukrové řepy ještě nebyl zcela zapojen, výsledky korespondují s výnosovým potenciálem pozemku. Pro další aplikace tedy bude i tato možnost nadále rozvíjena. Pokud vyneseme průměrné hodnoty indexu a výnosového potenciálu půdy do grafu, získáme silnou závislost vyjádřenou korelačním koeficientem (obr. 193).

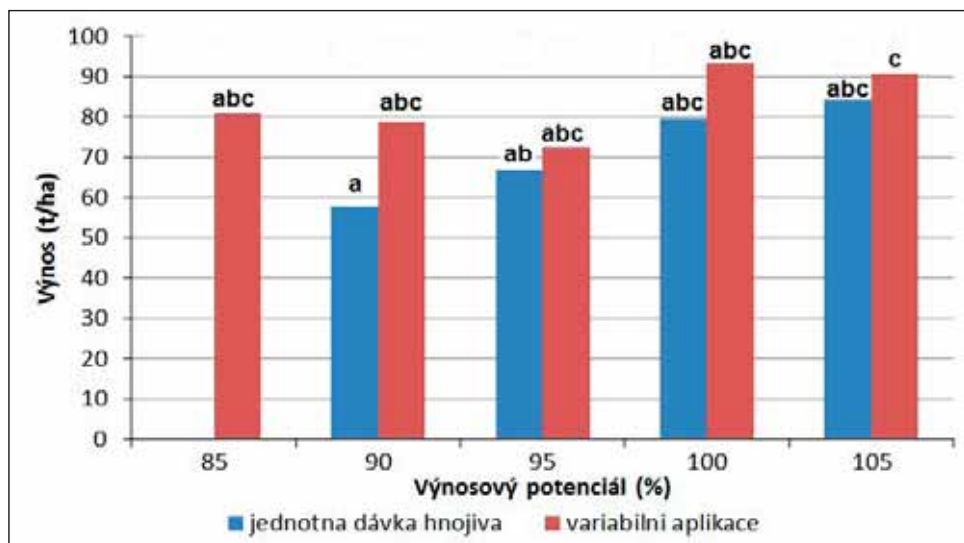
Pro uplatnění variabilního hnojení hovoří možná úspora hnojiva, zejména na pozemcích silně variabilních se zastoupením nízkého výnosového potenciálu. Jak ukazuje graf na obrázku 194, přes vyšší dávku hnojiva na plochách s nízkým výnosovým potenciálem, oproti variabilní dávce, hnojivo nepřineslo požadovaný efekt. Jednotná dávka 55 kg N/ha se na ploše



Obr. 192: Hodnoty NDRE indexu porostu cukrové řepy dne 18. 5. 2018.



Obr. 193: Závislost NDRE indexu na výnosovém potenciálu.



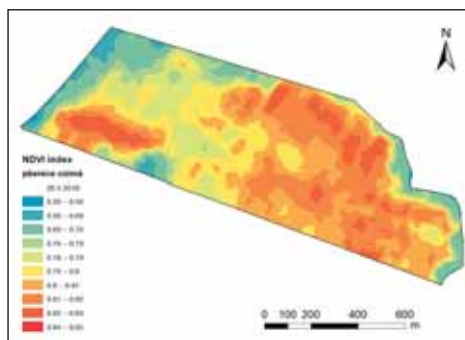
Obr. 194: Výnosová data pro cukrovou řepu. Rozdílné indexy vyznačují statisticky významné rozdíly.

s variabilní aplikací uplatnila na cca 56 % plochy. 21 % plochy bylo přihnojeno vyšší dávkou a na 23 % plochy byla dávka hnojiva snížena.

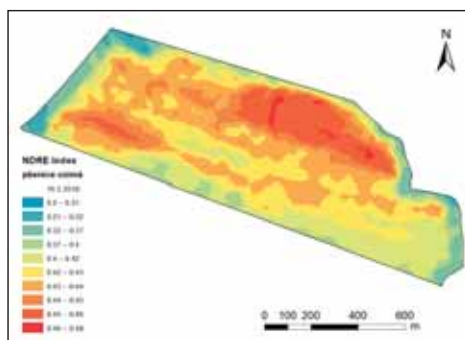
Variabilní aplikace dusíkatého hnojiva uplatňovaná u pšenice ozimé, ječmene jarního a cukrové řepy, přinesla následující výsledky. U ječmene jarního bylo pozorováno navýšení výnosu, spojeného s variabilní aplikací, v průměru o 0,35 %. Při uvažované současné výkupní ceně až 6 000 Kč/t lze dojít, při průměrném dosaženém výnosu 7,07 t/ha a výměře sledovaného pozemku 25,8 ha, k částce 3 833 Kč. U pšenice ozimé bylo pozorováno navýšení výnosu spojeného s variabilní aplikací v průměru o 1,1 %. Při uvažované současné výkupní ceně až 3 550 Kč/t lze dojít, při průměrném dosaženém výnosu 5,2 t/ha a výměře sledovaného pozemku 21,7 ha, k částce 4 400 Kč. U porostu cukrové řepy nebyl sledován výrazný rozdíl ve výnosu mezi variabilní a jednotnou aplikací hnojiva. Rovněž nelze hovořit o snížení dávky hnojiva, ovšem hnojivo, a to platí i u ostatních plodin, bylo rozděleno efektivněji.

Spolehlivost dat a hustoty vzorkování

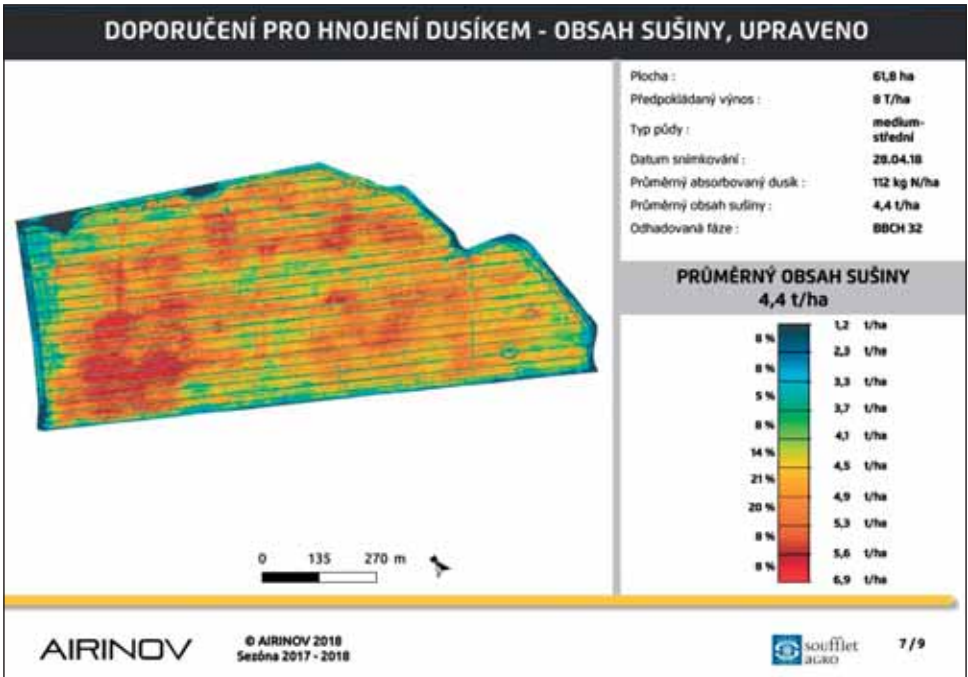
Hustota vzorkování, a s tím spojená spolehlivost odhadu a při tvorbě map, je významným prvkem přesnosti sběru dat. Optické senzory, použité na traktoru během přihnojení, poskytují bodová data a výsledná mapa vychází z interpolačních metod. Pro porovnání hodnot vypovídajících o stavu porostu bylo možné využít snímky pořízené multispektrální kamerou nesenou bezpilotním prostředkem. Zde je rozlišení dáno hodnotou velikostí pixelu a jedná se v podstatě o celoplošný záznam. Na následujících obrázcích 195 a 196 jsou mapy vegetačních indexů pořízených optickým senzorem během druhého a třetího přihnojení. Index NDRE se využívá ve vyšší fázi růstu plodin. Mapy lze porovnat s daty pořízenými bezpilotním prostředkem. Hodnoty obsahu sušiny byly vyjádřeny ze snímků pořízených bezpilotním letounem (obr. 197 a 198). Služby poskytla firma Soufflet Agro. Je zde patrná jistá podobnost v prostorovém rozlišení. Ukazuje se, že optické senzory jsou vhodným řešením pro dosažení požadované hustoty vzorkování.



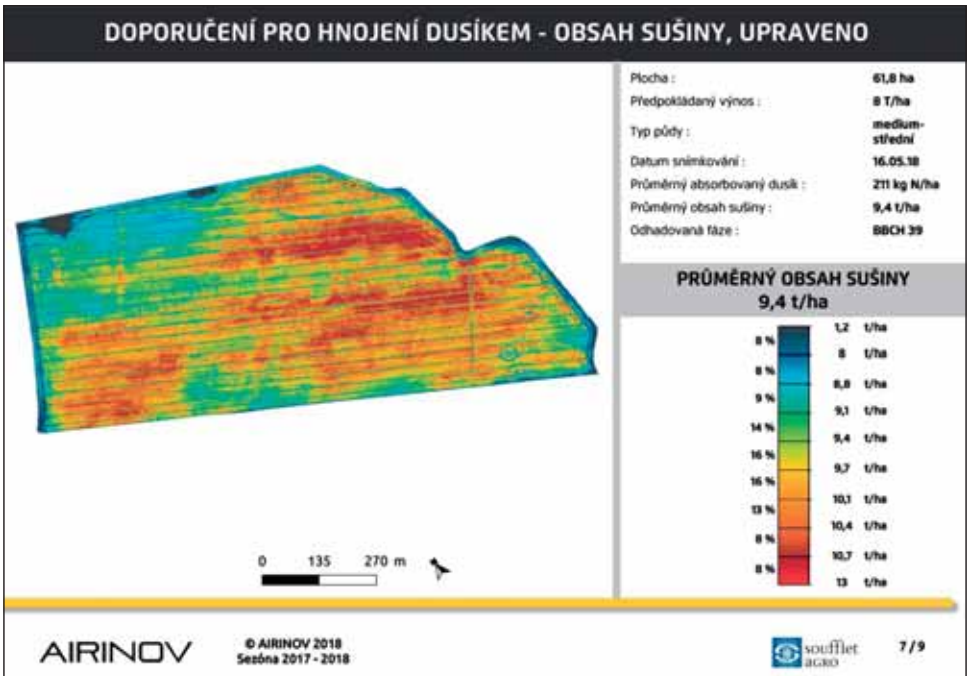
Obr. 195: Index NDVI pořízený optickým senzorem během druhého přihnojení.



Obr. 196: Index NDRE pořízený optickým senzorem během třetího přihnojení.



Obr. 196: Index NDRE pořízený optickým senzorem během třetího přihnojení.



Obr. 197: Obsah sušiny vyjádřený z multispektrálního snímku, pořízeného před druhým přihnojením.

Bonitace půdních bloků - implementační část (Krčec a Job)

Primárním cílem precizního zemědělství je snaha o zohlednění variability obhospodařovaných pozemků a individuální přístup k jejich jednotlivým částem. Často jsou proto využívány mapové podklady, které zobrazují rozdíly v relativní výnosnosti každého místa, tedy pozitivní nebo negativní odklon od průměru daného bloku vyjádřený v procentech. I když jsou mapy relativního výnosového potenciálu velmi užitečným nástrojem, vzhledem k tomu, že nepostihují variabilitu mezi více pozemky, není vhodné je využívat jako jediný parametr při nastavování variabilních aplikací.

Každý agronom má představu, které jím obhospodařované pozemky patří mezi ty úrodnější, nebo méně úrodné. Rozdíly mohou být dány tvarovými vlastnostmi pozemku, změnou pedologických podmínek, reliéfem krajiny, nebo jinými důvody. Důležité ale je postihnout tuto variabilitu mezi pozemky, například při stanovování dávky dusíkatého hnojení. Je totiž logicky nevhodné, když jsou stejně hnojeny například dva pozemky, kde jeden vykazuje dlouhodobý průměrný výnos pšenice ozimé na úrovni 8 t/ha a druhý 5 t/ha. Diferenciace základních dávek hnojení zde může napomoci zvýšení výnosu u lepšího pozemku a snížení zbytečných nákladů u horšího pozemku. Nemluvě o snížení zátěže životního prostředí úniky nevyužitého dusíku.

Z těchto důvodů jsme v našem inovačním projektu přistoupili k bonitaci jednotlivých pozemků obhospodařovaných partnerskou zemědělskou společností. Vzhledem k neexistenci metodického postupu, kterým by podobná bonitace mohla být provedena, jsme vytvořili vlastní způsob hodnocení. Všechny půdní bloky nad 5 ha, na kterých jsou využívány variabilní aplikace, byly ohodnoceny dle nastaveného postupu a na základě výsledků zařazeny do jedné z pěti kategorií. Hodnocení bylo provedeno na základě pětiletých průměrných výnosů. Ty byly získány z vnitropodnikové sklizňové evidence, která je díky vážení každého odvozového prostředku na velmi dobré úrovni přesnosti. Díky tomu bylo možné stanovit průměrný „reálný“ výnos pěstované plodiny na každém pozemku v daném roce (tab. 6.1.).

Tab. 6.1.: Příklad způsobu hodnocení bonitace půdního bloku

Název	Výměra (ha)	Bonita	2017			2016			2015		
			plodina	reálný výnos	normovaný výnos	plodina	reálný výnos	normovaný výnos	plodina	reálný výnos	normovaný výnos
Bahništěata	11,23	5,34	6	2,84	4,55	4	4,29	4,72	7	0,75	4,50
Brambůrek I.	21,69	5,44	4	4,21	4,63	4	7,95	8,74	7	0,88	5,30
Brambůrek II.	9,63	5,43	4	4,21	4,63	4	7,95	8,74	7	0,88	5,28
Branka II.	5,45	6,30	6	3,39	5,43	1	8,53	8,53	2	5,55	6,66
Carda - kotrmelece	25,01	6,46	1	5,13	5,13	6	4,44	7,10	2	5,57	6,68
Cihelna	17,1	6,67	1	5,55	5,55	6	4,66	7,45	4	5,57	6,13
Dolnice	28,37	4,57	6	1,34	2,14	4	4,29	4,72	7	0,75	4,53
Drnecká rovina	28,63	6,03	2	4,13	4,96	1	8,42	8,42	6	4,20	6,72

Samozřejmě není možné bez korekce srovnávat hodnoty výnosů různých plodin. Proto byly vytvořeny koeficienty, které dosažené výnosy normalizovaly, aby se získanými hodnotami bylo možné dále pracovat. Koeficienty byly stanoveny na základě dosaženého pětiletého průměrného výnosu dané plodiny v partnerském podniku a vztaheny k průměrnému výnosu pšenice ozimé (tab. 6.2.). Vzorec pro výpočet použitého koeficientu je tedy hodnota průměrného výnosu pšenice ozimé dělena průměrným výnosem dané plodiny a zaokrouhleno na jedno desetinné místo.

Příklad výpočtu bonitní hodnoty je demonstrován v tabulce 6.1.. V tabulce jsou zachyceny modelové půdní bloky, u kterých jsou zobrazeny informace o pěstované plodině (respektive jejím číselném označení dle tabulky), reálném dosaženém výnosu a hodnotě přepočteného normovaného výnosu v daném roce. Normovaný výnos je vypočten vynásobením reálného výnosu a koeficientu znázorněného v tabulce 6.2.

Tab. 6.2.: Tabulka nastavení bonitačních koeficientů.

Číslo	Plodina	Průměrný výnos 2013–2017 (t/ha)	Koeficient
1	pšenice ozimá	6,39	1,0
2	ječmen jarní	4,64	1,4
3	ječmen ozimý	4,58	1,4
4	triticale seté	5,00	1,2
5	žito seté	4,31	1,4
6	řepka ozimá	3,70	1,7
7	hořčice bílá	1,15	6,0
8	jetel nachový	1,09	6,0
9	hrách setý	3,09	1,9
10	LOS	22,00	0,3
11	pšenice jarní	4,72	1,4

Průměr hodnot normovaného výnosu za roky 2013–2017 je hodnotou bonity daného půdního bloku. Všechny půdní bloky byly po získání hodnoty bonity podle této hodnoty seřazeny a bylo provedeno statistické hodnocení získaných údajů. Hodnota bonity se pohybovala od 3,83 do 7,98. Zjištěné rozdíly byly tedy značné. Následně byly půdní bloky rozděleny do již zmíněných pěti výnosových kategorií. Jako základ pro výpočet byla použita střední hodnota a hodnota rozptylu. Hranice prostřední kategorie, označené číslem 3, byly stanoveny jako průměr \pm 1/2 rozptylu. U dalších kategorií byl poté přičten nebo odečten celý rozptyl (tab. 6.3.).

Tab. 6.3.: Zařazení pozemků do kategorií a nastavení dávek N hnojení.

Kategorie	Hodnota bonity	Počet pozemků v kategorii	Dávka N hnojiva
1	< 5,30	15	90 %
2	5,31–6,03	18	95 %
3	6,04–6,75	28	100 %
4	6,76–7,20	23	105 %
5	> 7,20	16	110 %

Pro zajímavost byla agronomovi podniku dána tabulka půdních bloků s instrukcemi, aby dle svého uvážení bloky rozdělil do pěti produkčních kategorií. Rozdíly mezi subjektivní a objektivní kategorizací byly relativně malé. Agronom přesně určil stanovenou kategorii ve 42 % případů, ve 44 % případů chybil o jednu kategorii a ve 14 % o dvě. Také se ukázalo, že při subjektivním hodnocení měl agronom tendenci spíše nadhodnocovat a to v 60 % případů. Z toho vyplývá, že zařazení půdních bloků do jednotlivých kategorií je dobré před zavedením konzultovat se zkušenostmi agronoma. Obdobně, jako při validaci map relativního výnosového potenciálu, je možné tímto způsobem odhalit případné chyby.

Dle takto získané kategorizace obhospodařovaných pozemků bylo možné následně upravovat například dávky dusíkatých hnojiv. V současné době je využívána strategie nastavení základní dávky pro kategorii 3 a její snížení, respektive zvýšení o 5 % za kategorií, jak je znázorněno v tab. 6.3. Nicméně korekce dávky může být i významnější v závislosti na přístupu každého agronoma.

Kategorizaci bloků je vhodné průběžně aktualizovat. Po dvou letech využívání výše popsaného přístupu bylo po sklizni roku 2019 přistoupeno k aktualizaci bonitace i koeficientů se zohledněním vývoje posledních let. Nově získané průměrné výnosy byly zapracovány do původních dat, a byla tak rozšířena časová řada pro stanovení hodnoty bonity. Vzhledem k výrazným změnám ve srážkovém režimu obhospodařovaného území došlo ke snížení střední hodnoty bonity z 6,39 na 5,87. Kategorie u většiny pozemků přesto zůstala nezměněna, ve 20 % případů došlo ke snížení a v 15 % ke zvýšení.

Závěry vyplývající z provedených analýz:

- Provedení bonitace pozemků je základem pro stanovení primární úrovně hnojení pro půdní bloky a jejich díly ve vztahu k variabilnímu hnojení.
- Pro stanovení bonitace pozemků lze využít dlouhodobé údaje o výnosu jednotlivých plodin.
- Výsledkem hodnocení je klasifikace skupiny půdních bloků s adekvátní referenční hodnotou hnojení.

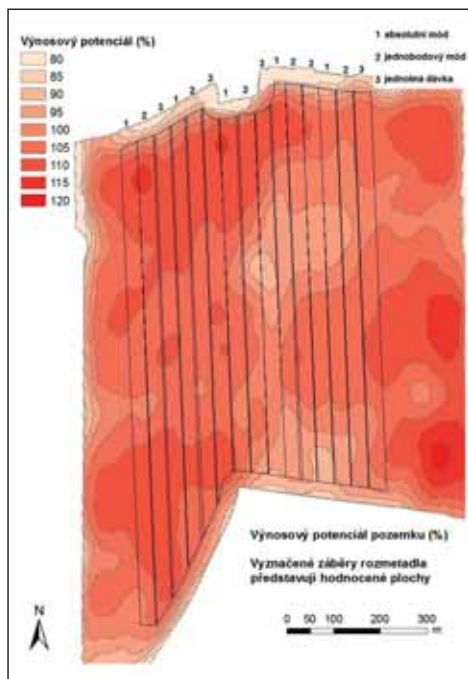
Praktické využití senzoru ISARIA

Pro polní pokus s plodinovým senzorem ISARIA bylo využito odstředivé rozmetadlo KUHN v agregaci s traktorem New Holland. Na předním tříbodovém závěsu byl zavěšen systém ISARIA (obr. 199).

Sledovanou plodinou na pokusném pozemku byla pšenice ozimá po předplodině kukuřici seté. Pro vedení provozního polního pokusu byla vybrána část pozemku s výměrou 47 ha. Lokalita se nachází v nadmořské výšce od 310 do 330 m n. m. Na pozemku převládá půdní typ černozem modální, z části černozem luvická. Pozemek se svažuje směrem k jihu. Za účelem porovnání rozdílných variant variabilních aplikací dusíkatého hnojiva byl pozemek rozdělen na pokusné parcely. Pokusné parcely byly rozvrženy dle schématu na obrázku 200. Celkem byly do pokusu zařazeny 3 varianty: jednotná dávka, kde byla vždy nastavena jednotná dávka hnojiva, jednobodový mód, kde se dávka hnojiva určovala na základě stavu porostu pomocí senzoru ISARIA a absolutní mód, kde se informace ze senzoru ISARIA upravovala na základě mapy výnosového potenciálu. Z pokusných ploch byly vyčleněny souvraté a klínovité části pozemku. Na základě rozdělení a organizace pokusu byly jednotlivé varianty o shodné výměře. Variabilní aplikace byly provedeny při druhém, produkčním, a třetím, kvalitativním, přihnojení. V prvním případě bylo aplikováno hnojivo LAV 27, při druhé aplikaci bylo aplikováno hnojivo LAD 27. V případě 3. přihnojení byla do dvou jízd varianty absolutní mód zařazena korekce dávky na základě doporučení o zbytkovém dusíku v půdě. Vypracovaná mapa výnosového potenciálu půdy vykazuje jistou variabilitu pozemku s převahou vyššího výnosového potenciálu. Na pozemku jsou vyznačeny jednotlivé jízdy, resp. záběry rozmetadla, které korespondují s rozdělením na pokusné parcely. Regenerační přihnojení v dávce 200 kg LAV/ha bylo provedeno jednotnou dávkou.



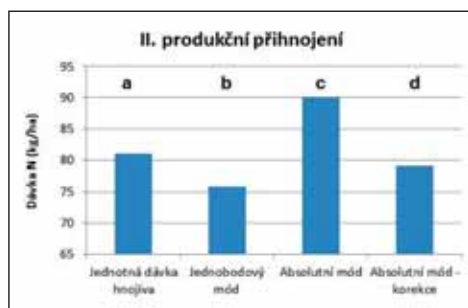
Obr. 199: Souprava osazená systémem ISARIA (foto Kroulík).



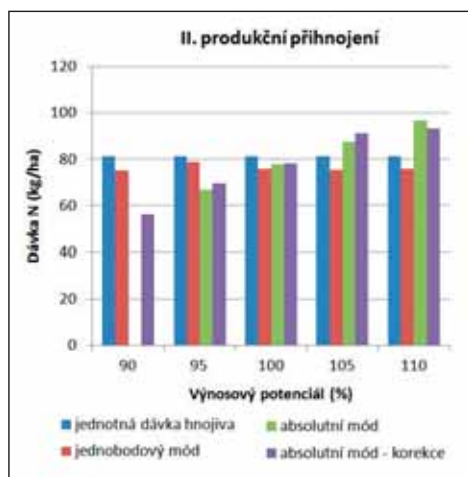
Obr. 200: Pokusný pozemek popsán mapou výnosového potenciálu s rozdělením na sledované varianty.

Produkční přihnojení hnojivem LAV 27 v termínu 22.4.2016 odpovídalo růstové fázi BBCH 31. Jednotná dávka byla nastavena na 300 kg LAV/ha (81 kg N). Variabilní dávka se pohybovala v rozmezí od 200 do 400 kg LAV/ha. Sklon řídicí křivky pro jednobodovou kalibraci byl nastaven na hodnotu -10 s očekávaným výnosem zrna 8 t/ha. Příští hnojení bylo provedeno v růstové fázi BBCH 49.

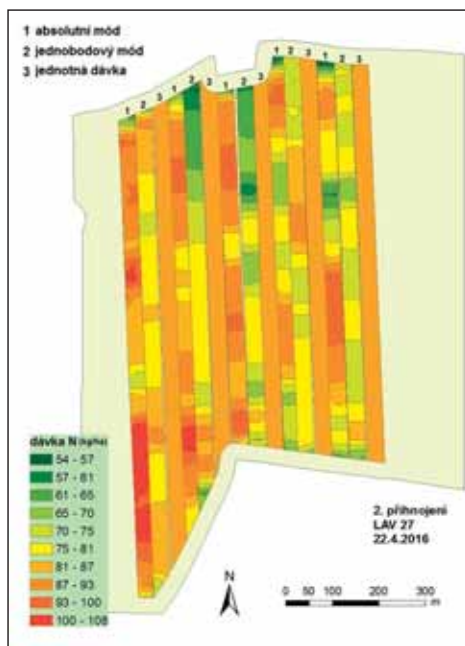
Následující graf na obrázku 201 dokládá průměrnou dávku dusíku na jednotlivé parcely pokusu. Z hodnot vyplývá, že nejnižší spotřeba hnojiva byla zaznamenána



Obr. 201: Souhrnný přehled dávek hnojiva při 2. přihnojení.



Obr. 202: Přehled dávek hnojiva podle výnosových potenciálů při 2. přihnojení.



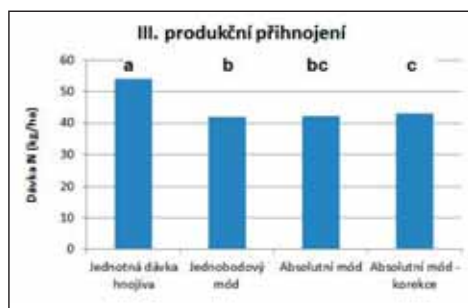
Obr. 203: Rozdíly dávkování dusíku při druhém přihnojení.

na plochách, kde byl uplatňován jednobodový mód. Varianta s absolutním módem je vynesena do dvou sloupců. Důvodem rozdělení varianty s absolutním módem na dva sloupce je změna nastavení řídicí křivky v průběhu přihnojování. Ke změně nastavení došlo až při třetím přihnojení, nicméně z důvodu srovnání variant a popisu výchozího stavu před třetím přihnojením byly tyto jízdy odděleny již v hodnocení druhého přihnojení. Rozdílné indexy dokládají statisticky významné rozdíly mezi průměrnými hodnotami. Je patrné, že rozdíly v dávkách byly významné.

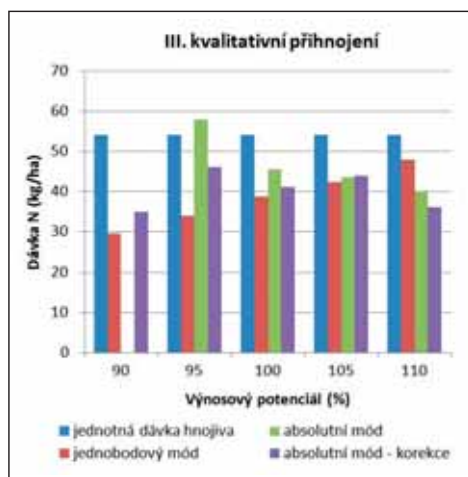
Následující graf na obrázku 202 přináší rozdělení dávek podle variant a výnosového potenciálu. V případě chybějícího sloupce nebyla daná plocha výnosového potenciálu pro variantu zastoupená. Je patrné, že na základě doporučení ze senzoru ISARIA byly snižovány dávky na méně produkčních

plochách oproti plochám s vyšším potenciálem. V případě kombinace výstupu ze senzoru s mapou výnosového potenciálu (absolutní mód) byla dávka snižována více na plochách s nižším potenciálem, na plochách s vyšším potenciálem tomu bylo naopak. Na následujícím obrázku 203 je možné sledovat rozdíly v aplikované dávce, vyjádřené jako mapa dávek.

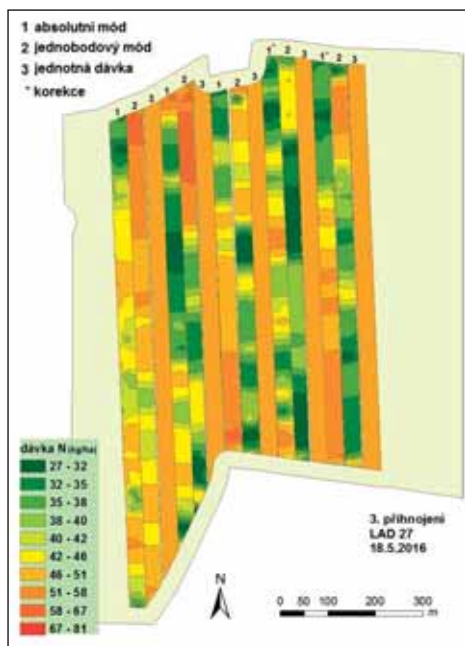
Třetí přihnojení bylo provedeno v termínu 18. 5. 2016 v růstové fázi BBCH 41 hnojivem LAD 27. Jednotná dávka hnojiva byla nastavena na hodnotu 200 kg LAD/ha (54 kg N). Sklon řídicí křivky pro jednobodo-



Obr. 204: Průměrná dávka dusíku při 3. přihnojení.



Obr. 205: Souhrnný přehled dávek hnojiva při 3. přihnojení.

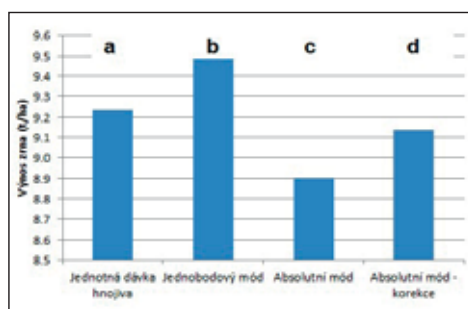


Obr. 206: Rozdíly dávkování dusíku při třetím přihnojení.

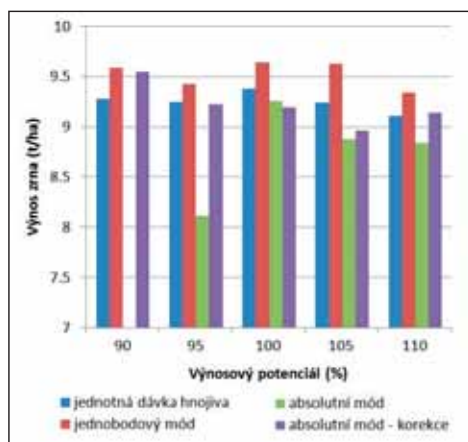
vou kalibraci byl nastaven na hodnotu +12. Pro absolutní mód byla dávka LAD nastavena v rozmezí 100 až 300 kg/ha. Odhad výnosu byl stanoven na 8 t/ha. Na základě odborného doporučení byl do varianty absolutní mód zařazen ve dvou jízdách korekční faktor -15, který snížil dávku hnojiva s přihlédnutím na dostupný zbytkový dusík v půdě. Odhad výnosu byl zvýšen na 9 t/ha. Z grafu na obrázku 204 vyplývá, že u variabilních aplikací došlo ke snížení potřeby hnojiva o statisticky významnou hodnotu oproti jednotné dávce. U ostatních variant byly rozdíly, až na hodnotu mezi jednobodovým módem a absolutním módem s korekcí, nevýznamné. Nejnižší hodnotu opět vykazovala varianta s jednobodovým módem. Rozdílné indexy dokládají statisticky významné rozdíly mezi průměrnými hodnotami. Z následujícího grafu na obrázku 205 je opět patrné rozdělení dávek podle variant a výnosového potenciálu.

Z průběhu přihnojení jsou patrné výrazné rozdíly v aplikovaných dávkách podle výnosového potenciálu. Kromě jedné hodnoty byly na všech variabilních variantách dávky snižovány. Průběh rozmetání hnojiva dokládá následující mapa na obrázku 206.

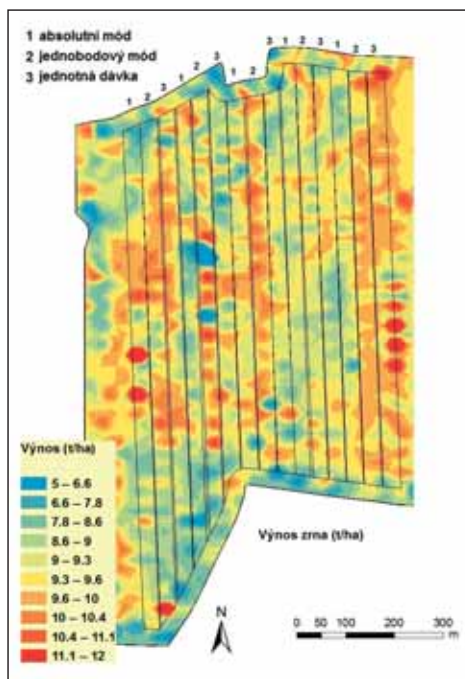
Pozemek byl sklizen sklízecí mlátičkou osazenou výnosoměrem a přijímačem GPS. Do hodnocení byly zařazeny vždy dvě sousední jízdy mlátičky. Jízdy mezi jednotlivými parcelami nebyly zařazeny z důvodu možných překryvů, ke kterým při aplikaci hnojiv dochází. Výnosová data byla ošetřena tak,



Obr. 207: Výnos zrna (přepočteno na vlhkost zrna 14 %) z pokusného pozemku pšenice ozimé.



Obr. 208: Výnos zrna (přepočteno na vlhkost zrna 14 %) z pokusného pozemku podle výnosových potenciálů u pšenice ozimé.



Obr. 209: Výnosová mapa pozemku (14 % vlhkost) s pšenicí ozimou.

aby byly vyloučeny hodnoty při najždění a vyždění mlátičky do záběru. Rovněž byly vyloučeny extrémy a chybné záznamy. Podobně se postupovalo v případě úpravy dat ze záznamu hnojení. Jak dokládá graf na obrázku 207, nejvyššího výnosu zrna bylo dosaženo na ploše s jednobodovým módem hnojení. Naopak nejnižší výnos vykazovaly plochy hnojené v absolutním módu. Navýšení výnosu u absolutního módu přináší varianta s korekcí dávky. I tak zůstává hodnota nižší oproti kontrolní variantě. Rozdíly byly opět statisticky významné.

Detailní výsledky hodnot výnosu přináší následující graf na obrázku 208. Hodnoty jsou rozděleny podle výnosového potenciálu. Z výsledků je patrné, že varianta s jednotnou dávkou si udržela vyrovnanou výnosovou úroveň. Podobná vyrovnanost je patrná také u absolutního

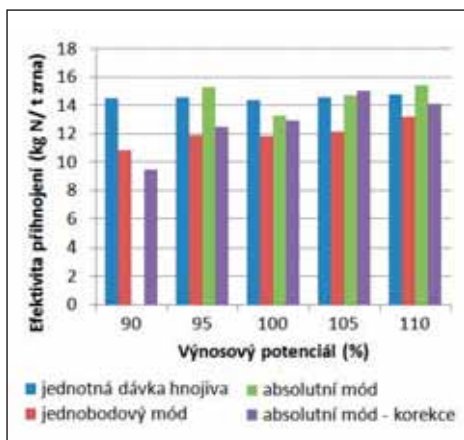
módu s korekcí dávky. Výrazné rozdíly jsou patrné u absolutního módu bez korekce. Ve všech případech se nejvýše pohybuje varianta s jednobodovým módem. Z dat je ale možné pozorovat jeden trend, a to je snižování výnosu napříč variantami hnojení s rostoucím výnosovým potenciálem. Tento trend se pokusíme vysvětlit v následujících částech zprávy.

Mapa výnosu (obr. 209) dokládá rozložení jednotlivých hodnot. Vzhledem k opakující se kombinaci variant jsou navzájem, díky interpolacím, jednotlivé hodnoty ovlivněny a mapa má spíše orientační, doplňkový charakter.

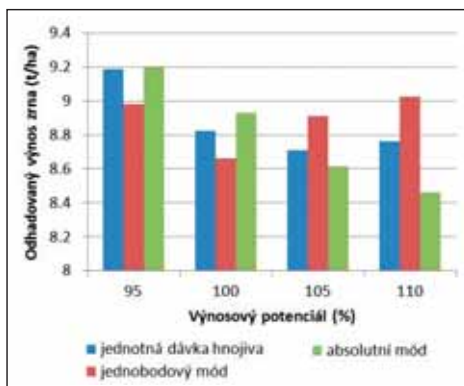
Díky znalosti polohy jednotlivých bodů je možné dále hodnotit efektivitu hnojení, které je vyjádřené hmotností hnojiva, respektive dusíku, aplikovaného na produkci 1 tuny zrna (obr. 210). Z porovnání všech variant vyplývá, že nejnižší efektivita byla pozorována u absolutního módu bez korekce. V porovnání s variantou absolutní mód s korekcí se ukazuje, že kromě načasování přihnojení je důležité také vhodné nastavení parametrů v palubním počítači.

Z důvodu ověření výsledků a doplnění předešlých výsledků, které byly získány ze senzorů a výnosoměru, byly v době před sklizní z předem definovaných 128 bodů na pozemku odebrány vzorky rostlin pro laboratorní rozbor. Mezi jednotlivými průměrnými hodnotami nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly, avšak tyto výsledky vnášejí do předešlých hodnot další postřehy a vysvětlení.

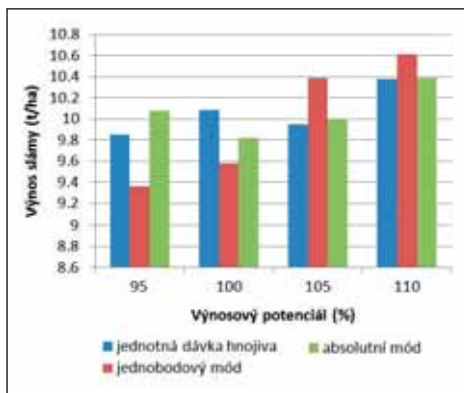
Jako první byl stanoven odhadovaný výnos zrna, opět přepočítaný na hektarový výnos s vlhkostí zrna 14 %. Jak dokládá graf (obr. 211), nejvyšší hodnoty byly pozorová-



Obr. 210: Efektivita přihnojení podle variant a výnosových potenciálů.



Obr. 211: Odhadovaný výnos zrna (14 % vlhkost) u pšenice ozimé.

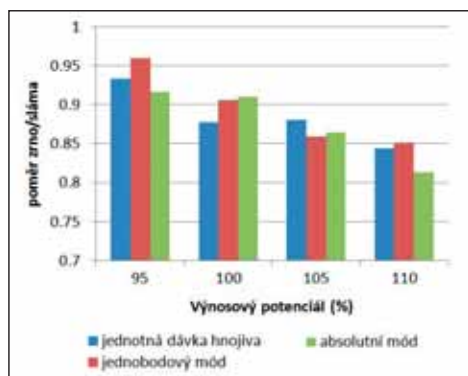


Obr. 212: Výnos slámy pšenice ozimé.

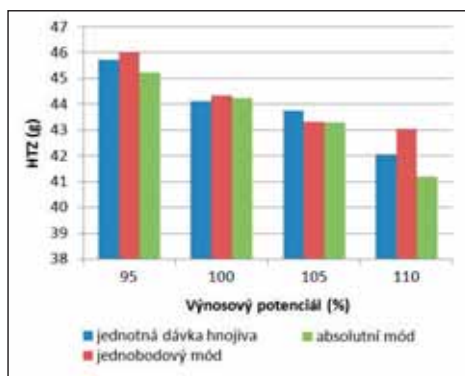
ny na variantě kontrolní, mezi jednotlivými variantami však nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly. Zde již není zahrnuta varianta s korekcí dávky u absolutního módu. Každopádně se opět potvrdil negativní trend ve výnosu zrna s rostoucím výnosovým potenciálem. V případě výnosu slámy (obr. 212) je tomu přesně naopak. Výsledek potvrzuje také graf poměru zrna a slámy (obr. 213).

Jak ukazuje další graf (obr. 214), na plochách s vyšším výnosovým potenciálem nasadily jednotlivé rostliny vyšší počet fertálních odnoží. Podpora odnožování také pravděpodobně souvisela s průběhem jarního období. Chladnější jaro, a tedy i chladnější půda, zajistily delší dobu na odnožování. S chladnějším průběhem jara bez odčerpávání živin rovněž může souviset také obsah dusíku v půdě a jeho případný nadbytek. Mohlo dojít k podpoře tvorby především vegetativních orgánů.

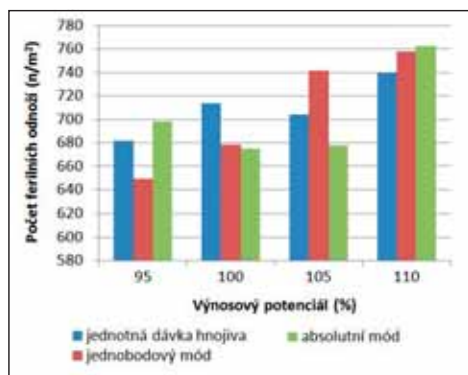
Jednotlivé rostliny poté upřednostnily dusík na tvorbu slámy na úkor zrna. Vyšší podíl odnoží rovněž mohl ovlivnit další ukazatele kvality zrna. Autoregulační funkce rostlin pšenice ozimé společně s úrovní hnojení se projevily na HTZ, konkrétně snížením hodnot HTZ na hustším porostu, jak dokládá následující graf (obr. 215).



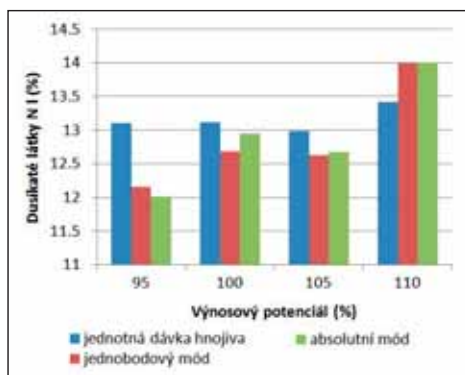
Obr. 213: Poměr zrna/sláma.



Obr. 215: Graf hmotnosti tisíce zrn (HTZ).



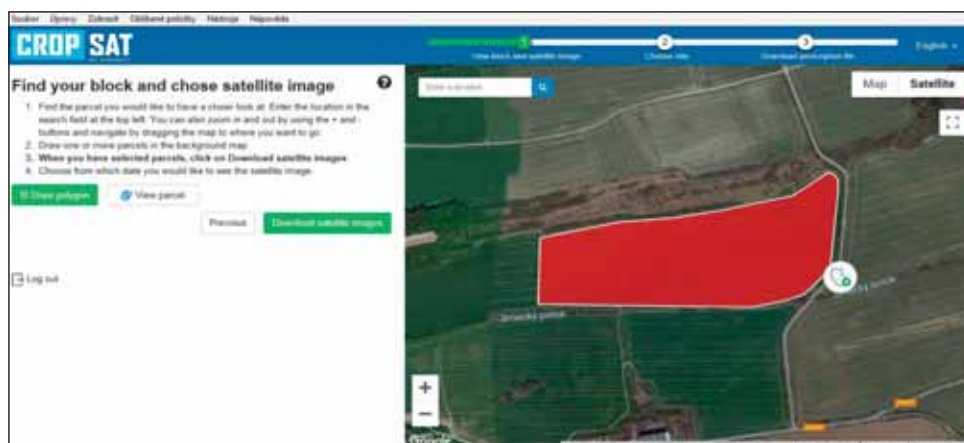
Obr. 214: Počet fertálních odnoží podle variant a výnosového potenciálu.



Obr. 216: Obsah dusíkatých látek v zru.

Uvedené faktory, včetně úrovně především kvalitativního přihnojení, ovlivnily obsahy dusíkatých látek (NI) v zru (obr. 216). Tento ukazatel je také významný pro stanovení kvality a následné výkupní ceny pšenice. Průměrné hodnoty NI byly ve všech variantách hnojení na úrovni vyšší jak 13 %, a tedy splňovaly požadavek na úroveň kvality A. Podrobnější vyjádření poukázalo na jednotlivé rozdíly.

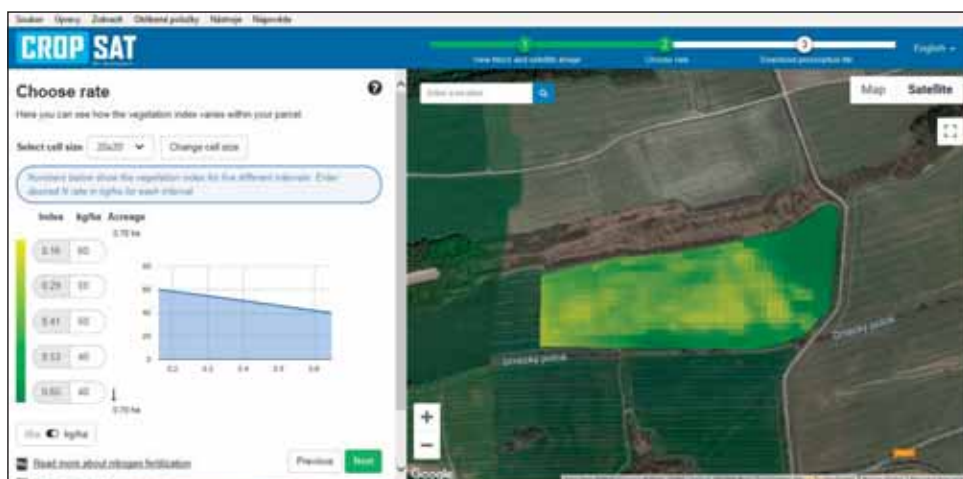
Pokud byly představeny plodinové senzory, založené na vyhodnocování spektrálním snímkování, nelze vynechat významnou oblast využití optických senzorů a dálkového průzkumu Země, a tím je využití družicových snímků. Tato oblast pochopitelně vydá na samostatnou oblast publikací, výzkumu nebo uplatnění. Dálkový průzkum Země (DPZ, Remote Sensing) v současné době nachází široké uplatnění v geografickém průzkumu zájmového území. Data z DPZ se tak stávají běžnou součástí geografických databází. Obor, který se do současné podoby vyvíjí od 60. let 20. století, uvažoval hned od svého počátku se zemědělstvím, jako jedním ze svých prioritních uživatelů. Uskutečňované projekty se tak v mnoha případech zaměřovaly právě na zemědělské cíle. V 70. letech byly založeny mimořádně úspěšné kosmické projekty. Do současné doby je v provozu řada družic, osazených senzory s citlivostí v rozdílných pásmech elektromagnetického záření nebo rozlišením. Z hlediska praktického užití stojí jistě za zmínku evropský program pozorování Země Copernicus, jehož základem jsou provozované družice Sentinel. Na oběžné dráze je provozováno 5 řad Sentinel 1 až Sentinel 5. Data z družic jsou sbírána do pozemních stanic, které umožňují jejich přenos a šíření. Družice Sentinel 2 jsou určeny především pro monitoring krajinného pokryvu a mapování změn v území a využití ploch. Na své palubě nesou multispektrální senzor, který navazuje na odkaz misí Landsat a SPOT. Tento senzor zahrnuje celkem 13 spektrálních pásem s rozlišením od 10 do 60 m. Data jsou tak svými parametry ideální také pro monitorování vegetace, a to se zaměřením na klasifikaci lesních porostů, mapování obsahu chlorofylu v listech, sledování zdravotního stavu vegetace, tvorbu vegetačních indexů nebo zjišťování vodního stresu. Využití dat těchto družic je také předpokládáno zejména v oblasti podpory krizového řízení (monitoring lesních požárů, dlouhodobého sucha aj.), v zemědělství a mnoha dalších oborech (více na <http://copernicus.gov.cz/copernicus>).



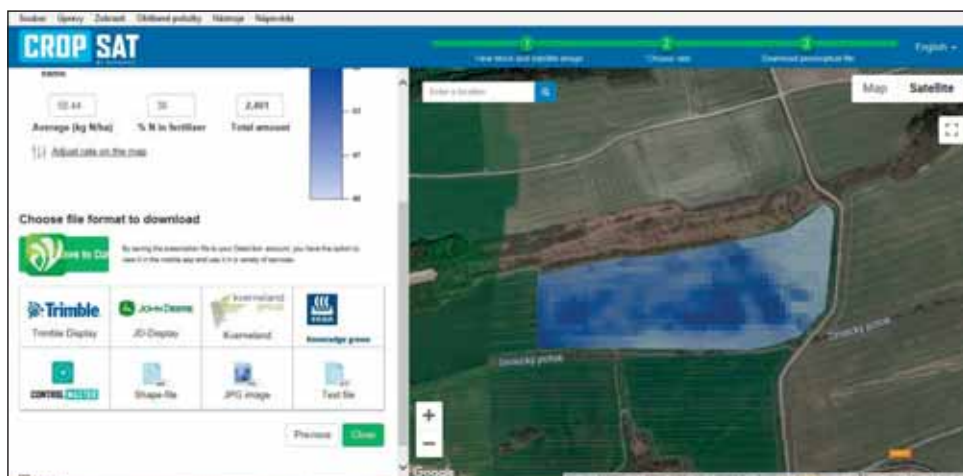
Obr. 217: Výběr pozemku v aplikaci CropSAT.

Kromě vědeckých aplikací s použitím specializovaných softwarových nástrojů a aplikací je možné pracovat v aplikacích dostupných na internetu. Podstatná informace je také ta, že řada dat je poskytována zdarma. S uvedenými aplikacemi se mohou stát užitečným nástrojem pro sledování variability pozemků nebo přípravu předpisových aplikačních map.

Za zmínku stojí například jednoduchá aplikace CropSAT. Jedná se o aplikaci pro přípravu aplikačních map pro variabilní přihnojení dusíkatými hnojivy. Hranice pozemku pro požadovaný pozemek vytvoříme jednoduše vyznačením zájmového území (obr. 217). Následně z nabídky satelitních snímků vybereme požadovaný termín, pro který je následně spočítán vegetační index (obr. 218). Po stanovení dávek hnojiva vytvoříme aplikační mapu (obr. 219). Tu následně uložíme v požadovaném formátu terminálu traktoru, rozmetadla nebo postřikovače.



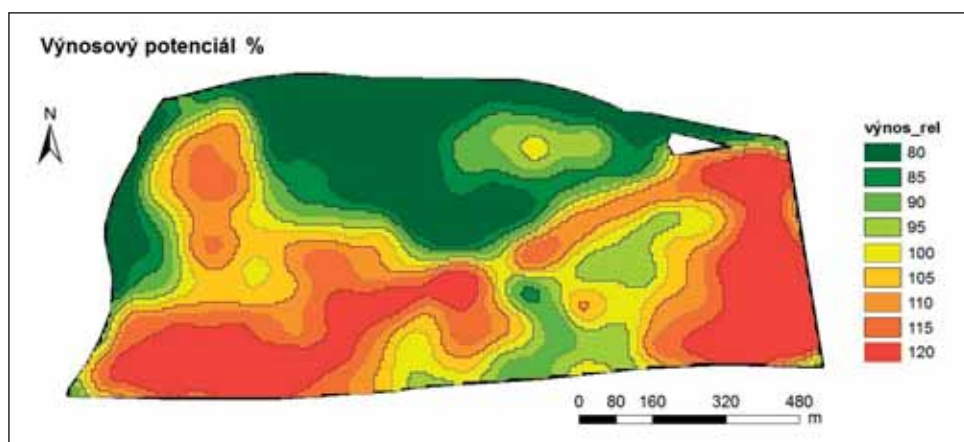
Obr. 218: Stanovení vegetačního indexu pro vybraný pozemek a datum pořízení snímku.



Obr. 219: Aplikační mapa připravená pro export ve vhodném formátu.

Na uvedených příkladech byla prezentována jednoduchá aplikace pro přípravu aplikačních map pro variabilní hnojení dusíkatými hnojivy. Otázka dalšího výzkumu a ověřování je využití dat pro aplikaci pesticidů, především fungicidů a poznání vztahů mezi variabilitou porostu, půdních podmínek klimatických podmínek pro rozvoj a šíření chorob. V tuto chvíli je možné na základě stavu porostu, vyjádřeného indexem, uvažovat o variabilní aplikaci morforegulátorů růstu.

Významným výstupem, založeném na analýze dlouhodobé řady družicových snímků, je vyjádření výnosového potenciálu. Některé mapy výnosového potenciálu již byly představeny. Pro jejich uplatnění můžeme vycházet z několika scénářů. Jedním ze základních vstupních parametrů pro plánování variabilních aplikací je znalost výnosu plodin a variabilita rozložení hodnot výnosu v rámci pozemku. Dlouhodobé řady validních výnosových dat jsou však v řadě podniků nedostupné. Výnosová data mohou být rovněž zatížena řadou chyb. Pro přehled je uvedeno několik příkladů. S použitým výnosovým čidlem se pohybujeme s chybou od 6 % (objemové čidlo), přes 5 % pro hmotnostní čidlo až po radiální s chybou do 2 %. Asi nejvýraznější chybu prezentuje velikost pozemku a s ním spojené nájezdy nebo výjezdy ze záběru s chybou až 25 %. Také nedostatečná pracovní kázeň přináší řadu chyb, spojených především s chybnou kalibrací (12 %), nedodržováním záběru (10 %) a častou změnou pracovní rychlosti (5 %). Svoji roli hraje také práce na svahu, kde se chyba může pohybovat od 6 % pro mírný svah až po 20 % pro prudší svah. Do toho může dále vstoupit nasazení více mlátíček na jednom pozemku s rozdílnými senzory, případně absencí senzorů. Tvorbou výnosových map je tedy spojená s poměrně náročným ošetřením dat před interpretací samotné mapy. Dále jsou zde plodiny, pro které je dostupnost výnosoměrů omezená. V uvedených příkladech je možné pro predikci výnosu využít právě mapy výnosového potenciálu sestavených z družicových dat (obr. 220). Výpočet vychází z analýzy nevyrovnanosti porostů jednotlivých pozemků z vegetačního indexu EVI za posledních několik let. Podrobný popis uvádí Lukas a kol. (2018).



Obr. 220: Mapa výnosového potenciálu.

Telematika v zemědělství, zpracování dat a podpora autonomních systémů (Kroulík a Brant)

Jednoznačným trendem současného vývoje v oblasti výrobních a spotřebitelských trendů a komunikačních technologií je transformace reálného světa fyzických objektů do objektů virtuálních a sloučit jednotlivé dění pod společnou infrastrukturu. Digitalizace výrobních procesů přináší propojování jednotlivých informačních hladin z více zdrojů do společných databází, souvislostí a funkcionalit. Digitalizace proniká do všech odvětví, včetně zemědělství.

Tento směr nám umožní kontrolu věcí kolem nás, ale také udržet nás informovanými o stavu věcí. Změna povahy průmyslu, zemědělství, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství se opírá o obory již využívané, ale rovněž o zcela nové pojmy: internet věcí (IoT), umělá inteligence, Big data, autonomní roboti, senzory, cloudové výpočty, 3D tisk, nanotechnologie, genetika, datová úložiště, aditivní výroba, umělá inteligence, M²M (machine to machine communication). Podpora IoT a nástup robotů v mnoha činnostech každodenního života činí z robotických aplikací podporovaných IoT hmatatelnou realitu naší nadcházející budoucnosti (Grieco a kol., 2014).

Nástup autonomních systémů, požadavky na sběr a zpracování velkého objemu dat, kontrola vstupů, vše podpořeno prudkým nástupem výpočetní techniky, senzorů, mobilních telefonů, zapadá koncepčně do vývojového směru, který se obecně označuje jako Průmysl 4.0. S tímto termínem se tak pojí řada dalších oborů: Doprava 4.0, Ekologie 4.0, Stavebnictví 4.0... Ne vždy může číslovka vyjadřovat přesný časový vývoj, nicméně se stala jakýmsi synonymem pro zcela nové pojetí výroby a řízení vstupů. Zemědělství rozhodně nezůstává pozadu. Podpora rozhodování, která vzejde z vývojové a výzkumné činnosti, je jistým předpokladem pro efektivní a šetrné hospodaření v krajině. Detailní monitoring, tvorba modelů a včasná signalizace umožní v rozhodovacích procesech optimalizovat vstupy podle zásady dělat správné věci ve správný čas na správném místě. Na základě získaných poznatků informační technologie rovněž umožní propojení s širokým okruhem dalších oborů. Aby bylo možné tyto myšlenky postupně naplňovat, bude zapotřebí výrazně pracovat na sběru dat, jejich ošetření, filtraci a interpretaci. Obecně lze říci, že zavádění uvedených pojmů do reálných aplikací a oborů je souhrnně označováno slovem SMART. Pojem Smart Farming lze považovat za nástupní směr pro technologie precizního zemědělství. Jak uvádí Wolfert (2017), Smart Farming vychází ze zavádění informačních a komunikačních technologií a lze očekávat, že internet věcí a cloudové výpočty podpoří tento vývoj a zajistí uplatnění pro robotiku a umělou inteligenci v zemědělství.

Smart Farming integruje agronomii, řízení lidských zdrojů, nasazení personálu, nákupy, řízení rizik, skladování, logistiku, údržbu, marketing a odhady výnosu a další do jediného systému. S ohledem na nárůst populace lidí a zajištění jejich obživy bude nezbytné přijmout nové technologie, které povedou k automatizaci sběru dat, efektivnímu využití zdrojů a řízení výrobních procesů. Zemědělství v rozvinutých zemích, zejména po průmyslové revoluci, směřovalo především k navyšování energetických vstupů využíváním

velkých a výkonných traktorů a navyšováním potřeby chemických přípravků a hnojiv. Ačkoliv tento trend vyvolává negativní sociální a environmentální dopady, jeho uplatnění vyžaduje rostoucí populace lidí. Tyto země si na druhou stranu vyvíjejí technologie pro udržitelné zemědělství s cílem zmírnit tyto negativní dopady. Úbytek pracovní síly v zemědělství se sice zmenšuje a každý pracovník zodpovídá za obhospodaření větší plochy půdy, pokračování trendu směrem k větším a těžším zařízením nepředstavuje řešení. Průměrný věk pracovníků v zemědělství se zvyšuje. Navíc z tohoto vyplývá, že znalosti a zkušenosti nejsou předávány mladším generacím. Budou vyžadovány nejen nové technologie, ale rovněž nový způsob myšlení. Inteligentní stroje a roboti tak mají vysoký potenciál. Dohromady se senzorovou technikou včetně GPS navigací a strojním viděním představují řešení pro management polních prací od chemických aplikací, zpracování půdy, stanovení stavu porostů, zralosti porostů po sklizeň.

Podle odhadů bude na Zemi do roku 2050 žít 9,7 miliard lidí. Za více než desetiletí vzroste populace na Zemi na 8,5 miliard. Jedná se o 10% nárůst oproti současnému stavu 7,7 miliard. Odhaduje se, že v roce 2100 to bude již nárůst 42 % (10,9 mld.), (United Nations 2019).

V zemědělském sektoru převládá nejistota, kdy se celé prostředí od pěstitelů, chovatelů po zpracovatelské podniky musí potýkat s novými překážkami. Nestálé ceny, změny klimatu, ochrana půdy, bezpečnost potravin jsou jen některé z nich. V příštích 40 letech naroste celosvětově poptávka po hlavních plodinách o 60 %. Některé zdroje uvádí až o 100 %. V rámci těchto výzev si společnost uvědomuje rostoucí roli, kterou v nadcházejících letech budou hrát digitální technologie a jak se jim přizpůsobit (Shankar a kol., 2016). Dosažení tohoto cíle pouze s využitím tradičních metod zemědělství a chovu hospodářských zvířat se ukazuje jako obtížné. Jedním z důvodů jsou také omezené možnosti rozšiřování pěstebních ploch z hlediska životního prostředí (Schönfeld a kol., 2018). Společně se zaváděním nových technologií a nástupem autonomních systémů vyvstávají nové otázky a rizika. Na jedné straně je snaha o zajištění produkce v souladu s ochranou přírody, na straně druhé otázky ekonomické, sociální, migrační, právní nebo bezpečnostní.

Nástup samosprávných systémových struktur nám dává příležitost rozvinout zcela novou řadu zemědělských zařízení, založenou na autonomních strojích, které umí dělat ty správné věci na správném místě ve správný čas a správným způsobem. V rámci fóra *Inclusive Growth* zazněly názory na perspektivu moderních technologií od předních konzultačních firem (Brini, 2017).

Tradiční rozhodování založené na zkušenostech farmáře bude nahrazeno algoritmy vycházejícími z naměřených dat. Místo fyzické obchůzky a kontroly pozemků bude několik zaměstnanců rozhodovat na základě pravidelného monitoringu z autonomních bezpilotních prostředků a dalších strojů, které pracují na úrovni jednotlivých rostlin, z kancelářského pracoviště. To vše s předpokladem významné úspory vstupů. Významný nárůst a především přijetí smart technologií, které integrují BIG data, analytické nástroje, bezdrátovou komunikaci, vyspělou techniku, včetně molekulární biologie, se předpokládá už do roku 2030 (The Boston Consulting Group).

Technologie, jako jsou moderní senzory a monitorovací zařízení, mohou nyní zemědělcům umožnit sledovat plodiny přesněji a mnohdy nepřetržitě. Pro účinné zapojení těchto technik bude nezbytné, aby přední místa zaujaly technologie IoT. Internet věcí by měl umožnit převýšení pouhého zlepšení stávajících zemědělských procesů; musí zavádět inovace, které překonají tradiční kompromisy. Odhaduje se, že s novými technickými možnostmi má internet věcí potenciál zvýšit zemědělskou produktivitu do roku 2050 o 70 %.

Čtyři komponenty: výroba, sledování, syntéza a podpora rozhodování. To jsou základní požadavky farmy budoucnosti. Produktivita farmy je omezena nejslabší složkou rámce. Bez sledování informací se jen obtížně hledá prostor pro zlepšení, pokud nemůžete ukládat své informace, nemůžete je použít k lepšímu rozhodování a moderní vybavení potřebuje podporu v rozhodování při převodu informací k aplikaci“ (Deloitte Consulting).

Príslib přesného zemědělství v nižší spotřebě a navýšení produkce oslovilo řadu zájemců. Technologie sběru dat se rychle vyvíjejí. Na druhou stranu převládá obava týkající se schopnosti používat data k nalezení nejlepšího řešení, vzhledem k složitému prostředí, jakož i dlouhodobému výrobnímu cyklu v zemědělství. Přes značný pokrok spočívá zásadní otázka ve výběru dat, implementaci a účinném využívání. Rovněž zákony a předpisy o vlastnictví dat jsou zdrojem obav, ale nejsou překážkou pro pokračující vývoj v této oblasti. Cesta k akceptaci spočívá v přidání hodnotě sdílených dat (Pricewaterhouse Coopers).

Australská společnost KPMG definuje internet věcí následovně: „Internet věcí slouží především k tomu, aby objekty mohly být snímány a ovládány vzdáleně přes existující infrastrukturu, vytvářely příležitosti pro přímější integraci mezi fyzickým světem a počítačovými systémy. Tato technologie řídí koncept precizního zemědělství za účelem zlepšení rozhodování pěstitelů pomocí analýzy dat. Zahrnuje software, jako jsou velká datová řešení a nástroje pro správu farem a hardware, jako jsou senzory, bezpilotní prostředky a satelity. Společnost Accenture poukazuje na skutečnost, že nové digitální technologie nyní umožňují sbírat a využívat obrovské množství zásadních dat i při minimálních nákladech. Také IBM se již připravuje na situaci, kdy bude k dispozici velké množství dat, které budou automaticky transformovány do informací prostřednictvím umělé inteligence.

Současná vize nástupu autonomních systémů, požadavky na sběr a zpracování velkého objemu dat, kontrola vstupů, vše podpořeno prudkým nástupem výpočetní techniky, senzorů a mobilních telefonů, zapadá koncepčně do vývojového směru 4.0. Vše míří k digitalizaci výrobních procesů a propojování jednotlivých informačních hladin z více zdrojů do společných databází, souvislosti a funkcionality. Zemědělské stroje se v této souvislosti řadí na technickou a technologickou špičku. Podpora rozhodování, která vzejde z vývojové a výzkumné činnosti, je jistým předpokladem pro efektivní a šetrné hospodaření v krajině. Detailní monitoring, tvorba modelů a včasná signalizace umožní v rozhodovacích procesech optimalizovat vstupy podle zásady dělat správné věci ve správný čas na správném místě. Na základě získaných poznatků informační technologie rovněž umožní propojení s širokým okruhem dalších oborů, kontrolními mechanismy, obchodními strategiemi, servisními úkony nebo diagnostikou. Tento požadavek bude rovněž stále

více podporován vnějšími snahami na kontrolu kvality a původu potravin, omezování chemizace zemědělství, snižování zátěže životního prostředí a krajiny, ale rovněž prohlubujícím se nedostatkem kvalifikovaných pracovníků v zemědělské prvovýrobě. Aby bylo možné tyto myšlenky postupně naplňovat, bude zapotřebí výrazně pracovat na sběru dat, jejich ošetření, filtraci a interpretaci. Do jisté míry je možné hovořit o transformaci reálného světa objektů do prostředí virtuálního a sjednotit všechno v našem světě pod společnou infrastrukturu, což nám umožní nejen kontrolu věcí kolem nás, ale také udržet nás informovanými o stavu věcí.

Reálnou podobu těmto vývojovým směrům dává telematický sběr dat, jejich přenos a ukládání na vzdálená úložiště, třídění a správa dat a možnost vzdáleného přístupu k těmto datům. Předpoklad je rovněž oboustranná komunikace, s možností opačného směru přenosu dat. Na řadě pracovišť se zkouší pátá generace mobilní komunikační sítě, zkráceně 5G. Jedno z takových pracovišť, kde se nová generace přenosové sítě testuje, se nachází v Drážďanech. Tento bezdrátový standard není jen rychlejší než jeho předchůdci, ale je orientován na potřebu vysoké rychlosti přenosu dat (GB/s) na jedné straně a rychlou dobou odezvy na straně druhé (1 ms). Možnosti 5G sítě nabízí rychlou reakci na pokyny uživatelů, zrychlení přenosu dat, možnosti komunikace nejen řídicího technika a stroje, ale též vzájemné komunikaci a koordinaci strojů M²M, společně s podporou IoT (Internet of Things) se více přibližujeme vizi vyšší autonomie strojů.

Významným krokem v modernizaci a komunikaci mobilních prostředků v zemědělství bylo zavedení systému sběrnice ISO (ISO 11783), která využívá CAN technologii pro elektronickou komunikaci. S nárůstem množství dat získaných z mobilních i statických zdrojů roste potřeba standardizace datové základny. Výrobci zemědělských a lesnických strojů zaručují zaměnitelnost senzorů a ovladačů a akceptují modulový design nových výrobků. Formáty datových souborů jsou standardizovány v ISO 11787. Díky těmto normám mohou být informace snadno a efektivně vyměnitelné. Otevírá se značný potenciál pro technologie precizního zemědělství a Smart Farming. Stručný přehled využití standardizované komunikace spočívá v: ovládání a kontrole připojených strojů z kabiny, využití navigace, řízení flotil strojů, využití pouze jednoho terminálu pro různé stroje, výměně dat mezi strojem a traktorem, ovládání pomocí joysticku, aplikaci systému TIM – Tractor Implement Management, kdy stroj přebírá řízení traktoru, sběru a ukládání informací o variabilním a autonomním řízení sekcí připojeného nářadí. Zatímco norma ISO 11783 řeší komunikaci mezi stroji, stále je zapotřebí rozvíjet standardizaci v oblasti předávání dat mezi kanceláří a strojem. Příkladem mohou být tzv. předpisové mapy pro variabilní aplikace.

Zásadní krok v automatizaci procesů představuje výrazné rozšíření polních navigací. Především družicové navigační systémy představují použitelný systém pro zemědělství. Výrazné uplatnění poskytuje kombinace GPS navigace a korekce RTK (Rovira-Más a kol., 2011). Logickým krokem v dalším rozšíření a uplatnění navigací je autonomní otáčení strojů na souvratích, a s tím spojené ovládání nářadí (obr. 221). Následují variabilní aplikace, založené na snímání rostlin, půdy nebo dalších vlastností porostů v reálném čase a následné okamžité reakci na daný stav, nebo využití předem připravených aplikačních map.

Předpokládá se vyšší kontrola managementu farmy s možností velmi detailního monitoringu vstupů i výstupů, včetně odhacení silných a slabých stránek. Předpokládá se rovněž sdílení vysoce aktuálních dat, která mohou představovat silný rozhodovací nástroj, například aktuální meteorologická data, predikce šíření chorob, škůdců apod. Významnou funkcí nových technologií tedy bude posílení předvídativosti a předvídatelnosti. Z hlediska efektivního řízení vstupů a aplikací bude předvídatelnost v zemědělství a adaptabilní nástroje rozhodování významným prostředkem, protože neexistuje žádná standardní definice řízení.



Obr. 221: Autonomní navádění a otáčení na souvratích, společně s autonomním ovládáním nářadí je prvotním krokem k vyšší autonomii (zdroj: Strom Praha a.s)

Na obrázku 222 je představeno prostředí softwarového nástroje SMS™ Basic (Ag Leader Technology, USA). Mapa přináší pohled na záznam aktuální přítlačné síly na secí botky secího stroje na kukuřici. Záznam je na úrovni jednotlivých botek a údaj je rozhodující pro hloubku uložení osiva v rozdílných půdních podmínkách tak, aby bylo zajištěno zdárné klíčení a vzházení. V uvedeném případě byla data zpracována ze záznamu.

Nynější podstata telematiky spočívá v inovaci a modernizaci managementu zemědělské výroby rovněž vychází z monitoringu pohybu strojů, jejich časového využití, pozice, výkonnosti v reálném čase. Společně s daty o poloze získáváme detailní přehled o rychlosti souprav, režimu práce stroje, spotřebě pohonných hmot, parametrech sklizeného produktu nebo aplikovaných dávkách na vstupech (obr. 223). Společně s provozními daty

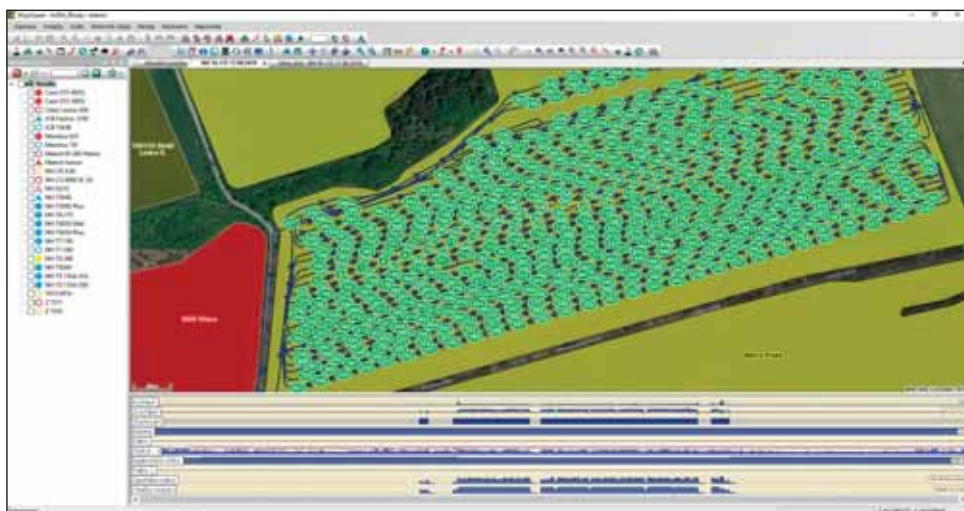


Obr. 222: Prostředí programu SMS™ Basic pro správu geograficky vztažených dat.

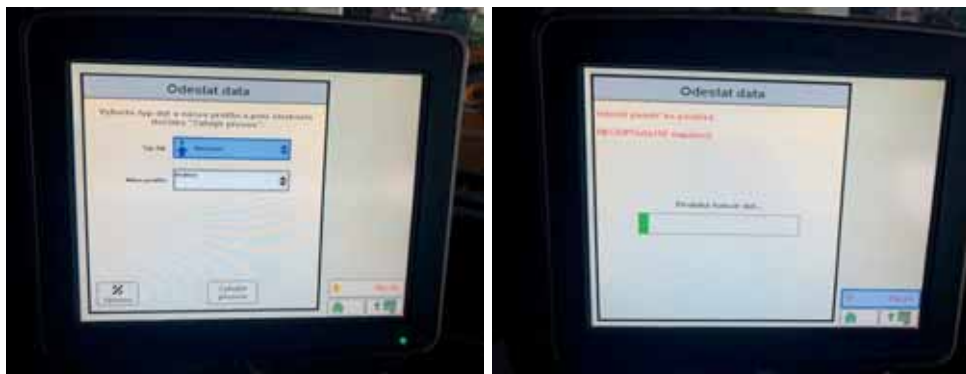
mohou přicházet varovné alarmy týkající se strojového parku a požadavky na údržbu nebo servisní úkon.

Dalším krokem je zavedení oboustranné komunikace, kterou zajistíme vzdálené bezdrátové řízení jednotlivých zásahů, včasné přípravy aplikačních úkonů a propojení na další vstupy během sezóny. Vše z jakéhokoliv zařízení připojeného k internetu. Pro podobné technologie se dnes vžil pojem In-doorfarming, který rovněž vychází z nástupu digitalizace a telematiky.

Příkladem může být vzájemná komunikace se stroji, které zakládají porost. Již samotné parametry nastavení secího stroje mohou vycházet z aplikačních map výsevku, které byly s předstihem vytvořeny. Tyto tzv. předpisové mapy jsou předávány strojům přes vzdálené úložiště. Během setí budou také využity předem definované jízdní stopy. Tyto jízdní trajektorie a kolejové řádky, optimalizované podle tvaru a svažitosti pozemku, sníží počet nepracovních přejezdů a opakovaných aplikací přípravků a hnojiv v důsledku překrývání záběrů. Jízdní trajektorie přebírají strojní soupravy, které budou pracovat na pozemcích během sezony, od ochrany rostlin, hnojení až po sklizeň. Díky telematickému propojení bude možné s předstihem připravovat aplikační mapy, případně vyznačovat vyloučené zóny, kde je omezena chemická ochrana a hnojení. Předem připravené aplikační mapy budou opět transportovány do palubního počítače postřikovačů a rozmetadel. K nastavení stroje dochází v okamžiku spuštění stroje nebo v okamžiku vstupu na pole díky znalosti polohy stroje. Tvorba aplikačních map včetně algoritmů je samostatnou kapitolou. Příkladem je produkt společnosti John Deere. V operačním středisku MyJohnDeere.com mohou uživatelé spravovat a připravovat data pro terminály stroje. Mohou zde nahrávat a tvořit hranice pozemků a definovat trajektorie pohybu stroje po pozemku. Je zde možné také spravovat seznam produktů, se kterými uživatelé pracují pro snazší nastavení terminálu. Všechna tato data lze přenést bezdrátově do stroje. Ve stroji se zaznamenávají data dokumentace



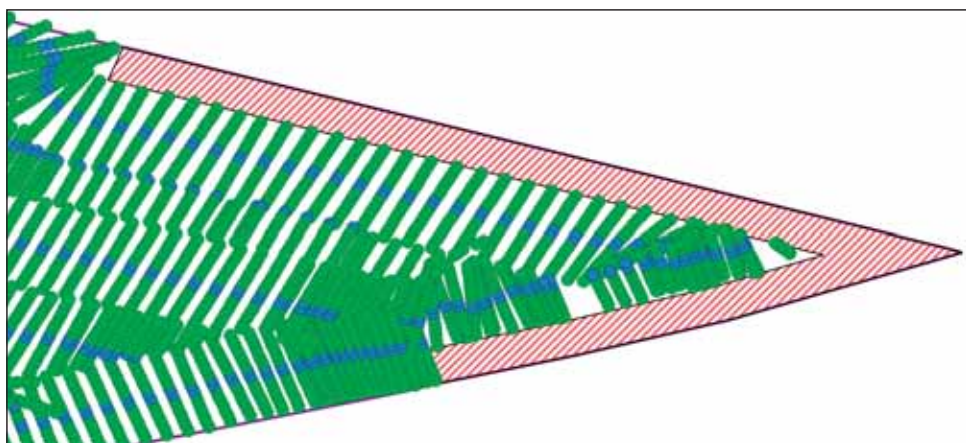
Obr. 223: Ukázka grafického výstupu v prostředí PrintScreen Itineris.



Obr. 224: Bezdrátový přenos dat je významným prvkem řízení a kontroly vstupů (foto Kroulík).

o práci a zase se automaticky přenáší zpět (obr. 224) Tato data je možné analyzovat přímo v Operačním středisku nebo je možné je vyexportovat pro podrobnější analýzu.

Uvedeným příkladem se sníží zátěž obsluhy a výrazně se minimalizují chyby v ošetření, protože obsluha v tuto chvíli přebírá především kontrolní úkoly. Řídící procesy v zemědělství v souvislosti se zaváděním přesných zemědělských technologií a celkově zvýšením využívání informačních a komunikačních technologií v různých aplikacích se na jednu stranu stávají složitějšími a komplikovanějšími. Na druhou stranu, díky využití vzdáleného přístupu, tato zátěž přechází z obsluhy stroje na dostatečně kvalifikovaného vedoucího pracovníka. Technické řešení splňují rostoucí požadavky na přesnost a kvalitu ošetření. Dalším kladem je zpětná informace o provedených úkonech, možnost analýz a archivace, případně využití v následných úkonech, včetně dokladování činnosti kontrolními orgány. Na obrázku 225 je ukázka autonomního ovládání sekcí postřikovače. Jednotlivé sekce ramen jsou vyznačeny zelenými tečkami. Modré tečky prezentují střed stroje. Šrafovaná plocha představuje pásmo ochrany vody. Ze záznamu je patrné složité objíždění této plochy. Při vyznačení zóny, jako ochrana do hranic pozemků, nahradí manuální ovládání autonomní sekční kontrola.



Obr. 225: Zákes s vyznačením ochranného pásma a záznam práce postřikovače.

Vytvořením vnitřních hranic do mapy setí vzniklo také toto protierozní opatření, respektující odtokové linie a místa soustředěného odtoku (obr. 226).

Telematický přenos dat dále umožní jejich sdílení s dalšími zúčastněnými osobami a partnery, kterým může být výrobce, prodejce zařízení nebo servisní středisko. Pokud bude k dispozici velký objem dat z rozdílných zdrojů, ke kterým bude přiřazen například režim a podmínky práce, bude rovněž možné vypracovat předpokládané scénáře vzniku závad, které s sebou během vzniku nesou stopu v přenášených datech. Řadě poruch tak budeme moci předejít díky včasné diagnostice a adekvátnímu servisnímu zásahu. Tento postup opět vede k vyšší produktivitě a efektivitě, včetně optimalizace práce servisního technika. Data a zpětná vazba je rovněž důležitá pro výrobce strojů. Praktickým příkladem může být aplikace firmy John Deere ExpertAlerts. Pokud na stroji dojde k predikci poruchy pomocí služby ExpertAlerts, servisní technik obdrží upozornění s předepsaným postupem ověření poruchy na stroji a potřebnými díly pro opravu, které může okamžitě objednat, pokud nejsou připravené na skladě. Dále servisní technik provede diagnostiku stavu stroje a kontaktuje uživatele stroje s upozorněním, že může dojít k poruše. Je na rozhodnutí uživatele zemědělského stroje, zda nechá opravu provést okamžitě nebo počká, až se porucha projeví. V případě, že uživatel stroje s opravou souhlasí, servisní technik může naplánovat opravu.

Firma Amazone představila využití virtuální reality a digitálních médií pro servisní, školicí a údržbářské práce prostřednictvím Smart Service 4. 0. Součástí systému jsou speciální brýle (obr. 227). S aplikací je možné posílit úkony profesionálního servisu, stejně tak vést úkony základní údržby a oprav na úrovni zákazníků.



Obr. 226: Protierozní pásy vytvořené během setí, zanesením vnitřních hranic do aplikační mapy (foto Kroulík).



Obr. 227: Koncept SmartServis4.0 od firmy Amazone (foto Kroulík).

Precizní zemědělství a ochrana půdy (Krása)

Variabilita pozemku se týká rovněž ekosystémových funkcí. Stav vegetace i výnos jsou ovlivněny kvalitou půdního profilu a jeho schopností vázat vodu a živiny. Proměnlivost uvedených vlastností je významně podmíněna erozními a sedimentačními procesy na daném pozemku. Prostorovou variabilitu erozního smyvu a ploch sedimentace dokumentují obrázky 228 a 229. Erozní procesy spojené s transportem půdy a s její následnou sedimentací, včetně vlivu na půdní úrodnost zásadním způsobem modifikují prostorovou variabilitu porostů (obr. 230 a 231).

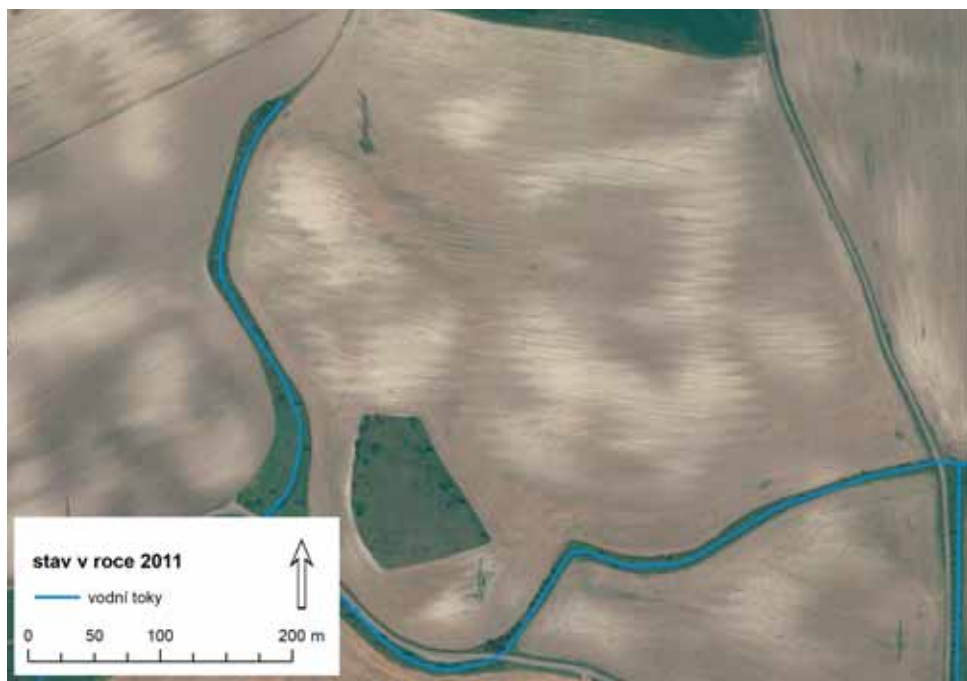
Samostatnou kapitolou je pak variabilita souvisejících fyzikálních a zejména chemických vlastností půd (Ge a kol., 2011). Jsou jimi pH, resp. míra acidity; obsah dostupného i celkového fosforu a dusíku; obsah celkového organického uhlíku a jeho význam pro agregátovou stabilitu; aj.

Vodní eroze je v podmínkách České republiky hlavním degradačním faktorem obdělávaných půd. Za stejně významný faktor lze však považovat utužení půdního profilu a podorničí a s tím související ztrátu půdní struktury.

Eroze půdy je v České republice dlouhodobý problém (Devátý a kol., 2019). Je zde ohroženo více než 50 % zemědělské půdy erozí vodní a téměř 10 % erozí větrnou (Evans and Boardman, 2016). Na výskyt vodní eroze mají vliv především geomorfologické a pedologické podmínky, výskyt a rozložení srážek a svůj nezanedbatelný vliv má také zemědělská produkce, která značně ovlivňuje a mění vlastnosti půdy během roku.



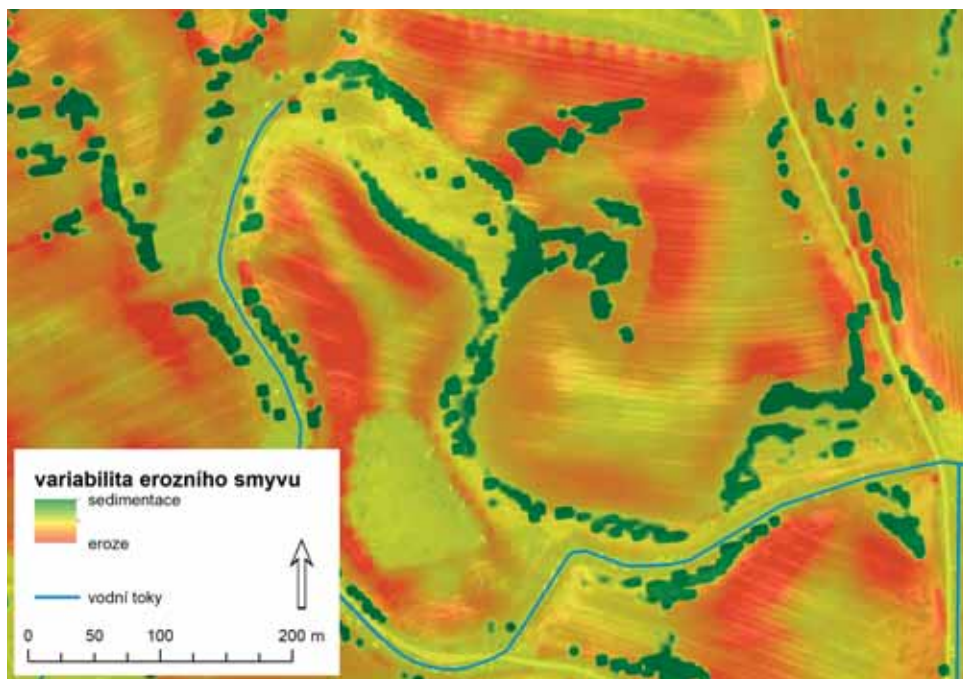
Obr. 228: Prostorová variabilita erozního smyvu a ploch sedimentace na pozemku u Dobroměřic. Zář 2019 (foto Krása).



Obr. 229: Prostorová variabilita smyvu a depozice půdy v roce 2011 na zemědělském pozemku u Dobroměřic (foto Krása).



Obr.230: S erozí související prostorová variabilita porostu (2013) v iniciálním stádiu vzrůstu na pozemku u Dobroměřic (foto Krása).



Obr. 231: Variabilita ploch erozního smyvu a sedimentace predikovaná simulačním modelem WATEM/SEDEM.

Precizní zemědělství se s protierozní ochranou protíná v mnoha aspektech. Vzhledem k jeho tlaku na zvětšování výměr může být zjednodušeně považováno za problematické, nicméně jednalo by se o nepochopení jeho možností a principů.

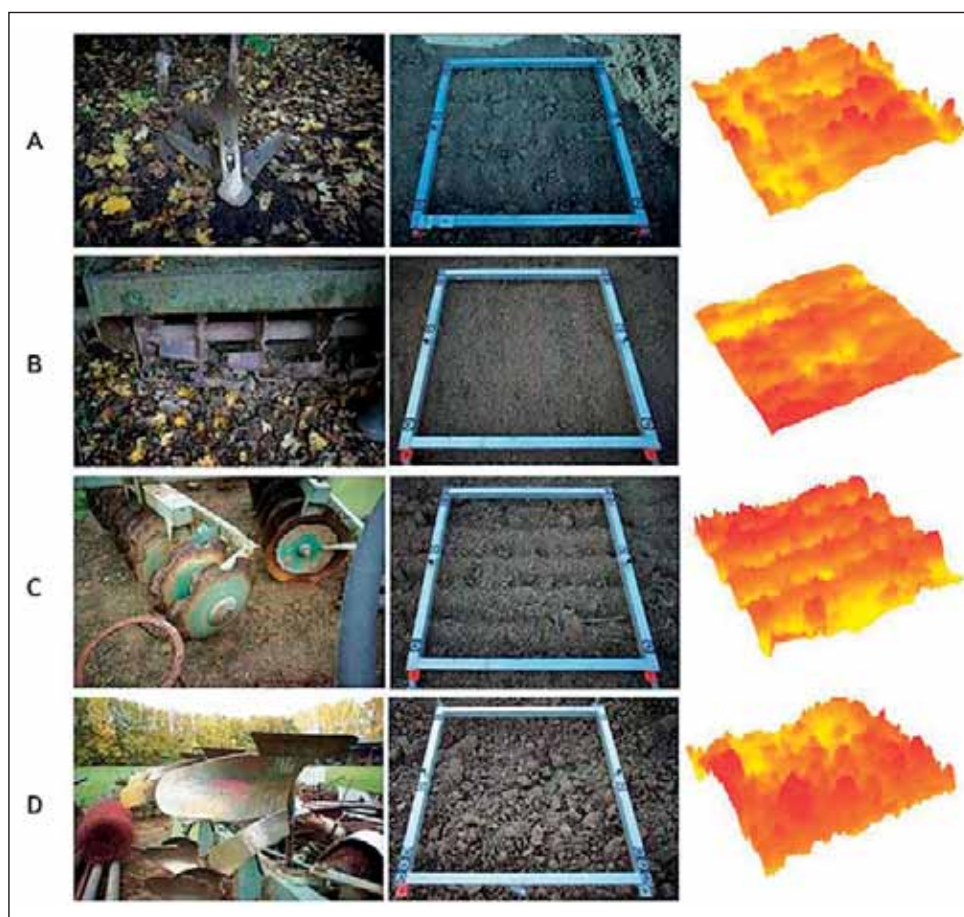
V možnostech precizního zemědělství je k ochraně pozemků před erozí přispět přinejmenším následujícími způsoby:

- Při správném navržení tvarů pozemků a jejich členění z pohledu eroze i precizního zemědělství lze na řadě lokalit akcentovat vrstevnicové obdělávání omezující zrychlenou tvorbu povrchového odtoku a eroze.
- Při omezení počtu kolejových řádků a jejich spádníkové orientace lze omezit jejich fungování jako významných akcelérátorů erozního procesu.
- Precizní zemědělství může přispět k omezení počtu pojezdů a tím snižovat utužení půdního profilu. Zde je významné zejména dbát na optimalizaci pojezdů po souvraťkách a manipulační jízdě.
- Při správném návrhu parcel a jejich trvalém obdělávání v identických trajektoriích, lze dlouhodobě docílit vyrovnání variability porostů, a tím výrazně zvýšit ochranný účinek vegetačního krytu před kinetickou energií přívalových srážek.
- Monitoring variability porostů spojený s precizním zemědělstvím umožňuje lépe posoudit skutečné erozní riziko na rozsáhlých půdních blocích určením ploch s omezeným ochranným účinkem, zejména plochy holých půd.
- Omezení chybných výsevů a přestřiků během ošetřování porostů.

Z předchozích kapitol je zřejmé, že cílem zemědělských subjektů vždy bude ekonomická optimalizace provozu, a tomuto cíli primárně podniky podřídí i nasazení prostředků precizního hospodaření. Mechanizace je obecně uzpůsobena tak, že například zpracování půdy je snazší provádět po svahu a proti svahu, neboť nedochází k vybočení z osy a nedostatečné kultivaci. Zde je však třeba zvážit související benefity a rozlišit dle sklonitosti pozemku, kde ještě je a kde již není obdělávání po vrstevnicích vhodné. Na méně sklonitých svazích budou problémy spojené s obděláváním po vrstevnicích minimální, a protierozní efekt takového postupu je zde naopak nejvyšší.

Drsnost povrchu půdy

Množství smyvu v erozním odtoku je závislé nejen na uvolnění částic půdy srážkou, ale rovněž na rychlosti povrchového odtoku a vznikajícím tečném napětí na povrchu půdy.



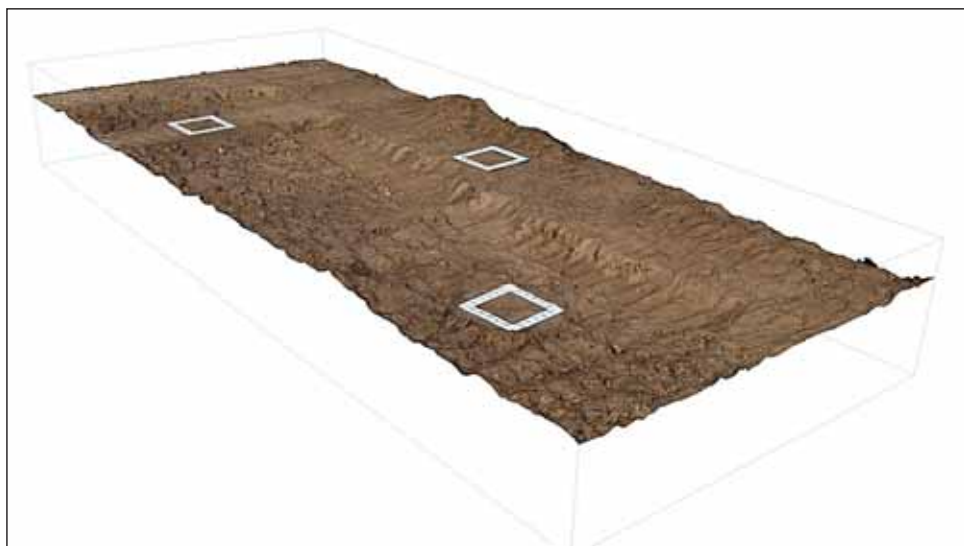
Obr. 232: Testované plochy a použítá mechanizace obdělání - fotografie terénu - 2x převýšený model povrchu (Laburda a kol., 2017).

Rychlost proudění i retence vody na půdním povrchu jsou přímo závislé na jeho drsnosti. Omezení povrchového odtoku a s ním související eroze tedy napomáhá kromě vegetace celková drsnost povrchu po kultivaci. Z toho pohledu jsou výhodné technologie, které drsnost povrchu podporují a netvoří povrch hladký a případně i kompaktní (např. použití hladkých válců v procesu přípravy a setí).

Opět je vhodné, pokud tato drsnost je co nejvyšší ve směru spádu, tedy optimální ochraně zde napomáhá vrstevnicové zpracování půdy. Drsnost povrchu se samozřejmě s časem mění.

S využitím stereofotogrammetrie byl popsán vývoj povrchu zemědělské půdy pod vlivem přirozených dešťů a přirozeného sesedání v časové řadě od provedení kultivace. Experiment se zabýval vývojem čtyř různých úprav povrchů půdy, které vznikly odlišnými technologiemi zpracování (Laburda a kol., 2017). Testovanými technologiemi byly A - radličkový kypřič; B - rotační kypřič; C - talířový podmítač; D - pluh (obr. 232).

Nejvyšších hodnot dosahuje drsnost u zpracování hlubokou orbou, kde kultivace pomocí pluhu za sebou zanechává největší půdní agregáty. To do jisté míry souvisí i s největší hloubkou záběru. Z hlediska porovnání ostatních způsobů kultivace, nejvíce podobných výsledků je dosaženo u kultivace pomocí radličkového kypřiče a talířového podmítače. Použití rotačního kypřiče u plochy B v obou replikacích daného experimentu za sebou zanechává nejhladší povrch s minimem nerovností. Z modelu povrchu (obr. 232) je však zřejmé, že kultivace talířovým podmítačem zanechává hrůbky ve směru zpracování, a tedy drsnost povrchu kolmo na směr zpracování je výrazně vyšší než podél tohoto směru. Toho lze využít právě při vrstevnicovém obdělávání v precizním zemědělství.



Obr. 233: Odkrytá vrstva ztuhnělého podorničí s orientací povrchu ve směru kultivace. Experimentální pozemek Řisuty.

Pokud se týká vývoje v čase, drsnost povrchu je významně ovlivňována srážkami, které způsobují rozpad půdních agregátů na menší shluky půdních částic. K významnému snížení však dochází obvykle až v době, kdy už naopak zapojená vegetace pomáhá povrch chránit před dopadem dešťových kapek (Bauer a kol., 2015).

S otázkou povrchové drsnosti je spojen i problém drsnosti konsolidované a utužené podorniční vrstvy. Při setrvalém mělkém zpracování a vysoké míře pojezdů těžké techniky dochází v podorniči k vytvoření ztuhlé vrstvy, jejíž povrchová drsnost je opět dána směrem kultivace - neboť je dána hloubkou dosahu radliček nebo disků podmiřáče (obr. 233). Po této mělké vrstvě může docházet ke zrychlenému hypodermickému odtoku, který přispívá k bleskovým povodním, znečištění toků a omezuje proces zadržení vody v půdě (Jeřábek a kol., 2017). I zde je výhodnější dodržet vrstevnicový směr zpracování.

Půdy nezakryté vegetací

Na základě posouzení dlouhodobých růstových charakteristik je v rámci precizního zemědělství možno cíleně aplikovat hnojiva, ale též ochranné postřiky, a to jak z důvodu ekonomických úspor, tak za účelem dalšího zvyšování výnosů a zisku. Zároveň jsou však v České republice zemědělské pozemky vystavovány riziku degradace půdy vlivem vodní eroze, která se kromě známých negativních efektů pro vodu a půdu podílí i na případném snižování výnosů (poškození osiva, vzrostlých plodin, snížení úrodnosti půdy, apod.). Prostorově správné posouzení erozního rizika je tedy potřebné jednak pro ochranu půdy, ale rovněž pro zlepšení zemědělské produkce, což je v souladu s cíli nejen precizního zemědělství.

Metodika využití volně dostupných družicových dat pro sledování prostorové distribuce růstu zemědělských plodin byla v České republice publikována Lukase (Lukas a kol., 2011). Od roku 2015 jsou pak pro doplnění časové řady a omezení problémů s oblačností v družicových scénách k dispozici kromě dat z programu Landsat (družice Landsat 5, Landsat 7 a Landsat 8) rovněž data z programu Copernicus (družice Sentinel 2). Ta mohou výrazně napomoci ke zkvalitnění analýz vývoje vegetačního růstu pomocí vegetačních indexů, zejména nejčastěji využívaného normalizovaného indexu NDVI. Družice Sentinel 2A odstartovala v červnu 2015, družice Sentinel 2B v březnu 2017. Společně tak poskytují časové rozlišení cca 3 dny pro území České republiky. Data Sentinelu 2 jsou získávána v celkem 13 spektrálních kanálech o různých vlnových délkách (Sentinel 2 - Datové specifikace, 2018a).

Běžným způsobem hodnocení erozního rizika v ČR, používaným jak při vymezení rizikových ploch v rámci kontroly podmíněnosti zemědělských dotací, tak při návrzích opatření např. v pozemkových úpravách, je posouzení pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy - USLE (Wischmeier a Smith, 1978; Janeček a kol., 2012; Novotný a kol., 2016). Je obecnou shodou, že dlouhodobě rizikové lokality lze při dostatečně podrobných vstupních datech v rámci výpočtu v libovolném geografickém informačním systému pomocí metody USLE v její prostorově distribuované podobě (USLE 2D, USLE 3D) identifikovat dostatečně přesně

(Krása a kol., 2009). Nicméně reálné erozní riziko závisí kromě výskytu přívalové srážky také na vegetačním pokryvu. Ten lze dlouhodobě popsat pomocí vyhodnocení skutečných osevních postupů (Davidová a kol., 2015), nicméně v konkrétním roce jej lze na rozsáhlých plochách nejrychleji odhadnout s využitím výše citovaných družicových dat.

Zde se nabízí využití družicových scén nejen k určení pokryvnosti a ochranného účinku vegetace, ale rovněž k vymezení zcela odkrytých půd a vývoje poklesu zastoupení holé půdy na povodích i na konkrétních pozemcích během vegetační sezóny (Žížala a kol., 2016). Znalosti o zastoupení holé půdy v erozně rizikových periodách roku pak pomáhají jednak zacílit protierozní ochranu, ale rovněž lépe vytipovat lokality, kde je třeba po výskytu přívalových srážek monitoringem ověřit, zda ke skutečnému eroznímu poškození dochází. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy inicioval dlouhodobý celostátní monitoring eroze zemědělské půdy, který je významným verifikačním nástrojem pro výše uvedené hodnocení metodou USLE, ale také pro řadu srážkoodtokových modelů transportu splavenin do povrchových vod a infrastruktury. Samotný monitoring je vlastním šetřením i na podněty od veřejnosti prováděn pracovníky Státního pozemkového úřadu, který databázi zajišťuje, a pro veřejnost je dostupný na adrese <https://me.vumop.cz/>.

Pro stahování a základní zpracování družicových scén je možné v současné době využít řadu internetových portálů. Pro data z programu Landsat jsou to Earth Explorer (2018b); GloVis; LandsatLook; ESA Landsat 8 Portal (pouze pro Landsat 8); Global Land Cover Facility (2018c) a jiné. Zajímavým rozhraním je portál Global Land Cover Facility, kde jsou ke stažení jak vybrané scéný z některých družic (Landsat, Terra, Ikonos), tak odvozené produkty (např. krajinný pokryv, vegetační index, maska vodních ploch nebo albedo). Pro přístup k datům z družic Sentinel všem uživatelům slouží portál ESA Sentinel Scientific Data Hub, pro stažení scén stačí jednoduchá registrace. Přímé analýzy nad daty lze provádět efektivně v komerčním prostředí nazvaném jednoduše Sentinel Hub, provozovaném firmou Sinergise (Sinergise, 2018). Zajímavým zdrojem družicových scén obou systémů pak může být server LandViewer (2018d), provozovaný firmou EOS. Ten byl využit i pro zajištění dat na lokalitě Řisuty (Krása a kol., 2019).

Periodicita scén z družice Landsat 8 je 16 dní. Za vegetační sezónu osmi měsíců (období „březen–říjen“) jich tedy teoreticky může být k dispozici až 15. Periodicita družice Sentinel 2A je pro řešené území méně než 7 dní, nicméně data začala být pořizována od července 2015. Společně s družicí Sentinel 2B je periodicita dat pro řešené území v rozmezí 3–4 dny, nicméně tato data začala být pořizována v březnu 2017. V současnosti proto čistě teoreticky může být k dispozici pro období osmi měsíců „březen–říjen“ až 80 různých satelitních scén z uvedených systémů. Nicméně dostupnost dat značně limituje oblačnost nad hledaným územím a reálně dostupné počty scén jsou podstatně nižší. Data družic Sentinel 2 jsou poskytována v různých úrovních předzpracování, surová data z výše uvedenou frekvencí nejsou přímo prakticky využitelná. Pro praktické využití je třeba čerpat ze scén převedených do produktu úrovně L1C, které jsou ošetřeny atmosférickou korekcí a ortorektifikovány (Sentinel 2 - Datové specifikace, 2018a). Dostupný počet skutečně využitelných scén je tak proti teoretickému počtu vypočtenému z periody obletu již značně omezen.

V databázi satelitních scén na serveru LandViewer byla vybrána zájmová lokalita, a pro ni byly vybrány scény pořízené družicemi Landsat 8, Sentinel 2A a Sentinel 2B. Při podmínce oblačnosti nižší než 20 % bylo pro vegetační sezónu (období „březen-říjen“) roku 2015 nalezeno 17 scén, pro vegetační sezónu roku 2016 bylo nalezeno 23 scén a pro vegetační sezónu roku 2017 potom 18 scén. Z těchto souborů pak byly vybírány scény, na kterých je celá zájmová oblast nezastíněna oblačností. Počet vhodných scén tak byl dále redukován zhruba na čtvrtinu.

Nepokryté půdy byly na scénách identifikovány na trénovacích množinách, tedy vybraných půdních blocích. Na jarních scénách to byly jednak pozemky čerstvě po zasetí, evidované dle termínu setí jednotlivých plodin, dále pozemky prokazatelně bez vegetace při RGB zobrazení v přirozených barvách. Na ostatních scénách pak pozemky s analogickým příznakem v RGB zobrazení, a rovněž s hodnotami indexu NDVI ukazujícími na neexistenci vegetace na daných pozemcích. Po vytvoření trénovacích množin byly následně holé půdy na každé scéně vyhodnoceny na všech LPIS blocích pomocí řízené klasifikace, klasifikátorem Maximum Likelihood v prostředí ArcGIS. Celá analýza probíhala pouze na zemědělské půdě, ostatní kategorie využití byly ponechány jako nehodnocená data. Dalším krokem bylo určení procenta výskytu holé půdy v každém období na každém pozemku, nástroji prostorové statistiky. Data byla z map převedena do atributů databáze pozemků a do grafického vyjádření. Data o holé půdě dostupná z družicových scén, byla doplněna o data známá z termínů agrotechnických prací (termíny setí), ve kterých jsou pozemky označeny jako zcela holé. Následně byly holé části pozemků ve vegetačním období konfrontovány s rizikem výskytu erozně účinných srážek a s prostorově distribuovanou vrstvou potenciální erozní ohroženosti.

Prostorově bylo v GIS mapovou algebrou vypočteno riziko výskytu holých půd během vegetační sezóny s ohledem na riziko výskytu erozně účinných srážek. Výpočet vycházel z dlouhodobého průměrného erozního účinku srážek (R-faktoru) v jednotlivých měsících v procentech za období duben - září (Janeček a kol., 2012). Toto období představuje 100 % celkového erozního účinku srážek. Distribuce erozně účinných srážek během roku pro období poslední dekády byla nově určena ČHMÚ (Mistr a kol., 2016). Princip výpočtu byl následující.

Pro termín každé analyzované družicové scény je váženým průměrem určeno procento erozního účinku srážek reprezentovaného období. Procenta z tabulky 22 jsou takto lineární interpolací rozdělena mezi data, ve kterých byl určen výskyt holých půd v každé sezóně. Pixelům holé půdy z dané scény je přiřazena tato hodnota procenta R-faktoru. Holá půda identifikovaná na dané družicové scéně má tedy váhu, odpovídající období reprezentovanému datem pořízení scény. Tato procenta získaná ze všech analyzovaných scén v daném bodě pozemku byla vždy pro danou sezónu sečtena. Pokud by se tedy na dané části pozemku vyskytovala holá půda po celé sledované období konkrétního roku, získala by ve výsledné mapě hodnotu právě 100 %, tedy by byla uvažována jako zcela nechráněná proti erozi v daném roce.

Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
4,0 %	15,9 %	27,7 %	29,2 %	18,7 %	4,7 %

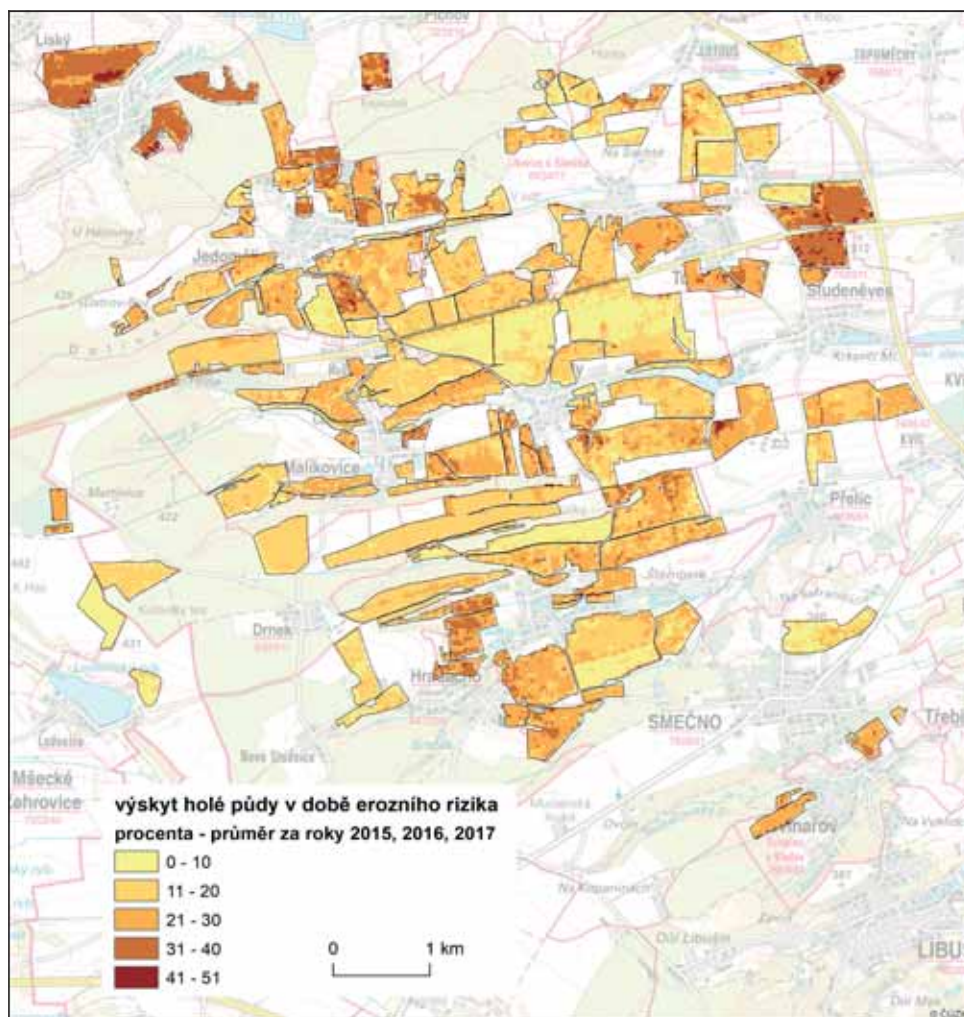
Následně ještě bylo vypočteno průměrné dlouhodobé riziko výskytu holé půdy, jako průměr ze sledovaných let.

Mapy výskytu holých půd během vegetační sezóny, s ohledem na riziko výskytu erozně účinných srážek, byly vytvořeny v rozlišení 30 m, odpovídajícímu původním družicovým scénám. Mapy ukazují na rizikové partie pozemků v každé sledované sezóně od dubna do května v letech 2015–2017 (obr. 234).



Obr. 234: Ukázka porovnání změny prostorové distribuce holé půdy na pozemcích v letech 2015–2017 se zohledněním rizika výskytu erozních srážek v každém roce dle tabulky (Krása a kol., 2019).

Z prezentovaných map je zřejmé, že v rámci zkoumaného tříletého období je variabilita holých půd v letním období na pozemcích velmi vysoká, v závislosti na osevních postupech. Zejména závisí na tom, které pozemky jsou vybrány pro setí ozimé řepky, jež probíhá ještě v době vysokého rizika erozních srážek, v průběhu srpna, v závislosti na klimatu daného roku. Rovněž celková délka období s holou půdou na daném pozemku se obvykle v každém roce liší, v letech 2015 a 2016 byla na řadě pozemků mnohem delší než v roce 2017. Na mnoha pozemcích se v roce 2015 (kdy byla situace nejhorší) vyskytovalo vysoké procento holé půdy rovněž vlivem extrémního sucha, a tedy omezeného růstu pěstovaných plodin. Kumulativní mapa výskytu holých půd v létě za celé tříleté období vlivem výše uvedené časové a prostorové variability již proto neukazuje na tak významné rozdíly a hodnoty dosahují maximálně 50 % (obr. 235).

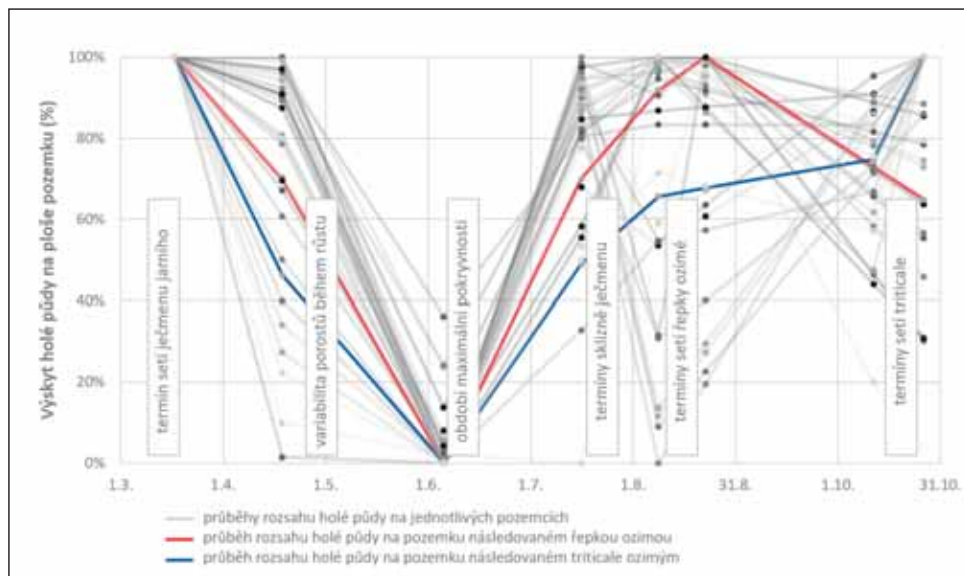


Obr. 235: Kombinovaná mapa výskytu holých půd v rizikovém období za roky 2015–2017 (Krása a kol., 2019).

Nejrizikovější pozemky (severně od Studeněvsi, okolí Pozdeně) tedy byly, dle analýzy družicových dat, vystaveny působení až 50 % erozně účinných srážek za celé tříleté období, aniž by byly jakkoli chráněny vegetací. V souhrnu byly pozemky AGRA Řisuty za období 2015–2017 vystavené průměrně 20 % erozního účinku srážek, aniž by byly chráněny vegetací. V roce 2015 to bylo 35 %, v roce 2016 pak 21 % a v roce 2017 pouze 6 %. Z tohoto trendu je zřejmé, že bez ohledu na běžné postupy výpočtu faktoru ochranného účinku vegetace (C - faktor) lze na základě analýzy družicových scén určit podstatně vyšší riziko erozního ohrožení řady pozemků v suchém roce 2015 než v roce 2017. Přitom AGRA Řisuty nepěstuje širokořádkové plodiny s pozdním vegetačním nástupem (porosty kukuřice a brambor). Při jejich zahrnutí do osevních postupů by hodnoty rizikového výskytu holých půd byly ještě vyšší.

Průběhy procentního rozsahu holé půdy byly sledovány individuálně pro každý jednotlivý pozemek, a tak byly sestaveny souhrnné grafy jednotlivých plodin se zachováním informace o konkrétních pozemcích. Zde je uveden příklad pro ječmen jarní v sezóně 2015 (obr. 236), s vyznačením základních termínů změn. Z obrázku je jasně patrná výrazná variabilita průběhu růstu a nerovnoměrnosti porostů v daném suchém roce. I v období maximálního vzrůstu v průběhu června a července se na některých pozemcích vyskytla holá půda. V závislosti na termínu dalšího setí jsou pak pozemky zcela holé v období srpna, pokud následuje osetí řepkou ozimou, nebo až koncem října, pokud je na nich ponecháno strniště a následně je zde seto triticales ozimé.

V souladu s mapovými výstupy prezentovanými výše platí, že nejvyšší rozsah holé půdy během kritického období přivalových srážek byl v roce 2015. V tomto roce dosahovala výměra holé půdy v některých dnech období července a srpna až 60 a 70 % celkové



Obr. 236: Variabilita průběhu zastoupení holé půdy na pozemcích ječmene jarního v roce 2015 (Krása a kol., 2019).

plochy všech pozemků (to odpovídá až 1 000 ha půdy). Nejvíce se na tomto rozsahu podílely plochy pšenice ozimé, ječmenu jarního a řepky ozimé, jistý podíl má však samozřejmě také výběr plodiny pro následující sezónu a termín návazného setí. Navazující plodinou byla v roce 2015 často právě řepka ozimá.

Data o pozemcích a jejich částech bez vegetačního pokryvu v kombinaci se srážkovými průběhy erozní rizikových dešťů jsou zásadním vstupem do procesních modelů určujících hodnoty smyvu a transportu splavenin. Zemědělské podniky informací o termínech vlastních agrotechnických operací v aktuálním čase samozřejmě mají a evidují, ale jejich určování pro širší regiony je obtížné, vzhledem k nutnosti získávat je zpětným šetřením u jednotlivých podniků. Informace o vývoji rozsahu holých půd během roku je pak možno efektivně získat pomocí dat dálkového průzkumu Země.

Výsledky provedené analýzy mohou kromě potvrzení výskytu holých půd těsně po termínu setí, a určení rychlosti zapojení porostu setých plodin, odhalit také problémová místa na zemědělských pozemcích. Jedná se především o místa, kde rostliny špatně vzchází. Na těchto místech již mohlo dojít k destrukci úrodné svrchní vrstvy půdy, místa mohou být zamokřená, či zde došlo k redepozici erozního splachu. Identifikací těchto míst lze učinit první krok k nápravě a opět začít pole plnohodnotně užívat. Tímto lze zvýšit hektarové výnosy plodin, případně upravit dělení půdních bloků. Ideálním postupem je sestavit z družicových scén dlouhodobé časové řady v odpovídajících si vegetačních obdobích.

Testování dostupnosti bezoblačných scén pro zájmovou lokalitu za roky 2015–2017 ukázalo na stále vysoké riziko jejich nedostatečné dostupnosti v období nástupu přívalových srážek a rychlého rozvoje vegetačního pokryvu v rizikovém období červen-srpen. Zásadní pokrok nastal v roce 2017, kdy byla vypuštěna družice Sentinel 2B a dosavadní problematická dostupnost dostatečného množství dat v ucelených časových řadách se výrazně zlepšila. Rovněž trojnásobné prostorové rozlišení a vylepšené spektrální rozlišení v oblasti red-edge umožňuje podstatně kvalitnější klasifikace vegetačních indexů.

Kombinaci družicových dat a informací o termínech agrotechnických zásahů lze využít v protierozní ochraně a k optimalizaci pěstebních postupů s využitím precizního zemědělství, především se jedná o variabilitu použití nutrientů (případně herbicidů i pesticidů), nebo o zlepšení prostorové variability výsevu a trajektorií pojezdů na zemědělských pozemcích.

Vrstevnicové trajektorie pojezdů a ochranné pásy

V dopise Williamu A. Burwellovi v roce 1810 Thomas Jefferson napsal: „... měli jsme ten nejničivější déšť, který pamatuji. Asi za hodinu spadly tři palce vody. Každá údolnice vytvořila proud, který před ní zametl všechno. Nikdy jsem neviděl tolik zraněná pole. Farma pana Randolpha je jediná, která netrpěla; jeho vodorovné rýhy zastavily vodu na každém kroku, dokud nebyla absorbována ... Každý v sousedství přijímá nyní tento

vodorovný způsob orby, s výjimkou nájemců, kteří nemají zájem o zachování půdy ... “ V dalším dopise Charlesi W. Pealovi z roku 1813 napsal: „Nyní oráme horizontálně podle zakřivení kopců a prohlubní, jakkoliv křivé linie z toho mohou vzejít. Každá brázda tak funguje jako rezervoár pro přijímání a udržování vod, z nichž všechny jdou ve prospěch rostoucí rostliny, místo toho, aby stékaly do potoků“ (Gettingmoreontheground, 2019).

Vrstevnicové obdělávání samozřejmě způsobuje komplikaci při plánování trajektorií pojezdů. Důležitým faktorem je trvalé uzpůsobení tvarů půdních bloků tomuto způsobu obdělávání tak, aby mohlo být dodrženo. U širokořádkových plodin se konečně i v České republice začíná testovat a šířeji využívat pásové zpracování půdy (strip-till). Efektivnost tohoto opatření z hlediska protierozní ochrany může být velmi vysoká (Neružil a kol., 2017). I zde je však pro optimální efektivnost protierozní ochrany vhodné zachovávat vrstevnicové trajektorie pojezdů.

Vrstevnicové obdělávání, pásové obdělávání a dodržení ochranných pásů podél vodních toků jsou rovněž podmínkami plnění standardů DZES (MZe 2019):

- Strip-till - principem této půdoochranné technologie je kombinace výhod ponechání nezpracované půdy a setí do pásů se zpracovanou půdou. Zemědělec zajistí ponechání nezpracované půdy v pásech ve směru vysévané plodiny, což doporučujeme provést ve směru vrstevnic. Šíře zpracovaných pásů nepřesáhne 30 cm. Plošný podíl nezpracované půdy bude min. 60 % plochy pozemku.
- Obsetí (ochrannými pásy) - maximálně 6 ha souvislá plocha ostatních obilnin a/nebo řepky olejné je po celém svém obvodu obseta ostatními pícninami (jednoletými a/nebo víceletými) a/nebo travním porostem*. Tato plocha plodin ochranného pásu může být nahrazena/zkombinována s dílem půdního bloku stejného uživatele se zemědělskou kulturou travní porost, trvalý travní porost, zalesněná plocha, mimo-produkční plocha, úhor udržovaný s porostem výše vyjmenovaných plodin nebo jiná trvalá kultura s vymezeným ekologicky významným prvkem krajinyotvorný sad. Tato plocha bude mít minimální šířku 22 m. Jako pás pro plnění podmínek DZES 5 nelze použít biopás založený s dotací v rámci AEKO.
- Ochranné pásy pro ostatní obilniny a/nebo řepku olejnou - za ochranný pás se považuje souvislá plocha osetá ostatními pícninami (jednoletými a/nebo víceletými) a/nebo travním porostem* o minimální šířce 22 m založená v rámci dílu půdního bloku se souvislou plochou plodin se střední ochrannou funkcí, která má maximální šířku 220 m.
- Zakládání porostu po vrstevnici - lze realizovat pouze na DPB do velikosti 35 ha. Na DPB s velikostí přesahující 35 ha nelze tuto technologii realizovat jako půdoochrannou technologii pro splnění podmínek standardu DZES 5, ale je nutné použít jinou PT pro plodiny NOF. Při realizaci půdoochranné technologie zakládání porostu po vrstevnici budou řádky porostu vedeny ve směru vrstevnic, přičemž tolerována bude odchylka od vrstevnice do 30°. Tato max. tolerovaná odchylka nemusí být dodržena na souvrátech, a to maximálně v šířce 20 m od okraje souvislé plochy plodiny NOF.

Plnění výše uvedených opatření je samozřejmě lépe realizovatelné s využitím nástrojů precizního zemědělství, nicméně trajektorie pojezdů zatím nejsou dokladem o dodržení

kritérií přijímaných v hodnotícím procesu. Pojezdy na pozemcích a jimi vytvářené kolejové řádky jsou nicméně významným akcelerátorem erozního procesu, pokud trajektorie kolejových řádků jsou v mírné depresi, zachycují, koncentrují a urychlují povrchový odtok, který působí škody dále po svahu. Proto je vhodné zvažovat, na kterých pozemcích by bylo takové uspořádání možné a pokud ano, zejména na nečleněných svazích cca do 5° se snažit implementovat tento postup, pokud možný je.

Ekonomické aspekty (Kroulík, Brant a Krček)

Implementace principů precizního zemědělství do zemědělské praxe je jednoznačně spojena s investicemi do technického a softwarového vybavení zemědělských subjektů, ale i náklady na zvýšení kvalifikace stávajících a nových pracovníků. Jejich opodstatněnost však vychází z předpokladu o navýšení efektivity pracovních operací, snížení výrobních nákladů, optimalizace počtu pracovních sil apod. Z výše uvedených důvodů je samozřejmé, že pro zemědělskou praxi představují ekonomické aspekty uplatnění těchto technologií zásadní roli.

Za primární opatření vedoucí k uplatnění principů precizního zemědělství je považována optimalizace velikosti půdních bloků a následné provedení optimalizace pohybu pracovních souprav. Primární ekonomické efekty jsou spojovány se snížením celkové délky pracovních a nepracovních jízd. Ty se projeví nejen na úspoře pracovního času, ale také na zvýšení efektivity práce. Nejvyšší úspory času na otáčení souprav bylo zaznamenáno při hodnotě poměru šířky a délky pozemku o hodnotě 0,2, nejméně při poměru 0,9. Optimalizace směru pracovních jízd snížila potřebu času na otáčení strojů v závislosti na tvaru pozemku o 27 až 89 % (Fechner, 2014).

Důležitou roli hrají i ekonomické úspory spojené s minimalizací chyb při navigaci během práce strojů při agrotechnických operacích. Součástí provozu rozmetadla a postřikovače v režimu variabilních aplikací je uplatnění přesné navigace. Výhodou vestavěné navigace do traktoru je možnost nasazení v dalších operacích, které ale mají přímou souvislost s aplikací pesticidů a hnojiv. Podstatné je přesné založení kolejových řádků. Průměrná chyba bez použití navigace činí okolo 2,6 %. Jedná se o především o překryvy, kdy bude postupně narůstat ošetřená plocha.

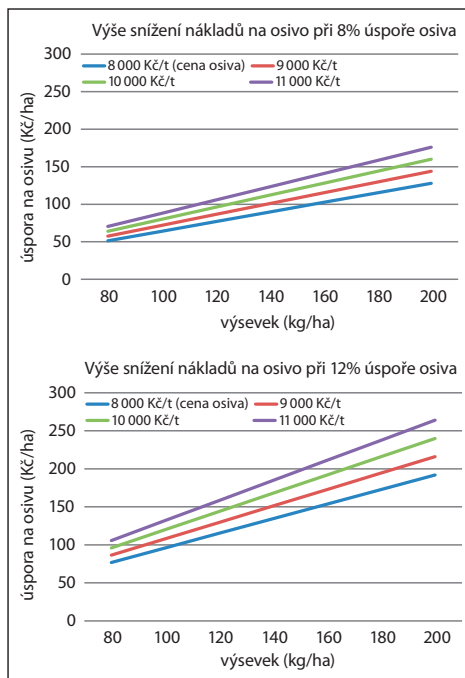
Pokud budeme započítávat i cenu osiva, lze vycházet z následujících cen za osiva pro hlavní sledované plodiny, kterými jsou pšenice ozimá, ječmen jarní a řepka ozimá. Cena osiva pšenice ozimé pro kalkulaci byla 9 500 Kč/t, ječmene jarního rovněž 9 500 Kč/t a u řepky 3 300 Kč/výsevní jednotka. Při výsevu pšenice ozimé 195 kg/ha, 185 kg/ha ječmene jarního a 1,04 jednotky u řepky jsou náklady na osivo pro jednotlivé plodiny následující: 1 852,50 Kč/ha (pšenice ozimé), 1 757,50 Kč/ha (ječmen jarní) a 3 432 Kč/ha (řepka ozimá). Při uvažované chybě lze předpokládat úsporu v hodnotě 48 Kč/ha u pšenice, 46 Kč/ha u ječmene a 89 Kč/ha u řepky ozimé. Při celkové výměře uvedených plodin pro modelový podnik 600 ha pšenice, 120 ha jarního ječmene a 200 ha řepky lze stanovit celkovou úsporu na 52 120 Kč za osivo.

K uvedenému výčtu nadále můžeme připočítat úspory za cenu přípravků a hnojiv pro přihnojení. Ceny přípravků pro ochranu pšenice se pohybovaly na částkách od 2 865 Kč/ha do 4 239 Kč/ha podle odrůdy (bude uvažován průměr 3 552 Kč/ha). Ceny přípravků na ošetření ječmene se pohybovaly na hodnotě 1 840 Kč/ha. U řepky se jednalo o částku 8 359 Kč/ha. Pokud uvažujeme o shodné chybě 2,6 %, je celková částka při daných výměrách na úrovni 104 620 Kč za postřiky.

Úspory vlivem minimalizace překryvů lze vyčíslit také u přihnojování, kdy jsou již patrné koleje řádky. K přihnojení vycházíme z aplikace hnojiva DAM 390 s cenou 4 730 Kč/t a LAV 27 s cenou 4 780 Kč/t. U řepky rovněž hnojivo SA21 s částkou 4 650 Kč/t. Pokud uvažujeme pouze překryvy, bez variabilního hnojení, je úspora za hnojiva na úrovni 24 075 Kč.

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, variabilní tvary pozemků, kde jednotlivé protilehlé strany nejsou rovnoběžné, lze považovat za tvary nejběžnější. Na základě zkušeností z předchozích sledování se chyba v podobě překryvů pohybuje na úrovni 6 %. S pořízenou technologií sekčního ovládání postřikovače nebo omezování rozhozu rozmetadla se překryvy v průměru pohybují na úrovni 0,9 %. Určité překryvy jsou v tuto chvíli nevyhnutelné. Pokud započítáme rovněž plochy cukrové řepy, kde se cena za ošetření pohybuje na částce 8 648 Kč/ha, je cena oproti ideálnímu stavu na úrovni vyšší o částku podle plodin o 32 Kč/ha (pšenice ozimá); 17 Kč/ha (ječmen jarní); 75 Kč/ha (řepka) a 78 Kč/ha (cukrová řepa). V celkové výměře se jedná o navýšení částky za nutné překryvy na úrovni 51 781 Kč. Pokud ale uvažujeme původní stav bez vypínání sekci, kdy lze reálně uvažovat o překryvech na úrovni 6 % je částka opravdu významná. Pro celkovou výměru uvedených plodin se jedná o částku za postřiky 345 208 Kč. Rozdíl 293 427 Kč udává uvažovanou úsporu, spojenou s vypínáním sekci. Reálně jsou rovněž výnosové ztráty spojené s poškozením porostu opakovaným ošetřením. U přihnojování lze uvažovat, při minimalizaci překryvů, o částce 62 441 Kč pro celou výměru.

Zajímavou otázkou je stanovení vlivu přesného setí či setí na počet jedinců na ekonomiku založení porostů. Na základě našich pokusů se úspora na spotřebě



Obr. 237: Výše finanční úspory (Kč/ha) při rozdílných výsevcích na hmotnost osiva na jednotku plochy při úspoře osiva při setí na počet jedinců 8 a 12 %. Do modelu jsou zahrnuty rozdílné výše výsevků (kg/ha) a náklady na jednotku osiva 8 000, 9 000, 10 000 a 11 000 Kč/t.

osiva při setí obilniny na počet jedinců může pohybovat v rozmezí 8 až 12 % na ha vůči výši výsevu na hmotnost osiva na jednotku plochy. Ekonomický přínos setí na počet jedinců lze poté demonstrovat na modelovém příkladu výsevu ozimé pšenice. Přiložený obrázek 237 dokládá výši finanční úspory při rozdílných výsevcích na hmotnost osiva na jednotku plochy při úspoře osiva při setí na počet jedinců 8 a 12 %. Do modelu jsou zahrnuty rozdílné náklady na jednotku osiva (Kč/t).

Dalším faktorem vedoucím ke snížení nákladů na osivo na jednotku plochy je variabilní setí na základě optimalizace výsevu dle stanovených podmínek půdního bloku. Jednou z možností optimalizace výše výsevu je jeho optimalizace na základě map výnosového potenciálu půdního bloku. Celkové náklady na osivo ve vztahu k danému půdnímu bloku vycházejí primárně z metodiky stanovení optimalizace výsevu. V současné době jsou většinou ověřovány postupy, kdy na potenciálně lepších částech půdního bloku je výsevek snižován, na horších zvyšován a na hodnotě výnosového potenciálu odpovídající 100 % je použit výsevek vycházející z agrotechnických požadavků dané odrůdy ve vztahu k půdně-klimatickým podmínkám (ten představuje hodnotu 100 %). V tabulce 23 je uveden modelový výpočet vlivu variabilního setí stanovený pro modelový pozemek o výměře 30 ha. Pro tento pozemek byly navrženy rozdílné poměry zón s odlišnými hodnotami výnosového potenciálu. Pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu 100 % byl použit výsevek ozimé pšenice 150 kg/ha a cena osiva byla stanovena ve výši 9 500 Kč/t. Pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu nižší než 100 % bylo provedeno navýšení výsevu o 20 %, pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu vyšší než 100 % byl výsevek snížen o 20 %. Na základě výsledků modelové situace v tabulce 23 je patrné, že využití variabilního výsevu nemusí být spojeno s úsporou osiva. K úspoře nákladů na osivo dochází v situaci, kdy plochy

Tab. 23: Modelový výpočet vlivu variabilního výsevu stanovený pro modelový pozemek o výměře 30 ha. Pro tento pozemek byly navrženy rozdílné poměry zón s odlišnými hodnotami výnosového potenciálu. Pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu 100 % byl použit výsevek ozimé pšenice 150 kg/ha a cena osiva byla stanovena ve výši 9 500 Kč/t. Pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu nižší než 100 % bylo provedeno navýšení výsevu o 20 %, pro plochy s hodnotou výnosového potenciálu vyšší než 100 % byl výsevek snížen o 20 %.

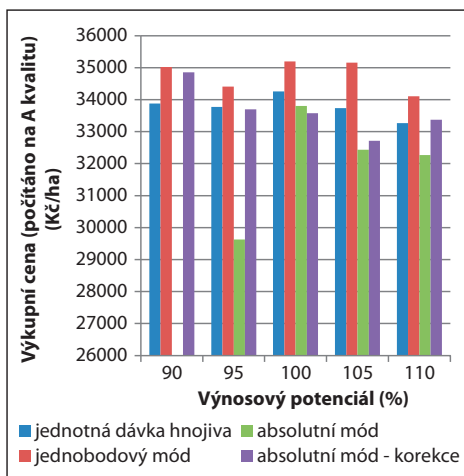
hodnota výnosového potenciálu			cena za osivo (Kč/30 ha)
100 %	nad 100 %	pod 100 %	
podíl na výměře PB (%)			
10	10	80	48 735
20	10	70	47 880
30	10	60	47 025
40	10	50	46 170
50	10	40	45 315
60	10	30	44 460
70	10	20	43 605
80	10	10	42 750
90	10	0	41 895
10	80	10	36 765
20	70	10	37 620
30	60	10	38 475
40	50	10	39 330
50	40	10	40 185
60	30	10	41 040
70	20	10	41 895
80	10	10	42 750
90	0	10	43 605
100	0	0	42 750

se sníženým výsevkem převýší plochy s vyšším výsevkem v rámci půdního bloku. Další ekonomické efekty poté samozřejmě souvisí na vzájemné interakci mezi strukturou porostu a podmínkami dané zóny půdního bloku při vzájemném působení povětrnostních podmínek daného ročníku.

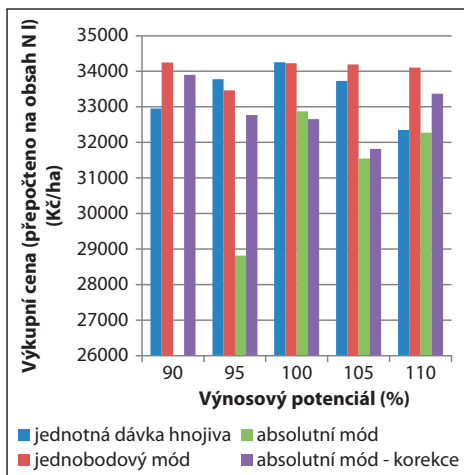
Z hlediska ekonomických a ekologických faktorů je pro zemědělskou praxi velmi zajímavá otázka variabilní aplikace hnojiv. Představu o ekonomických aspektech daného systému hnojení poskytují dvě modelové situace. U prvního modelu je při hodnocení uvažováno s celkovou kvalitou pšenice na úrovni A a tedy výkupní cenou 3 650 Kč/t zrna. Následující graf (obr. 238) dokládá rozdíly v realizované ceně pro jednotlivé varianty a výnosové potenciály.

Pokud hodnoty výkupní ceny přepočítáme podle kvality zrna, dobereme se k výsledkům, které dokládá následující graf (obr. 239). Do výpočtu byly dosazeny následující ceny: obsah dusíkatých látek NI min. 13 % 3 650 Kč/t, NI min. 12 % 3 550 Kč/ha, NI min. 11,5 % 3 500 Kč/t, ostatní 3 300 Kč/t. Je třeba poznamenat, že hodnoty NI byly stanoveny na vybraných bodech a následně převzaty pro celé zóny. S tímto vědomím je třeba na výsledek nahlížet. Každopádně dnešní moderní sklizňová technika umožňuje sledovat kvalitu zrna průběžně. V případě znalosti této informace lze vhodně s kvalitou zrna nakládat.

Následující tabulka 24 přináší vyjádření průměrných hodnot cen pro jednotlivé varianty, náklady na hnojení při nákupní ceně hnojiva 6 250 Kč/t LAD a rozdíly mezi jednotlivými variantami.



Obr. 238: Výkupní cena pšenice ozimé při uvažované kvalitě zrna na úrovni A.



Obr. 239: Výkupní cena pšenice ozimé při přepočtu podle kvality zrna.

Tab. 24: Ekonomické zhodnocení výsledků				
	jednotná dávka hnojiva	jednobodový mód	absolutní mód	absolutní mód - korekce
náklady na hnojivo (Kč/ha) (Σ1., 2., 3. přihnojení)	1 468,75	1 361,40	1 451,60	1 388,50
tržby za zrno přepočten na NI (Kč/ha)*	31 962,50	32 727,20	30 464,50	31 105,30
tržby za zrno přepočten na A kvalitu (Kč/ha)*	32 241,90	33 381,70	31 041,40	31 961,90
srovnání podle NI (Kč/ha)**		764,60	-1 497,90	-857,00
srovnání podle A kvalita (Kč/ha)**		1 139,80	-1 200,40	-279,90

* cena po odečtení nákladů na hnojivo

** hodnoty jsou odečteny od částky pro jednotnou dávku hnojiva

Ekonomické hodnocení zohledňuje pouze ceny vstupních surovin a výkupní ceny pšenice ozimé (potravinářská), nicméně ostatní vstupy byly prováděny jednotně a cenou by se nelíšily. U uvedených dat vyplývá, že nejlepších výsledků dosáhla varianta s jednobodovým módem, navíc s nejnižší dávkou hnojiva, která představovala rozdíl 1 139,- resp. 764,- Kč/ha oproti kontrolní, jednotné dávce. Kontrolní varianta předčila mód absolutní. Nicméně na uvedených výsledcích, respektive aplikacích, můžeme nalézt také rezervy. Ukazuje se, že významný parametr je nastavení vstupních hodnot do terminálu počítače před zahájením aplikace. To částečně potvrzují výsledky a porovnání absolutního módu „s“ nebo „bez“ korekce. Jako jednoznačné doporučení může být laboratorní stanovení zbytkového dusíku v půdě před aplikací, případně rozbor rostlin a následná korekce dávky. Významné je rovněž nastavení očekávaného výnosu. Z hlediska samotné aplikace je to také zvážení půdních podmínek a průběhu předešlého i současného počasí. Na zvážení je také vhodnost aplikovaného hnojiva, zejména ve vztahu k jeho účinnosti. Je tím míněna především vlhkost půdy, kdy v sušších podmínkách může být dostupnost omezena, případně oddálena. Důležitým faktorem bude rovněž důkladná příprava podkladů v podobě map výnosového potenciálu. Je to navíc jeden z nákladů, který se promítne do konečné bilance. Výživu dusíkem může ovlivnit také dostupnost dalších živin. Tento faktor, vzhledem k úrovni hospodaření podniku, se ale nepředpokládá.

Další ekonomické aspekty spojené s uplatněním principů precizního zemědělství do praxe jsou obsaženy i předchozích kapitolách, kde přímo navazují na popisovanou tematiku.

Doporučení pro zemědělskou praxi na základě výsledků projektu EIP (Krček a Job)

Využití precizních technologií v zemědělství je jistě jedním z hlavních trendů, kterými se ubírají inovace výrobních postupů, a to jak v rostlinné, tak i v živočišné výrobě. I přes velký zájem o tyto technologie, ze strany zemědělské praxe se však řady podniků se zavedenými precizními postupy rozšiřují spíše pozvolna. Mezi hlavní důvody patří finanční náročnost na pořízení technologie a také nároky, které zavádění těchto systémů klade na uživatele. Z důvodu alespoň částečného odstranění těchto překážek byla založena operační skupina, ve které se sešli Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D., Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D. a Ing. Vítězslav Krček, Ph.D. z ČZU, Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D. z ČVUT, Ing. Josef Škeřík, CSc. z SPZO a Ing. Zdeněk Job ze společnosti AGRA Řisuty s.r.o. Cílem skupiny je pomoci zavést komplexní technologii precizního zemědělství v rostlinné výrobě na podniku AGRA Řisuty s.r.o.

Historie společnosti AGRA Řisuty s.r.o. (partnerského podniku operační skupiny a žadatele projektu EIP) se začala psát v roce 1994, kdy došlo k rozpadu tehdejšího JZD Rozvoj Řisuty. Po převzetí původního družstva obhospodařovala AGRA cca 1 500 ha a zaměstnávala cca 120 lidí. Od svého založení Františkem Krčkem a Ing. Janem Vicencem byla společnost vedena především směrem využití výsledků výzkumu a často až radikálního zavádění inovativních technologií. Již v počátku byly provedeny velké investice do technického vybavení i nemovitostí a došlo k výrazné restrukturalizaci výroby. Byl utlumen chov skotu a živočišná výroba se soustředila na produkci jatečných prasat. V rostlinné výrobě bylo již mezi lety 1996–1998 přistoupeno k zavedení technologie redukováného zpracování půdy, a to pře-



Obr. 240: Souprava JCB Fastrac a rozmetadla Rauch s 1. generací Yara N-senzor (foto Krček).

devším z důvodu minimalizace ztrát vláhy. Společnost totiž hospodaří v přísuškové oblasti srážkového stínu Krušných hor. Postupem času byly k AGŘE přičleněny další zemědělské podniky v okolí a v současné době obhospodařuje cca 2 700 ha na Slánsku a Slabecku. Produkuje cca 8 000 ks jatečných prasat ročně a zaměstnává cca 35 zaměstnanců.

První významnější kontakt s technologiemi precizního zemědělství ve společnosti proběhl v roce 2003, kdy byla zakoupena souprava JCB Fastrac s rozmetadlem Rauch a první generace plodinového senzoru Yara N-senzor (obr. 240). S touto soupravou probíhaly první snahy o variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv. Nicméně technologie v té době ještě trpěla řadou nedostatků a uživatelský komfort byl na minimální úrovni. Z tohoto důvodu její využití po několika neúspěšných pokusech skončilo a dále byla využívána pouze uniformní aplikace.

Další využití precizních technologií bylo již výrazně úspěšnější. V roce 2005 byla z důvodu snahy o minimalizaci utužení půdy a snížení pojezdů pozemků provedena investice do nákupu prvního pásového polního tahače Case STX 450 Quadtrac v České republice. Tento stroj byl vybaven technologií satelitní navigace s automatickým řízením. I tato technologie, dnes již zcela běžně využívaná většinou zemědělských podniků, byla teprve ve svých počátcích a její zavedení vyžadovalo mnoho trpělivosti a úsilí. Společně s postupnou obměnou technického vybavení pokračovaly i další investice do dílčích technologií precizního zemědělství, ale jejich reálné využití bylo spíše sporadické. Velkým krokem vpřed bylo navázání spolupráce se společností MJM Litovel, která pro AGRU od roku 2009 zajišťuje komplexní testování půdních vlastností a zásobenosti živin. Další technologií, do které bylo ve společnosti investováno, byl systém monitorování pohybu strojů Itineris. Tento systém umožňuje online sledování pozice téměř všech strojů v majetku společnosti, ale především uchovává velké množství dat o jejich pohybu po pozemcích, včetně záznamu provozních informací.

V době, kdy se počínala formovat operační skupina, již tedy v podniku byly k dispozici jak zkušenosti s některými technologiemi precizního zemědělství, tak i částečné technologické vybavení a rozsáhlá databáze vstupních dat. Chybějícím článkem byl však hlubší a komplexnější pohled na problematiku. Vedení společnosti si tuto skutečnost uvědomovalo, proto byl, po konzultacích s členy operační skupiny, vypracován návrh projektu, který by napomohl k širšímu praktickému využití těchto technologií v rostlinné výrobě. Hlavním cílem projektu EIP „Implementace nových a inovovaných technologií precizního zemědělství do pěstebních systémů“ tak bylo doplnit technologické vybavení podniku a pomoci s počátečním nastavením postupů vedoucích k jeho smysluplnému používání. Konečným cílem žadatele je postupem času zavést co nejkomplexnější využití precizních postupů v celé šíři pěstebního cyklu, tedy od zpracování půdy, přes setí a ošetřování porostů až ke sklizni plodiny. Tento konkrétní projekt byl zaměřen především na zavedení dílčích technologií variabilního setí a variabilní aplikace dusíkatých hnojiv a technologie pro ověření jejich funkčnosti.

Projekt EIP

Důvodů, proč se rozhodnout pro využití precizních postupů, je jistě mnoho a kolegové je již zmínili v jiných částech této publikace. Snaha o racionalizaci vstupů, dodání potřebného osiva, hnojiva, pesticidů a dalších prostředků v dostatečné míře v místě skutečné spotřeby a omezení aplikace v místech, kde ke spotřebě nedochází, má dalekosáhlé důsledky a možnosti, které tyto technologie přinášejí, jsou prozatím skutečně pochopeny a využity pouze z menší části. Můžeme očekávat, že se jejich nasazení bude i v budoucnosti rozšiřovat a prohlubovat, protože umožňují jak zlepšení ekonomických ukazatelů výroby, tak i jejího dopadu na životní prostředí, nemluvě o zvyšování komfortu obsluhy. Precizní zemědělství je proto do značné míry technologií budoucnosti, která pomůže splnit společenskou objednávku po ekologičtějším zemědělství při současném zachování potřebné produkce. Přesto, že principy precizního zemědělství jsou známy již mnoho let, jeho masovější nasazení můžeme u nás pozorovat teprve v posledních pěti letech. Umožnila ho až dostupnost dostatečného výpočetního výkonu výpočetní techniky, mobilních zařízení, ale především pracovních terminálů zemědělských strojů, včetně dostupnosti kvalitních dat získaných dálkovým průzkumem Země apod. Vývoj těchto technologií postupuje vpřed mílovými kroky a již dnes jsou k dispozici modernější, výkonnější a uživatelsky přátelštější přístroje, než když byl náš projekt na počátku.

Jako každá nově zaváděná technologie, je přechod k využívání principů precizního zemědělství spojen s počátečními problémy. Pokud nejsou systémově a rychle odstraněny, technologie je upozaděna a k jejímu nasazení v širším měřítku nedojde. V tomto ohledu jsou vůdčí inovátorské subjekty ve značné nevýhodě, protože do značné míry prošlapávají cestu těm, kteří technologii zavádějí až v pozdějších fázích, kdy již dojde k jejímu odladění a její nasazení je zpravidla výrazně jednodušší. Nároky, které zavádění těchto systémů klade na uživatele, vedoucí pracovníky i operátory techniky, jsou značné. Proto je třeba, aby se jim dostalo plné podpory ze strany dodavatele technologií a i například ze strany výzkumných pracovníků, kteří mohou poskytnout žádanou pomoc. Překážky, které mohou znesnadnit či přímo znemožnit zavedení technologie, se objevují většinou až v průběhu a jejich řešení je často mimo možnosti samotného zemědělského subjektu. Může jít o nekompatibilitu jednotlivých prvků systému a jiné technické obtíže, nedostatečné softwarové vybavení, nedostupnost potřebných informací, neznalost a neochotu za strany prodejce či výrobce technologie ale i neochotu nebo nedostatečnou kapacitu vlastních zaměstnanců. Nesmíme opomenout i nepřízeň počasí a časový stres v době nasazení technologie, který může její nasazení v zemědělství odložit minimálně o další rok. Mnoho z těchto problémů bylo řešeno i v rámci tohoto projektu a některé se, i přes veškerou snahu řešitelského týmu, nepodařilo odstranit.

Postup zavádění precizního zemědělství

Prvním krokem, který je třeba v rámci zavádění komplexního precizního hospodaření provést, je stanovení základních metodických postupů, podle kterých je třeba se následně řídit. Například výběr pozemků a plodin, u kterých budeme diferencovaný přístup využívat. Pro výběr pozemků je vhodné stanovit minimální hranici velikosti půdního

bloku, pro kterou je smysluplné řešit variabilní přístup. V našem případě jsme tuto hranici stanovili na úrovni 5 ha. Dle dostupných studií ztrácí detailní hodnocení menších ploch význam, protože variabilita zde logicky nebývá tak velká, jako u větších bloků, a navíc mohou být silně zatíženy okrajovým efektem. V počátečních fázích zavádění precizních postupů klade velké nároky na uživatele, a to jak na vedoucí pracovníky, tak i na operátory techniky. Pro částečné zjednodušení je vhodné zvýšené úsilí, které je třeba zavedení precizních postupů věnovat, zaměřit pouze na část spektra pěstovaných plodin. Je proto pravděpodobné, že jako prioritní budou vybrány hlavní tržní plodiny, jako je pšenice ozimá a řepka ozimá. Teprve po ověření a zaběhnutí technologie na těchto plodinách je vhodné připojovat do systému další. I v našem projektu jsme z počátku technologie zaváděli pouze u intenzivně ošetřovaných plodin, tedy pšenice ozimé, řepky ozimé a ječmene jarního. Podobné počáteční nastavení je třeba provést u mnoha dalších parametrů.

Vstupní sada dat

Další krok se týká shromáždění co největšího množství dostupných informací a jejich analýzy. Osevní postupy nebo jiné záznamy o pěstovaných plodinách a jejich výnosech jsou nutné pro vytvoření sady map relativního výnosového potenciálu. Další záznamy o provedených agrotechnických operacích, pokud jsou k dispozici, mohou poskytnout obrázek o případných zátěžích let minulých, důvodech vzniku ztuhnutí půdy apod. Stejně mohou posloužit vzpomínky agronoma nebo jiného zaměstnance. Evidence použití hnojiv a prostředků na ochranu rostlin (POR) i ekonomická evidence o nákupech materiálu nám v konečném hodnocení pomůže s ekonomickým vyhodnocením provedených zásahů.



Obr. 241: Mapa zásobenosti půdy draslíkem.

Velmi důležité informace poskytují mapy znázorňující hladiny zásobních živin a dalších půdních vlastností. Mapy zásobenosti půdy živinami, dostupné v každém podniku ve formě státem řízeného AZZP, mohou poskytnout alespoň rámcový obraz o variabilitě obdělávaných pozemků. Nicméně, vzhledem k dlouhému intervalu mezi jednotlivými měřeními, velkému odběrovému rastru a nově nastavenému systému odběru po katastrálních územích, jsou pouze obtížně použitelné a pro detailnější vyhodnocení skutečného stavu nevhodné. V partnerském podniku bylo právě z důvodu nedostatečnosti těchto podkladů, již před více než deseti lety, přistoupeno k navázání spolupráce se společností MJM Litovel, která zajišťuje agrochemické zkoušení půd. Testování na podniku probíhá v dohodnutém tříletém cyklu a v 2,5 ha rastru na většině obhospodařovaných pozemků. Výstupem jsou jak doporučení hnojení, tak především mapové podklady využitelné pro nastavení aplikace zásobního hnojení (obr. 241).

Primárním účelem bylo využití těchto podkladů při vápnění, ale k dispozici jsou samozřejmě i informace o dalších zásobních prvcích a dalších půdních charakteristikách. Vzhledem k již několikrát opakovanému cyklu testace je možné porovnat výsledky jednotlivých měření ze stejných míst, a vytvořit rozdílové mapy pro znázornění vývoje situace a případně na něj reagovat změnou aplikačních dávek apod. (obr. 242).

Zajímavým mapovým podkladem je dostupný model terénu získaný laserovým skenováním, který je možné využít pro zjištění svažitosti a sklonitosti pozemků nebo mapa BPEJ a další volně dostupné podklady. Většina těchto informací je dostupná ve formě dat zpracovatelných v geoinformačních softwarech (GIS), jako je volně dostupný QGIS nebo placený ArcGIS apod. Je proto vhodné, aby některý z vedoucích pracovníků měl o práci



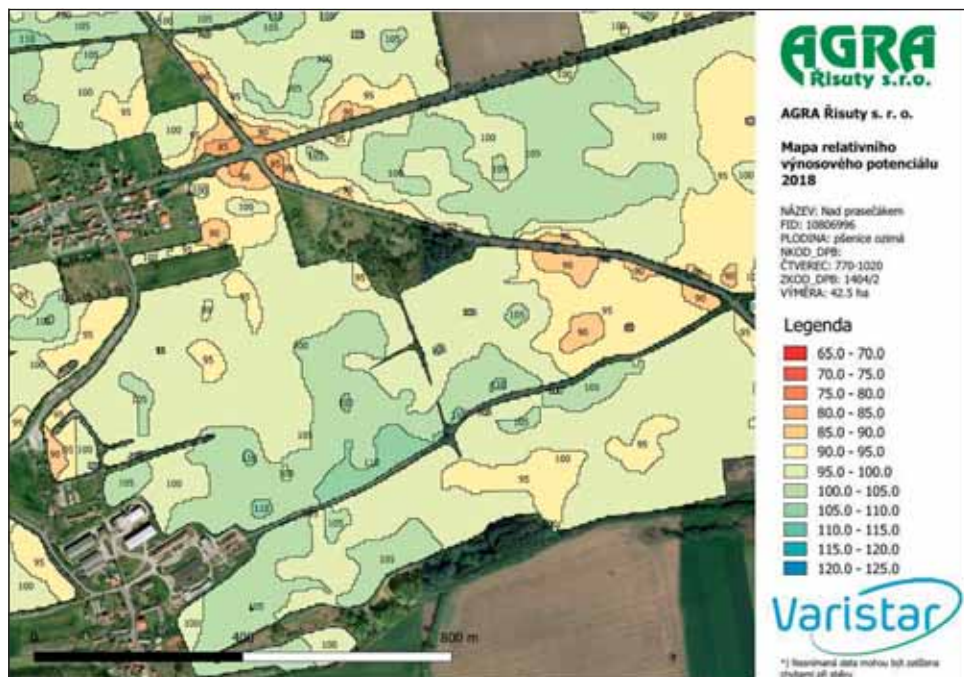
Obr. 242: Mapa změny v zásobenosti půdy draslíkem mezi lety 2015 a 2018.

s těmito softwary alespoň základní povědomost, nebo využil některý z kurzů zaměřený na jejich používání. Pro složitější aplikace uživatel pravděpodobně využije externích služeb.

Mapy relativního výnosového potenciálu

Po výběru pozemků, které hodláme do projektu zařadit, je třeba pro tyto vytvořit kvalitní mapy relativního výnosového potenciálu (RVP), někdy také nazývané mapy výnosových zón (obr. 243).

Tyto mapy jsou tvořeny ze série mnohaletých (v našem případě 10 let) družicových snímků, kdy je využito rozdílů v odrazivosti v blízkém infračerveném spektru pro stanovení pokrývnosti a stavu porostů v průběhu času. Tímto způsobem je možné si každý půdní blok rozdělit do několika produkčních zón odpovídajících určité předpokládané procentuální výnosové schopnosti daného místa. Pro vytvoření takové sady map je třeba mít k dispozici záznamy o plodinách pěstovaných v tomto období a pokud možno i údaje o jejich dosaženém výnosu. Stejně tak jsou nutné informace o různých anomáliích, které na vybraných blocích nastaly ve sledovaném období. Například přítomnost více plodin na jednom bloku, velké chyby v ochraně rostlin nebo výživě porostů, údaje o historickém rozmístění polních hnojišť, skládek cukrové řepy, zatížení pozemků při budování rozvodné elektrické sítě apod. Podobné mapy dnes za různé ceny nabízí mnoho firem, ale je



Obr. 243: Mapa relativního výnosového potenciálu.



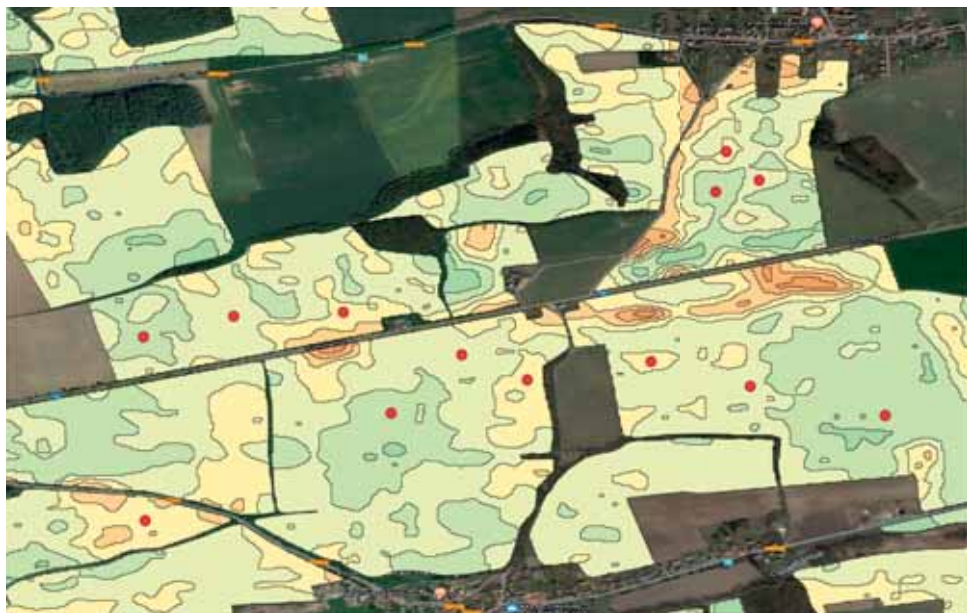
Obr. 244: Proložení dat z výnosoměru s mapou relativního výnosového potenciálu.

důležité, aby bylo možné garantovat jejich kvalitu a relevantnost. Proto je dobré si zjistit, jaké podklady se pro tvorbu používají a podle jaké metodiky jsou mapy tvořeny.

Mapy RVP jsou asi nejdůležitějším podkladem, který mají zemědělci při zavádění precizního hospodaření v rostlinné výrobě k dispozici. Dle naší zkušenosti mapy RVP velmi dobře korelují se skutečným výnosem většiny plodin, což potvrzuje porovnání mapy RVP s výnosovou mapou získanou ze sklízecí mlátičky (obr. 244).

V zásadě je možné jako první krok učinit investici pouze do tohoto podkladu a některé variabilní aplikace provádět přímo podle něj, respektive podle aplikační mapy vytvořené na základě mapy RVP. Takto lze zjednodušeně provést aplikaci dusíkatých hnojiv, ale například i variabilní setí.

Mapa RVP nicméně pouze popisuje dlouhodobý stav jednotlivých částí daného pozemku. Neříká nám nic o tom, čím je diference v růstu plodin a v konečné fázi ve výnosu způsobená. Může se jednat o nedostatek některé živiny, zhutnění půdy, rozdílné půdní podmínky nebo vláhové poměry a mnoho dalších důvodů. Pro bližší pochopení je proto třeba větší množství informací, zkušeností agronoma a přímé ověření stavu v terénu. V některých případech lze následně úpravou režimu obhospodařování, vyhnojením, meliorací nebo jiným zásahem zastoupení výnosových zón v rámci pozemku výrazně upravit. Další změny mohou na pozemcích nastat samovolně. I proto je třeba jednou za několik let provést aktualizaci map RVP.



Obr. 245: Příklad využití mapy RVP pro stanovení odběrových bodů při odběru aktuálního stavu dostupnosti N.

Mapu RVP lze s výhodou využít i v případě individuálního testování agrochemických vlastností půd, nebo při dalších odběrech vzorků rostlin apod. Standardním modelem je odběr vzorků v určitém pravidelném rastru, tedy tak, že jsou všechny odběrové body od sebe stejně vzdáleny. Tento způsob se však jeví jako méně vhodný, protože nereflexuje reálnou proměnlivost pozemku. Pokud máme k dispozici mapu RVP, můžeme je použít jako podklad pro vytvoření nepravidelné sítě odběrových bodů, které budou více respektovat výskyt jednotlivých výnosových zón (obr. 245).

Další možnosti získání vstupních informací

Velkým pomocníkem pro sběr relevantních dat jsou systémy určené pro monitoring pohybu pracovních souprav. V partnerském podniku jsou díky instalovanému systému Itineris k dispozici kompletní záznamy o pohybu většiny pracovních souprav po daných pozemcích a to včetně například informací o spotřebě paliva v daném místě nebo informací o zařazeném rychlostním stupni, otáčkách motoru a dalších charakteristikách, které mohou napomoci pochopení a optimalizaci pohybu strojů, ale vypovídají i o stavu obhospodařovaných pozemků. Například ze změn spotřeby PHM při zpracování půdy můžeme odhadovat stupeň utužení pozemku. Relevantní informace je možné získat i skenováním vybraných pozemků různými dnes dostupnými přístroji, jako je sonda Veris MSP která podává informace o kationtové výměnné kapacitě (KVK), obsahu organické hmoty, pH a dalších půdních vlastnostech nebo indukčního senzoru Topsoil Mapper, který podává informace o hloubce zhutnění půdy a hloubce ornice a je možné ho využít pro stanovení optimální hloubky

zpracování půdy. V tomto projektu bylo na vybraných pozemcích přistoupeno ke skenování vodivosti půdy pomocí sondy EM 38 pracovníky Technické fakulty ČZU. Všechny informace, které jsme schopni získat a následně vyhodnotit, mohou napomoci zkonstruování celkového obrazu o obhospodařovaných pozemcích.

Variabilní aplikace při zásobním hnojení

Pravděpodobně nejnějnější možnost využití variabilních aplikací je právě v případě zásobního hnojení živinami, jako jsou fosfor, draslík, hořčík, vápník, a také při vápnění zaměřeném na úpravu pH půdy. Aplikace v tomto případě probíhá na základě předem připravené aplikační mapy a jediným technickým prostředkem nutným pro realizaci variabilní aplikace je rozmetadlo průmyslových hnojiv, které je schopné během jízdy plynule měnit nastavení dávky.

Jako podklad pro vytvoření aplikační mapy slouží mapa zásobenosti půdy danou živinou. Na mapách zásobenosti je možné identifikovat místa pozemku s vysokými či naopak nedostatečnými hodnotami obsahu prvku v půdním prostředí. Na první pohled překvapivé se může jevit zjištění, že největší deficity zásobních živin se často vyskytují v místech s nejvyšším výnosovým potenciálem. Tato korelace je nicméně po bližším pohledu celkem logická. Vysoký výnosový potenciál znamená také největší odběr a export například fosforu z daného místa, což při využití technologie plošné aplikace hnojiva musí vést k přehnojování málo výnosných míst pozemku a naopak nedohnojení vysokoprodukčních zón, což postupnou kumulací může vést ke vzniku výživové deprese.

Odpovědí na tento problém je právě využití variabilní aplikace, která umožňuje diferencovaný přístup k různým místům hnojeného pozemku. Aplikační mapu je třeba nastavit tak, aby v místech s nedostatečnou zásobou daného prvku došlo ke zvýšení dávky a na místě s dostatečnou zásobou k jejímu snížení. V některých místech s nadbytečnou zásobou je potom možné aplikaci hnojiva úplně přerušit. Tímto dojde k výrazné racionalizaci vstupní investice. Postupem času tento přístup pravděpodobně povede k větší vyrovnanosti obhospodařovaného pozemku. Při tvorbě aplikační mapy je vhodná i kombinace map zásobenosti s mapou RVP. Problematikou se hlouběji zabývali Lukas a kol. (2011) v metodice pro praxi s názvem „Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství“, která je dostupná na internetu.

Jak již bylo řečeno, jediným technickým prostředkem nutným pro zavedení technologie variabilní aplikace zásobních hnojiv je aplikační technika s možností řízení aplikovaného množství. U novějších modelů je tato možnost standardem a je možné mapu nahrát v požadovaném formátu přímo do terminálu rozmetadla, nebo v případě využití ISOBUS do terminálu traktoru. Překvapivé je ale tato funkcionality dostupná i u velmi letitých strojů. V našem případě se podařilo pro variabilní aplikaci využít i cca 15 let staré rozmetadlo od společnosti KUHN, u kterého tuto možnost zpočátku nikdo nepředpokládal. Obecně lze říci, že pokud je stroj vybaven nějakým typem terminálu s displejem, na kterém je

nastavována dávka, je pravděpodobné, že umožňuje i variabilní aplikaci. U starších modelů je nutné propojení terminálu rozmetadla s externím přístrojem, který bude řídit aktuální nastavení dávky. Můžeme využít i jednoduchý tablet s příslušným software, kterých je dnes na trhu dostupných více. Zádrhelem může být získání kompatibilního propojovacího kabelu a správné nastavení komunikace mezi přístroji. Pro počáteční nastavení je proto vhodné využít zkušeností servisních techniků nebo jiného uživatele.

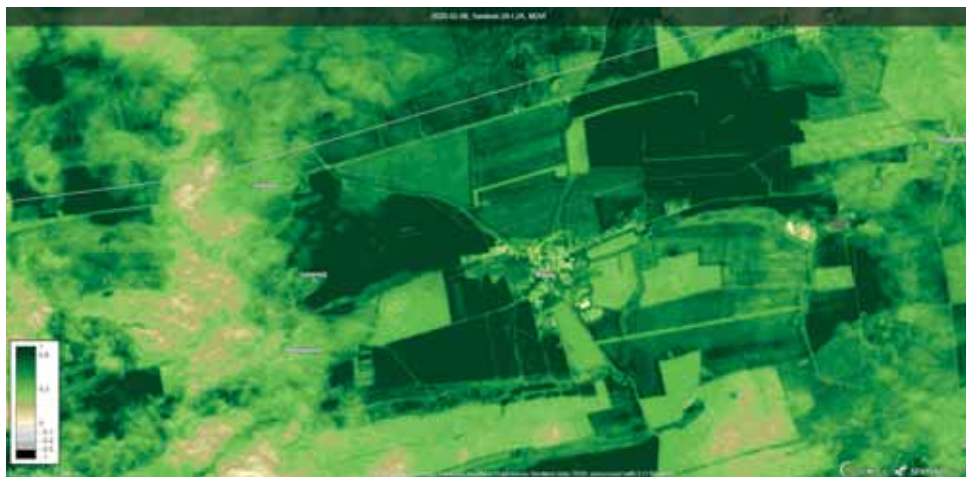
Pro základ aplikační mapy lze použít informace ze státem organizovaného agrochemického zkoušení půd nebo detailnějších informací získaných z individuálního testování. V druhém případě nám dodavatel, který testaci provádí, pravděpodobně bude schopen dodat i přímo zpracované aplikační mapy. Je třeba stanovit strategii, podle které bude nastavena základní aplikační dávka. Vhodné je dávku nastavit na základě reálně zjištěného deficitu. Je ale také možné si stanovit investovanou částku, respektive dostupné množství hnojiva, a to následně rozdělit podle nejvyšší potřeby. Pro správné nastavení aplikačních map je vhodné využít služeb poradenských společností zabývajících se precizními aplikacemi.

Z důvodu nerovnoměrné zásobenosti různých živin na různých částech pozemku obecně není vhodné pro variabilní aplikace využívat vícesložková hnojiva typu NPK. Vhodnější je aplikovat jednosložková hnojiva typu Superfosfát, u kterých je možné přesně stanovit dávku požadované živiny v daném místě.

Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv

Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv je často prvním kontaktem uživatele s technologiemi precizního zemědělství. Výživa porostů dusíkem je jednou z největších nákladových položek při pěstování polních plodin. Navíc snížení nákladů na dusíkaté hnojení je v podmínkách intenzivní polní výroby obtížné. Jako velmi oprávněná se proto jeví poptávka uživatelů po maximální racionalizaci těchto vstupů, kterou umožňují variabilní aplikace. Základem pro nastavení aplikace by měla být mapa RVP. Pro nejjednodušší technologii variabilní aplikace je možné přímé vytvoření aplikační mapy na základě mapy RVP a stanovené základní dávky použitého hnojiva pro danou plodinu. V tomto případě aplikace probíhá identicky s výše zmíněnou variabilní aplikací zásobních hnojiv. Aplikační mapa je nahrána do příslušného terminálu a rozmetadlo následně určuje aktuální dávku pouze podle ní.

Pro vyšší přesnost aplikace je ale vhodné využít i možnosti online senzorů, nebo případně aktuálních dat získaných dálkovým průzkumem země pro zohlednění aktuálního stavu, který nemusí v daném roce mapě RVP přesně odpovídat. Při využití dálkového průzkumu Země (DPZ) jsou aktuální data získána buď z dostupných družicových snímků, nebo snímání hnojeného území pomocí bezpilotních leteckých prostředků (dronů). Pro získání družicových snímků dnes existuje celá řada možností, jako například zdarma poskytovaná data z evropských satelitů SENTINEL 2 (obr. 246). Jejich nevýhodou je možný



Obr. 246: Příklad zobrazení NDVI na základě družicového snímku ze Sentinel 2A.

výskyt oblačnosti, který znemožní jejich použití. V případě pouze částečného zastínění zemského povrchu oblačností je možné využít skládání snímků z delší časové periody. Druhou možností je nasnímání požadované oblasti širokospektrální kamerou během cíleného přeletu dronu. Tento způsob umožňuje uživateli snímání přesně ve chvíli, kterou požaduje, a navíc s mnohem přesnějším rozlišením než jaké umožňuje kterýkoliv dostupný satelit. Nicméně pro využití na větších plochách je tento způsob poměrně pomalý a v případě externího dodavatele i finančně nákladný.

Ve všech případech je využito rozdílné odrazivosti vegetace v různých částech viditelného a blíže infračerveného spektra. Obrazová data, získaná speciálními kamerami schopnými zachycení i pro lidské oko neviditelných „barev“, jsou proto počítačově zpracována za pomoci různých vegetačních indexů. Vegetačních indexů je mnoho a jejich využití a vypovídací hodnota se mění v průběhu vegetace. Mezi nejznámější patří například NDVI, NDRE, NRERI, EVI, LAI nebo IRMI. Vyhodnocením indexů přiřadíme jednotlivým bodům pozemku číselné hodnocení. Z těchto dat můžeme usuzovat na stav porostů a potenciálně jejich nasycení dusíkem. Následně proto vytvoříme aplikační mapu, která zohlední aktuální stav porostu. I když je možné vytvořit aplikační mapu pouze z dat DPZ, dle našich zkušeností je lepší zahrnout do výpočtu dávky i mapu RVP a aplikační mapu vytvořit na základě kombinace DPZ a mapy RVP.



Obr. 247: Souprava traktoru rozmetadla Amazone a traktoru NH T7.260 s nasazeným plodinovým senzorem Isaria (foto Krček).

Poslední možností je využití online plodinového senzoru, umístěného přímo na aplikačním prostředku. V tomto případě je na traktor nebo postřikovač instalován plodinový senzor, který během pohybu snímá aktuální stav vegetace v daném místě, vyhodnocuje získaná data a ihned podle nich upravuje hodnotu aplikační dávky. Princip je obdobný jako v případě využití DPZ, tedy porovnání odrazivosti v různých částech barevného spektra. Na trhu jsou v současnosti dostupné senzory od různých výrobců. V našem případě, jsme se rozhodli pro využití senzorů Isaria od společnosti Fritzmayer (obr. 247). Technologie plodinových senzorů je dostupná již mnoho let, ale první generace těchto přístrojů trpěla mnoha neduhy, jako byla náročná kalibrace, nebo problémy při změně světelných podmínek, střídání světla a stínu apod. Tyto nedostatky jsou u většiny senzorů nové generace již eliminovány a práce s nimi je pro obsluhu poměrně komfortní a nenáročná. Jednou z hlavních vlastností přístroje Isaria je možnost vložení map RVP přímo do aplikačního terminálu. Isaria potom může, na základě námi zvoleného nastavení, při aplikaci zohledňovat jak aktuální, tak i dlouhodobý stav daného místa. Tím se eliminuje zbytečné vyhnojování neproduktivních míst pozemků. Naopak nejurodnější části pole mohou dostat vyšší dávku hnojiva, ale pouze v případě, že senzor vyhodnotí nedostatek dusíku v porostu. Důležité je správné nastavení aplikace a zejména hodnot důležitosti přidělených senzoru a mapě RVP. Dle našich zkušeností je vhodné přidělit cca 70 % mapě a 30 % senzoru, přičemž důležitost senzoru je možné zvyšovat s postupující fází vegetace.

Poslední faktor, který jsme zařadili do rozhodování o variabilní dávce dusíkatého hnojiva, je hodnocení výkonnosti jednotlivého bloku. Mapa RVP udává relativní výkonnost daného místa v rámci každého bloku zvlášť. Tedy průměr jednotlivého pozemku je brán jako 100 % a změny oproti tomu to průměru jsou zakresleny jako procentuální pokles nebo nárůst. To ale nic nevyovídá o výkonnosti daného pozemku v porovnání s ostatními obhospodařovanými bloky. Proto jsme přistoupili k bonitaci všech pozemků obhospodařovaných partnerským podnikem. Bonitace byla založena na záznamech o výnosech pěstovaných plodin v předchozích deseti letech. Jednotlivým pěstovaným plodinám byly přiděleny koeficienty, získané porovnáním dlouhodobých průměrných výnosů dosahovaných v podniku, kterými byl následně upraven zjištěný výnos. Tím jsme získali průměrný normalizovaný výnos každého bloku a podle této hodnoty jsme bloky rozdělili do pěti výkonových kategorií. Základní dávka je při přípravě aplikace snížena nebo zvýšena dle kategorie, do které pozemek spadá a to tak, že pozemky kategorie nejlepší kategorie budou např. hnojeny 120 % základní dávkou a pozemky nejhorší kategorie 80 %.

Postup stanovení dávky dusíkatého hnojiva v partnerském podniku je tedy následující:

1. výběr hnojiva vhodný pro danou plodinu a vegetační období,
2. stanovení základní dávky (strategie, vývoj počasí, požadovaný výnos apod.),
3. úprava základní dávky na základě kategorie pozemku,
4. úprava dávky dle mapy RVP,
5. úprava dávky dle skutečného stavu zjištěného plodinovým senzorem.

Samozřejmě se od sebe liší aplikace v jednotlivých fázích vegetace. Například v případě posklizňových a některých podzimních aplikací samozřejmě není možné využít plodinové-

ho senzoru, protože ještě není vegetace dostatečně vzrostlá. Plodinový senzor v některých případech není možné využít i pro první regenerační aplikace. V takovém případě je aplikace řízena připravenou aplikační mapou vytvořenou na základě mapy relativního výnosového potenciálu. Ostatní body stanovení dávky ale zůstávají zachovány. V případě aplikace kapalných dusíkatých hnojiv (DAM) pomocí postřikovače je opět možné dávku řídit dle aplikační mapy. Pro správné nastavení a funkčnost celého systému jsme se rozhodli využít i služeb společnosti Varistar, která se zabývá různými typy variabilních aplikací.

Variabilní aplikace statkových hnojiv

Samostatnou kategorií jsou variabilní aplikace kejdy, hnojů, kompostů apod. Vzhledem k nehomogenitě aplikovaného materiálu, velkým dávkám a nepřesnosti aplikace zůstává využití variabilního dávkování při aplikaci těchto materiálů prozatím spíše v teoretické rovině. V poslední době se ale začínají na trhu objevovat technologie, které by toto mohly umožnit. Jako příklad můžeme uvést přístroj HarvestLab od výrobce zemědělské techniky John Deere. Tento přístroj je primárně určený pro stanovení hodnot sušiny a obsahu N-látek při sklizni silážní kukuřice, kdy je instalován na sklízecí řezačku. Je ale také možné jeho umístění například na aplikátor kejdy, kde může průběžně měřit obsah dusíku v aplikovaném kapalném hnojivu (kejdě, digestátu apod.) a následně řídit dávku na jednotku plochy změnou průtoku. Toto samozřejmě vyžaduje také vybavení kompatibilním aplikátorem kejdy, který bude schopen měnit dávku změnou průtoku, což ani dnes není zcela běžné.

Variabilní aplikace hnojů a dalších tuhých hnojiv je teoreticky možná na základě aplikační mapy vytvořené na základě mapy RVP a zpracovaných rozborů aplikovaného materiálu. Vyžadovala by ale dostupnost rozmetadla s proměnlivou rychlostí posuvu materiálu, který by mohl řídit aplikační terminál, nebo jinou technologií umožňující řízenou variabilní aplikaci, a i potom lze vzhledem k nehomogenitě materiálu o přesnosti aplikace diskutovat.

Variabilní setí

Další z možností využití variabilních technologií je variabilní nastavení výsevku. Technologie vyžaduje dostupnost secího stroje s možností změny nastavení výsevku dle aplikační mapy. Způsobů vytvoření aplikační mapy je více. Jako podkladová data mohou být použity například mapy vodivosti půdy nebo mapy RVP. Aplikační mapa se následně, dle typu secího stroje, nahrává přímo do terminálu secího stroje, nebo například do terminálu traktoru propojeného se secím strojem, pokud jsou kompatibilní. Při tvorbě aplikační mapy je třeba zvolit, v kterých místech pozemku se výsevek bude zvyšovat a v kterých naopak snižovat. Přitom je třeba vzít v úvahu jak důvod změny výsevku, tak i zvolenou plodinu a odrůdu.

V našem případě jsme prováděli variabilní setí především u ječmene jarního a pšenice ozimé. V obou případech byly vybrány odrůdy tvořící výnos především odnožemi. Aplikační mapa byla tvořena na základě mapy RVP. Byla zvolena strategie zvýšení výsevku v místech s nižším výnosovým potenciálem a snížení v místech s vyšším výnosovým potenciálem. Důvodem takového nastavení je předpoklad horšího vzházení a odnožování v horších místech a naopak vyšší konkurenční tlak, který nedovolí využít plný potenciál odrůdy, v lepších místech. Vzhledem k tomu, že místa s nižším RVP se často překrývají například s výraznějšími terénními nerovnostmi, měla by tato strategie mít i částečný protierozní efekt, jelikož zvyšuje pravděpodobnost dostatečného rostlinného pokryvu k erozi náchylných částí pozemku.



Obr. 248: Agregace traktoru NH T 8.390 se sečkou Väderstad Rapid A800 (foto Krček).

Variabilní setí bylo v rámci našeho projektu prováděno novým strojem Väderstad Rapid A800 s technologií Seedeeye (obr. 248). Výhodou stroje je, kromě možnosti variabilního řízení výsevku, i možnost nastavení počtu vysívaných semen na jednotku plochy, namísto nastavení výsevku v hmotnostních jednotkách. Technologie Seedeeye, která toto umožňuje, je složena z optických čidel umístěných v semenovodech, které kromě kontroly prostupnosti semenovodu kontrolují i počet propadávajících semen. Řídící terminál je proto schopen, na základě údaje o počtu semen propadávajících za určitý čas, upravit otáčky výsevního ústrojí, a tak docílit požadovaného počtu semen na m². Tento stroj byl v našem případě použit agregován s traktorem New Holland 8.390 s terminálem Inteliview 4, který umožňuje řízení sečky (výsevku, vypínání sekcí) za pomoci Task Controlleru. Aplikační mapa byla proto nahrána přímo do terminálu traktoru, tak aby bylo možné využít instalovanou GPS navigaci.

Propojení obou strojů a zprovoznění technologie variabilního setí nebylo zcela jednoduché, a to i přes snahu zástupců obou dodavatelů. V prvním roce se komunikaci mezi oběma terminály vůbec nepodařilo navázat a problém musel být řešen v softwarových centrech obou výrobců. V další sezóně již komunikace fungovala, ale obtíže pokračovaly dále. Delší dobu trvalo najít funkční způsob vytváření aplikační mapy, respektive správného formátu mapového souboru, který by terminál traktoru byl schopen identifikovat a použít. Vzhledem k nedostatku zkušeností všech zainteresovaných (zdá se, že jsme byli první na světě, kdo se o podobnou aplikaci pokoušel) a neexistenci jakéhokoliv návodu, manuálu apod., probíhalo vytváření podkladového souboru systémem pokus-omyl. Možností kombinace správného typu souboru, nastavení jednotek a nastavení exportu a importu souboru je skutečně mnoho. Během zavádění také byla nalezena určitá chyba v softwaru terminálu traktoru, která znemožňuje nastavení výsevku v počtu semen na hodnotu vyšší, než 4,25 milionu. V případě, že se v aplikační mapě vyskytla vyšší hodnota než výše zmíněná mez, přístroj buď přestal komunikovat, nebo dal sečce pokyn, aby přestala sít. Z těchto důvodů se reálné využití technologie posunulo o více než rok oproti původnímu plánu.

Variabilní aplikace prostředků na ochranu rostlin

Variabilní aplikace přípravků na ochranu rostlin (POR) se, spolu se snahou o omezení spotřeby účinných látek, stávají v poslední době stále žádanější. Do budoucna je možné očekávat trend, kdy bude variabilní aplikace POR vyžadována i ze strany dozorových orgánů. Bohužel, většina technologií umožňujících variabilní ochranu je teprve ve fázi výzkumu a jejich nasazení v běžném provozu prozatím není reálné. Ve vývoji jsou například optické senzory, které budou schopny online vyhodnocovat obrazová data, přesně lokalizovat ohniska plevelů a bodově aplikovat herbicidní přípravek a mnoho dalších.

Obecně je u aplikátorů POR problém s řízenou změnou dávky. Je to dáno samotnou technologií, kdy se dávka řídí třemi parametry: tlakem v systému, použitou tryskou a rychlostí pojezdu. Jediný z parametrů, který jsme schopni aktivně měnit, je rychlost pojezdu, a i to má své limity. Většina postřikovačů je dnes již v základu vybavena možností uzavření jednotlivých sekcí, nicméně tato technologie umožňuje pouze aplikovat plnou dávku, nebo neaplikovat vůbec. Přitom možnost řízené změny aplikační dávky je pro variabilní aplikace nutná, a to nejlépe pro každou sekci, nebo každou trysku zvlášť. Technologie, kterou je již dnes možné pořídit, jsou pulzní trysky, které za pomoci rychlého otevírání a zavírání umožňují právě řízení aplikovaného množství u každé trysky. Využití této technologie navíc přesahuje potřebu variabilních aplikací. Známý je totiž fakt, že při pohybu postřikovače po pozemku vznikají velké nepřesnosti v aplikaci z důvodu nestejných rychlostí v různém místě ramen, například při objíždění překážek. Rozdíl v aplikované dávce potom může být i několikanásobný. Pulzní trysky by měly být schopny tento problém redukovat. Jejich rozšíření ale prozatím bude brzdit jak nedostatek zkušeností, tak i vysoká cena.

Dnes již běžně dostupná technologie je přímá injektaž chemických přípravků. Její instalace je dodatečně možná na většinu postřikovačů a umožňuje změnu koncentrace postřikové jichy, nebo dokonce změnu aplikovaného přípravku za jízdy. Princip technologie je poměrně jednoduchý. Postřikovač je dovybaven jednou nebo více samostatnými nádržemi na chemické přípravky, které jsou vybavené čerpadly a propojené s dopravním potrubím. V hlavní nádrži potom může být čistá voda, případně hnojivo a chemický přípravek je vstřikován přímo do potrubí. Řídící terminál potom může během aplikace měnit koncentraci dávky, nebo i měnit aplikovaný přípravek, případně kombinovat více přípravků. Změna se řídí opět předpřipravenou aplikační mapou. Možnosti této technologie jsou široké. Například při předpokladu větší pravděpodobnosti napadení porostu houbovými chorobami v místě s vyšším RVP z důvodu vyšší vlhkosti, je možné v těchto zónách aplikovat dražší fungicid a na zbytku pozemku levnější. Nebo při aplikaci fungicidu do postřikové jichy na souvratích přimíchat insekticid atd.

Variabilní zpracování půdy

Řízená změna hloubky zpracování půdy prozatím také nepatří mezi příliš rozšířené technologie. Využití je především při hlubší kultivaci a podryvání, kdy je třeba stanovit hloubku vytvořeného zhutnění půdy, nebo případně hloubku orničního profilu a násled-

ně podle těchto údajů měnit hloubku pracovních orgánů stroje. Pro stanovení správné hloubky můžeme použít přístroj Topsoil Mapper. Ten je možné instalovat přímo na stroj a využít pro online aplikaci, nebo si pozemky pomocí přístroje zmapovat předem a následně aplikaci řídit pomocí aplikační mapy. Problematické spíše než stanovení požadované hloubky, je ale dostupnost stroje, který by umožňoval řízenou změnu nastavení hloubky během zpracování půdy. Technologie je proto prozatím spíše málo využívána.

Měření výnosu

Mezi precizní technologie patří určitě i přístroje umožňující získání zpětné vazby, jako jsou výnosoměry umístěné na sklízecích mlátičkách zajišťující záznam o dosaženém výnosu na konkrétním místě pozemku. Touto technologií je standardně vybavována většina moderních sklízecích mlátiček. Pro získání relevantních dat je nutné správné nastavení systému, důsledná kalibrace, a následné vyčištění dat od extrémních a chybových hodnot. Velmi problematické je také využití získaných dat v případě nasazení více než jedné sklízecí mlátičky na stejném bloku, protože i při nasazení stejného modelu stroje je srovnání dat mezi sebou prakticky nemožné. Velké rozdíly ve způsobu získávání i kvalitě výstupních dat jsou mezi jednotlivými výrobci. Z naší zkušenosti kvalitnější data byla získávána ze sklízecích mlátiček firmy New Holland, které jsou osazeny nárazovou deskou, oproti výnosoměrům používaným u sklízecích mlátiček firmou Claas, které výnos měří optickými čidly.

V případě, že se podaří získat soubor kvalitních a relevantních dat, mohou vytvořené mapy dosaženého výnosu přinést zajímavé informace o provedených agrotechnických zásazích. Mapy lze využít i jako verifikátor map relativního výnosového potenciálu, protože při správném nastavení obou zdrojů bývá korelace mezi nimi až nápadně vysoká.

Optimalizace trajektorií

Asi poslední technologií, spadající do kategorie precizního zemědělství, která byla v partnerském podniku zavedena v rámci inovačního projektu, bylo optimalizování směru pracovních jízd. Tato poměrně jednoduchá operace při správném provedení může pomoci uspořit materiálové náklady, ale především zvýšit výkonnost. Princip je velmi jednoduchý. Do příslušného softwaru jsou vloženy vstupní informace obsahující obrys obhospodařovaných bloků a zakreslení případných překážek a vstupních bodů. Pro správné použití je třeba přesně zaměřit právě vyskytující se překážky a vstupy na pozemky. Software následně navrhne optimální trajektorii tak, aby byly minimalizovány otáčky na souvrátích, neproduktivní jízdy apod. Tato trajektorie může být poté ručně upravena, aby více odpovídala například směru vrstevnic. Bohužel software sám nezohledňuje svažitost pozemků. Výstupem je soubor, který může být nahrán například do traktoru vybaveného GPS autopilotem při setí, který vytvořením kolejových meziřádků určí trasy pro většinu následných agrotechnických operací. Výsledkem může být i velmi výrazný rozdíl v hektarové výkonnosti aplikační techniky.

Závěr

Možnosti využití precizních technologií v zemědělství jsou velice široké. V rostlinné výrobě mohou zasahovat do celého procesu výroby od přípravy půdy pro setí až po sklizeň. Přinášejí svým uživatelům příležitost pro zlepšení výrobních procesů, zvýšení výnosnosti a ekologičnosti výroby, ale přinášejí také nároky nutné pro jejich správné zavedení. Vzhledem k tomu, že v zemědělství do výrobního procesu zasahuje dlouhá řada různých faktorů a vnějších vlivů, není vždy možné klady a přínosy zaváděné technologie jasně vyjádřit čísly. Je proto třeba také věřit logice prováděného opatření, protože i při správné implementaci zvolené technologie se ne vždy ihned dostaví předpokládaný efekt.

Seznam použité literatury

Abendroth, L., Thus, E. R. 2007: Using variable seeding rates within fields at this time will not likely result in significant savings given current technology and the year-to-year variability that exists. Corn seeding rates and variable-rate seeding. *Integrated Crop Management*. 498(5): 110–111.

Adamchuk, V. I. 2007: Development of On-the-Go Soil Sensor Systems. 1st Global Workshop on High Resolution digital soil sensing and mapping. Sydney, Australia.

Adamchuk, V. I., Christenson, P. T. 2005: An integrated system for mapping soil physical properties on-the-go: the mechanical sensing component. In proceeding: Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers. 449–455.

Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., Upadhyaya, S. K. 2004: On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 44(1): 71–91.

Adamchuk, V. I., Morgan, M. T., Ess, D. R. 1999: An automated sampling system for measuring soil pH. *Transactions of the ASAE*. 42(4): 885–891.

Adamchuk, V. I., Viscarrarossel, R. A., Sudduth, K. A., Schulze, L. P. 2011: Sensor Fusion for Precision Agriculture, *Sensor Fusion - Foundation and Applications*, Dr. Ciza Thomas (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/sensorfusion-foundation-and-applications/sensor-fusion-for-precision-agriculture>.

Aldrich, S., Scott, W., Leng, E. 1975: *Modern corn production* (2nd ed.). Champaign: A & L Publications.

Alihamsyah, T., Humphries, E. G., Bowers, C. G. 2004: A Technique for Horizontal Measurement of Soil Moisture and Cone Index Measurement. *ASAE*. 47(3): 607–618.

Alihamsyah, T., Humphries, E. G., Bowers, C. G. Jr. 1990: A Technique for Horizontal Measurement of Soil Mechanical Impedance. *Transactions of the ASAE*. 33: 70–77.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raies, D., Smith, M. 1998: *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage. Rome, Italy. 56 s.

Alletto, L., Coquet, Y., Roger-Estrade, J. 2010: Two-dimensional spatial variation of soil physical properties in two tillage systems. *Soil Use and Management*. 26: 432–444.

Anderson-Cook, C. M., Alley, M. M., Roygard, J. K. F., Khosla, R., Noble, R. B., Doolittle, J. A. 2002: Differentiating Soil Types Using Electromagnetic Conductivity and Crop Yield Maps. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 1 562–1 570.

Anken, T. 1997: Bodenbearbeitungssysteme. FAT TÄnikon. 501: 14.

Anken, T., Hilfiker, T., Ruggero, S., Sartori, L. 1996: Saatbettbereitung. FAT TÄnikon. 484: 10.

ASAE Standards, 49th Edition. 2002. 2. Soil cone penetrometer. ASAE. St. Joseph, Michigan, USA. 313 s.

Ashley, H. D., Rea, J. 1975: Seasonal vegetation differences from ERTS imagery. Photogrammetric Engineering and Remotesensing. 41: 713–719.

Auernhammer, H. 2006: Precision Crop Farming, Site-specific Cultivation. Yearbook Agricultural Engineering. 37–38.

Auernhammer, H., Demmel, M., Rothmund, M. 2001: Gewannebewirtschaftung im Projekt Zeilitzheim. In: Landtechnik. 56: 136–137.

Bakhsh, A., Colvin, T. S., Jaynes, D. B., Kanwar, R. S., Tim, U. S. 2000: Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield. Transactions of the ASAE. 43(4): 819–828.

Barone, L., Faugno, S. 1996: Penetration test for measurement of soil strength: Assessment of contribution of shaft friction. Journal of Agricultural Engineering Research. 64: 103–108.

Basso, B., Sartori, L., Bertocco, M., Oliviero, G. 2003: Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties. Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture. s. 61–67.

Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T. 2006: Traktory. Profi Press. 192 s.

Bauer, T., Strauss, P., Grims, M., Kamptner, E., Mansberger, R., Spiegel, H. 2015: Long-term agricultural management effects on surface roughness and consolidation of soils. Soil & Tillage Research. 151: 28–38.

Beneš, J. 2018: Počátky zemědělství ve Starém světě. JU ČB, České Budějovice. 351 s.

Bierwirth, P. 1996a: Radio Ga-Ga - Integrating gamma-radiometrics into landscape modelling of soils attributes; results of an ACLEP exchange. ACLEP newsletter 5/3.

Bierwirth, P., Gessler, P., McKane, D. 1996b: Empirical investigation of airborne gamma-ray images as an indicator of soil properties - Wagga Wagga, NSW, 8th Australasian Remote Sensing Conference Proceedings. Canberra.

Boxberger, J., Moitzi, G. 2008: Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Wandel, 7–16. In: Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL - Vortragstagung vom 8. bis 9. April 2008 in Fulda. KTBL. Darmstadt. 248 s.

Bragachini, M., Peiretti, J. 2007: Errores e Ineficiencias en Siembra y Cosecha de Maíz y Soja (Errors and Inefficiencies in Seeding and Harvest of Maize and Soybean). Soja con Sustentabilidad 2007. SOJA + MAÍZ - Agosto de 2007 – Córdoba.

Brant V., Zábanský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2017g: Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. Soil & Water Research. 12(1): 39–50.

Brant, V., Bečka, D., Cihlář, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., Škeříková, M., Zábanský, P. 2016b: Pásové zpracování půdy (striptillage). Profi press s.r.o., Praha. 135 s.

Brant, V., Kroulík, M., Čech, O., Holec, J., Zábanský, P., Škeříková, M. 2017b: Mapování bokehavu plamátého ve středních Čechách. Úroda. 65(9): 46–48.

Brant, V., Kroulík, M., Čech, O., Soukup, J., Holec, J., Zábanský, P., Tyšer, L. 2015a: Bolehlav plamátý – plevel zemědělské a ostatní půdy. Úroda. 63(12): 69–72.

Brant, V., Kroulík, M., Kapička, J., Lang, J., Petrus, D., Novotný, I. 2018a: Půdní blok a jeho parametry ve vztahu k obhospodařování – obecné principy (1). Agromanuál. (13)5: 122–124.

Brant, V., Kroulík, M., Kapička, J., Lang, J., Petrus, D., Novotný, I. 2018b: Půdní blok a jeho parametry – hranice půdního bloku a souvrať (2). Agromanuál. (13)8: 94–98.

Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábanský, P., Hakl, J., Holec, J., Kvíz, Z., Procházka, L. 2017h: Splash Erosion in Maize Crops under Conservation Management in Combination with Shallow Strip – tillage before Sowing. Soil and Water Research. 12(2): 106–116.

Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábanský, P., Škeříková, M., Hamouz, P., Tyšer, L. 2019b: Pomocné plodiny v pěstebních systémech polních plodin. Agrární komora ČR, Praha. 164 s.

Brant, V., Kroulík, M., Zábanský, P., Krček, V., Škeříková, M., Procházka, P. 2019a: Hluboké kypření a jeho vliv na půdu ve vztahu k ozimé řepce. Úroda. 67(8): 40–44.

Brant, V., Kroulík, M., Zábanský, P., Škeříková, M. 2015b: Půdní úrodnost a současné systémy zpracování půdy. In: Sborník z 21. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze. 33–42.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2015c: Variabilita půdního profilu po orbě. *Agromanuál*. 10(10): 64–68.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2016a: Seťové lůžko a abiotické faktory ovlivňující klíčení a vzcházení. *Úroda*. 64(2): 12–16.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2016d. Přesné a variabilní setí ozimé řepky. *Úroda*. 64(7): 40–43.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., Nýč, M., Job, Z. 2017a: Variabilita infiltračních procesů ve vztahu ke zpracování půdy. *Úroda*. 65(11): 54–57.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Kunte, J., Lukáš, J., 2017e: Vliv pěstební technologie na růstové parametry rostlin hrachu (*Pisum sativum* L.). *Vědecká příloha časopisu Úroda*. *Úroda*. 65(12): 113–120.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Nýč, M. 2017c: Zonální hnojení obilnin. *Úroda*. 65(4): 14–18.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J. 2015d: Nižší výsevky a zonální aplikace hnojiv při pěstování obilnin jako základ precizního zemědělství. *AGRO journal*. 2(4): 58–61.

Brant, V., Neckář, K., Venclová, V., Krump, M. 2008: Vorkommen von *Conium maculatum* L. (Gefleckter Schierling) im Inneren und am Rand von Ackerflächen in der Tschechischen Republik. *Journal of Plant Diseases and Protection*. Special Issue XXI. 383–386.

Brant, V., Nýč, M., Kroulík, M., Zábranský, P. a Škeříková, M. 2017f: Technologické postupy optimalizace tvorby seťového lože s využitím systémů zonálního hnojení. *Certifikovaná metodika*. Kurent. České Budějovice. 108 s.

Brant, V., Pivec, J., Hamouzová, K., Zábranský, P., Satrapová, J., Škeříková, M. 2014c: Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method. *Plant Soil Environment*. 60: 562–568.

Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Kroulík, M. 2015g: Vláhové nároky porostů obilnin v oblastech s nedostatkem srážek. *Agromanuál*. 10(8): 81–83.

Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Procházka, L., Kroulík, M., 2012: Čírok (7) Kapková eroze v porostech číroku obecného. *Agromanuál*. 7(7): 74–75.

Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M. 2016c. Vláhové nároky cukrové řepy. *Agromanuál*. 11(9): 80–81.

Brant, V., Pivec, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M. 2015e. Vláhové nároky kukuřice v oblastech s nedostatkem srážek. *Agromanuál*. 10(4): 108–111.

Brant, V., Škeříková, M., Kroulík, M., Kubín, K., Hamsa, J., Kunte, J., Hofbauer, M. 2019c: Pásové výsevy meziplodin v pěstebních systémech kukuřice seté. *Agromanuál*. (14)2: 104–109.

Brant, V., Šmöger, J., Nečada, M., Kroulík, M., Jírová, A. 2019d: Tvorba mulče v protierozních technologiích u kukuřice seté v systémovém pojetí. *Úroda*. 67(12): 33–38.

Brant, V., Zábranský, P., Kroulík, M., Škeříková, M., Pivec, J., 2014b: Vývoj kořenového systému kukuřice a řepky ve vztahu ke zpracování půdy, struktuře porostu a hnojení. *Agromanuál*. 9(11–12): 91–95.

Brant, V., Zábranský, P., Pivec, J., Škeříková, M., Kroulík, M. 2015f. Vláhové nároky čiroku obecného v oblastech s nedostatkem srážek. *Agromanuál*. 10(7): 82–83.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., 2017d: Zonální aplikace hnojiv při setí ozimé řepky. *Agromanuál*. 12(7): 80–84.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., Krček, V., Pivec, J., Baranyk, P. 2014a: Distribuce srážek a hodnoty kapkové eroze v porostech ozimé řepky v závislosti na šířce řádků. *Agromanuál*. 9(2): 82–84.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2015h: Praktické možnosti využití užších řádků u kukuřice v rámci ochrany půdy proti erozi. *Agromanuál*. 10(2): 96–99.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017i: Alternativní využití luskovin (2) - Morfologická variabilita hrachu setého a rolního. *Agromanuál*. 12(2): 88–91.

Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017j: Alternativní využití luskovin (3) - Hrách setý a rolní jako zdroj biomasy. *Agromanuál*. 12(3): 131–133.

Brant, V., Žamboch, M., Neckář, K., Venclová, V. 2006: Einfluss der Ackerrandgesellschaftenauf die Verunkrautung der Agrophytozönosen durch *Arctium tomentosum* Mill. (Filzige Klette). *Z. PflKrankh. PflSchutz. Sonderh.* 20: 605–609.

Brini, M. 2017: <https://inclusivegrowthforum.org/digital-agriculture-smart-farming-precision-agriculture-perspectives-prestigious-consulting-firms/>.

Brunotte, J. 2013: Bodenschonen des Befahrens bei der Silomäisernte. 49–73. In: Logistik rund um die Biogasanlage. KTBL – Schrift 498. Darmstadt. 132 s.

Brunotte, J., Fröba, N. 2007: Schlaggestaltung – kostensenkend und bodenschonend. KTBL. Darmstadt. 178 s.

Bui, E. N., Box, J. E. Jr. 1992: Stemflow, rainthroughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 242–247.

Butler, D. R., Huband, N. D. S. 1985: Throughfall and stem-flow in wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35: 329–338.

Canakci, M., Karayel, D., Topakci, M., Koc, A. 2009: Performance of a No-Till Seeder Under Dry and Wet Soil Conditions. *Applied Engineering in Agriculture*. 25: 459–465.

Carrara, M., Comparetti, A., Febo, P., Morello, G., Orlando, S. 2003: Mapping Soil Compaction Measuring Cone Penetrometer Resistance. In: Werner, A. and Jarfe, A.: *Programme Book of the Joint Conference*. 176 s.

Chen, Y., Tessier, S., Irvine, B. 2004: Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil & Tillage Research*. 77: 147–155.

Connor, D. J., Theiveyanathan, S., Rimmington, G. M. 1992: Development, growth, water-use and yield of a spring and a winter wheat in response to time of sowing. *Australian Journal of Soil Research*. 43: 493–516.

Cook, S. E., Corner, R. J., Groves, P. R., Grealish, G. 1996: Use of airborne Gamma Radiometric Data for Soil Mapping. *Australian Journal of Soil Research*. 34: 183–194.

Corwin, D. L., Lesch, S. M. 2003: Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles and Guidelines. *Agronomy Journal*. 95(3): 455–471.

Corwin, D. L., Lesch, S. M., Shousea, P. J., Soppet, R., Ayars, J. E. 2003: Identifying Soil Properties that Influence Cotton Yield Using Soil Sampling Directed by Apparent Soil Electrical Conductivity. *Agronomy Journal*. 95: 352–364.

Da Silva, J. R. M., Silva, L. L. 2008: Evaluation of the relationship between maize yield, spatial and temporal variability and different topographic attributes. *Biosystems Engineering*. 101(2): 183–190.

Davidová, T., Dostál, T., David, V., Strauss, P. 2015: Determining the protective effect of agricultural crops on the soil erosion process using a field rainfall simulator. *Plant Soil Environment*. 61: 109–115.

Dawson, C. J. 1997: Management for spatial variability. In: Precision Agriculture. Spatial Variability in Soil and Crop. First European Conference on Precision Agriculture. Warwick. 97(1): 45–58.

De Meijer, R. J. 1998: Heavy minerals: from 'Edelstein' to Einstein. Journal of Geochemical Exploration. 62: 81–103.

Deboer, J. L. 2002: Economics of Variable Rate Planting for Corn. Proyecto Nacional Agricultura de Precisión, Manfredi, Córdoba República Argentina.

Degner, J. 1999: Einfluss der Schlaggröße auf die Verfahrenskosten. In: Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen Heft - Jahrestagung Landwirtschaft 1999. Hrsg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena. 10: 66–71.

Demmel, M., Rothmund, M., Auernhammer, H., Feldmann, J., Rademacher, T. 2014: Infrastrukturplanung zur Optimierung des Zuckerrübenanbaues in einer Gewanneflur. Landtechnik. 59: 36–37.

Devátý, J., Dostál, T., Hösl, R., Krása, J., Strauss, P. 2019: Effects of historical land use and land pattern changes on soil erosion – Case studies from Lower Austria and Central Bohemia. Land Use Policy 82: 674–685.

Dixon, A. F. G., Honěk, A., Keil, P., Kotela, M. A. A., Sizling, A. L., Jarošík, V. 2009: Relationship between the minimum and maximum temperature thresholds for development in insects. Functional Ecology. 23: 257–264.

DLG – Ausschuss für Pflanzenschutz, von Kröcher, C., Ahlers, D. 2015: Ordnungsgemäßer Pflanzenschutz: erstchecken, dann los. DLG-Merkblatt 409. DLG. Frankfurt am Main. 14 s.

Doerge, T. 1997: Variable rate seeding of corn, Crop Insights, Pioneer Hi-Bred International, <http://www.pioneer.com>.

Doerge, T. 2001: Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox. Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference. Madison.

Domsch, H, Kaiser, T. Schmidt, V. 2001: Zusammenhang zwischen der Verteilung der elektrischen Bodenleitfähigkeit und Geländemerkmale. In: VDI–MEG Tagung Landtechnik. Hannover. 1636: 261–265.

Doolittle, J. A., Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Indorante, S. J. 1994: Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. Journal of Soil and Water Conservation. 49: 572–575.

Doolittle, J. A., Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Indorante, S. J. 1994: Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. *Journal of Soil Water Conservation*. 49: 572–575.

Droll, P. 1999: Erstellung von geokodierten Karten mit Bodenkennwerten. Diplomarbeit Hohenheim, unveröffentlicht.

Duttmann, R., Bach, M., Brunotte, J. 2013: Befahrungsaktivität bei der Silomaisenernte, 49–62. In: *Logistik rund um die Biogasanlage*. KTBL – Schrift 498. Darmstadt. 132 s.

EarthExplorer. 2018b: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Accessed 15 Jun 2018.

Eastham, J., Gregory, P. J. 2000: The influence of crop management on the water balance of lupin and wheat crops on a layered soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil*. 221: 239–251.

Ehsani, M. R., Durairaj, C.D., Woods, S., Sullivan, M. 2005: Potential Application of Electrical Conductivity (EC) Map for Variable Rate Seeding. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript IT 05 006. Vol. VII. November.

Estler, M. C., Knittel, H. 2006: *Praktische Bodenbearbeitung*. Ulmer, Stuttgart. 264 s.

Ettema, C. E., Wardle, D. A. 2002: Spatial soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 17. 177–183.

Evans, R., Boardman, J. 2016: The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Panagos P. et al., 2015 *Environmental Science & Policy* 54, 438–447-A response. *Environmental Science and Policy* 58: 11–15.

Fechner, W. 2014: Einfluss der Hauptbearbeitung auf die Arbeitszeit im Feldbau am Beispiel eines mitteldeutschen Großbetriebes. 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau. *Bornimer Agrartechnische Berichte*. Heft 83. Potsdam-Bornim. Dresden. 22–34.

Fernández, F. G., White, C. 2014: No-Till and Strip-Till Corn Production with Broadcast and Subsurface-Band Phosphorus and Potassium. *Agronomy Journal*. 104: 996–1005.

Fraisse, C. W., Sudduth, K. A., Kitchen, N. R. 2001: Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Transactions of the ASAE*. 44(1): 155–166.

Fridgen, J. J., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Wiebold, W. J., Fraisse, C. W. 2004: Management zone analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agronomy Journal*. 96: 100–108.

Garrido, M., Conceição, L. A., Bagueña, E. M., Valero, C., Barreiro, P. 2011: Evaluating the need for an active depth-control system for direct seeding in Portugal. In: J.V. Stafford (ed.) Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic, 11-14 July 2011: 371– 381.

Ge, Y., Thomasson, J. A., Sui, R. 2011: Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. *Frontiers of Earth Science* 5: 229–238.

Gebbers, R., Lück, E., Heil, K. 2007: Depth sounding with the EM38 – detection of soil layering by inversion of apparent electrical conductivity measurement. In: Precision Agriculture. University of Thessaly, Greece.

Geiger, S. C., Manu, A. 1993: Soil surface characteristics and variability in the growth of millet in the plateau and valley region of Western Niger. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 45: 203–211.

Gerhards, R., Gutjahr, C., Weis, M., Keller, M., Sökefeld, M., Möhring, J., Piepho, H. P. 2012: Using precision farming technology to quantify yield effect attributed to weed competition and herbicide application. *WeedResearch*. 52: 6–15.

Gerhards, R., Sökefeld, M., Timmermann, C., Krohmann, P., Kühbauch, W. 2000: Precision Weed Control – more than just saving herbicides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*. s. 179–186.

Getting More on the Ground. 2019: Contour Farming: One of the Simplest and Most Effective BMPs. <https://www.gettingmoreontheground.com/2016/07/26/contour-farming-increases-soil-moisture/>. Accessed 26 Nov 2019.

GLCF. 2018c: Data & Products. <http://glcfapp.glc.fumd.edu/data/>. Accessed 15 Jun 2018.

Godwin, R. J., Miller P. C. H. 2003: A Review of the Technologies for Mapping Within-field Variability. *Biosystems Engineering*. 84(4): 393–407.

Grabski-Kieron, U., Kohl, A., Bröckling, F. 2000: Effizienz und Handlungsbedarf der Förderung der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung (AEP). Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe B: Flurbereinigung, Heft 83, Münster.

Grieco, L. A., Rizzo, A., Colucci, S., Sicari, S., Piro, G., Di Paola, D., Boggia, G. 2014: IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues. *Computer Communications*. 54: 32–47.

Gupta, S., Schneider, E., Swan, J. B. 1988: Planting depth and tillage interactions on corn emergence. *Soil Science Society of America Journal*. 52: 1122–1127.

Habyarimana, E., Bonardi, P., Laureti, D., Di Bari, V., Cosentino, S., Lorenzoni, C. 2004: Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. *Industrial Crops and Products*. 20: 3–9.

Halvorson, G. A., Doll, E. C. 1991: Topographic effects on spring wheat yields and water-use. *Soil Science Society Of America Journal*. 55(6): 1680–1685.

Hamouz, P. 2014: Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství. Certifikovaná metodika. Powerprint. Praha. 42 s.

Hamouz, P., Hamouzová, K., Holec, J., Tyšer L. 2013: Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. *Plant, Soil and Environment*. 59: 101–107.

Hamouz, P., Soukup, J., Holec, J., Nováková, K. 2003: Plošná variabilita výskytu plevelů. Sborník z 9. konference: Racionální použití hnojiv, KAVR AF ČŽU v Praze. s. 58–63.

Handler, F., Blumauer, E., Pezzolla, D., Josephinum, I. F. 2014: Einfluss der Umtriebszeit auf Arbeitszeitbedarf und Kosten der Ernte von Kurzumtriebsflächen. 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau. Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 83. Potsdam-Bornim. Dresden. s.158–169.

Hanson, B. R., May, D. M. 2006: Cropcoefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*. 81(3): 381–399.

Heinger, R. W., Meijer, A. J. 2000: Why variable rate application of lime has increased grower profits and acceptance of precision agriculture in the Southeast. In proceeding 5th international conference on precision agriculture, Precision agriculture center, University of Minnesota, ASA/CSSA/SSSA.

Heisel, T., Ersbøll, A. K., Andreasen, Ch. 1999: Weed mapping with Co-Kriging using soil properties. *Precision Agriculture*. 1(1): 39–52.

Hermann, W., Bauer, B., Bischoff, J. 2012: Strip Till, Mit Streifen zum Erfolg, DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 120 s.

Hill, I., Grossey, T., Leech, C. 2004: High-resolution multisensor geophysical surveys for near-surface applications can be rapid and cost-effective. *The Leading Edge*. 23: 684–688.

Hofbauer, M., Gerke, H. H., Bachinger, J., Bloch, R. 2015: Effects of ring cutter application on physical properties of a sandy top soil. In: Petin A.N. (Ed.): *Geoökologijairacional' noenedropol'zovanie: otnauki k praktike. Materialy III Meždunarodnoj naučnoj konferencii molodych učěnych*. 6-10 aprilja 2015 g. Politerra, Belgorod. 133–137.

Holtmann, W. 2000: So haben Sie Verbrauch im Auge. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster 5: 52–55.

Honěk, A. 1996: Geographical variation in thermal requirements for insect development. *European Journal of Entomology*. 93: 303–312.

Honěk, A., Martínková, Z., Lukáš, J., Řezáč, M., Saska, P., Skuhrovec, J. 2017: Mšice na obilninách: biologie, prognóza a regulace. Certifikované metodika, VÚRV. 54s.

Hörbe, T. A. N., Amado, T. J. C., Ferreira, A. O., Alba, P. J. 2013: Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil, *Precision Agriculture*. 14(4): 450–465.

Huete, A. R. 1988: Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25: 295–309.

Hůla, J. 2000: Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha. 46 s.

Hůla, J., Abrham, Z., Bauer, F. 1997: Zpracování půdy. Praha. 144 s.

Hummel, J. W., Ahmad, I. S., Newman, S. C., Sudduth, K. A., Drummond, P. E. 2004: Simultaneous Soil Moisture and Cone Index Measurement. *Transactions of the ASAE*. 47(3): 607–618.

Hunter, J. R., Erickson, A. E. 1952: Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agronomy Journal*. 44: 107–109.

Hupet, F., Vanclooster, M. 2005: Micro-variability of hydrological processes at the maize row scale: implications for soil water content measurements and evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*. 303: 247–270.

Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J. Jr., Reginato, R. J., Hatfield, J. L. 1981: Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agriculture and Meteorology*. 24: 45–55.

Idso, S. B., Jackson, R. D., Reginato, R. J. 1977: Remote-sensing of crop yields. *Science*. 196: 19–25.

Isensee, E., Lüth, H. G. 1992: Kontinuierliche Messung der Bodendichte. *Landtechnik*. 47(9): 447–451.

Itabari, J., Gregory, P., Jones, R. 1993: Effect of temperature, soil water status and depth of planting on germination and emergence of maize. *Experimental Agriculture*. 29: 351–364.

Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., Pinter P. J. Jr. 1981: Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource Research*. 7: 1133–1138.

Janeček, M., Dostál, T., Kozlovský, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázská J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Czech University of Life Science, Prague, Czech Republic. 113 s.

Jeřábek, J., Zúmr, D., Dostál, T. 2017: Identifying the plough pan position on cultivated soils by measurements of electrical resistivity and penetration resistance. *Soil and Tillage Research* 174: 231–240.

Jiang, P., Thalan, K. D. 2004: Effect of soil and topographic properties on crop yield in a North central Corn-Soyabean cropping system. *Agronomy Journal*. 96: 252–258.

Johnson, C. K., Mortensen, D. A., Weinhold, B. J., Shanahan, J. F., Doran, J. W. 2003: Site – Specific Management Zones Based on Soil Electrical Conductivity in a Semiarid Cropping System. *Agronomy Journal*. 95: 303–315.

Jurga, J. 2003: The DGPS Device to Investigating Chosen Physical Soil Properties and Taking Soil Samples of Undisturbed Structure. In: *Tagungsband VDI-MEG-Tagung Landtechnik*, Hannover. 1798: 271–275.

Jursík, M., Kočárek, M., Soukup, J., Holec, J., Hamouz, P. 2011: Chování herbicidů v prostředí. *Listy cukrovarnické a řepářské*. 127(7-8): 223–230.

Kachanoski, R. G., Dejong, E., Van-Wesenbeeck, I. J. 1990: Field scale patterns of soil water storage from non-contacting measurements of bulk electrical conductivity. *Canadian Journal of Soil Science*. 70: 537–541.

Kapička, J., Brant, V., Lang, J., Petrus, D., Kroulík, M., Novotný, I. 2017: Metodický postup pro optimalizaci velikosti zemědělských pozemků, VÚMOP, dostupné na: http://kalkulacka.vumop.cz/docs/Metodika_Kapicka_Brant_Optimalizace_publikace.pdf.

Karimi, D., Mann, D. D., Ehsani, R. 2006: A new methodology for evaluating guidance systems for agricultural vehicles. Paper No. 06148. St Joseph, MI: ASABE.

Keen, B. A., Haines, W. B. 1925: Studies in Soil Cultivation: 1. The Evolution of a Reliable Dynamometer Technique for Use in Soil and Plough. *The Journal of Agricultural Science*. 15: 387–406.

Kistler, M., Brandhuber, R., Maier, H. 2013: Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising–Weihenstephan. 113 s.

Kitchen, N. R., Drummond, S. T., Lundb, E. D., Sudduth, K. A., Buchleite, G. W. 2003: Soil Electrical Conductivity and Topography Related to Yield for Three Contrasting Soil– Crop Systems. *Agronomy Journal*. 95: 483–495.

Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S. T. 1999: Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture*. 12(4): 607–617.

Knappenberger, T., Köller, K. 2012: Spatial assessment of the correlation of seeding depth with emergence and yield of corn. *Precision Agriculture* 13: 163–180

Köhne, M. 2001: Leitlinien für Betriebsentwicklungen. *Neue Landwirtschaft*. 1: 16–18.

König, G. 1989: Die Anfänge der Zugkraftermittlung an Bodenbearbeitungsgeräten. *Agrartechnik*. 39(3): 138–140.

Kováříček, P. 2008: Hnojení a ochrana rostlin. In: Ed: Syrový, O. 2008: Úspory energie v technologiích rostlinné výroby. VÚZT, v.v.i., Praha. s. 64–77.

Kováříček, P., Abraham, Z., Hůla, J., Vlášková, M. 2005: Strojní linky pro hnojení. VÚZT, v.v.i. Praha. 86 s.

Krásá, J., Dostál, T., Vrána, K., Plocek, J. 2009: Predicting spatial patterns of sediment delivery and impacts of land-use scenarios on sediment transport in Czech catchments. *Land Degradation & Development* 21(4): 367–375.

Krásá, J., Tejkl, A., Stašek, J. 2019: Určení rozsahu půdy nechráněné vegetací v období přívalových srážek za účelem posouzení erozního rizika. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 61: 39–45.

Kravchenko, A. N., Bullock, D. G. 2000: Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*. 92(1): 75–83.

Kravchenko, A. N., Thelen, K. D., Bullock, D. G., Miller, N. R. 2003: Relationship among Crop Grain Yield, Topography, and Soil Electrical Conductivity Studied with Cross-Correlograms. *Agronomy Journal*. 95: 1132–1139.

Krohmann, P., Timmermann, C., Gerhards, R., Kühbauch, W. 2002: Ursachen für die persistenz von Unkrautpopulationen. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft*. XVIII. s. 261–268.

Kroulík, M., Brant, V., Záborský, P., Škeříková, M. 2017: Využití provozních dat strojů pro efektivní plánování. *Sborník z konference Hluk*. s. 158–162.

Kumhálová, J. 2014b: Inference of topographical characteristics for precision agriculture. *Geografie*. 119(2): 161–178.

Kumhálová, J., Kumhála, F., Matějková, Š., Kroulík, M. 2011: The relationship between topography and yield in different weather conditions. In: J.V. Stafford (ed.) *Precision Agriculture 2011*, Prague, Czech Republic, 11-14 July 2011: 606–616.

Kumhálová, J., Moudrý, V. 2014a: Topographical characteristics for precision agriculture in conditions of the Czech Republic. *Applied Geography*. 50: 90–98.

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

Kutzbach, H. D., Schutte, B. 2004: Mapping of soil tillage draught force to assess spatial variability of soil properties. In: *Actual Tasks on Agricultural Engineering*, Croatia. 32: 213–220.

Laburda, T., Krása, J., Florian, M., Macháčková, M. 2017: Vývoj povrchu holé orné půdy s využitím stereofotogrammetrie. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 59: 33–37.

Lal, R., Reicosky, D. C., Hanson, J. D. 2007: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research*. 93: 1–12.

Land Viewer. 2018d: <https://eos.com/landviewer/>. Accessed 15 Jun 2018.

Landers, A. 2000: *Farm machinery, selection, investment and management*. Farming press, United Kingdom. 152 s.

Lapen, D. R., Hayhoe, H. N., Topp, G. C., Mclaughlin, N. B., Gregorich, E. G. 2002: Measurements of Mouldboard Plow Draft: 2. Draft Soil Crop and Yield Draft Associations. *Precision Agriculture*. 3(3): 237–257.

Licht, M. A., Lenssen, A. W. Elmore, R. W. 2017: Corn (*Zea mays* L.) seeding rate optimization in Iowa, USA. *Precision Agriculture*. 18: 452–469.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. 2004: *Remote sensing and image interpretation*. Fifth edition. UG/GGS Information Services, Inc., U.S. Environmental.

Liu, H., Zhang, R., Zhang, L., Wang, X., Li, Y., Huang, G. 2015: Stemflow of water on maize and its influencing factors. *Agricultural Water Management*. 158: 35–41.

Loeppky, H., Lafond, G. P., Fowler, D. B. 1989: Seeding depth in relation to plant development, winter survival, and yield of no-till winter wheat. *Agronomy Journal*. 81: 125–129.

Lom, F. 1977: *Ekonomika osevních postupů. VŠZ v Praze, Praha.* 90 s.

Lorenz, F., Münchhoff, K. 2015: *Teilflächern bewirtschaften. Schritt für Schritt. AgrarPraxis kompakt, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.*

Lowenberg De-Boer, J. 1998: *Economic of variable rate planting for corn. Department of Agricultural Economics, Purdue University West Lafayette, Indiana 47907-1145, Staffpaper 98-2.*

Lowenberg-Deboer, J. 1999: *Economics of variable rate planting for corn. In: Robert et al., (ed.) Proc. 4th Int. Conf. on Precision Agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. s. 1643–1652.*

Lück, E. 2000: *Geophysik für Landwirtschaft und Bodenkunde. Stoffdynamik in Geosystemen. Bd. 4.*

Lück, E. 2001: *Bodenunterschiede erkenne. Agrarmarkt. 7: 32–35.*

Lukáš, J., Haberle, J., Chrpová, J., Kroulík, M., Brant, V., Sova, J., Kovář, J., Švestka, A. 2019: *Metodika detekce vodního stresu polních plodin termokamerovým systémem. Certifikovaná metodika, VÚRV. 42s.*

Lukas, V., Novák, J., Neudert, L., Paulová, N., Širůček, P. 2018: *Metody analýzy a interpretace půdních vlastností pro tvorbu aplikačních map v precizním zemědělství. Úroda 66(12): 319–324.*

Lukáš, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., Smutný, V. 2011: *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství. Metodika pro praxi. Mendelova univerzita v Brně, Brno. 33 s.*

Lund, E. D., Christy, C. D., Drummond, P. E. 1999: *Applying Soil Electrical Conductivity Technology to Precision Agriculture. In: P. C. Robert et al. (ed.) Proc. 4th Int. Conf. On Site-specific management for agricultural systems. Bloomington/Minneapolis, Madison, WI.*

Lüth, H. G. 1993: *Entwicklung des Längs-Petrographen als Messverfahren zur Bodenverdichtung. Dissertation Christian-Aubrechts-Universität Kiel.*

Malik, R. S., Jhorar, B. S., Dahiya, I. S. 1985: *Influence of seedbed tith on emergence and root and shoot growth of seedling of some crops. Experimental Agriculture. 21: 59–65.*

Marchenko, O. S. 1989: *Optimising soil cultivation and seedbed preparation parameters referring to soil conditions. In: Land and Water Use, Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering, Dublin, (Dodd, V. A., Grace, P. M. eds.), Balkema, Rotterdam, 2, 1507–1517.*

Martello, M., Dal Ferro, N., Bortolini, L., Morari, F. 2015: Effect of incident rainfall redistribution by maize canopy on soil moisture at the crop row scale. *Water*. 7: 2254–2271.

Martz, L. W., De Jong, E. 1990: Natural Radionuclides in the Soils of a Small Agricultural Basin in the Canadian Prairies and Association with Topography. *Soil Properties and Erosion*. 17(6): 85–96.

Matthias, A. D., Fimbres, A., Sano, E. E., Post, D. F., Accioly, L., Batchily, A. K., Ferreira, L. G. 2000: Surface roughness effects on soil Albedo. *Soil Science Society, American Journal*. 64: 1035–1041.

McBratney, A. B., Pringle, M. J. 1997: Spatial variability in soil-implications for precision agriculture. In: *Precision Agriculture.: Spatial Variability in Soil and Crop* (Stafford J V, ed), First European Conference on Precision Agriculture, SCI Bios Scientific Publishers, Oxford SCI Bios Scientific Publishers. 97(1): 3–31.

McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. 2005: Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 6: 7–23.

McLaughlin, N. B., Burt, S. D. 2000: Spatial Mapping of Tillage Energy. *Proc. Cd-Rom of the 5th Int. Conference On Precision Agriculture (2000)*, Bloomington, Minnesota/USA.

Minařík, R., Žížala, D., Lukas, V., Kraus, M. 2018: Optimalizace vzorkování půd s využitím spektrálních dat pro účely lokálně cílené agrotechniky. *Certifikovaná metodika, VÚZT*. 82s.

Mistr, M., Dostál, T., Novotný, I., Krása, J., Zúmr, D., Brant, V., Kroulík, M., Pívec, J., Středa, T., Středová, H. 2016: Stanovení faktoru ochranného vlivu vegetace pomocí simulátoru deště. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. 56 s.

Mitchell, J. P., Shrestha, A., Mathesius, K., Scow, K. M., Southard, R. J., Haney, R. L., Schmidt, R., Munk, D. S., Horwath, W. R. 2017: Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. *Soil & Tillage Research*. 165: 325–335.

Morgan, C. L. S., Norman, J. M., Wolkowski, R. P., Lowery, B., Morgan, G. D., Schuler, R. 2001: Two approaches to mapping plant available water: EM-38 measurements and inverse yield modeling [CD-ROM]. In P. C. Robert et al. (ed.) *Precision agriculture. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN. 16–19 July 2000*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Morgan, R. P. C. 2005: *Soil Erosion and Conservation*. 3rd Ed. Oxford, Blackwell Publishing.

Mouazen, A. M., De Baerdemaeker, J., Ramon, H. 2005: On-the-go sensor for measurement of dry bulk density referring to soil compaction. In proceeding: Precision Agriculture '05, Wageningen Academic Publishers. s. 523–528.

Mouazen, A. M., Dumont, K., Maertens, K., Ramon, H. 2002: Sensing the Spatial Variation of Soil Compaction in a Sandy Loam Field. AGENG EurAgEng, Budapest. Paper Number: 02-SW-018.

MZe. 2019: Průvodce zemědělcem Kontrolou podmíněnosti platný pro rok 2019. 132 s.

Neave, M., Abrahams, A. D. 2002: Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*. 27: 1011–1020.

Nerušil, P., Kincl, D., Menšík, L., Srbek, J., Procházková, E., Kobzová, D., Šedek, A., Herout, M., Jurka, M., Vach, M. 2017: Zakládání kukuřice seté do travních porostů na orné půdě s využitím půdoochranné technologie pásového zpracování půdy. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně*. 36 s.

Nielsen, R. L. 1995: Site Specific Seeding Rates for Corn. Agronomy Department, Purdue University, West Lafayette, IN 47907-1150, Purdue Pest Management & Crop Production Newsletter (5/5/95).

Noack, S. 2001: Hydraulic in Mobile Equipment. Bosch Rexroth AG, 1st edition, Ome-gon Fachliteratur, Ditzingen, Germany, 202 s.

Nolin, M. C., Forand, G., Simard, R. R., Cambouris A. N., Karam, A. 2001: Soil specific relationships between corn/soybean yield, soil quality indicators and climatic data [CDROM]. In P.C. Robert et al. (ed.) Precision agriculture. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN. 16–19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Novotný, I., Žížala, D., Kapička, J., Beitlerová, H., Mistr, M., Kristenová, H., Papaj, V. 2016: Adjusting the CPmax factor in the Universal Soil Loss Equation (USLE): areas in need of soil erosion protection in the Czech Republic. *Journal of Maps*. 12: 58–62.

Oelze, M. L., Sabatier, J. M., Raspert, R. 2003: Roughness measurements of soil surfaces by acoustic backscatter. *Soil Science society, American Journal*. 67: 241–250.

Olmo, M., Lozano, A. M., Barrón, V., Villar, R. 2016: Spatial heterogeneity of soil biochar content affects soil quality and wheat growth and yield. *Science of the Total Environment*. 562: 690–700.

Paltineanu, I. C., Starr, J. L. 2000: Preferential water flow through corn canopy and soil water dynamics across rows. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 44–54.

Paul, W. 1992: Zugkraftmessungen zur Teilschlagkartierung. *Landtechnik*. 47(10): 490–491.

Peigné, J., Ball, B. C., Roger-Estrade, J., David, C. 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management*. 23: 129–144.

Pivec, J., Brant, V., Moravec, D. 2006: Analysis of the potential evapotranspiration demands in the Czech Republic between 1961-1990. *Biologia*. 61(19): 294–299.

Pivec, J., Moravec, D., Brant, V. 2005: Stanovení evapotranspiračních požadavků krajiny na příkladu 3D modelu ČR, 253–255. In: Šír, M., Lichner, L., Tesař, M., Holko, L., (eds). *Hydrologie malého povodí 2005*. Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha.

Poesen, J., Torri, D. 1988: The effect of cup size on splash detachment and transport measurements: Part I. Field measurements. *Catena*. 12: 113–126.

Pommel, B. 1990: Influence du poids de la semence et de la profondeur de semis sur la croissance et le développement de la plantule de maïs (effects of seed weight and sowing depth on growth and development of maize seedlings). *Agronomie*. 10: 699–708.

Pracilio, G., Adams, R. L., Smettem, K. R. J. 2003: Use of Airborne Gamma Radiometric Data for Soil Property and Crop Biomass Assessment. In: Stafford, J., Werner, A.: *Precision Agriculture – process of the 4th Europe Conference on Precision Agriculture*, Berlin. s. 551–557.

Price, A. G., Dunham, K., Carleton, T., Band, L. 1997: Variability of water fluxes through the black spruce (*Picea mariana*) canopy and feather moss (*Pleuroziumschreberi*) carpet in the boreal forest of northern Manitoba. *Journal of Hydrology*. 196: 310–323.

Price, R. R. 2002: Development of a Dynamic Cone Penetrometer for Research and Private Use. ASAE-Paper No. 02- 1048.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H. 1994: Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sensing of Environment*. 48: 119–126.

Reicosky, D. C., Allmaras, R. R. 2003: Advances in tillage research in North American cropping systems. In: Shrestha A. (Ed.): *Cropping Systems: Trends and Advances*. Haworth Press, Inc., New York. 75–125.

Reining, E., Roth, R., Kühn, J. 2003: Site-specific land use as demonstrated by plannig variable seeding rates. In: J.V. Stafford, A Werner (eds.) *Precision Agriculture, 2003*: 567–572.

Robertson, G. P., Freckman, D. W. 1995: The spatial distribution of nematode trophic groups across a cultivated ecosystem. *Ecology*. 76: 1425–1432.

Röhrs, W., Wilkens, D. 1984: Kraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten. Grundlagen der Landtechnik 34(3): 117–124.

Roth, R., Kühn, J., Werner, A. 2001: Decision support system to derive site specific sowing rates for managing winter wheat within precision agriculture. In: Proceeding of 3rd European Conference on Precision Agriculture, Eds G. Grenier, S. Blackmore, Montpellier, France, Vol. 2.: 701–706.

Rothmund, M., Zipprich, M., Auernhammer, H., Demmel, M. 2003: Zugkraftmessung bei der Bodenbearbeitung als ergänzende Information zur Standortbeschreibung. In: Proceeding of conference: Agricultural Engineering 2003, Hannover, VDI Verlag GmbH, Germany. s. 305–310.

Rovira-Más, F., Zhang, Q., Hansen, A. C. 2011: Mechatronics and intelligent systems for off-road vehicles, Springer.

Rüsseler, M. 2004: Untersuchung von Methoden zur Arbeitstiefenmessung bei der Bodenbearbeitung. Studienarbeit Universität Stuttgart, unveröffentlicht.

Scarlett, A. J., Lowe, J. C., Semple, D. A. 1997: Precision tillage: in-field, real-time control of seedbed quality. Proceeding Precision agriculture 1997, BIOS Scientific Publishers Ltd. 503–510.

Schönfeld, M. V., Heil, R., Bittner, L. 2018: Big Data on a Farm - Smart Farming. In: Hoeren, T., Kolany-Raiser, B., Eds. Big Data in Context. s. 109–120.

Schutte, B., Kutzbach, H. D. 2003: Evaluierung von ortsspezifischen Zugkraftmessungen bei der Bodenbearbeitung. In proceeding: Agricultural Engineering 2003, Tagung Landtechnik, Hannover. s. 299–304.

Schwen, A., Jeitler, E., Böttcher, J. 2015: Spatial and temporal variability of soil gas diffusivity, its scaling and relevance for soil respiration under different tillage. Geoderma. 259–260, 323–336.

Scotford, I. M., Miller, P. C. H. 2005: Applications of Spectral Reflectance Techniques in Northern European Cereal Production: A Review. Biosystems Engineering. 90(3): 235–250.

Sentinel 2. 2018a: Datové specifikace. <http://collgs.czechspaceportal.cz/sentinel-2-datove-specifikace/>. Accessed 15 Jun 2018.

Seufert, H. 1995: Kostensparende Lösungen für Stallanlagen. In: Ergebnisseländwirtschaftlicher Forschung. Justus-Liebig-Universität Gießen. 22: 69–94.

Shanahan, J. F., Doerge, T. A., Johnson, J. J., Vigil, M. F. 2004: Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the great plains. *Precision Agriculture*. 5(3): 207–225.

Shankar, S., Van Raemdonck, F., Maine, D. 2016: *Can Agribusiness Reinvent Itself to Capture the Future?* Bain & Company.

Shepherd, K. D., Cooper, P. J. M., Allan, A. Y., Drennan, D. S. H., Keatinge, J. D. H. 1987: Growth, water use and yield of barley in Mediterranean-type environments. *Journal of Agricultural Science*. 108: 365–378.

Sinergise. 2018: Sentinel Hub. <https://www.sentinel-hub.com/>. Accessed 16 Jan 2019.

Sirjacobs, D., Destain, M. F. 2000: A soil mechanical resistance sensor for on-line application in precision agriculture. Conference AGENG Warwick 2000, Paper Number 00-PA-021.

Skuhrovec, J., Saska, P., Lukáš, J. 2019: Mšice (etapa č. 3). In: Sova, J., Lukáš, J., Haberle, Chrpvá, J., Skuhrovec, J., Saska, P., Madaras, M. J., Kroulík, M., Brant, V., Blažek, J.: Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu TRIO FV10213 „Platforma pro detekci stresových faktorů rostlin v zemědělství“. Praha, Workswell, s.r.o. s. 70–74.

Sniderj, L., Raper, R. L., Schwabb, E. B. 2012: The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), *Industrial Crops and Products*. 37: 527– 535.

Sökefeld, M., Gerhards, R., Kühbauch, W. 2000: Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. – *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*. s. 227–233.

Soukup, J. 2000: Regulace zaplevelení v pojetí precizního zemědělství. Sborník z 6. konference: Racionální použití hnojiv, KAVR AF ČZU v Praze. s. 56–61.

Soukup, J., Hamouz, P., Holec, J. 2003: Regulace zaplevelení v precizním systému hospodaření. Sborník z 9. konference: Racionální použití hnojiv, KAVR AF ČZU v Praze. s. 92–97.

Sparovek, G.; Schnug, E. 2001: Soil tillage and precision agriculture - A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Soil & Tillage Research*. 61(12): 47–54.

Stenberg, B., Rogstrand, G., Bölenius, E., Arvidsson, J. 2007: On-line soil NIR spectroscopy: identification and treatment of spectra influenced by variable probe distance and residue contamination. In: *Precision Agriculture*. University of Thessaly, Greece.

Strudley, M. W., Green, T. R., Ascough, J. C. 2008: Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. *Soil & Tillage Research*. 99: 4–48.

Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Kitchen, N. R. 2001: Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 31: 239–264.

Suomi, P., Ojanne, A., Oksanen, T., Kalmari, J., Linkolehto, R., Teye, F. 2009: Automatic working depth control for seed drill using ISO 11783 compatible tractor. *Precision agriculture '09*, in: E. J. van Henten, D. Goense and C. Lokhorst (eds.) Wageningen, the Netherlands, 6-8 July 2009: 423–430.

Svoboda, J. M., Hess, J. R., Hoskinson, R. L., Sawyer, J. W. 1998: Use of Aerospace Structural Sensor Technology for Soil Physical Characterization. *Proces of the 4th Intercontinental Conference on Precision Agriculture*. Band, B., St. Paul, Minnesota. s. 1207–1210.

Škeříková, M., Brant, V., Pivec, J., Záborský, P., Kroulík, M. 2017: Distribuce srážek v porostech slunečnice roční. *Úroda*. 65(5): 47–50.

Taylor, J. A., Mcbratney, A. B., Viscarra Rossel, R. A. Minansy, B., Taylor, H., Whelan B., Short M. 2006: Development of a multi-sensor platform for proximal soil sensing. In: *Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science*. World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Taylor, R. K., Staggenborg, S. A., Zhang, N., Schrock, M. D., 2000: Using a GIS to Evaluate the Potential of Variable Rate Corn Seeding. Paper No. 00AETC105, ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.

Terrón, J. M., Marques Da Silva, J. R., Moral, F. J. 2011: Alfonso Garcý'a-Ferrer. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. *Precision Agriculture*.

United Nations 2019: *World Population Prospects 2019: The 2019 Revision of World Population Prospects*, https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf

Vakali, C., Zaller, J. G., Köpke, U. 2011: Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming. *Soil & Tillage Research*. 111: 133–141.

Van Bergeijk, J., Goense, D. 1996: Soil Tillage Resistance as a Tool to Map Soil Type Differences. *Procesion of the 3rd Internacional Conference on Precision Agriculture 1996*, Minneapolis, Minnesota/USA.

Van Bergeijk, J., Goense, D. 2001: Soil Tillage Restiance as a Tool to Map Soil Type Differences. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 79(4): 371–387.

Van Der Graaf, E. R., Koomans, R. L., Limburg, J., De Vries, K. 2007: In situ radiometric mapping as a proxy of sediment contamination: Assessment of the underlying geochemical and -physical principles. *Applied Radiation and Isotopes* 65(5): 619–633.

Van Egmond, F. M., Loonstra, E. H., Limburg, J. 2010: Gamma Ray Sensor for Topsoil Mapping: The Mole. *Proximal Soil Sensing, Progress in Soil Science*. 1: 323–332.

Verhulst, N., Govaerts, B., Sayre, K. D., Deckers, J., François, I. M., Dendooven, L. 2009: Using NDVI and soil quality analysis to assess influence of agronomic management on within-plot spatial variability and factors limiting production. *Plant & Soil*. 317: 41–59.

Virk, S. S., Fulton, J. P., Porter, W. M., Pate, G. L. 2019. Row-crop planter performance to support variable-rate seeding of maize. *Precision Agriculture*. 1–17.

Von Haaren, C. 2004: *Landschaftsplanung*. UBT Ulmer, Stuttgart.

Voßhenrich, H. H. 2000: Prototyp für die Ortsspezifische Bodenbearbeitung. Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL, www.preagro.de/veroeff/presskonfGtw2000/prototyp.htm.

Voßhenrich, H. H. 2004: Bodenbearbeitung nd Bestellung. In: *Managementsystem für den ortsspeyifischen Pflanzenbau. Verbundprojkt preagro (Abschlussbericht)*. Münchenberg. s. 579–608.

Voßhenrich, H. H., Marquering, J., Gattermann, B., Träger-Frmy, W., Ortmeier, B., Sommer, C. 2001: Managementsystem for DGPS-supported primary soil tillage. In: *Proceeding Third European Conference on Precision Agriculture, Agro Montpellier*. s. 731–736.

Waggoner, P. E., Berger, R. D. 1987: Defoliation, disease, and growth. *Phytopathology*. 77: 393–398.

Wagner, P. 2001: Gewannebewirtschaftung – Kosten und Nutzen. In: *KTBL Sonderveröffentlichung 034 – Gewannebewirtschaftung, KTBL. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft*. Darmstadt. 30–41.

Ward, B. D., Cox, M. S. 2001: Influences of soil chemical and physical properties on sitespecific cotton production [CDROM]. In P. C. Robert et al. (ed.) *Precision agriculture. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN. 16–19 July 2000*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Wartenberg, G., Dammer, K. H. 2002: Erfahrungen bei der Verfahrensentwicklung zur teilflächenspezifischen Herbizidanwendung in Echtzeit. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII. s. 443–450.

Werner, B., Garbe, V. 1998: Bedeutung der Unkrautverteilung im Winterraps für eine gezielte Bekämpfung nach Schadensschwellen. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft XVI. s. 279–288.

Wezel, A., Böcker, R. 1999: Mulching with branches of an indigenous shrub (*Guierasenegalensis*) and yield of millet in semi-arid Niger. Soil & Tillage Research. 50: 341–344.

Wiesehoff, M. 2005: Teilflächenspezifische Aussat von Winterweizen. Dissertation. Uni Hohenheim, 132 s.

Wiessbach, M. 1998: Flächenbonitur mit dem Horizontalpenetrometer. Landtechnik. 53(2): 68–69.

Williams, A., Davis, A. S., Jilling, A., Grandy, A. S., Koide, R. T., Mortensen, D. A., Smith R. G., Snapp, S. S., Spokas, K. A., Yannarell, A. C., Jordan, N. R. 2017: Reconciling opposing soil processes in row-crop agroecosystems via soil functional zone management. Agriculture, Ecosystems and Environment. 236: 99–107.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1978: Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. US Department of Agriculture Handbook. No. 537, 1–69.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M. J. 2017: Big data in SmartFarming – a review. Agricultural Systems. 153: 69–80.

Wong, M. T. F., Harper, R. J. 1999: Use of On-Ground Gamma-Ray Spectrometry to Measure Plant-Available Potassium and other Topsoil Attribute. Australian Journal of Soil Research. 37: 267–277.

Yurui, S., Lammers, P. S., Daokun, M., Jianhui, L., Qingmeng, Z. 2008: Determining soil physical properties by multi-sensor technique. Sensors and Actuators. 147: 352–357.

Zábranský, P., Brant, V., Pivec, J., Gemerlová, M., Kroulík, M. 2013: Vliv struktury porostů kukuřice seté na distribuci srážek. Sborník z konference: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze. 310–313.

Zábranský, P., Pivec, J., Brant, V., Kroulík, M., Škeříková, M. 2015: The values of crop coefficients and bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe. Irrigation and Drainage. 64(2): 253–252.

Zhu, H., Fox, R. D., Ozkan, H. E., Derksen, R. C., Krause, C. R. 2004: DRIFTSIM, A User-Friendly Computer Program to Predict Drift Distances of Droplets. In Meeting Proceedings. s. 317–323.

Žížala, D., Krása, J., Báčová, M. 2016: Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 154 s.

ISBN 978-80-87111-81-9



9 788087 111819