

PŘÍRUČKA PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ PRO PRAXI

Jan Lukáš, Milan Kroulík,
Kateřina Křížová

2020



PŘÍRUČKA PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ PRO PRAXI

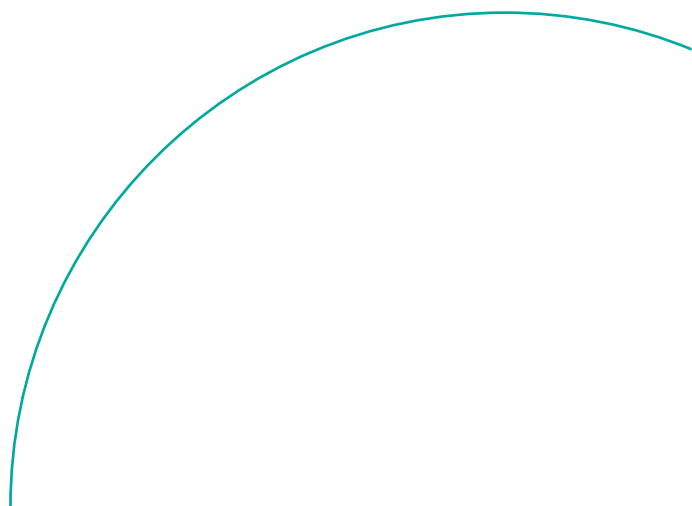
Jan Lukáš, Milan Kroulík,
Kateřina Křížová



OBSAH

Úvod	11
Mapování výnosů	13
Výnosový potenciál	16
Kvalita výnosových dat	18
Růstové modely	20
Využití družicových snímků	20
Dálkový průzkum Země	23
Elektromagnetické záření	23
Vlastnosti snímku	24
Spektrální křivka a indexy	25
Vegetační indexy	25
Družicové platformy	26
Radarová data	29
Geografické informační systémy	31
Analýza trajektorií pohybu a návrhy pro jejich optimalizaci	31
Využití oboustranné telematické komunikace	34
Modifikace pěstebních postupů za účelem snížení energetických a materiálových vstupů	37
Variabilní aplikace a využití telematiky	38
Termální data	39
Variabilní zakládání porostů	41
Telematika a provozní ukazatele strojů	42
Telematika v servisních úkonech a prediktivní systémy hlášení poruch	43
Stresové faktory způsobující variabilitu plodin	44
Variabilní ochrana rostlin	45
Polní robotika a autonomie	47
Fyzická omezení strojních zařízení	47
Vývoj na poli automatizace polních strojů	49
Koncepty robotů pro zemědělství	49
Koncept člověk - robot	51
Autonomní polní robot	51
Příklady provedení, výzkumné projekty	53
Bezpilotní prostředky	54
Robotika v živočišné výrobě	56
Robotika na ČZU v Praze	56
Co přinese přechod na robotickou farmu?	57
Použitá literatura	60





PŘEDMLUVA

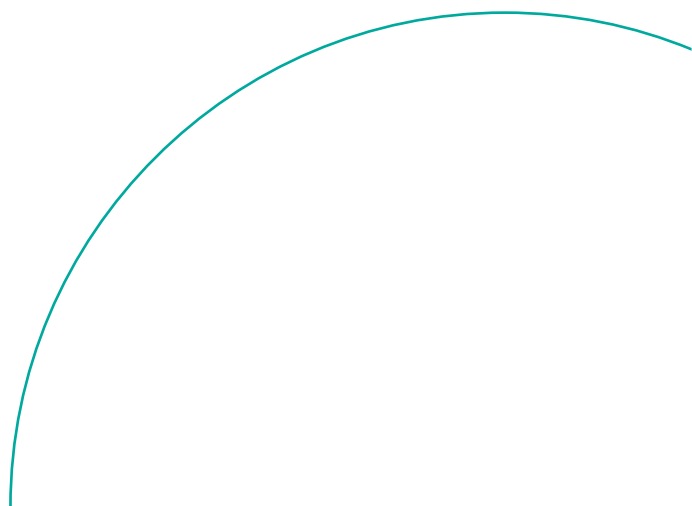
Moderní technologie pronikají do všech oborů lidské činnosti včetně zemědělství, kde výrazným způsobem ovlivňují kvantitu i kvalitu zemědělské produkce. V pozadí těchto technologických změn jsou nové poznatky vědy a výzkumu transformované do inovativních řešení, které provázejí sociální změny i měnící se akcenty na bezpečnost potravin, udržitelné hospodaření a péči o základní přírodní zdroje. Intenzifikace v zemědělství stála vždy na počátku výrazných společenských změn i rozvoje průmyslu. Zpětně se průmyslový pokrok vracel do zemědělství v podobě výkonnějších strojů, energetických a materiálových vstupů. Zemědělství v budoucnosti bude jistě rozdílné oproti dnešku, tak jako se oproti minulosti posunulo zemědělství do dnešní podoby. Zatímco ekonomicky vyspělé státy směřují k extenzifikaci produkce zdůrazňující kvalitu potravin, zdravotní a environmentální aspekty, v ostatních regionech světa intenzita zemědělské produkce narůstá. Jsme tak konfrontováni s řadou, často protichůdných, názorů a požadavků. Na jedné straně je snaha o zajištění kvality produkce v souladu s ochranou přírody, na straně druhé vyvstávají otázky ekonomické, sociální, migrační, právní nebo bezpečnostní, včetně úrovně soběstačnosti v objemu produkci potravin. V tuto chvíli již narážíme na výkonnostní limity techniky a zajištění požadované produkce potravin bude do budoucna spojeno s výraznou modifikací výrobních postupů, které se budou opírat o digitální technologie, senzoriku, datové systémy pro podporu rozhodování a robotiku. Sledování informací, sběr dat jejich analýza, ukládání a následná interpretace budou hlavním nástrojem hledání cest ke zlepšení rozhodování při řízení agrotechnických zásahů. Pokud je produktivita jakékoliv činnosti omezena jejím nejslabším článkem, pak práce s velkými datovými objemy se dostává do popředí zájmu.

Jakkoliv koncepce precizního zemědělství není nová, dostává v souvislosti s širokou dostupností a skokovou změnou výkonnosti nový potenciál, který se daří úspěšně naplňovat v praxi. Jedním z hnacích impulzů této změny je digitalizace procesů. Vzájemné propojení jednotlivých informačních hladin z více zdrojů do společných databází, souvislostí a funkcionalit přináší nové možnosti v řízení a kontrole vstupů.

V době, kdy je většina oborů a činností lidského konání omezena epidemií Covid-19, vyvstává potřeba přípravy na budoucí společenské změny nejen v oblasti vzdělání, ekonomiky, pracovního trhu i sociální struktury. Ať už budoucnost spojujeme se Smart technologiemi, nebo vizí 4.0, celospolečenská akceptace digitálního i virtuálního světa nastupuje s naléhavostí, ve které je současná situace určitým modelovým stavem.

Cílem publikace je představit možnosti soudobé techniky, s výhledem na její další rozvoj. Nechceme opakovat známé postupy, ale ukázat možnosti vzájemného propojování dat a jejich využití a přispět k poznání v tradičním a ušlechtilém oboru lidské činnosti, zemědělství.

Kolektiv autorů

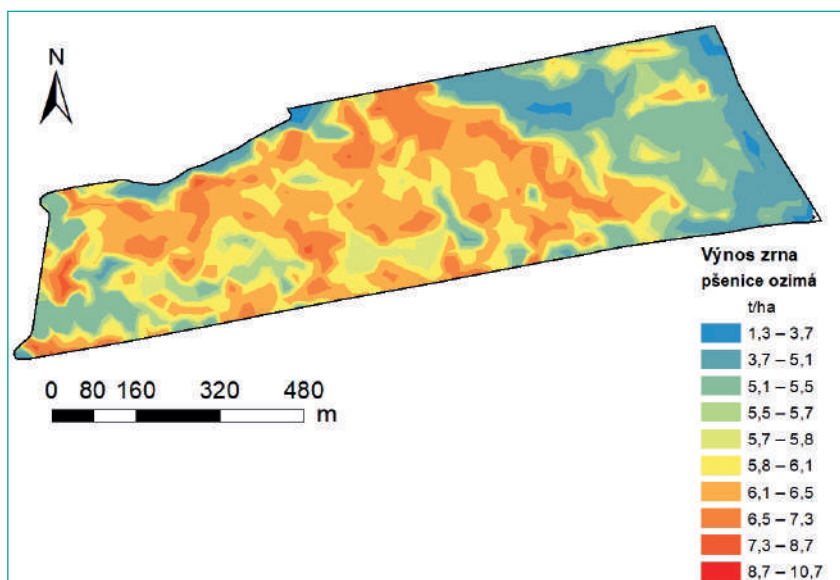


1. ÚVOD

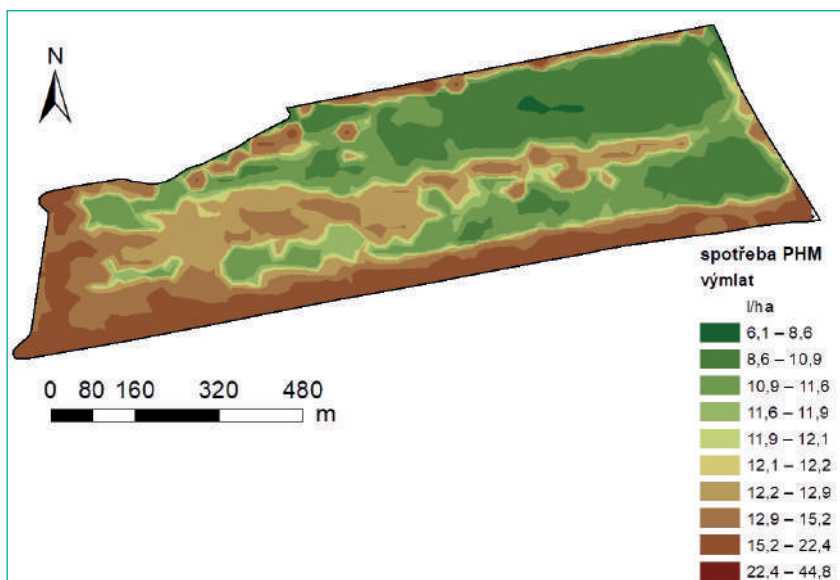
Podpora rozhodovacích procesů v rostlinné výrobě s využitím nových technologických možností je přetrvávající výzvou při jejich praktické implementaci s pomocí informačních a komunikačních technologií. Základním předpokladem efektivního řízení na základě dat je pak individuální přístup k jednotlivým částem pozemku z hlediska propojení biologických, agronomických, technických a ekonomických informací a jejich souvislostí. Datová fúze informací z pozemních zdrojů, databází, dálkového průzkumu a ekonomického kontextu stojí v pozadí celého komplexního úkolu řízení vstupů, který se odvíjí od detailní znalosti variability půdních podmínek, resp. výnosového potenciálu jednotlivých částí pozemků. Ten je stanovován s použitím výnosových map ve spojení s půdními vlastnostmi, kde jsou využívány metody dálkové průzkumu pomocí leteckých nebo družicových snímků dokumentujících historický i aktuální stav porostů a půdy. Vymezení zón pro variabilní aplikace na základě rozdílné výnosové úrovně je jedním z klíčových postupů precizního zemědělství. Obecně přetrvávající praxe však poukazuje na nesystematičnost sběru výnosových dat nebo jejich absenci. Komplikace při jejich dostupnosti však provází i samotná interpretace dat z důvodů metodické nebo technické chybovosti provázející jejich sběr. Absence kritického vyhodnocení surových dat tak může vést ke zkreslení a v důsledku toho i chybného nastavení rozhodovacího procesu.

Tato příručka si klade za cíl přispět k tomu, aby dostupné nástroje a techniky precizního zemědělství byly používány optimálním způsobem při vědomí znalosti způsobů a principů jejich fungování.

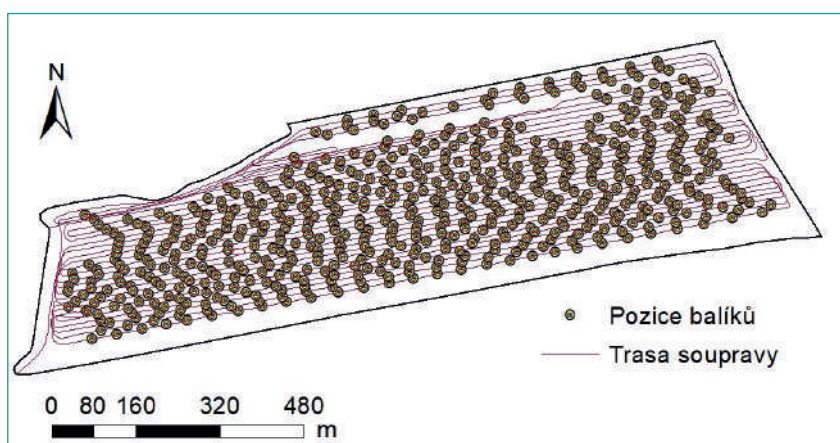
Ačkoliv je příručku možné číst od začátku do konce jako volně propojený text, je především zamýšlena jako pomůcka pro snadnou orientaci v pojmech spojených s precizním zemědělstvím, kdy je prioritou rychlé pochopení určitého termínu.



Obr. 1: Výnosová mapa zrna na hodnoceném půdním bloku (Kroulík).



Obr. 2: Mapa spotřeby paliva během sklizně (Kroulík)



Obr. 3: Trajektorie pohybu soupravy traktoru a lisu a záznam pozice balíků (Kroulík).

MAPOVÁNÍ VÝNOSŮ

Důležitým prvkem v systému precizního zemědělství je mapování výnosů polních plodin. To slouží jednak jako kontrola účinnosti provedených lokálně cílených zákroků v rámci pozemku, zároveň je podkladem pro rozhodování o dalších agrotechnických opatřeních. Aby bylo možno výnosovou mapu vytvořit, jsou zapotřebí informace o poloze a poloze daného místa pozemku. Tyto informace pak musí být doplněny informacemi potřebnými pro určení množství sklizené plodiny. To je možno zjistit dvěma hlavními způsoby. První spočívá v odhadu výnosů na základě různých informací získaných při dálkovém průzkumu Země (DPZ), druhý způsob je založen na sledování okamžité průchodnosti sklizeného materiálu sklizňovým strojem. Na rozdílné úrovni vývoje a uplatnění byly představeny výnosoměrné senzory pro stanovení výnosu pro polní plodiny, ovoce, zeleninu nebo technické plodiny. Od počátku je nicméně nejpropracovanější a nejrozsáhlejší oblastí využití mapování výnosu zrnin (Obr. 1).

S postupným osazováním strojů senzorovou technikou, přibývá dat, která během provozu strojů získáváme. Příkladem může být měření spotřeby pohonných hmot (Obr. 2), nebo využití výkonu motoru. Takováto měření jsou následně významnou metrikou efektivity a ekonomiky zemědělských operací.

Možnosti senzorové techniky také nabízejí výrazný pokrok ve směru regulace jezdové rychlosti a zaplnění výnosové mlátičky na základě množství sklizeného materiálu. Prostorová 3D rekonstrukce z 2D kamer, které monitorují porost před mlátičkou, poskytuje informace o stavu porostu v parametrech výšky, polehlosti včetně jeho směru, mezerovitosti či přítomnosti kolejového řádku. Elektronika stroje na základě signálu zajistí autonomní nastavení jezdové rychlosti. Systém je dále možné provázat s informacemi ze satelitních snímků, které poskytnou doplňující údaje pro modely odhadující výnos (Obr. 4).

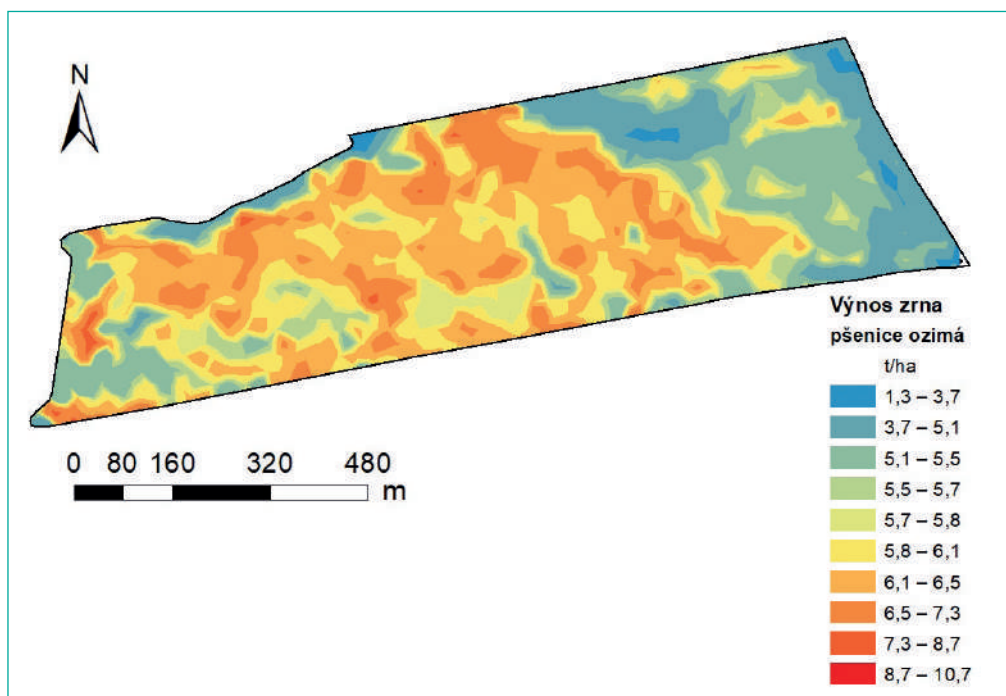
Pro monitorování výnosu slámy, píce a celkově všech plodin lisovaných svinovacími lisami nebo lisami na hranolovité balíky, již byly představeny rozdílné systémy měření výnosu. S využitím příslušné telematiky je možné zároveň provést jednoduchý odhad výnosu. Na obrázku 3.



Obr. 4: Propojení datových zdrojů při sklizni plodin zajistí optimální nastavení jezdové rychlosti a využití výkonu motoru s ohledem na aktuální stav porostu (foto Kroulík).

je záznam pohybu soupravy traktoru a svinovacího lisu. V jednotlivých trajektoriích jsou rovněž vyznačeny pozice vytvořených 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. Úvaha je následující, s menším výnosem slámy bude zapotřebí urazit delší trasu. Při známé šířce záběru mlátičky a relativně konstantní hmotnosti balíku je možné následně odhadnout výnos slámy. Kromě výnosu je k dispozici informace o počtu balíků.



Obr. 5: Mapa odhadovaného výnosu slámy na hodnoceném půdním bloku (Kroulík).



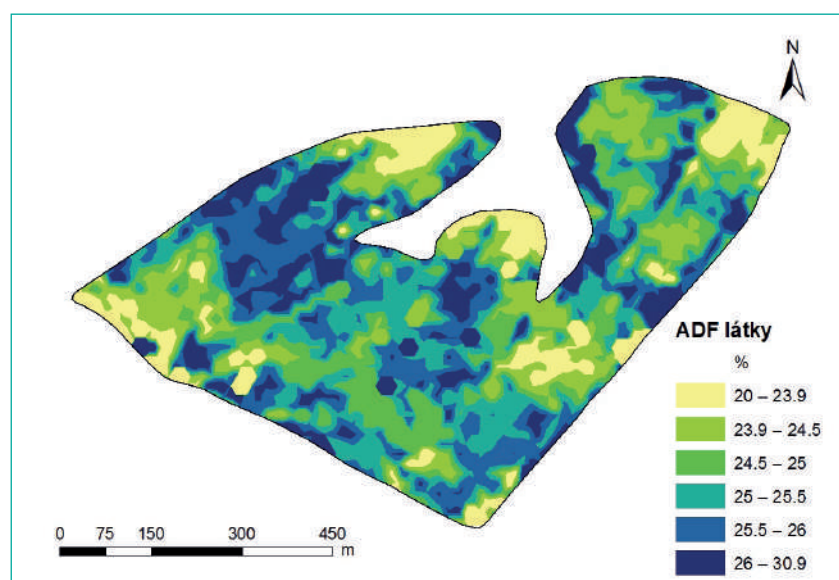
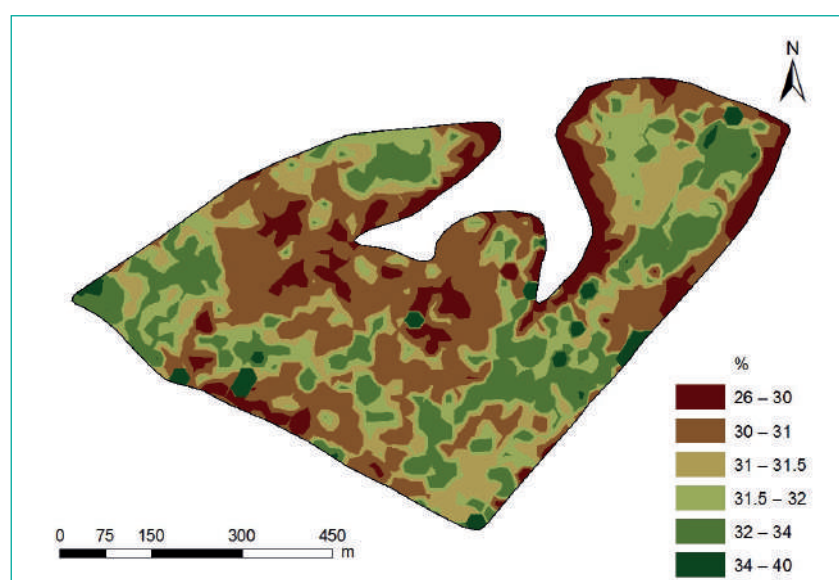
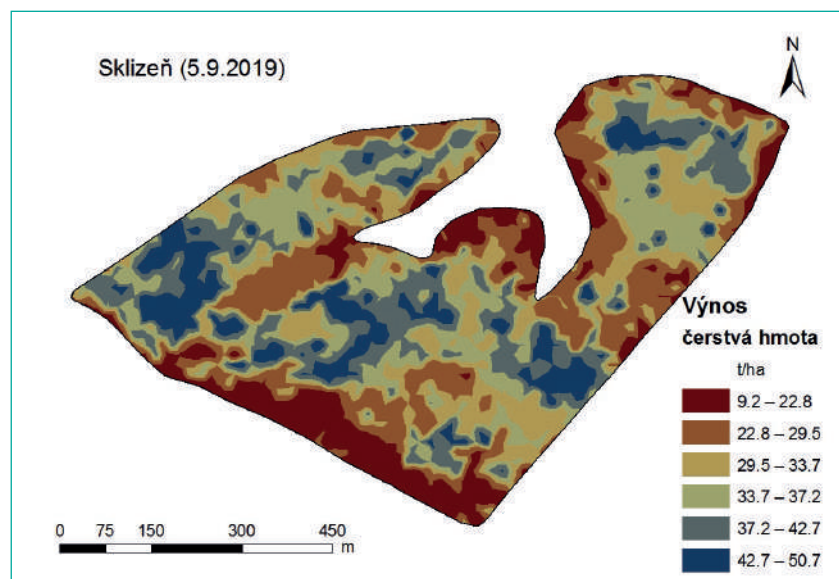
Obr. 6: Sklizecí řezačka Claas se zabudovanou senzorovou technikou. (foto Kroulík).

Z uvedených dat se znalostí polohy bylo následně možné sestavit mapu odhadu výnosu slámy (Obr. 5).

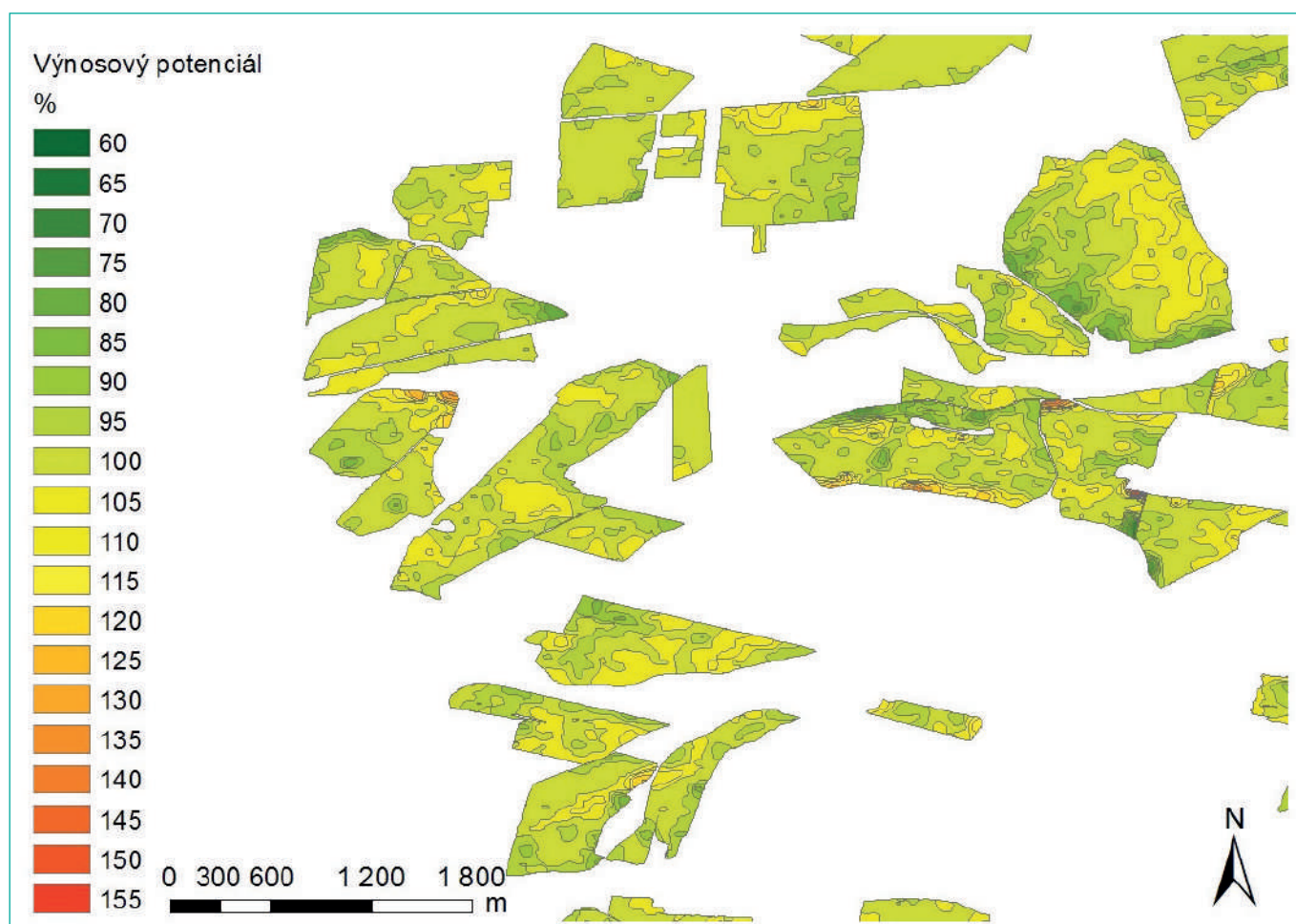
Výrazný pokrok ve sběru dat byl zaznamenán v případě sklizně píce sklizecí řezačkou, jejich zpracování, využití a přenosu. Kromě výnosu jsou neméně důležité parametry kvalitativní. Rozhodují o termínu sklizně, délce řezanky, úpravě řezanky, dávce konzervačních přípravků, výživové hodnotě siláže, konzervaci a mnohých dalších parametrech. Významný přínos spočívá v tom, že řadu parametrů dnes můžeme měřit již v průběhu sklizně a tato data ihned přenášet mezi uživateli, využívat a zpracovávat. Na obrázku 7. jsou demonstrovány mapy výnosu

silážní kukuřice a hodnot obsahu sušiny a vlákniny ADF, sestavené z dat pořízených během sklizně kukuřice s využitím senzoru HarvestLab společnosti John Deere.

Na obrázku 6. je měření výnosu sklizení řezačkou Claas Jaguar, kde je k dispozici dvojice senzorů. Optický senzor NIR slouží pro stanovení kvalitativních parametrů řezanky, především sušiny. Data o sušině jsou využívána pro okamžité autonomní nastavení délky řezanky v průběhu sklizně a množství dodávaného konzervantu. Díky novým technologiím rozrušení zrna a především řezanky je prodlužování délky řezanky důležité z hlediska zlepšení struktury siláže.



Obr. 7: Záznam ze sklizně kukuřice s využitím senzoru Harvest Lab (Kroulík).



Obr. 8: Přehled vybraných pozemků a hodnot rozložení výnosových potenciálů (Kroulík).

Výnosový potenciál

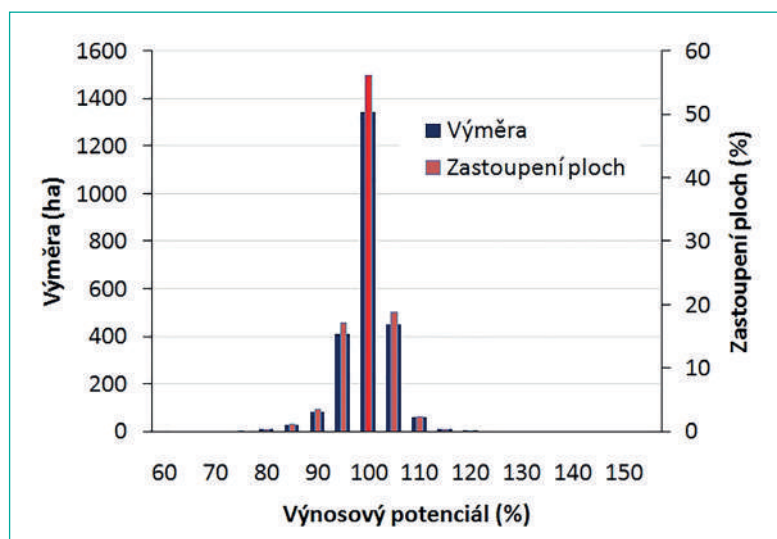
Pro případ, kdy není k dispozici záznam výnosu, lze do určité míry vycházet z mapy výnosového potenciálu. S ohledem na skutečnost, že znalost variability produkčních zón je nezbytná k uplatnění principů precizního zemědělství, mapy výnosového potenciálu, které vychází z hodnocení dlouhodobé řady spektrálních satelitních snímků pořízených v předem daných termínech stupně vegetace, představují alternativu. Obrázek 8. na vybraných pozemcích ukazuje rozložení hodnot výnosového potenciálu. Kromě rozmanitosti tvarů pozemku a jejich výměry je patrná variabilita v úrovni stanovených výnosových potenciálů.

Výnosové potenciály pro následnou kvantifikaci variabilního výsevu byly stanoveny pro pozemky s výměrou vyšší než 5 ha. Na základě škály hodnot výnosového potenciálu

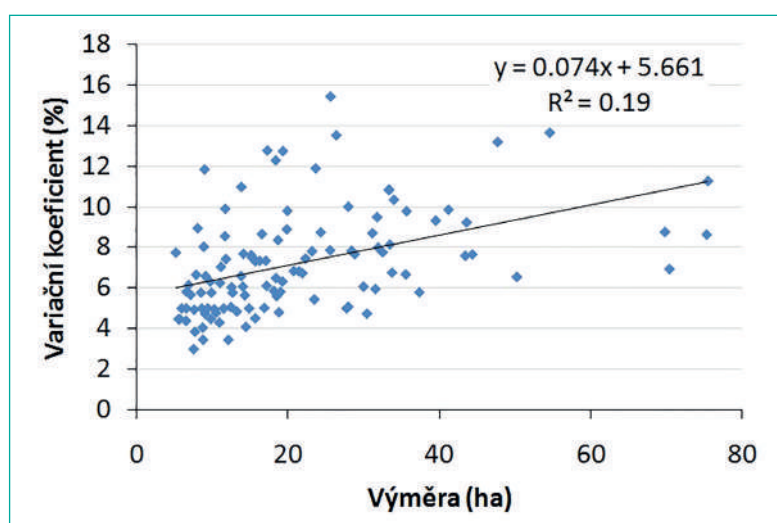
výrazně převládají plochy s potenciálem od 90 do 110 % (Obr. 9).

Úroveň variability výnosového potenciálu je v současné době považována za primární faktor ovlivňující ekonomická hlediska ve vztahu k variabilnímu provedení agrotechnických opatření včetně variabilní změny výsevu, hnojení, ochrany, počtu jedinců na jednotku plochy, ale i ve vztahu k cílené variabilitě struktury porostu.

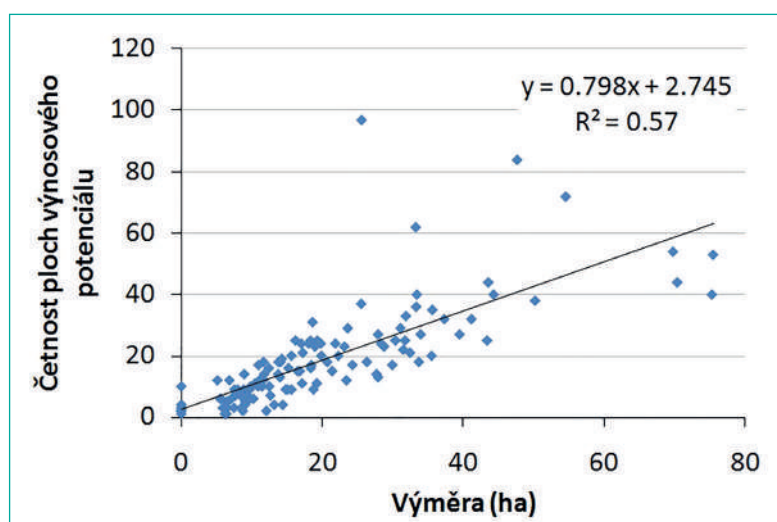
Pokud pro jednotlivé půdní bloky vyjádříme úroveň variability na základě variačního koeficientu, dojdeme k závěru, že s velikostí pozemku narůstá i jeho variabilita (obr. 10). a s tím i zonace (obr. 11). Pokud vycházíme z uvedených dat, je možné konstatovat účelnost nasazení variabilních zásahů a potenciál pro efektivní hospodaření.



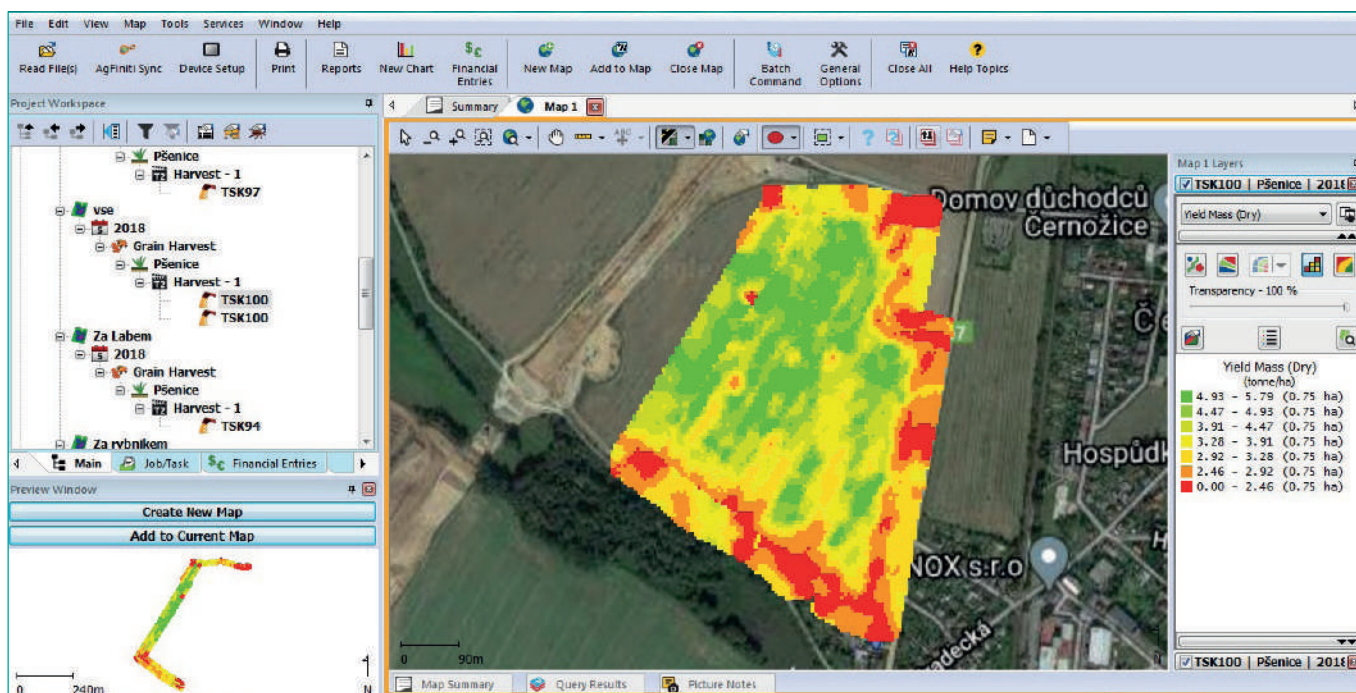
Obr. 9: Zastoupení hodnot výnosového potenciálu (Kroulík).



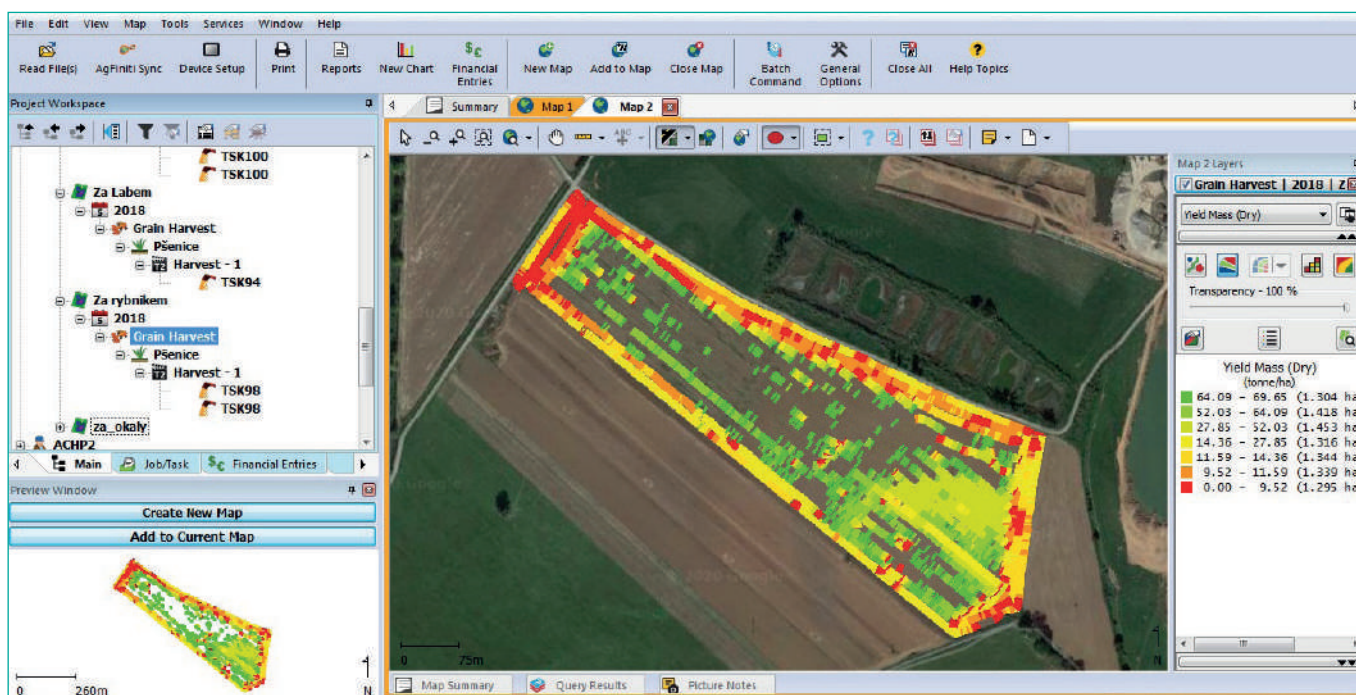
Obr. 10: S vyšší výměrou narůstá úroveň variačního koeficientu (Kroulík).



Obr. 11: S vyšší výměrou narůstá úroveň také počet zón výnosového potenciálu (Kroulík).



Obr. 12: Korektní záznam výnosu bez výpadku signálu (Kroulík).



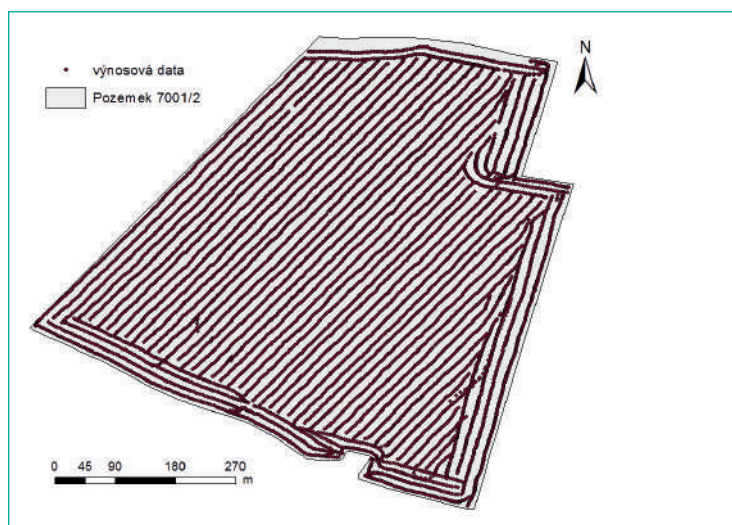
Obr. 13: Nepoužitelný záznam, pořízený během sklizně (Kroulík).

Kvalita výnosových dat

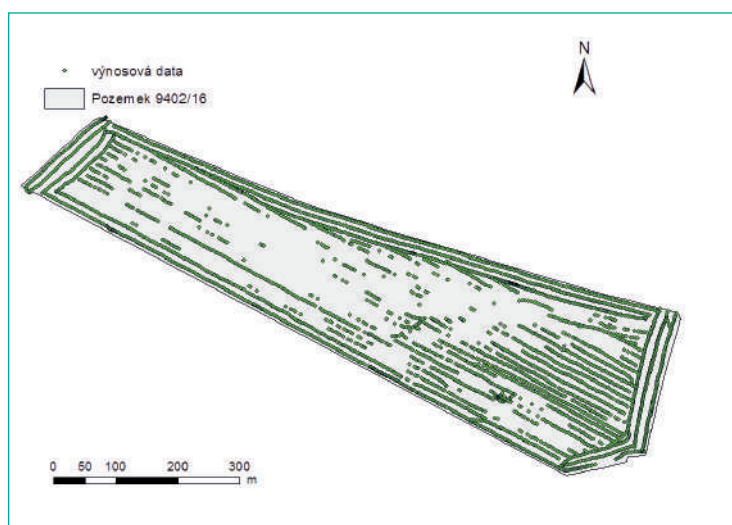
Absence informace výnosové úrovně jednotlivých částí pozemků je kritickým předpokladem pro uplatňování variabilních zásahů. V tomto ohledu je výnosová variabilita často považována za závislou proměnnou, která je odezvou na úroveň a intenzitu vstupů. Zároveň výnosová data představují vstupní informaci pro rozhodovací procesy. Absence informací o prostorovém uspořádání výnosu znamená, že pozemek je hodnocen jako celek bez možnosti kontroly vstupů na jednotlivých částech pozemků. Rovněž je znemožněna

kontrola agrotechnických zásahů. Na následujícím případě je popsán případ, kdy podnik provozuje sklízecí mlátičku vybavenou výnosoměrem a lokalizací polohy, ale potýká se s technickými obtížemi při stanovení výnosového potenciálu, zdrojem potíží jsou výpadky v geolokalizaci během sklizně. Přesto byla data z mlátičky, s veškerými chybami, použita jako by byla bezchybná pro hodnocení výsledků.

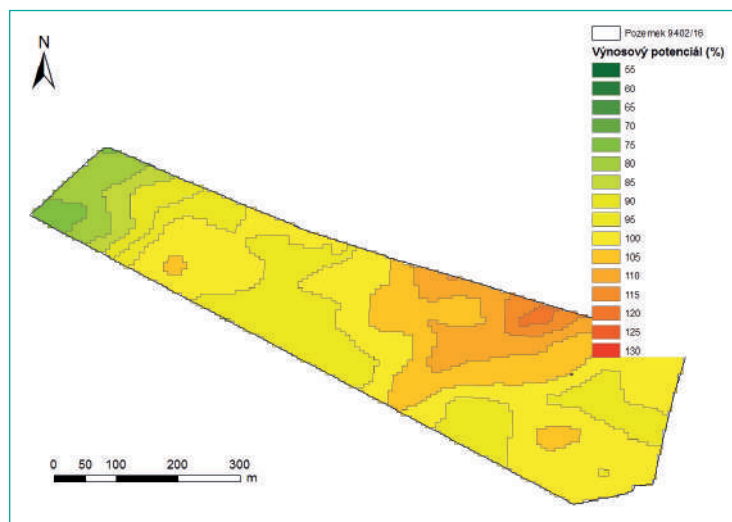
Následující obrázky 12. až 16. dokládají obtíže při pořizování dat během sklizně a možná řešení.



Obr. 14: Korektnost záznamu dokládají body měření, bez výpadku signálu (Kroulík).



Obr. 15: Výpadky dat znamenají ztrátu informace a nepoužitelnost záznamu pro další práci (Kroulík).



Obr. 16: V případě ztráty dat je důležitá dostupnost dalších informací, v tomto případě dat výnosového potenciálu. Satelitní snímky představují výrazný nástroj v dnešním pojetí precizního zemědělství (Kroulík).

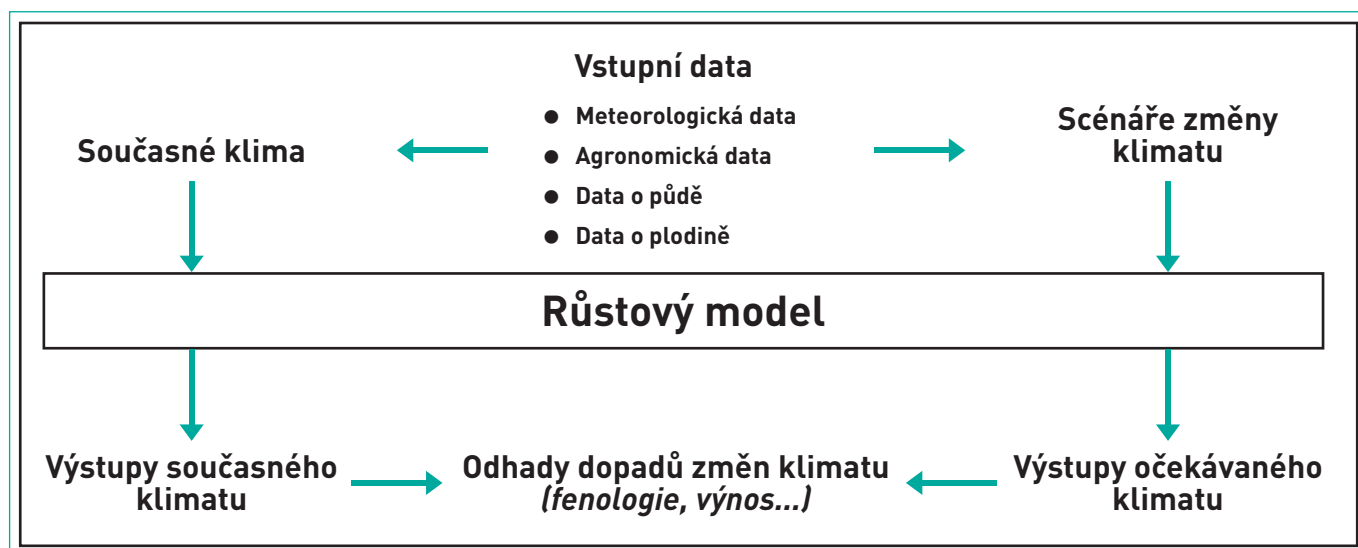
Růstové modely

Růstové modely jsou dalším, byť v provozních podmínkách málo používaným, nástrojem k predikci výnosů zemědělských plodin. Jedná se víceméně o sadu matematických výpočtů, které dokáží simulovat komplexní vztahy a procesy mezi atmosférou, půdou a samotnou rostlinou. V uživatelském rozhraní tak pomocí algoritmů simulují důsledky konkrétních změn prostředí, jako je změna teploty nebo úrovně srážek, na výsledný výnos plodiny (Obr. 17). Tyto informace slouží jako podklad pro optimalizaci zemědělského managementu a při plánování dlouhodobých opatření.

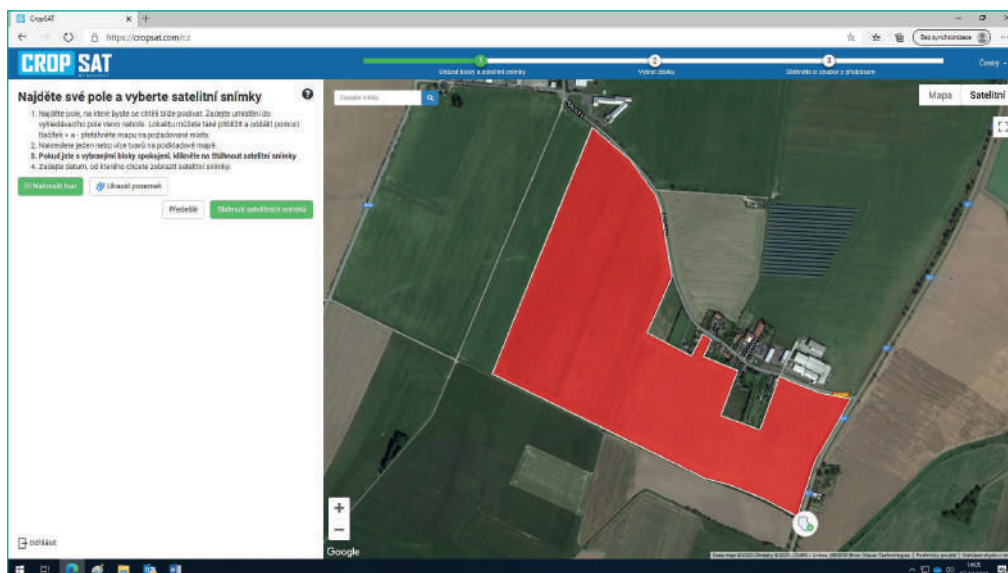
Existuje celá řada růstových modelů, které se od sebe liší svým zaměřením a vnitřní strukturou. Výsledky dvou modelů mohou být i na základě stejné sady dat odlišné. Proto se doporučuje využívat více těchto modelů současně a scénáře definovat na základě jejich průniku. Příkladem modelů použitelných v precizním zemědělství jsou například APSIM, CERES, CROPGRO, WOFOST či EPIC.

Využití družicových snímků.

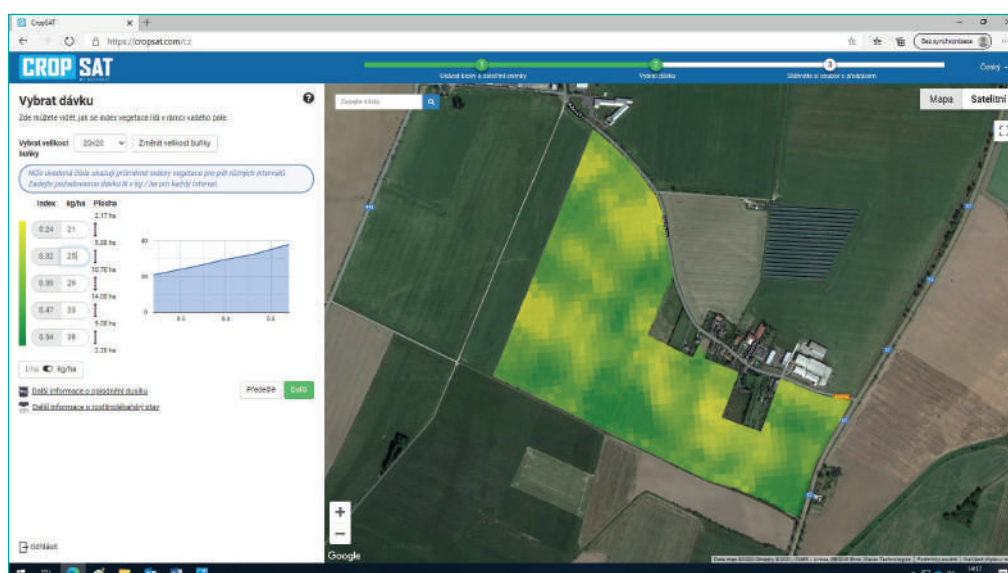
Do současné doby je v provozu řada družic osazených senzory s citlivostí v rozdílných pásmech elektromagnetického záření nebo rozlišením. Z hlediska praktického užití je zásadní evropský program pozorování Země Copernicus, jehož základem jsou provozované družice Sentinel. Na oběžné dráze je provozováno 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, dlouhodobé sucha aj.),



Obr. 17: Schéma obecného růstového modelu (Pohanková, 2016)



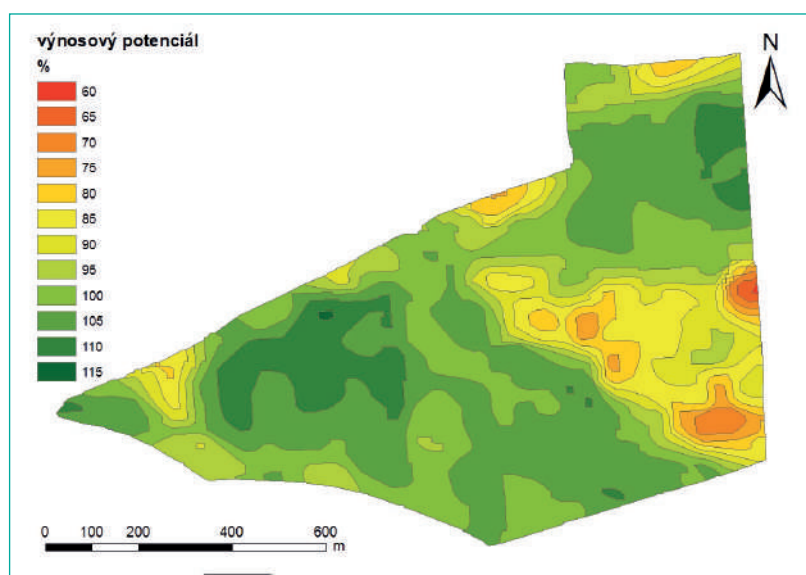
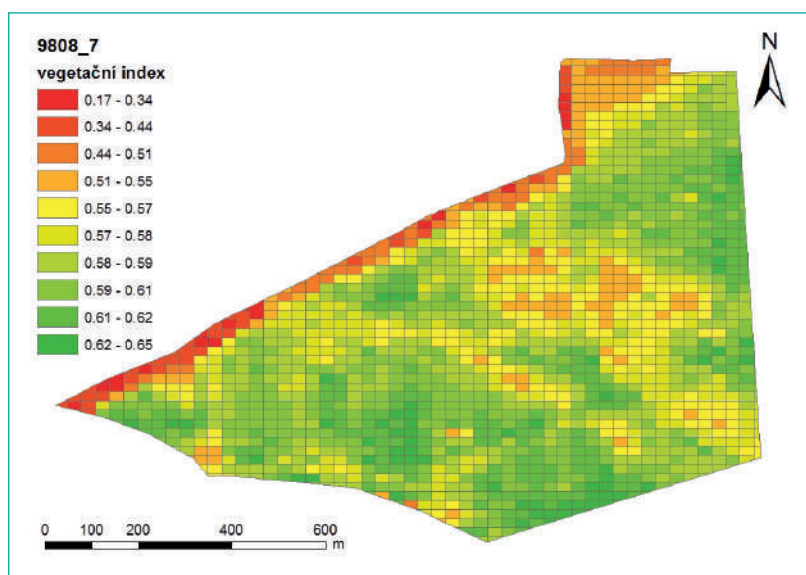
Obr. 18: Výběr pozemku v aplikaci CropSAT (Kroulík).



Obr. 19: Stanovení vegetačního indexu pro vybraný pozemek a datum pořízení snímku (Kroulík).



Obr. 20: Stanovení vegetačního indexu pro vybraný pozemek a datum pořízení snímku (Kroulík).



Obr. 21: Porovnání analyzovaného družicového snímku s hodnotami výnosového potenciálu pozemku (Kroulík).

v zemědělství a mnoha dalších oborech (více na <http://copernicus.gov.cz/copernicus>).

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. 18). Následně z nabídky satelitních snímků vybereme požadovaný termín, pro který je následně spočítán vegetační index (Obr. 19). Po stanovení dávek hnojiva vytvoříme aplikační mapu (Obr. 20).

Výsledkem je opět aplikační mapa, kterou následně uložíme v požadovaném formátu terminálu traktoru, rozmetadla nebo postřikovače.

Aplikační mapa doplněná o biopás, který se neošetřuje, ale slouží pro otáčení souprav. Mapa je připravena k odeslání do terminálu traktoru.

Aplikační mapy je dále možné konfrontovat s podklady v podobě map výnosového potenciálu a rozhodnout se pro finální řešení. Dochází tak k účinnějšímu a efektivnějšímu rozdělení dávek hnojiva v rámci pozemku, kdy se nepřihnojují vyššími dávkami plochy, které vykazují slabší kondici, protože důvodem je plocha s nízkým výnosovým potenciálem. Příklad porovnání ploch je na obrázku 21.

Na uvedených příkladech byla prezentována jednoduchá aplikace pro přípravu aplikačních map pro variabilní hnojení dusíkatými hnojivy.

DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

Pod pojmem Dálkový průzkum Země (DPZ) se skrývá soubor technik, které dohromady reprezentují možnost pozorovat a zaznamenávat objekty a jevy na zemském povrchu. V principu se jedná o koncept, který v posledních desetiletích usnadňuje výzkum a aplikace hned v několika odvětvích lidské činnosti. Kromě zemědělství se tyto metody již běžně využívají například v rámci navigačních systémů, při monitoringu vodních zdrojů, k mapování rozsahů přírodních katastrof, změn ve využití krajiny či v rámci analýz dynamiky lidského osídlení. Základním nositelem informací je v rámci DPZ snímek, pořízený pomocí specifických senzorů z různých typů platform, ať už se jedná o družice, letadla, či v posledních letech velmi oblíbené bezpilotní prostředky. Analýza těchto snímků umožňuje extrahovat intenzity odraženého elektromagnetického záření v různých pásmech jeho spektra a díky znalostem spektrálních charakteristik jednotlivých typů povrchů lze posléze odvozovat další užitečné informace.

Počátky vývoje DPZ lze v určitém smyslu datovat již do období 1. a 2. světové války, kdy bylo prováděno letecké snímkování povrchu především pro vojenské účely, ovšem snímky brzy našly uplatnění i v zemědělství či lesnictví. Zásadní obrat v rozvoji těchto technik však přišel v 50. letech 20. století s rozvojem vesmírných programů. Poslední dekády jsou pak ve znamení rapidního rozvoje technologií, čímž se tyto metody stávají snáze využitelnými z uživatelského i ekonomického hlediska, zatímco generují stále podrobnější výsledky.

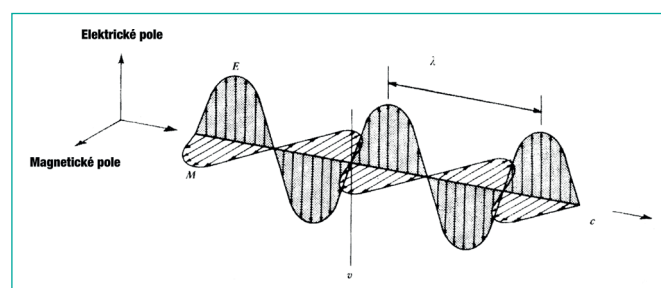
Obecně lze problematiku DPZ dělit na dva samostatné systémy. Podstatou prvního je sběr dat ve formě snímku, přičemž jeho analýza a interpretace tvoří ten druhý. Značný význam je pak těmto metodám přisuzován v rámci studia vegetace. Snímkování a následná analýza spektrální odezvy vegetačního povrchu umožňuje sledovat celou řadu charakteristik, jako je prostorové mapování porostu, jeho zdravotní stav či zásobenost rostlin vodou nebo živinami. Naprosto stěžejní výhodou je zde fakt, že se jedná o metody nedestruktivní, čímž je umožněno neomezené opakování analýz, například v různých fenologických fázích zkoumaného porostu.

Elektromagnetické záření

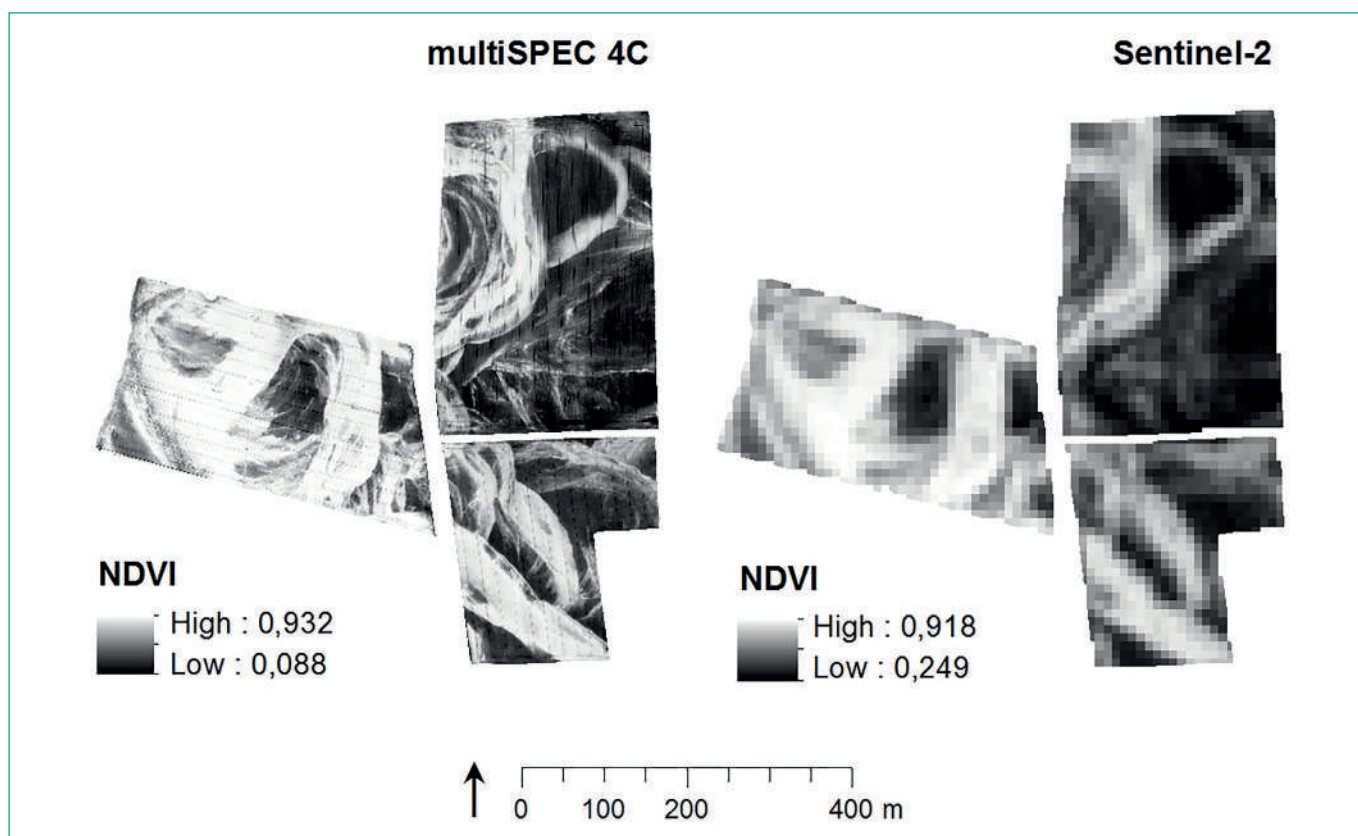
Metody DPZ vycházejí z faktu, že každý objekt či jev na zemském povrchu o sobě vydává informace prostřednictvím tzv. silových polí. Ta obsahují celou řadu charakteristik, které mohou být zaznamenávány a kvantifikovány. Elektromagnetické záření (EMZ) je pak jednou z forem silového pole a je pokládáno za základního zprostředkovatele informací v problematice DPZ.

Podstatou EMZ je šíření energie prostorem ve formě elektromagnetické vlny (Obr. 22). Ta bývá znázorňována pomocí dvou na sebe kolmých sinusoid, z nichž jedna reprezentuje vlnu elektrickou (E) a druhá magnetickou (M). Elektromagnetické vlnění se šíří prostorem rychlostí světla (c) a bývá charakterizováno pomocí dvou základních, nepřímo úměrných veličin. Frekvence (ν) udává počet vrcholů vlny procházející daným bodem za jednotku času a vlnová délka (λ) definuje vzdálenost mezi dvěma těmito vlnovými vrcholy. Rozsah vlnových délek a frekvencí EMZ je bezmála 20 řádů a vytváří spektrum, které se dále konvenčně dělí na tzv. pásma EMZ.

Nejčastěji zmiňovanou oblastí je tzv. viditelné záření (400–700 nm). Na tyto vlnové délky je lidské oko citlivé a je tedy schopné jeho charakteristiky detekovat. Viditelné záření bývá také často označováno jako RGB písmo, neboť se dále dělí na oblast modrého, zeleného a červeného záření. Pro ostatní pásma bylo třeba vyvinout speciální



Obr. 22: Schéma elektromagnetické vlny (upraveno dle Lillesand et al., 2014)



Obr. 23: Porovnání prostorového rozlišení NDVI indexu, generovaného ze snímku pořízeného pomocí bezpilotního prostředku a kamery multiSPEC 4C (vlevo; pozemní rozlišení 1px = 10 cm) a ze snímku z družice Sentinel-2 (vpravo; pozemní rozlišení 1px = 10 m).

senzory pro záznam specifických informací. Obecně platí, že nejvyužívanější oblasti EMZ jsou:

- modré / blue (B) 400–500 nm
- zelené / green (G) 500–600 nm
- červené / red (R) 600–700 nm
- blízké infračervené / near infra-red (NIR) 720–1300 nm
- krátkovlnné infračervené / short-wave infra-red (SWIR) 1300–2500 nm

Pro účely DPZ lze využívat i jiné formy silových polí, například akustické vlnění. Těchto postupů se však využívá jen zřídka, konkrétně pro měření charakteristik objektů a jevů pod hladinou vody.

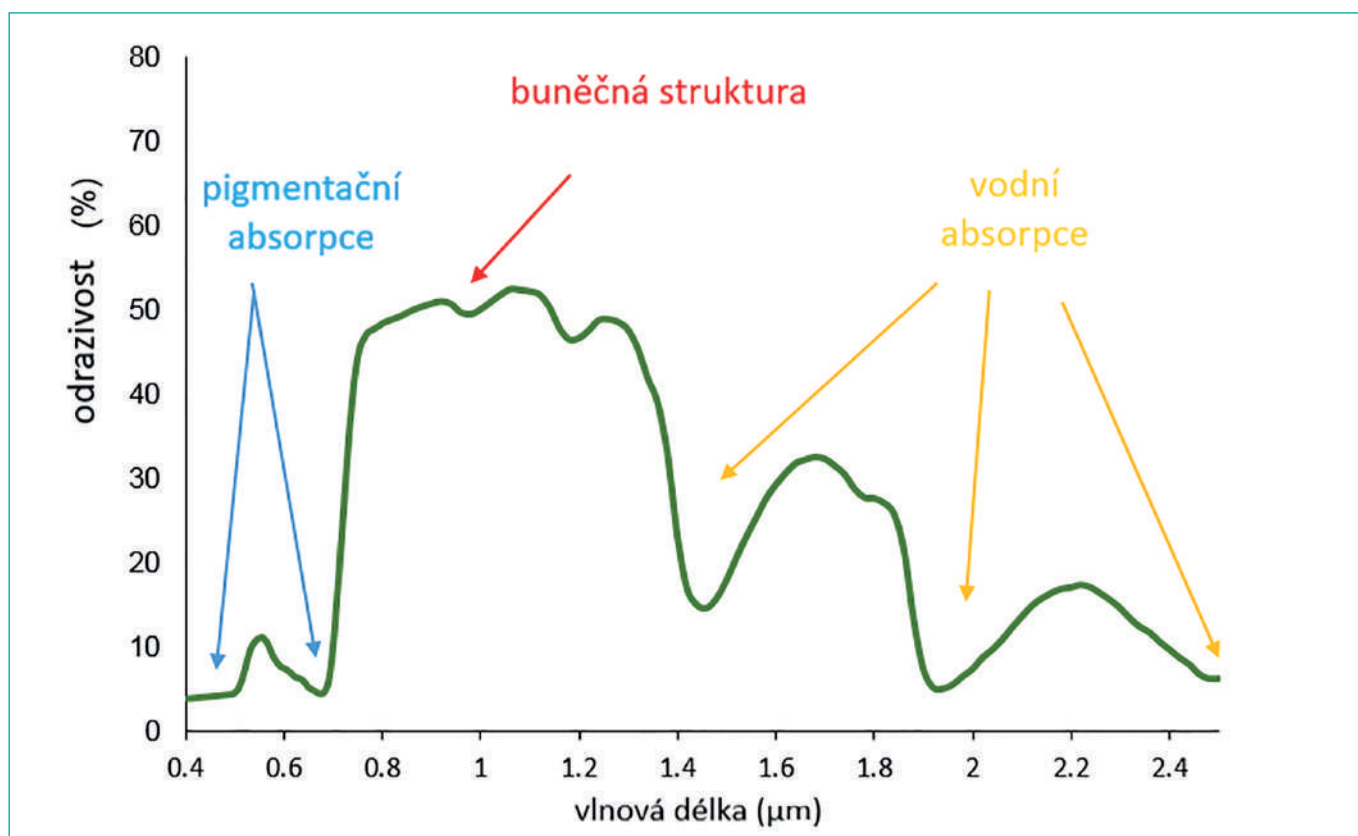
Emitované elektromagnetické záření může být přirozené či uměle produkované. Na základě této charakteristiky se metody sběru dat dělí na aktivní a pasivní. Nejvýznamnějším přirozeným zdrojem elektromagnetického záření je Slunce, které je schopno emitovat $3,84 \cdot 10^{26}$ W čisté energie a je tím pádem základní podmínkou pro přímé pasivní metody DPZ. Nepřímé pasivní metody DPZ jsou založeny na faktu, že každé těleso či hmota s teplotou vyšší, než je absolutní nula (0 K; $-273,16^\circ\text{C}$), emituje záření. Každý zdroj záření pak vyzařuje specifické spektrum vlnových délek a intenzit, které lze dále analyzovat. S umělými zdroji záření pak pracují aktivní metody DPZ. Tyto zdroje využívají především radary, ale také lasery. Radar emituje energii ve formě krátkého pulsu, který tak vytváří elektromagnetickou vlnu s velkým výkonem a především, čímž se liší od přírodních zdrojů, vlnu polarizovanou.

Vlastnosti snímku

Již bylo zmíněno, že hlavním nositelem informací v rámci problematiky DPZ je snímek. V raných fázích vývoje těchto technik samozřejmě vznikaly snímky analogové, zatímco dnes je již naprostá většina záznamů pořizována v digitální formě. Klady a zápory lze ovšem najít na obou stranách.

Základním parametrem snímku je jeho rozlišení. Obecně se uvádí čtyři typy rozlišení, z nichž každé charakterizuje míru detailu poskytované informace. Časové rozlišení v podstatě udává možnost opakovatelnosti snímání. Týká se především snímků pořizovaných z družicových platform, které obíhají kolem Země v určitém intervalu. Prostorové rozlišení už přímo definuje míru prostorového detailu, kterou snímek obsahuje (Obr. 23). Základní jednotkou digitálního obrazu je pixel, do kterého je informace ukládána pomocí tzv. digitálního čísla (angl. Digital number [DN]). Velikost hrany pixelu pak tedy definuje prostorové rozlišení snímku, kde s klesající velikostí pixelu nepřímo úměrně stoupá prostorové rozlišení.

Radiometrické rozlišení pak úzce souvisí s výše zmíněným digitálním číslem. Ve své podstatě, tento typ rozlišení definuje citlivost senzoru a schopnost převodu zaznamenané informace právě na DN. Zatímco například 1-bit rozlišení umožní vizualizovat pouze dvě úrovně detailu (binární obraz), 8-bit záznam poskytne těchto úrovní již 256. A konečně pak spektrální rozlišení snímku charakterizuje vlnové délky, které byly senzorem snímány.



Obr. 24: Průběh spektrální křivky typický pro odrazivost vegetačního povrchu (upraveno dle Humboldt State University, 2018)

Pro správnou interpretaci dat z DPZ je nezbytné znát charakter změn EMZ při jeho interakcích s prostředím. Tyto změny způsobují tzv. nehomogenity prostředí. Těmi může být jakýkoliv hmotný objekt, ať už se jedná o atom nebo velké přírodní či umělé objekty nacházející se v atmosféře nebo na povrchu Země. V okamžiku vlastní interakce tzv. primární elektromagnetická vlna vyvolává na povrchu kontaktní hmoty vznik tzv. sekundární elektromagnetické vlny. Ta se od primární vlny liší svou intenzitou či energií, vlnovou délkou, polarizací a směrem šíření. Sekundární elektromagnetická vlna se v závislosti na vlastnostech kontaktní hmoty může a) odrážet, b) být propuštěna či c) být hmotou pohlcena. Stěžejní komponentou je v případě pořizování snímku frakce odraženého záření. Veličinou, která charakterizuje míru odraženého záření, je spektrální odrazivost. Ta dává do poměru množství odraženého a množství dopadajícího záření a v souvislosti s konkrétními vlnovými délkami určuje pro jednotlivé skupiny povrchů jejich tzv. spektrální chování.

Spektrální křivka a indexy

Míru odrazivosti napříč elektromagnetickým spektrem pak charakterizuje tzv. spektrální křivka (Obr. 24), kterou lze v případě vegetace rozdělit do tří základních oblastí. V první řadě se jedná o oblast pigmetační absorpce s vlnovými délkami v rozmezí 400–700 nm. Rostlinné pigmenty jsou nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje spektrální chování vegetace. Nejčastěji zastoupené zelené barvivo chlorofyl je schopno pohlcovat až 90 % dopadajícího záření v modré a červené části spektra. Nejvyšší odrazivost na-

opak vykazuje v zelené oblasti, čímž se vysvětluje lidským okem vnímané zelené zbarvení rostlin. Z důvodu vysoké míry absorpce zde není složka odraženého záření příliš intenzivní. Následuje oblast buněčné struktury v rozsahu 700–1300 nm, tedy ve vlnových délkách blízkého infračerveného záření. Zde je naopak zaznamenávána výrazně vysoká odrazivost. Tento nárůst a také značná variabilita hodnot je způsobena specifickou morfologií listu u jednotlivých rostlinných druhů. Především pro analýzy vodního stresu rostlin je pak využitelná oblast vodní absorpce, která se nachází ve vlnových délkách 1300–3000 nm. Pro tento region je charakteristická nepřímá úměra odrazivosti a obsahu vody v rostlinném materiálu.

Znalosti typického průběhu spektrální křivky se využívá při výpočtech tzv. spektrálních indexů. Jedná se o širokou skupinu ukazatelů, od kterých lze odvozovat charakteristiky různých typů povrchů. V zásadě jde o jednoduché poměry odrazivosti ve specifických oblastech elektromagnetického spektra. V současné době je popsáno již přes stovky těchto indexů, přičemž jsou stále vyvíjeny nové. Jejich aplikaci lze najít nejen v zemědělství, ale i v rámci managementu požárů, v lesnictví, geologii, při monitoringu těžkých kovů, kontaminace půdy či vodních zdrojů.

Vegetační indexy

Vegetační indexy (VI) jsou jednou z nejvýznamnějších skupin spektrálních indexů. Vztahy pro jejich výpočet jsou tvořeny poměry odrazivosti v různých pásmech EMZ tak, aby zdůraznily specifické vlastnosti vegetace (Tab. 1). Nejčastěji

využití nacházejí VI při stanovení obsahu biomasy a zdravotního stavu rostlin. Je totiž známo, že zdravá a prosperující rostlina pohlcuje značné množství EMZ v oblastech viditelného záření, zatímco v oblastech blízkého infračerveného spektra záření naopak silně odráží. V případě rostliny ve špatné kondici se tento poměr ovšem výrazně zploštuje. Na tomto principu je postaven výpočet základního indexu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Různými modifikacemi výpočetních vztahů pak lze dosáhnout přesnějších výsledků například pro širokořádkové plodiny, kde je třeba potlačit vliv půdních pixelů (SAVI), či se zaměřovat na odhady obsahu chlorofylu, dusíku nebo listové plochy.

Tab. 1: Vztahy pro výpočet nejběžněji používaných vegetačních indexů a možnosti jejich aplikace (upraveno dle Index DataBase1)

Aplikace	Index	Výpočet
Biomasa, výnos	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$
	SR (Simple Ratio)	NIR/R
	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$(1.5(\text{NIR}-\text{R})) / (\text{NIR}+\text{R}+0.5)$
Obsah chlorofylu	CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index)	$((\text{NIR}-\text{Rededge})/(\text{NIR}+\text{Rededge})) / ((\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}))$
	CVI (Chlorophyll Vegetation Index)	NIR/G^2
	TCI (Triangular Chlorophyll Index)	$1.2(\text{Rededge}-\text{G})-1.5(\text{R}-\text{G}) * (\text{Rededge}/\text{R})^{-2}$
Listová plocha	EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2.5((\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+6\text{R}-7.5\text{B})+1)$
	WDRVI (Wide Dynamic Range Vegetation Index)	$0.1(\text{NIR}-\text{Rededge}) / 0.1(\text{NIR}+\text{Rededge})$
Obsah dusíku	NDNI (Normalized Difference Nitrogen Index)	$(\log(1/1510\text{nm})-\log(1/1680\text{nm})) / (\log(1/1510\text{nm})+\log(1/1680\text{nm}))$
Obsah vody,	LWCI (Leaf Water Content Index)	$(\log(1-(\text{NIR}-\text{MIDNIR}))) / (-\log(1-(\text{NIR}-\text{MIDNIR})))$
	WBI (Water Band Index)	$970\text{nm}/900\text{nm}$
	MSI (Moisture Stress Index)	$1599\text{nm}/819\text{nm}$

Širší vlnové délky jsou pak využívány při hodnocení vodní zásobenosti rostlin (oblast vodní absorpce, viz kap. Spektrální křivka a indexy).

Poznatky v oblasti spektrální analýzy rostlin jsou současně převáděny do praxe. Jedním z příkladů aplikace výsledků vědeckého výzkumu je vývoj ručních senzorů, které bývají zpravidla programovány na stanovení konkrétního typu informace. Tyto přístroje obecně vyzařují specifické vlnové délky, zaznamenají poměry odrazivosti, provedou výpočet a uživateli vrátí hodnotu daného indexu. Práce s takovými přístroji je jednoduchá a efektivní při snaze získat rychlé orientační informace pro konkrétní bod. Nicméně, pro přesnější aplikace je mnohem vhodnější prostorová informace, kterou lze získat zpracováním DPZ snímků.

Družicové platformy

Senzory, pořizující snímky DPZ, jsou zpravidla instalovány na určitý typ platformy operující ze vzduchu. Zkraje vývoje metod DPZ se jednalo především o letadla a horokovzdušné balóny. Dnes však již naprostá většina DPZ dat vzniká s využitím bezpilotních prostředků či umělých vesmírných těles neboli družic.

Vypuštěním družice Sputnik v roce 1957 začala éra využívání umělých vesmírných těles ke studiu Země a vesmíru. Během 20. a 21. století pak bylo na oběžné dráhy vysláno nemalé množství družic, buď za účelem sledování meteorologické situace, nebo k mapování přírodních zdrojů a dynamiky jejich vývoje (Tab. 2). Družice pro studium přírodních jevů využívají zpravidla polární oběžnou dráhu, kde je pohyb tělesa synchronizován s pohybem Slunce. Je tak umožněno snímání konkrétního místa vždy ve stejném čase, tedy za přibližně stejných světelných podmínek. Zdroje družicových dat se ve smyslu dostupnosti dělí na komerční a volné. Komerční družice poskytují data s různými úrovněmi prostorového, spektrálního i časového rozlišení. Avšak zásadní nevýhodou je jejich pořizovací cena. Proto stále více roste obliba využití volně dostupných dat, které reprezentují družicové systémy Landsat pod USGS (United States Geological Survey) a Sentinel pod ESA (European Space Agency).

Landsat je nejstarším družicovým systémem navrženým k získávání pravidelných informací o zemském povrchu. V oblasti DPZ hraje zásadní roli v rámci rozvoje získávání dat a veškeré nově vznikající systémy jsou s ním porovnávány. Realizace projektu Landsat byla iniciována ve

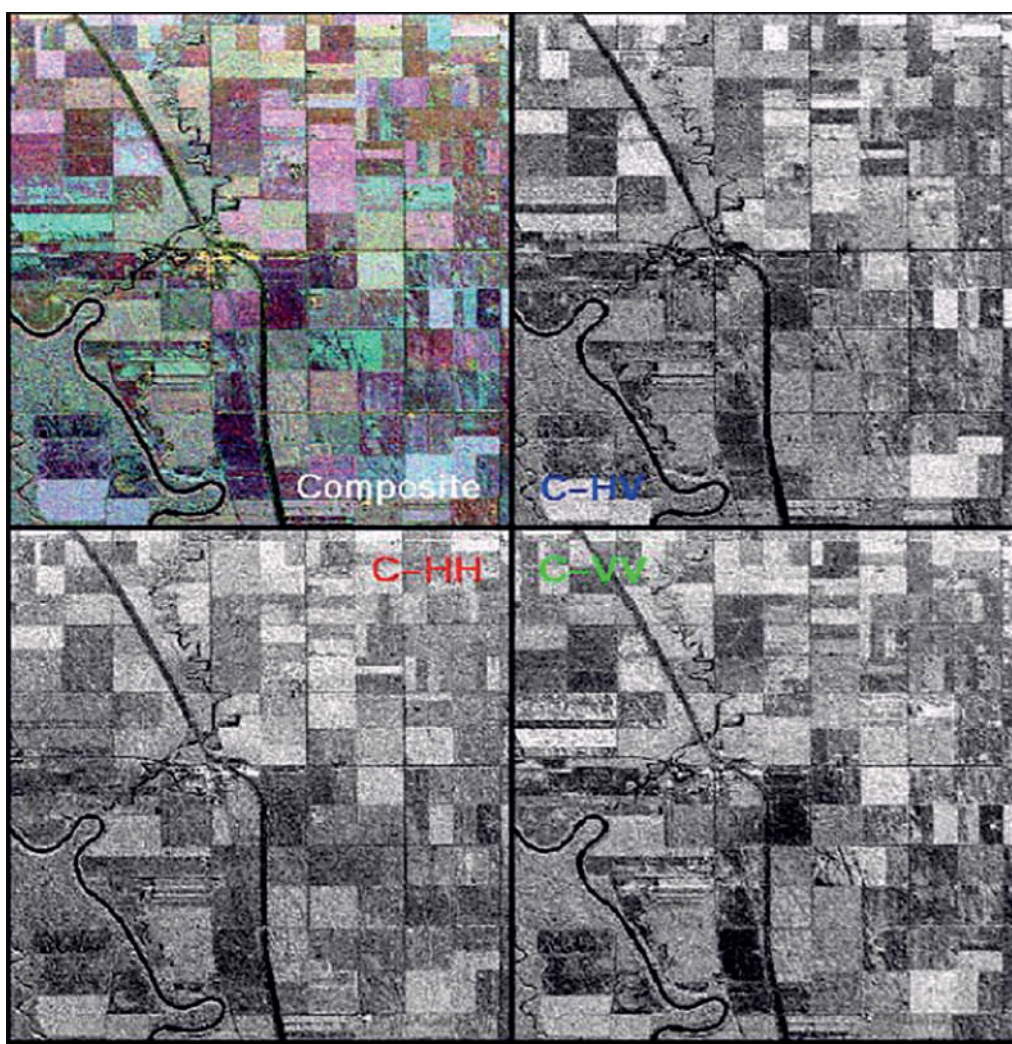
Tab. 2: V současnosti operující družice, využívané pro monitoring vegetace. Volně dostupné zdroje jsou uvedeny tučně (upraveno dle Satellite Imaging Corp, 2017).

Název družice	Spektrální rozlišení	Prostorové rozlišení [m]
WorldView-1	Panchromatické	0.46
WorldView-2	Panchromatické 8 multispektrálních pásem	0.46 1.84
WorldView-3	Panchromatické 8 multispektrálních pásem 8 SWIR 12 CAVIS (correction bands)	0.31 1.24 3.70 30
WorldView-4	Panchromatické 4 multispektrální pásma	0.31 1.24
GeoEye-1	Panchromatické 4 multispektrální pásma	0.46 1.84
QuickBird	Panchromatické 4 multispektrální pásma	0.65 2.62
SPOT 7	Panchromatické 4 multispektrální pásma	1.5 6
RapidEye	5 multispektrálních pásem	5
Pleiades-1A and -1B	Panchromatické 4 multispektrální pásma	0.5 2
Landsat-7	Panchromatické 6 multispektrálních pásem 1 Termální pásma	15 30 60 (převzorkováno na 30)
Landsat-8	Panchromatické 8 multispektrálních pásem 2 Termální pásma	15 30 100 (převzorkováno na 30)
Sentinel-2A a -2B	13 multispektrálních pásem	10 (VIS + NIR) 20 (RedEdge + SWIR) 60 (Pásma atmosférických korekcí)

Spojených Státech Amerických na základě úspěchů planetárního výzkumu, a to Ministerstvem vnitra (Department of Interior), Ministerstvem Zemědělství (Department of Agriculture) a NASA.

První družicí systému Landsat byl ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), později přejmenován na Landsat 1. Na oběžnou dráhu byl vypuštěn 23. července 1972 následován družicemi Landsat 2 a Landsat 3. Vypuštění Landsat 4 v roce 1982 zahájilo éru tzv. družic druhé generace, která pokračovala Landsatem 5 roku 1984. Tyto družice měly oproti předchozím podstatně nižší oběžnou dráhu, což mělo zajistit lepší prostorové rozlišení pořizovaných snímků. Na rozdíl od družic první generace, které byly vybaveny rekordéry k ukládání dat, Landsat 4 a 5 posílaly data buď přímo na sběrné stanice na zemském povrchu nebo přes komunikační satelit Tracking and Data Relay Satellite (TRDS). Kromě neúspěšného startu Landsatu 6 roku 1993, se řada družic systému Landsat vyvinula po v současnosti operující Landsat 7 a zatím poslední Landsat 8. V plánu už je ovšem vypuštění Landsatu 9 a to předběžně na rok 2021. Družicový systém Landsat jako takový pořídil velké množství cenných dat, které přispěly mj. k porozumění vegetačním procesům.

Družicový systém Sentinel Evropské kosmické agentury je podstatně mladší než Landsat, ovšem i přesto se již řadí mezi nejvýznamnější zdroj dat DPZ. Mise Sentinel-1 až Sentinel-5 dohromady přispívají k rozvoji poznání v oblasti monitoringu atmosféry, oceánů či zemského povrchu. Dále pomáhají v oblastech bezpečnosti, mapování krizových situací či sledování globální klimatické změny. V problematice precizního zemědělství zatím našla uplatnění mise Sentinel-1, která pořizuje radarové snímky povrchu Země bez ohledu na denní dobu či atmosférické jevy. Taková data jsou tak využitelná například při mapování přírodních katastrof, jako jsou povodně a sesuvy půdy. Avšak využitelnost radarových dat v rámci monitoringu zemědělské produkce je v poslední době také předmětem výzkumu s velkým potenciálem. Mise Sentinel-2, která snímá povrch multispektrálním skenerem s vysokým prostorovým rozlišením, je ovšem považována za hlavní zdroj družicových dat pro aplikace precizního zemědělství.



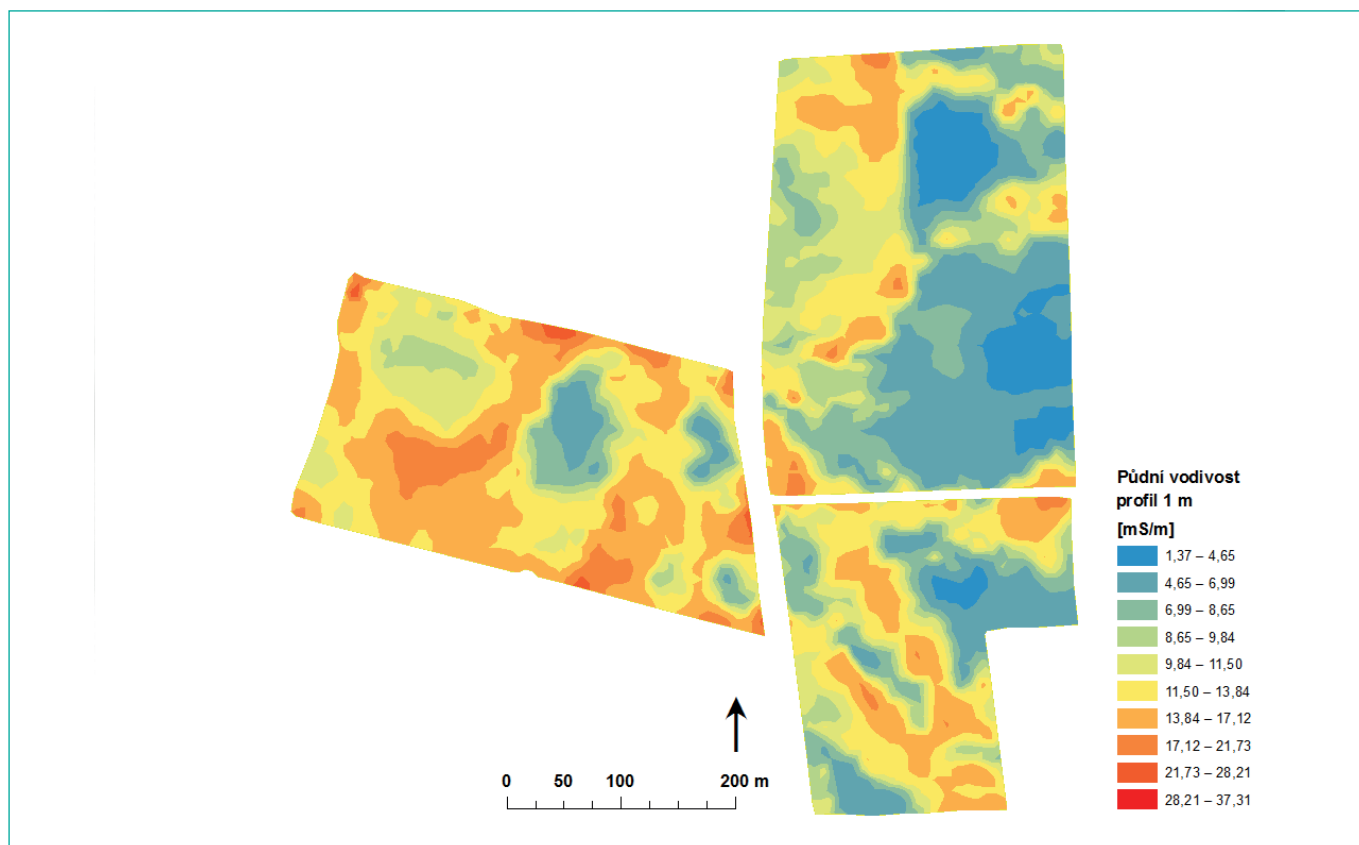
Obr. 25: Barevný kompozit (vlevo nahoře) tvořený kombinací HH, HV a VV polarizací (Canada Centre for Remote Sensing).

Radarová data

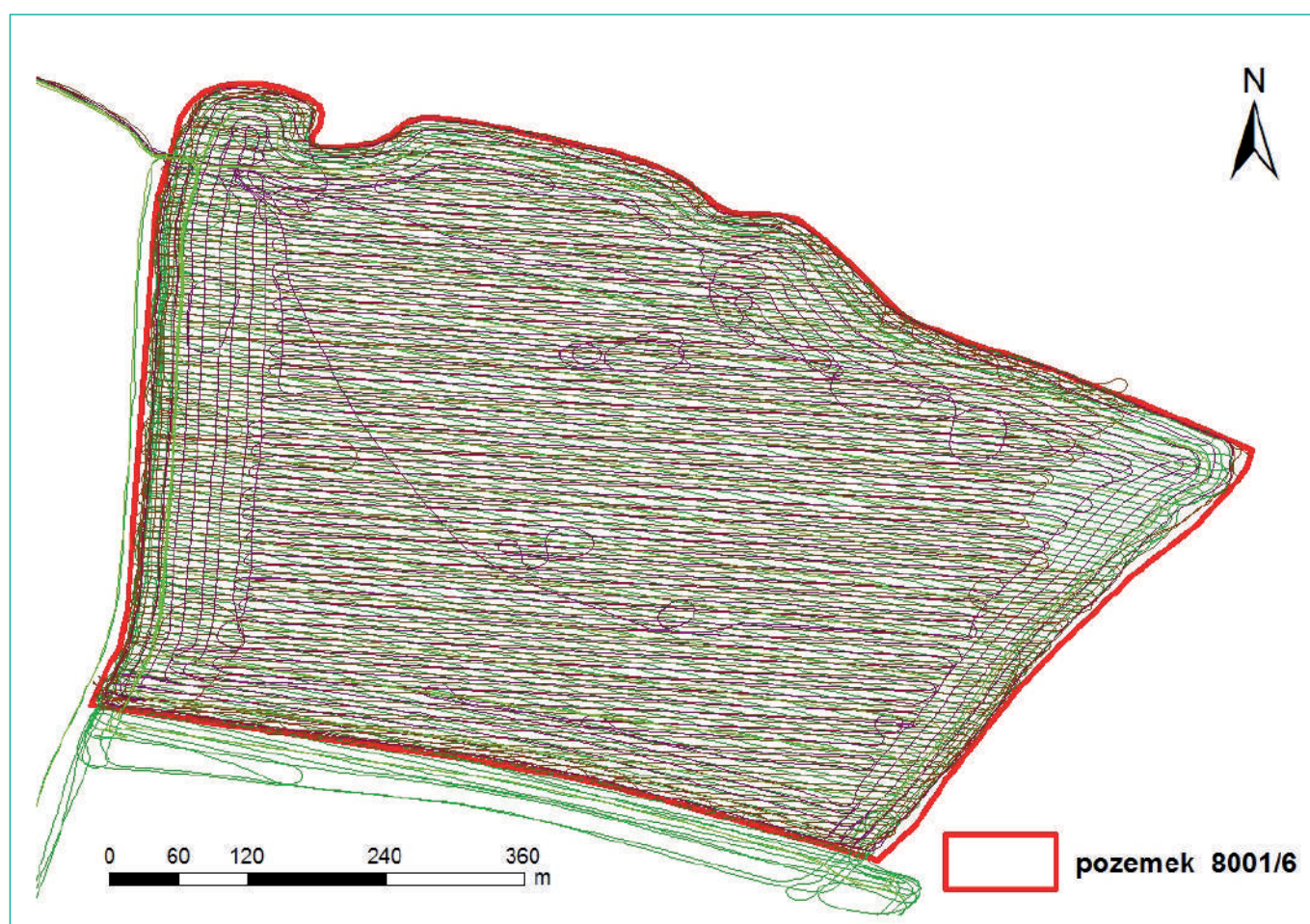
K dálkovému hodnocení porostů se dnes již běžně využívají multispektrální senzory a z nich počítané vegetační indexy, pracující s poměry odrazivosti elektromagnetického záření ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra. Kritickým požadavkem při zpracování multispektrálních snímků z družicových platforem je však absence oblačnosti. Použitelnost těchto snímků je tedy závislá na aktuálních meteorologických podmínkách. V reakci na toto omezení v současné době vzrůstá zájem o využití radarových dat. Vlnové délky v řádech milimetrů až metrů jsou už schopny procházet případnou oblačností, mlhou či slabým deštěm, což zajišťuje dostupnost dat bez ohledu na stav počasí nad snímanou scénou. Při kontaktu s povrchem jsou radarové vlny schopné do jisté míry pronikat i do půdy či sněhové pokrývky. Proto jsou často využívány v rámci geologických průzkumů. Signál zobrazovacích radarů je jimi aktivně vysílán a po odrazu opět přijímán, přičemž je generován značně odlišný typ snímku, než zaznamenávají multispektrální senzory. Měřené hodnoty jsou ve snímku prezentovány v odstínech šedi, vyjadřující míru zpětně odraženého signálu a jeho charakter. Tyto vlastnosti jsou z fyzikální podstaty ovlivněny vlastnostmi půdy (drsnot povrchu a vlhkost) a vlastnostmi vegetace (objem a vlhkost).

Zásadní charakteristikou radarových dat je polarizace. Ta v zásadě popisuje vztah mezi orientací vysílané a přijímané vlny. Pokud radar vysílá horizontálně polarizovanou vlnu a zpět přijímá buď opět horizontální (HH) či vertikální (HV), hovoří se o tzv. single polarizaci. Duální polarizace pak charakterizuje stav, kdy anténa přijímá obě polarizace současně. Intenzita odraženého záření je pak v rámci daných polarizací rozdílná a lze ji proto využít například při rozpoznávání zemědělských plodin. Zde k vizuální orientaci dobře slouží kompozit tvořený snímky různých polarizací. Ty do kompozitu vstupují zvýrazněné v systému RGB (Obr. 25), čímž ve výsledku zajišťují odlišení konkrétních typů povrchů.

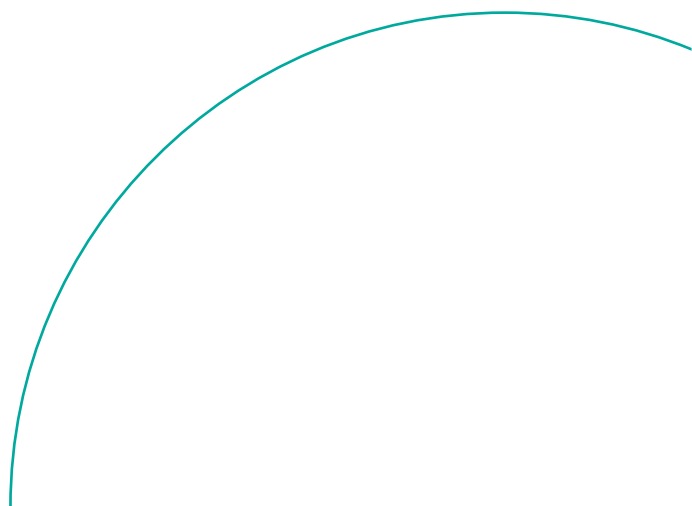
Současné studie zaměřené na využití radarových dat se zabývají především jejich vztahem k půdní vlhkosti. Ovšem i v rámci studia vegetace mají radarová data značný potenciál. V poslední době se ověřuje jejich vhodnost pro hodnocení dynamiky vývoje porostu a predikci výnosu zemědělských plodin. Zásadní je zde analýza radarových dat ve vztahu k výnosové mapě s otázkou, zda lze pomocí zpětně odraženého radarového signálu určit oblasti s nízkým, resp. vysokým výnosem.



Obr. 26: Mapový výstup pro prezentaci prostorové informace o elektrické vodivosti půdy na zemědělském pozemku.



Obr. 27: Intenzita přejezdů po pozemku před založením porostu cukrové řepy (Kroulík).



GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

Postupný vývoj a inovace ve všech oblastech DPZ mají za následek také stále větší množství vznikajících dat. Pro jejich vizualizaci, provádění analýz a interpretaci výsledků bylo třeba vytvořit vhodné prostředí. Byla proto vyvinuta celá řada programů, které tyto činnosti umožňují. Zvláště pak od přelomu tisíciletí, kdy došlo k rozšíření bezdrátových technologií, internetu a mobilních zařízení, stává se tato oblast stále více veřejně přístupnou a využívanou.

Otázkou vizualizace a zpracování dat se zabývá geoinformatika, poměrně mladá vědní disciplína propojující poznatky geografie s informačními technologiemi. Byly vyvinuty tzv. Geografické informační systémy (GIS), které uživatelům umožňují manipulaci s daty, aniž by nutně museli být obeznámeni s předchozími kroky, jako například jak jsou data ukládána nebo jaké postupy vedly k jejich získání. Počátky GIS se datují do pozdních 60. let 20. století a od této doby zaznamenávají velmi rychlý rozvoj. Každá dekáda přinesla konkrétní inovace, jako například vizualizace a modelování prostorových dat v letech 70., propojení s databázemi v 80. a složité mapové analýzy v 90. letech.

Podstatou práce v GIS je propojení vizuálního zobrazení prostorově vztažených dat ve formě mapy a dat uložených v databázích, které často obsahují řadu polohopisných a popisných charakteristik. Takto propojené atributy umožňují provádění širokého spektra analýz podle specifických požadavků konkrétního projektu. Ve vztahu k DPZ lze například provádět výpočty rozloh pozemků, vykreslování odběrných bodů či ploch se specifickým managementem, či klasifikaci různých typů rastrových dat (Obr. 26). Prostředí GIS lze využít nejen k těmto analýzám, ale také k prezentaci jejich výsledků. Nástroje GIS umožňují vytváření mapových výstupů, které efektivně vystihují požadovanou informaci.

Kromě vlastních dat lze pro práci v GIS využívat také data přístupná na internetu, tzv. WMS služby. Existuje celá řada mapových serverů, které poskytují data týkající se různých odvětví lidské činnosti. Poznatků geoinformatiky lze kromě oblasti samotné geografie využít

například ve státní správě, při řešení otázek ochrany přírody nebo dále v architektuře či cestovním ruchu.

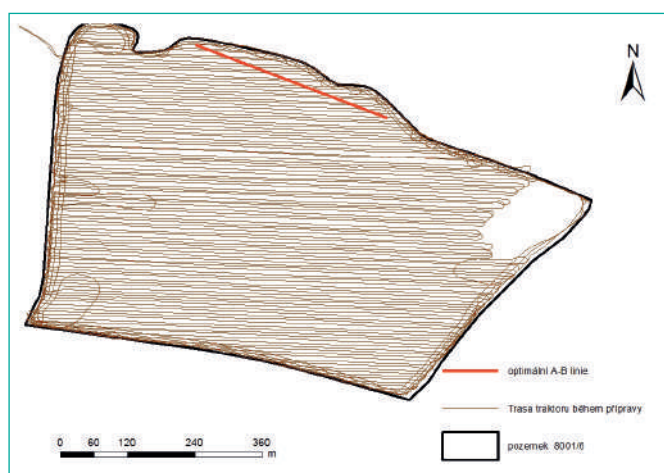
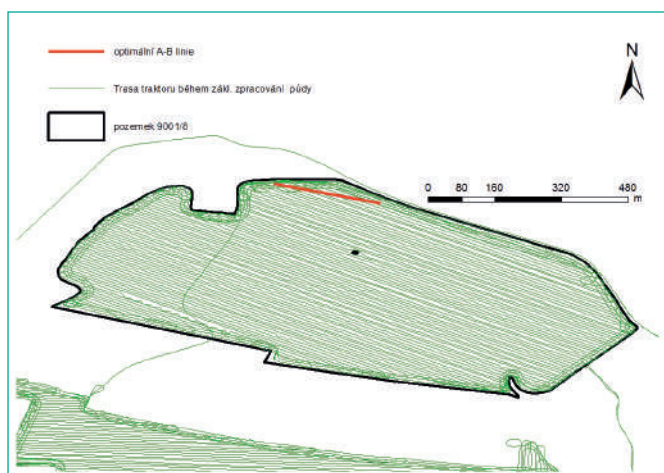
Analýza trajektorií pohybu a návrhy pro jejich optimalizaci

Přejezdy technikou představují výrazný zásah do stavu půdního prostředí a přímo souvisí s navyšováním nežádoucího technogenního zhutnění půd. Řada autorů řešila zatížení orné půdy přejezdy během roku nebo v rámci osevního postupu. U malého podniku nebylo přejezdy mechanizace zatíženo 3,3 % povrchu půdy a 2,7 % povrchu bylo přejeeto jen jednou, 75 % povrchu půdy bylo přejeeto 2x a více, 15 % bylo přejeeto 10x a 2 % povrchu 27x a více. U velkého podniku nebylo přejezdy mechanizace zatíženo 10,9 % povrchu půdy a 1,3 % povrchu bylo přejeeto jen jednou, 76 % povrchu půdy bylo přejeeto 1x a více, 9 % bylo přejeeto 8x a 2 % 19x a více. Díky telematické máme reálný obraz intenzity přejezdů, který je následně patrný během celé vegetace, případně jsou dopady pozorovatelné po několika letech.

Na obrázku 27. jsou znázorněny trajektorie jízd techniky na pozemku s cukrovou řepou. Pokud bychom data zobrazili plošně v podobě skutečných stop pneumatik, korelovaly by s hodnotami uvedenými

Na základě záznamu jízd je možné provádět optimalizaci pohybu agrotechniky. Jako základní parametr v uvedeném případě byl zvolen tvar pozemku. Je zřejmé, že pokud nerespektujeme svažitosť pozemku, jedná se v některých případech o řešení nevhodné. I v takovém případě je možné hledat určitý kompromis, vzhledem ke skutečnosti, že délka jízd, otoček a přejezdů je počítána pro všechny směry s krokem 1°. 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.

Jako podstatná se ukazuje komunikace mezi vedoucím pracovníkem a obsluhou stroje, která má s pozemkem praktické zkušenosti.



Obr. 28: Modelové trajektorie jízd pracovních strojů a původní jízdy pořízené záznamem (Kroulík).

Na obrázku 28. jsou vyobrazeny návrhy jízd pro vybrané pozemky a konfrontovány s původními směry jízd.

Následující tabulka 3. přináší výsledky porovnání původních a modelových trajektorií. Pokud porovnáme jednotlivé hodnoty, je patrné, že optimalizace přinesla řadu zlepšení.

Obrázek 29. dokumentuje změny délek s ohledem na rozdílné směry trajektorií. Ukazuje se, že i minimální změna směru jízdy vede k výrazným změnám v efektivním využití techniky.

Na obrázku 30. je do mapy vynesena trajektorie jízd, která byla navržena s ohledem na tvar pozemku v programu SMSTM Basic (AgLeader Technology, USA).

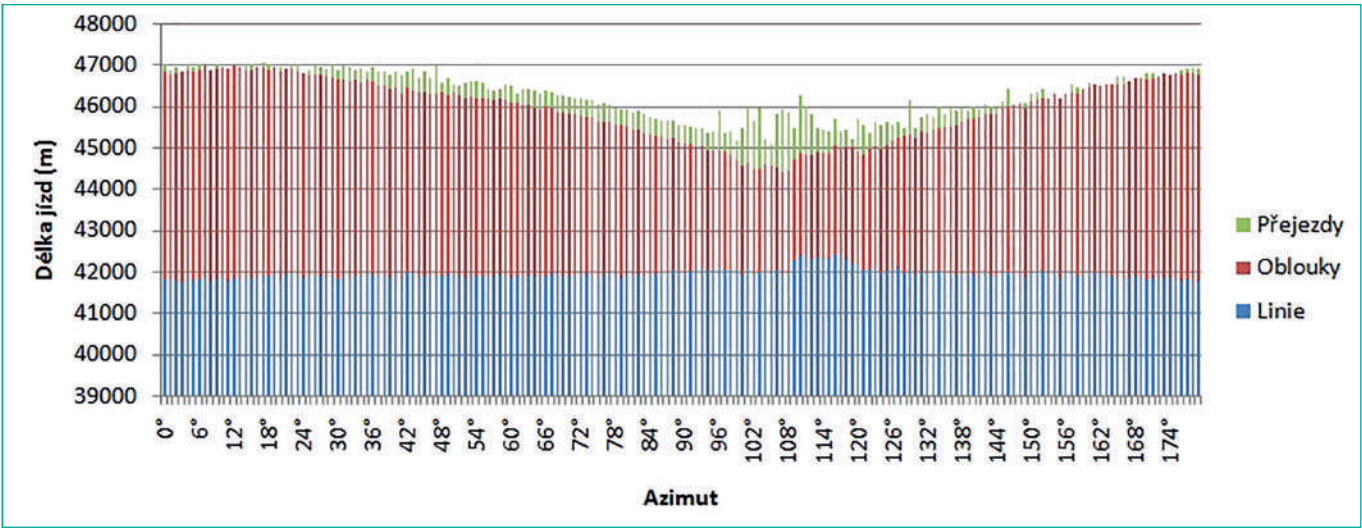
Výstup v podobě optimální trajektorie z hlediska délky jízd byl vytvořen po zadání tvaru pozemku, který se načte z LPIS, pracovního záběru stroje a počtu jízd na souvratích. Výstupem je zmíněná navigační linie, která se převede do příslušného formátu a uloží v navigaci stroje. Uživatelé SMS softwaru mají možnost exportovat výstup ve formátech většiny současných značek výrobců zemědělské techniky, včetně používané techniky John Deere. S využitím telematiky byla linie využita při zakládání porostu kukuřice.

Tvar pozemku je však pouze jednou z veličin parametrizující pojezdovou linii. S ohledem na požadavky protierozních opatření je zapotřebí vstoupit do návrhu ručně a parametry upravit dle požadavků. I toto programové nástroje umožní. Jedním ze vstupních údajů mohou být odtokové linie na pozemku, které modelují soustředný odtok vody z pozemku. Na základě vhodných opatření je možné riziko smyvu a eroze účinně snížit. Obrázek 31. přináší pohled na pozemek s vyznačenými odtokovými liniemi a návrhy trajektorií jízd, které zohledňují práci po vrstevnici.

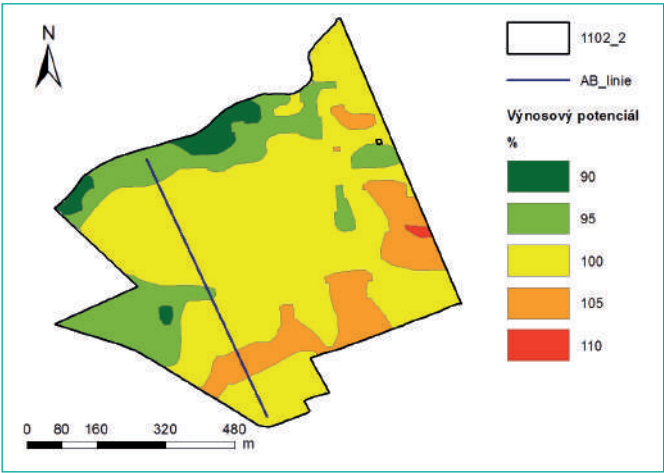
Potenciál navigací a moderní techniky v kombinaci s prostředím GIS a telematickými systémy, které využívají vzdálený přístup k terminálu strojů, získáváme také poměrně komfortní řešení pro naplnění potřeb na ochranu půdy a krajiny.

Tabulka 3: Hodnoty modelových délek jízd a srovnání s původními hodnotami.

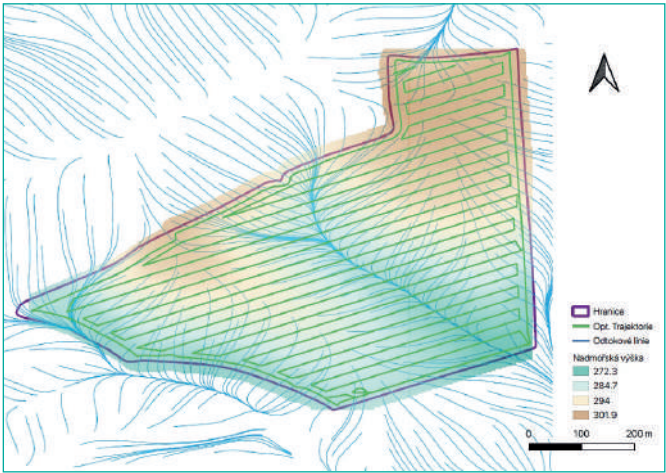
		Azimut	Délka celkem (m)	Linie pracovní (m)	Oblouky (m)	Počet oblouků	Souvratě (m)	Přejezdy (m)
Pozemek 9001/8	původní	120°	55158.50	42142.67	2750.83	76	9457.11	807.89
	návrh	105°	54543.33	41961.26	2569.86	71	9457.11	555.11
Pozemek 8001/6	původní	100°	50204.93	38244.66	3329.96	92	8275.10	355.22
	návrh	120°	49895.52	38285.71	3148.98	87	8275.10	185.73
Pozemek 9802/1	původní	120°	29460.04	18919.38	3800.49	105	6740.17	0.00
	návrh	36°	27791.44	19163.33	1737.37	48	6740.17	150.57



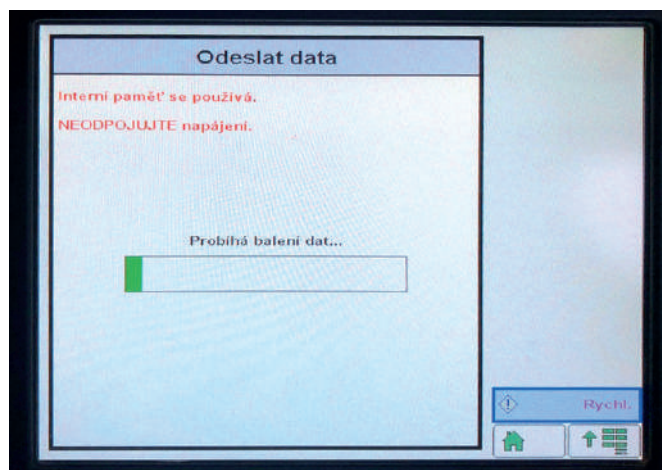
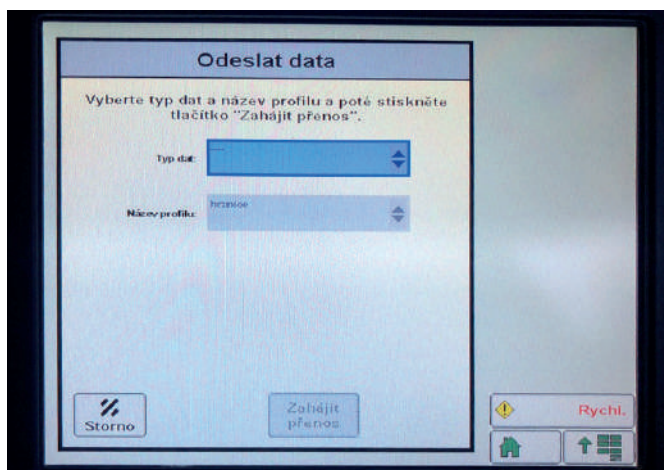
Obr. 29: Vliv směru jízdy při známém tvaru pozemku na pracovní využití soupravy (Kroulík).



Obr. 30: Pozemek s vyznačenou optimální trajektorií jízd s ohledem na tvar pozemku (Kroulík).



Obr. 31: Pozemek s vyznačenými odtokovými liniemi a navrženou trajektorií jízd (Pinkas).



Obr. 32: Bezdrátový přenos dat je významným prvkem řízení a kontroly vstupů (Kroulík).

Využití oboustranné telematické komunikace

Dalším krokem je zavedení oboustranné komunikace, kterou zajistíme vzdáleným bezdrátovým přístupem správu a kontrolu aplikačních úkonů. Vše z jakéhokoliv zařízení připojeného k internetu. Pro podobné technologie se dnes vžil pojem Indoor Farming, který rovněž vychází z nástupu digitalizace a telematiky.

Příkladem může být vzájemná komunikace se stroji, které zakládají porost. Již samotné parametry nastavení sečího stroje mohou vycházet z aplikačních map výsevu, které byly s předstihem vytvořeny. Tyto tzv. předpisové mapy jsou předávány strojům přes vzdálené úložiště. Během setí jsou také využity předem definované jízdní stopy. Tyto jízdní trajektorie a kolejové řádky, optimalizované podle tvaru a svažitosti pozemku, sníží počet nepracovních přejezdů, opakovaných aplikací přípravků a hnojiv v důsledku překrývání záběrů. Díky telematickému propojení bude možné s předstihem připravovat aplikační mapy, případně vyznačovat vyloučené zóny, kde je omezena chemická ochrana a hnojení. K aktivaci navigačních funkcí stroje dochází v okamžiku spuštění stroje nebo v okamžiku vstupu na pole díky znalosti polohy stroje. Tvorba aplikačních map a algoritmů je samostatnou problematikou. Funkčním pří-

kladem je produkt společnosti John Deere, v operačním středisku MyJohnDeere.com mohou uživatelé spravovat a připravovat data pro vzdálené 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 registrují data o průběhu pracovních operací a automaticky synchronizují s operačním střediskem (Obr. 32), kde je možné je přímo analyzovat nebo vyexportovat pro pozdější podrobnější zpracování.

Jedním z příkladů je zakládání ochranných pásů v porostech širokořádkových plodin, které plní protierozní funkci při zadržování odtoku vody z pozemku. Praktický případ tohoto opatření bylo založení pásu osetého ječmenem jarním na pozemku s kukuřicí. Jak dokládá mapa odtokových linií, odtok je soustředěn do východního pravého rohu pozemku (Obr. 33).

Soustředěný odtok z pozemku, jak je modelován, vychází z několika zdrojů: snímek z bezpilotního letadla (Obr. 34), nebo srážková událost a snímek pořízený v místě zmíněného rohu pozemku (Obr. 35).



Obr. 33: Bezdrátový přenos dat je významným prvkem řízení a kontroly vstupů (Kroulík).



Obr. 34: Snímek pozemku bez porostu dokládá soustředěný odtok (foto Kroulík).

Problém se rovněž přenáší na druhý pozemek za propustí železničního náspu. Na obrázcích je ukázka jednoho z možných řešení, jak tomuto jevu předcházet s využitím navigace a moderního strojního vybavení v kombinaci se detailní znalostí vlastních pozemků. Vyznačením vnitřní hranice do hranice pozemku (Obr. 36) zajistíme vypínání a zapínání sekcí sečího stroje při setí kukuřice, v jízdě ale pokračujeme přímo podle navigační linie.

Druhou navigační linii pro erozní pás následně využijeme při osevu tohoto pásu, v našem případě ječmenem jarním (Obr. 37). Navigační linii a hranici pásu využijeme v soupravě, která pás osévá. Obrázek 38. přináší pohled na zasetý pás, nicméně zde došlo ke komunikační chybě a obsluha pás objížděla, ačkoliv by autonomní ovládání sekcí zajistilo vynechání aplikace pesticidu v místě pásu, obdobně jako u setí.

Obdobnou funkci omezování ošetření nebo hnojení využijeme při ošetřování pozemků, na kterém je vyznačen biopás, kde je postřik a hnojení vyloučeno. Také zde s předstihem připravíme aplikační mapu s vnitřní hranicí v místě biopásu a autonomní funkce ovládání ramen postřikovače nebo rozmetadla na základě polohy zajistí



Obr. 38: Ochranný protierozní pás v porostu kukuřice (foto Kroulík).



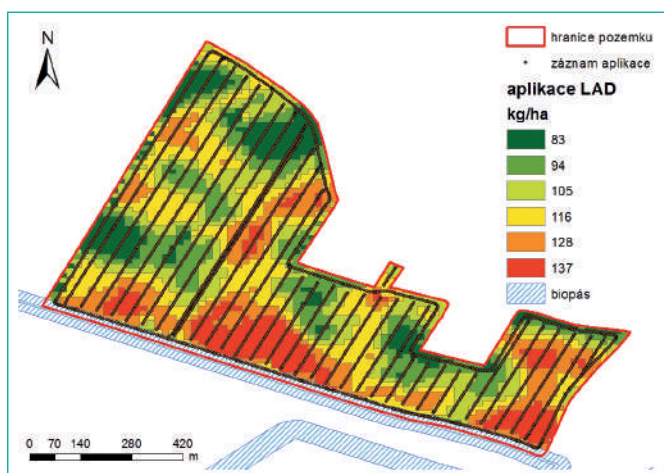
Obr. 35: Dopady přívalové srážky na dotčeném pozemku (foto Kroulík).



Obr. 36: Vyznačení hranic pozemku s omezením v místě budoucího pásu (Pinkas).



Obr. 37: Setí pásu podle připravené linie, která je přenesena do terminálu traktoru (foto Kroulík).



Obr. 39: Podkladové materiály pro aplikaci hnojiva s vyznačením omezení aplikace (Kroulík).

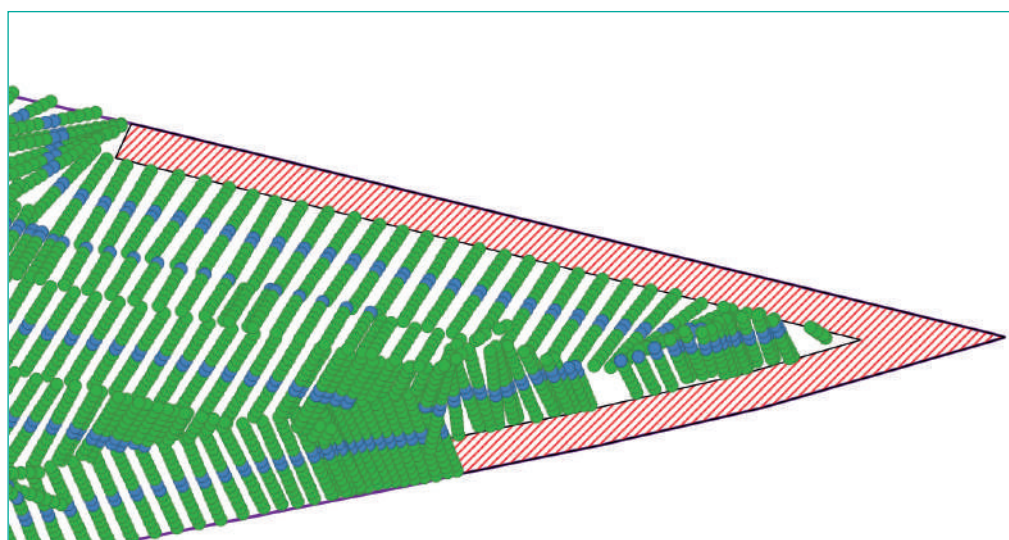
vypnutí aplikace. Obrázek 39. představuje aplikační mapu s vyznačením biopásu, připravenou pro variabilní aplikaci hnojiva.

Zkušenosti z plánování pracovních operací, tvorby linií, hranic pozemků a optimalizaci pohybu práce po pozemcích je možné využít v souvislosti s požadavky na dělení půdních bloků, návrhy přerušovacích pásů a splnění dalších předpisů. Jak dokládá řada vstupních parametrů, problematika dělení naráží na celou řadu vstupních podmínek a jejich řešení není vždy jednoduché. V první řadě můžeme vycházet ze stávajících záběrů strojů, možností jejich pohybu a otáčení, ale také skutečných dispozic vstupů na pozemek. Dále do návrhu vstupují požadavky na omezení eroze nebo zhutnění, zařazení manipulačních ploch, využití ploch s nižším výnosovým potenciálem, podporu druhové pestrosti a mnoho dalších.

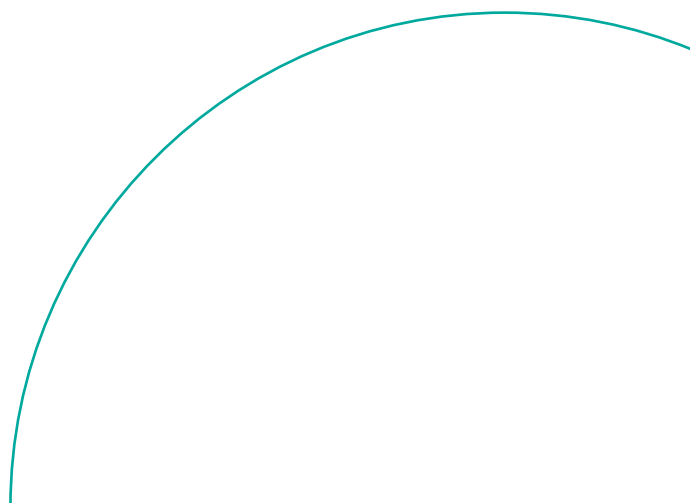
Jak již bylo uvedeno, uvedeným příkladem se sníží zátěž obsluhy a výrazně se minimalizují chyby v ošetření, protože obsluha v tuto chvíli přebírá především kontrolní

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 úkony připravené v předstihu práci výrazně ulehčují. Příkladem může být také záznam pohybu techniky na výřezu (Obr. 40). Na obrázku je záznam pohybu postřikovače (modré body) a sekce postřikovače (zelené body). Šrafovaná plocha představuje pásmo ochrany vody. Ze záznamu je patrné složitě objíždění této plochy, spojené s navyšováním přejezdů při objíždění pásu, překryvů a nerovnoměrného ošetření a poškozování porostů v místech stop. Také se předpokládá vyšší zátěž obsluhy na kontrolu práce s vyšším rizikem chyb.

Dalším kladem je zpětná informace o provedených úkonech, možnost analýz a archivace, případně využití v následných úkonech, včetně dokladování činnosti kontrolním orgánům.



Obr. 40: Zákres s vyznačením ochranného pásma a záznam práce postřikovače (Pinkas).



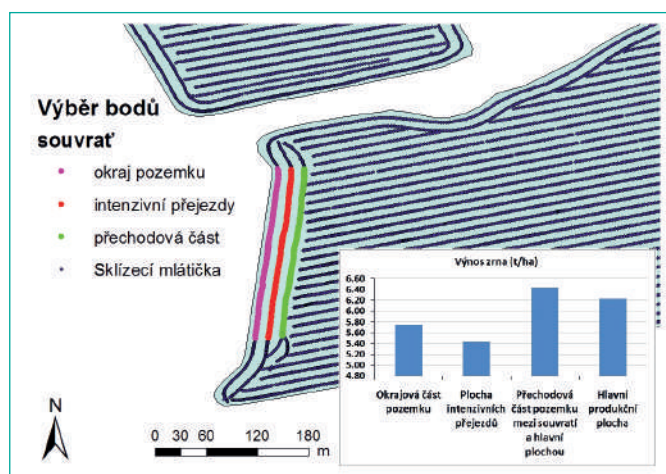
MODIFIKACE PĚSTEBNÍCH POSTUPŮ ZA ÚČELEM SNÍŽENÍ ENERGETICKÝCH A MATERIÁLOVÝCH VSTUPŮ.

Zkušenosti z plánování práce, tvorbě linií, hranic pozemků a optimalizaci pohybu práce po pozemcích lze využít v souvislosti s požadavky na dělení půdních bloků, návrhy průřezových pásů a splnění dalších předpisů. Jak dokládá řada vstupních parametrů, problematika dělení naráží na celou řadu vstupních podmínek a jejich řešení není vždy jednoduché. V první řadě, můžeme vycházet ze stávajících záběrů strojů, možností jejich pohybu a otáčení, ale také vstupů na pozemek. Dále do návrhu vstupují požadavky na omezení eroze nebo zhutnění, zařazení manipulačních ploch, využití ploch s nižším výnosovým potenciálem, podporu druhové pestrosti a mnoho dalších. Příkladem může být dělení souvratí na více zón, kdy z pohledu využití souvratě můžeme tuto plochu rozčlenit do tří kategorií. Plochu okrajovou, plochu s intenzivním otáčením souprav a přechodovou plochu mezi intenzivně přejížděnou částí a hlavní produkční částí. Se souvratí, kde se intenzivně otáčí technika, je spojeno řada negativních dopadů od zhoršených fyzikálních a biologických vlastností půdy, vyšších dávek hnojiv a postřikových látek díky překryvům, vysokou energetickou náročností během zpracování až po nižší výnos. Okrajová plocha je často vystavena vyššímu tlaku škůdců nebo plevelných společenstev. Obrázek 41. přináší záznam z práce

sklízecí mlátičky. Graf ukazuje hodnoty výnosu zrna pšenice ozimé na jednotlivých částech sledovaných ploch. Pro uvažované změny ve správě souvratí mohou mít tato data svou váhu. Pro příklad můžeme uvést zaváděné ozeleňování jízdních stop souvratí a kolejových řádků, případně souvratě odpovídající polovině záběru postřikovače po celém obvodu půdního bloku. S návrhy rovněž napřímujeme jízdní trajektorie, kdy minimalizujeme nejen přejezdy, ale rovněž opakované zpracování půdy, spotřeby paliva, opakované aplikace nebo přesevy.

Příklad osetého kolejového řádku je na obrázku 42. Zvýšení druhové pestrosti je přínosné pro podporu ekosystémových funkcí zajišťovaných hmyzem, zároveň vzroste únosnost kolejových řádků za současného zamezení poškozování hlavní plodiny technikou.

Další možnost využití tohoto opatření je u podniků, které nemají veškerou techniku vybavenou navigací. Při zpracování půdy takto osetý řádek poskytne navigační linii podle které se následně řídí ostatní soupravy, například během aplikace kejdy nebo digestátu, hnojení před založením porostu a další.



Obr. 41: Pohled na výnosový potenciál souvratí, rozdělených podle četnosti zátěže půdy pojezdovými mechanizmy (Kroulík).



Obr. 42: Osetí kolejových stop přináší řadu zajímavých řešení pro podporu biodiverzity nebo využití techniky (foto Brant).



Variabilní aplikace a využití telematiky.

V hodnocení stavu porostu hraje významnou roli snímání porostu s následnou obrazovou analýzou a interpretací snímků.

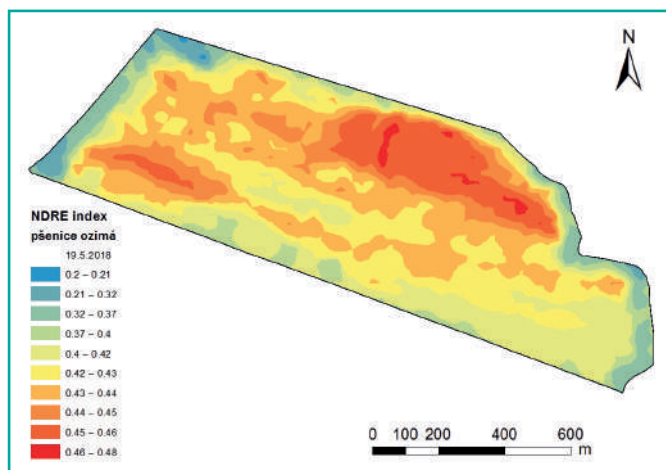
K prostředkům dálkového průzkumu řadíme rovněž stroji nesené optické senzory, kterými sledujeme především výživný stav porostu. Při sledování rostlin se uplatňuje zejména viditelná a blízká infračervená oblast vlnových délek. Výhodou těchto systémů spočívá v „on-line“ způsobu měření a hodnocení. Obrázek 43. předkládá přehled optických senzorů.

Na následujícím obrázku 44. je mapa vegetačního indexu, pořízená optickým senzorem OptRX během třetího, kvalitativního přihnojení pšenice ozimé. Index NDRE se využívá ve vyšší fázi růstu plodin. Mapy lze porovnat s daty pořízenými bezpilotním prostředkem (Obr. 45). Hodnoty obsahu sušiny byly vyjádřeny ze snímků, pořízených bezpilotním letounem (data poskytl firma Souffle).

Pravděpodobně velkou budoucnost má v návaznosti na telematiku též snímání porostu termokamerami. Ty pracují na principu měření tepelného, tedy dlouhovlnného záření, které rostliny či půda vyzařují (Obr. 46).



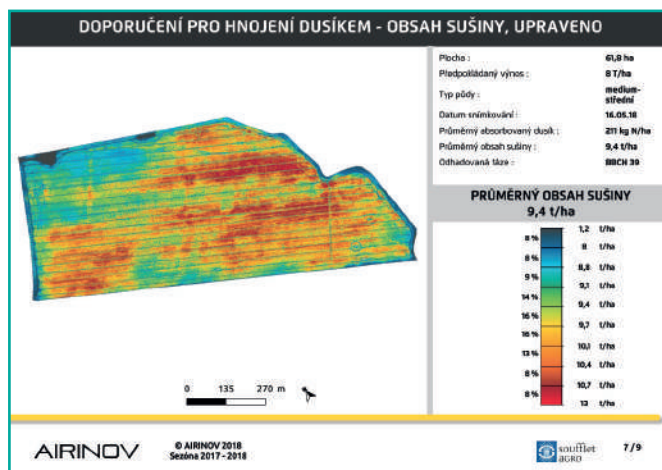
Obr. 43: Příklady technického řešení optických senzorů a jejich zavěšení nebo montáž na stroji: Yara N-sensor, Fritzmeier/ Claas ISARIA, AgLeader OptRx, Trimble Green Seeker, Topcon CropSpec (foto Kroulík).



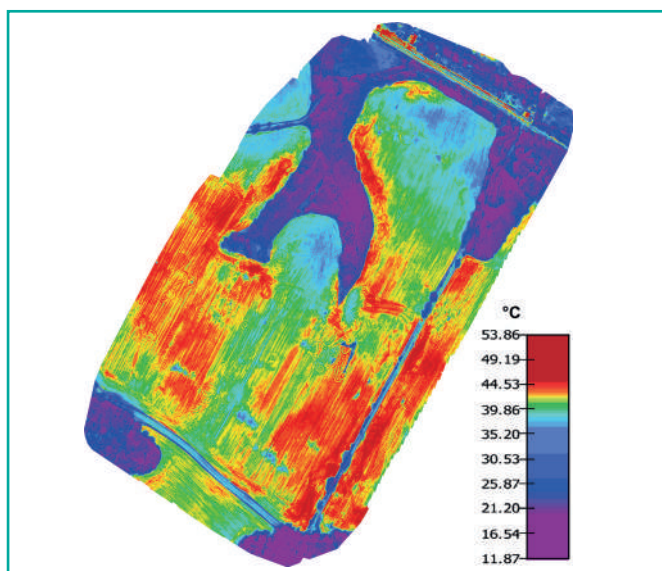
Obr. 44: Index NDRE pořízený optickým senzorem během třetího přihnojení (Kroulík).

Termální data

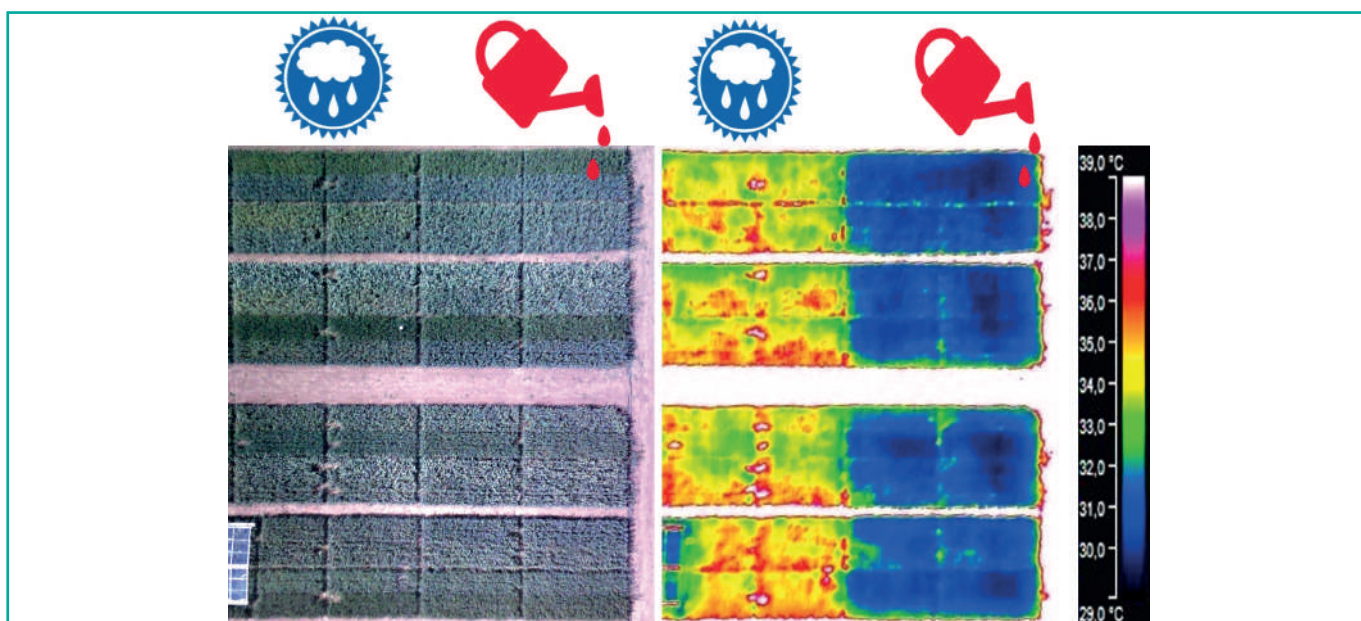
Dálkové měření termokamerovým systémem poskytuje přesnější údaje o vegetačních parametrech než tradiční techniky díky tomu, že jsou data získávána z velkého spojitého prostoru a je možné je rychle a jednoduše v pravidelných intervalech opakovat. Intenzita vyzařování (resp. schopnost rostlin vyzařovat, pohlcovat a odrážet tepelné záření) závisí na vlastnostech listové plochy porostu (orientaci a struktuře povrchu), ovšem množství vyzařené energie závisí také na pigmentaci listů, jejich tloušťce, uspořádání buněk (struktuře) a na obsahu vody v tkáni listů. Tepelné vlastnosti listů rostlin jsou ovlivněny vnitřní strukturou, která obsahuje značné množství vody na jednotku plochy. Nedostatek vody, přítomnost původce chorob, škůdce nebo výživový disbalance vede ke stresové reakci charakterizované uzavíráním průduchů a zvýšením teploty listů. Teplotní změny je pak možné bezdotykově termograficky monitorovat ještě dříve, než je můžeme zachytit okem (Obr. 47, 48).



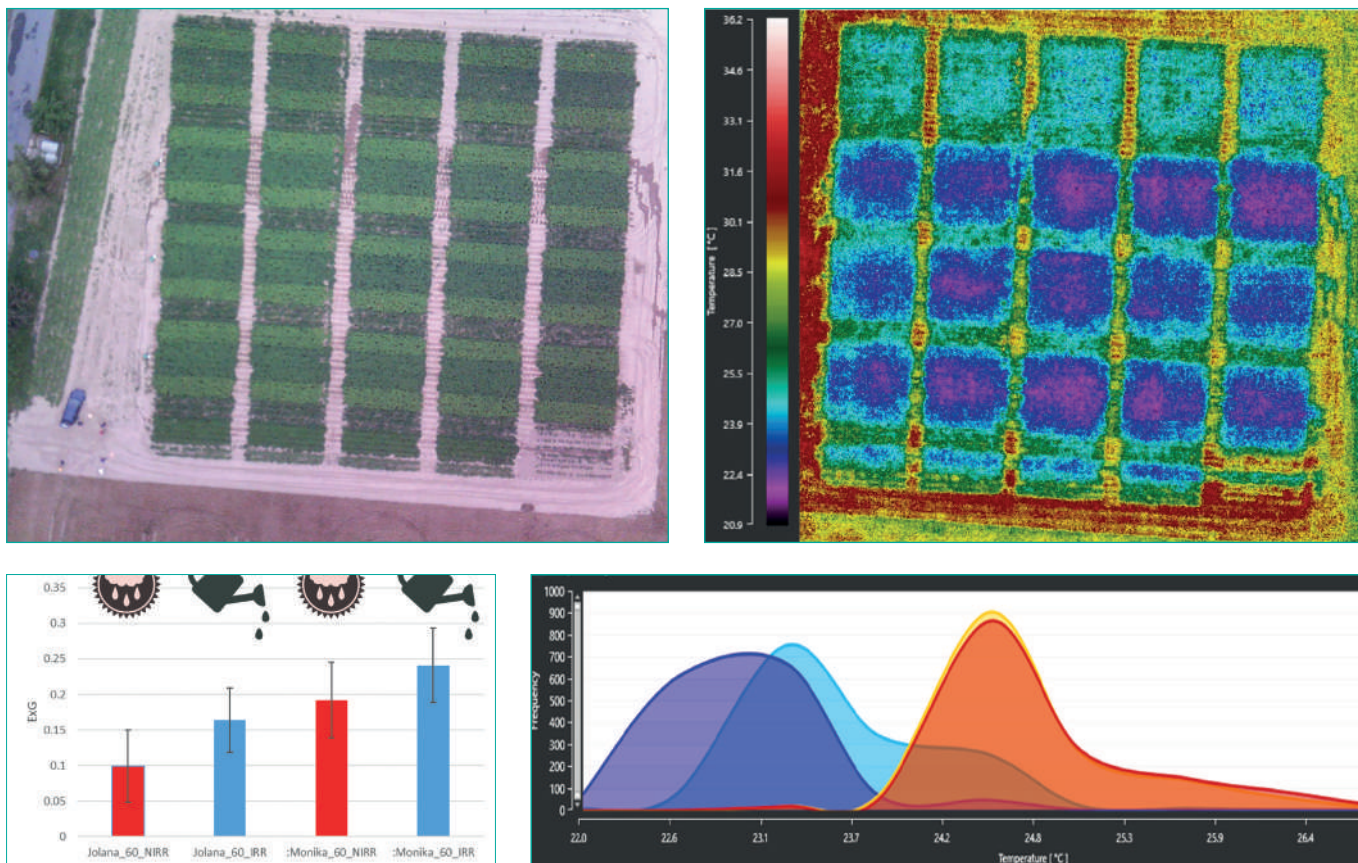
Obr. 45: Obsah sušiny vyjádřený z multispektrálního snímku, pořízeného před třetím přihnojením (Souffle).



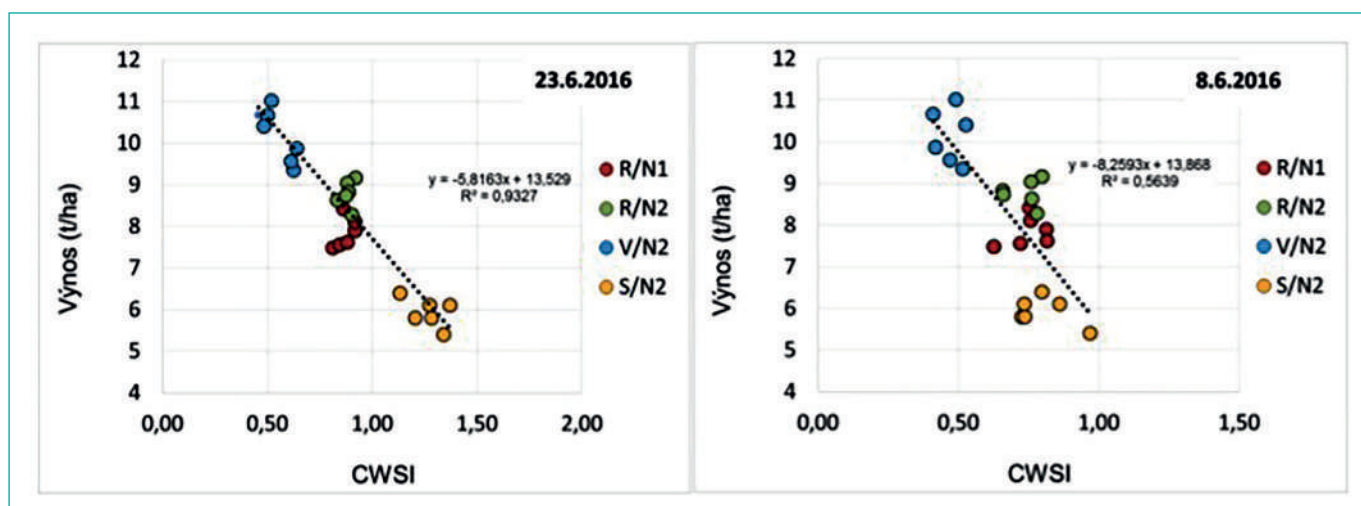
Obr. 46: Termosnímek povrchu půdy pořízený před setím kukuřice (foto Kleinbauer).



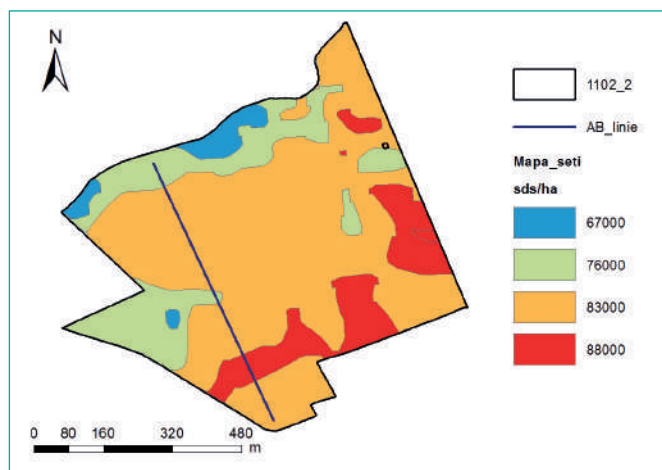
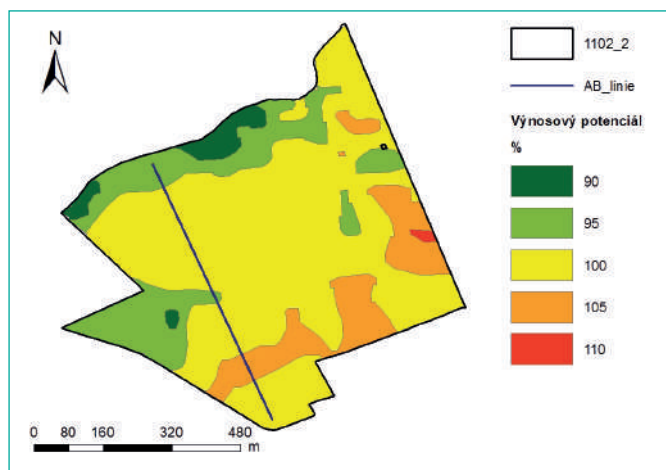
Obr. 47: Porovnání RGB informace s termogramem poloprovozního pokusu ozimé pšenice s přirozeně dostupnou vodou (levá část pole označená symbolem mraku s deštěm) a řízenou kapkovou závlahou (pravá část pole označená symbolem konve).



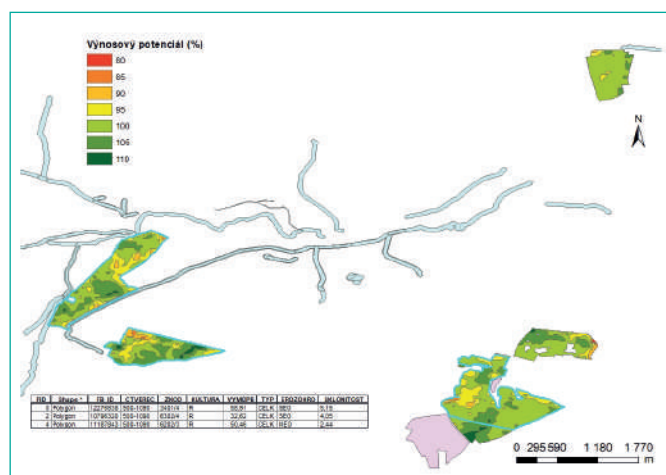
Obr. 48: Porovnání RGB informace s termogramem poloprovozního brambor s přirozeně dostupnou vodou (horních 5 čtverců v mozaice parcel) a řízenou kapkovou závlahou (15 čtvercových parcel ve střední a dolní části pozemku). Boxplot graf ukazuje rozdíly mezi 2 odrůdami (Jolana, Monika) v režimu kapková závlaha (modře) a nezavlažovaná varianta (červeně) spektrální analýzou RGB snímku pomocí ExG indexu. Analýza termogramu je znázorněna teplotním rozložením se zjištěnou četností (modře – zavlažované odrůdy, červeně nezavlažované).



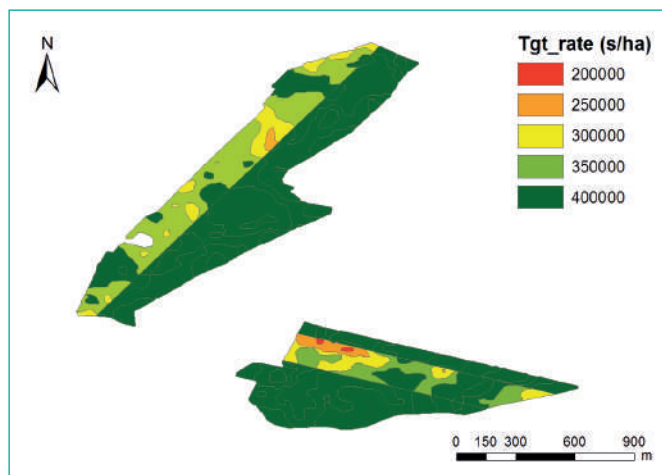
Obr. 49: Vztah indexu stresu (CWSI) a výnosu odrůd pšenice ve dvou termínech s odlišnou zásobou dostupné vody v půdě. Varianty: Kontrola (R/N1, R/N2 – snížená a optimální dávka N), závlaha (V/N2) a stres (S/N2) (Haberle et al., 2017)



Obr. 50: Návrh aplikační mapy pro variabilní výsev a výstupní data v podobě hodnot výnosového potenciálu (Kroulík).



Obr. 51: Hodnoty výnosového potenciálu pro pozemky osévané řepkou ozimou s vyznačenými biopásky (Kroulík).



Obr. 52: Aplikační mapy pro setí řepky ozimé (Kroulík).

Přesnost měření ovšem závisí na podmínkách prostředí, které ovlivňují tepelné vlastnosti vizualizované rostliny. Proto je nutná kalibrace měřicího systému v závislosti na počasí, pokud chceme srovnávat termografická data získaná v různých časových intervalech analýzou časových řad. Význam včasné detekce stresu je důležitý při rozhodování o přijetí vhodného kompenzačního nebo ochranného opatření tak, aby se zamezilo vzniku kvantitativních a kvalitativních ztrát (Obr. 49).

Variabilní zakládání porostů.

Úroveň variability výnosového potenciálu je v současné době jedním z faktorů pro změny výsevu vyjádřeným počtem jedinců na jednotku plochy, ale i ve vztahu k cílené variabilitě struktury porostu. Na obrázku 50. jsou podkladové mapy pro variabilní výsev kukuřice. Možnost variabilního výsevu je nejčastěji spojována se zakládáním porostu kukuřice. Řada autorů poukazuje na skutečnost, že právě

výnosový potenciál by měl být základem pro stanovení výše výsevu či počtu semen na jednotku plochy.

Z návrhu je patrná strategie, která byla zvolena pro daný příklad. Hodnoty nižšího výsevu jsou cíleny na nižší úroveň výnosového potenciálu. Na druhou stranu hodnoty výnosového potenciálu nad 100 % již nebyly důvodem pro navyšování výsevu. Důvodem je především omezení vzájemné konkurence s ohledem na dostupnost vody.

Druhým příkladem je variabilní setí během řepky ozimé. Také v tomto případě bylo využito mapy výnosového potenciálu pro stanovení nastavení výsevu (Obr. 51).

Na obrázku 52. jsou mapy pro výsev. Opět se volila varianta snižování výsevu na plochách s nižším potenciálem. Dělení pozemku umožní následně hodnotit vývoj porostu a biometrické údaje pro rozdílný přístup k zakládání porostů.

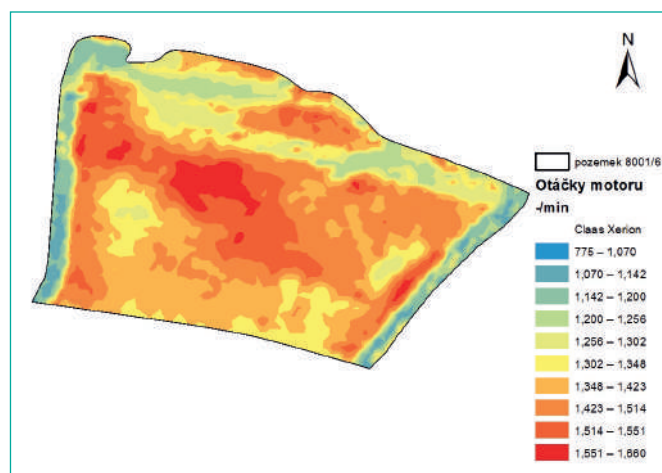


Obr. 53: Záznam práce secího stroje v mobilní aplikaci (Pinkas).

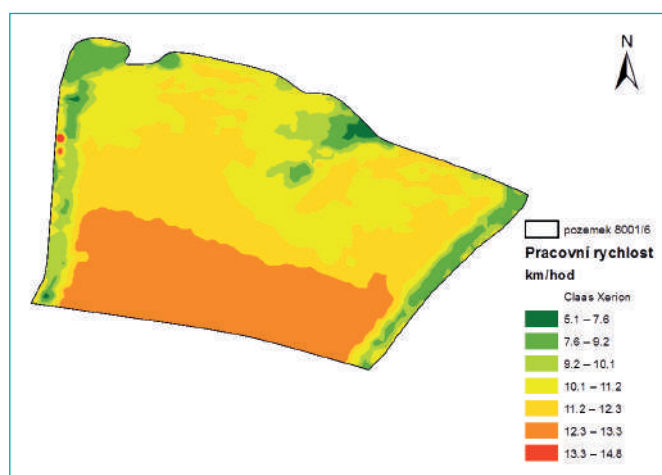
S využitím telematického systému je možné zpětně získat výstup z aplikace. Na obrázku 53. je takový záznam vyobrazen. Data v mobilním zařízení je možné kdykoliv využít, například při kontrole porostu, kdy je na aplikaci vyznačena aktuální pozice například agronoma.

Telematika a provozní ukazatele strojů.

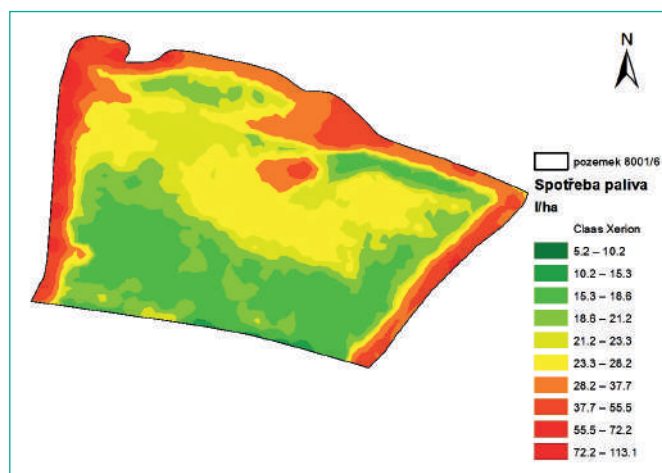
Z hlediska kontrolních údajů jsou zajímavá data o režimu práce samotného traktoru, respektive jeho motoru. Zde hraje významnou roli především obsluha stroje, její zodpovědnost a do jisté míry znalost režimu práce motoru. Přímou se dotýkáme ekonomiky provozu soupravy, vyjádřenou přes spotřebu pohonných hmot. Je potěšujícím zjištěním, že spolu s technickou úrovní strojů roste i povědomí o uvedených skutečnostech mezi obsluhou. Záznam provozu stroje se tak stává nástrojem ke kontrole a ke zlepšení situace z pohledu ekonomického využití pracovních souprav. Obrázek 54. přináší grafický záznam z otáček motoru při základním zpracování půdy. Motor lze provozovat v rozdílných režimech. Spolu s režimem převodovky je z hlediska optimální spotřeby paliva potřeba pracovat v pásmu nejnižší měrné spotřeby paliva.



Obr. 54: Záznam otáček motoru traktoru (Kroulík).



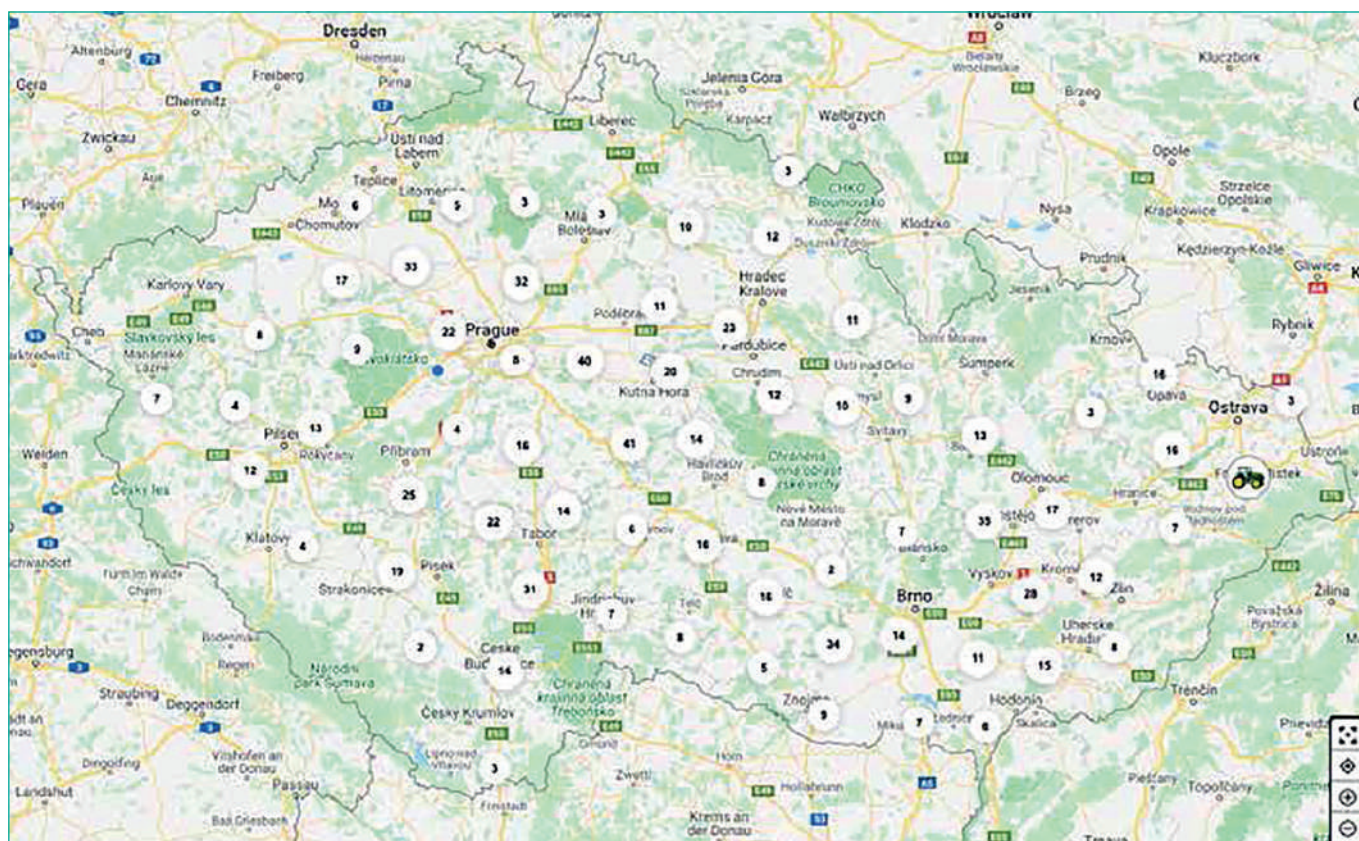
Obr. 55: Záznam pracovní rychlosti soupravy (Kroulík).



Obr. 56: Záznam spotřeby paliva během kypření (Kroulík).

Kvalita pracovních operací, ale také energetická náročnost při práci, je spojena s pracovní rychlostí souprav (Obr. 55). Záznam pracovní rychlosti může posloužit rovněž jako kontrolní nástroj a doklad řádně odvedené práce s ohledem na doporučené pracovní rychlosti strojů. Na druhou stranu je to rovněž informace variabilitě pozemku.

Významnou informací ze záznamu o provozu stroje je spotřeba pohonných hmot (Obr. 56). V případě, že k uvedeným



Obr. 57: Pohled na přehled strojů s telematikou JDLink (Pinkas)

datům připojíme údaje o vstupech během sezony a výnosovou mapu, získáme zcela jiný pohled na ekonomiku hospodaření na jednotlivých pozemcích a jejich částech. Ve spojení se spotřebou paliva bude do budoucna významně posuzována produkce CO₂. Společně s fixací uhlíku do organické hmoty bude k dispozici bilance CO₂.

Ze záznamu jsou patrné vzájemné průběhy hodnot. Společně s výnosovými daty máme přehled o ekonomice jednotlivých částí pozemku. V současné době je navíc kladen důraz na dělení půdních bloků, tvorbu neprodukčních zón s ohledem na potřebu otáčení souprav, přerušovacích pásů, biopásů, okrajových společenstev apod. Účelů může být celá řada. Je to také optimalizace tvaru s ohledem na pohyb soupravy. Ze záznamu jsou patrná místa, kde je například výrazná intenzita přejezdů, vysoká spotřeba pohonných hmot a minimální výnosový efekt. Je tedy otázka pro další efektivní využití zmíněných ploch, které nemusí být vždy ekonomické, nicméně z hlediska provozu techniky může být ekonomický dopad významný.

Telematika v servisních úkonech a prediktivní systémy hlášení poruch.

Zemědělské stroje jsou vybaveny různými senzory a telematickými branami, které tyto data posílají do řídicích center výrobců. U zemědělských strojů je pochopitelně

vyžadována maximální provozuschopnost strojů a nabízí se tedy využití nasbíraných dat ze strojů.

Telematický přenos dat rovněž 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 (Obr. 57).



Obr. 58: Rychlá oprava traktoru 8R (foto Pinkas)

Díky vzdálené podpoře a možnosti připojení servisního technika ke stroji dojde k výrazné časové a finanční úspoře díky diagnostickým metodám. Případný výjezd technika je již náležitě spojen a podpořen vybavením potřebnými náhradními díly.

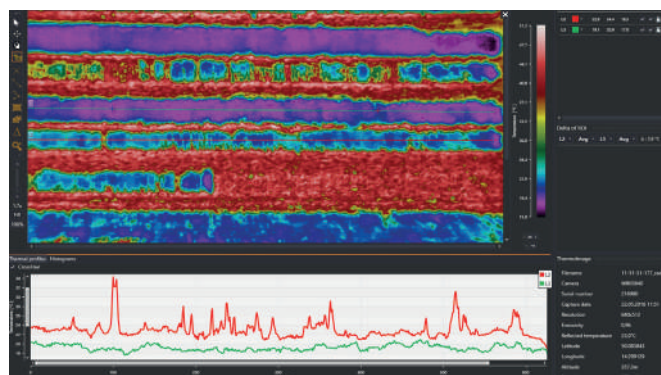
Na praktickém příkladu se můžeme podívat na jednu z predikovaných poruch. Uživatel traktoru John Deere 8R vybaveného telematickou jednotkou JDLink prováděl přípravu před setím. Traktor při běžné každodenní údržbě obsluhou nevykazoval žádné známky poruchy. Servisní technik však získal upozornění pomocí služby Expert Alerts na možnou budoucí poruchu v systému chladicí soustavy. A to právě na základě odesílaných provozních dat ze senzorů chladicí soustavy (jejich aktuálního stavu hodnot na stroji), které byly porovnány se stavem bezporuchového stroje. Samotné hlášení z Expert Alerts upozorňovalo na prověření součástí spojených s ventilátorem chlazení. Servisní technik po přijetí tohoto upozornění ještě vzdáleně diagnostikoval stroj a hned poté obratem informoval zákazníka, který s kontrolou a také poté s následnou opravou souhlasil. Po naplánovaném příjezdu ke stroji servisní technik identifikoval, že došlo k natržení řemene u ventilátoru a provedl jeho okamžitou výměnu za řemen nový, který měl v servisním voze připraven – seznam možných dílů k výměně je nedílnou součástí hlášení služby Expert Alerts, stejně jako servisní postup prací. Díky tomu se výrazně snížila doba opravy (Obr. 58). V případě přetržení řemenu bez včasné signalizace v době provozu by s velkou pravděpodobností mohlo dojít k poškození dalších dílů chladicí soustavy s podstatně delší opravou a odstávkou stroje.

Stresové faktory způsobují variabilitu plodin

Stres rostlin je zdrojem heterogenity zemědělských porostů. Spolehlivé zjištění původce stresu rostlin je pak důležité nejen pro tvorbu aplikačních map, ale i pro zpětnou kontrolu účinnosti zásahu. Variabilita stresoru je spojena s determinací příčiny, která může být abiotická (výživa, voda, teplota atp.), biotická (škodlivý organismus v podobě hmyzu, plevelu, viru atp.) nebo kombinací obou předchozích a rozložením v prostoru i čase. Časová složka akcentuje proměnlivost výskytu, intenzitu a dynamiku



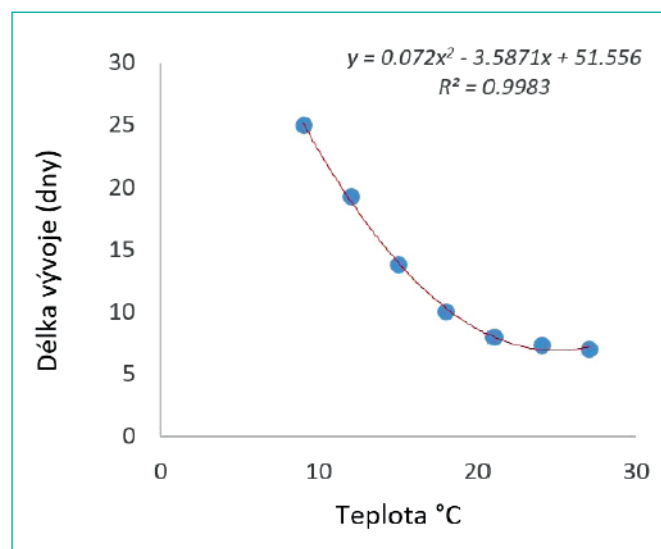
Obr. 58: Automatizovaný feromonový lapač TrapView integrovatelný do IoT (<http://trapview.blogspot.com/2016/12/modelling-of-up-to-three-different.html>)



Obr. 60: Termogram zobrazující rozdílnou teplotní odezvu u zdravých a BYDV napadených odrůd pšenice ozimé

konkrétního zdroje stresu v časové řadě. Prostorovou distribuci ovlivňují topografické podmínky, heterogenita meteorologických faktorů, odrůdová rezistence, aktuální kondice porostu s ohledem na výživový stav, dostatek vody či přítomnost jiného biotického či abiotického stresoru. Komplexnost působení všech těchto faktorů vyžaduje optimalizovat nejen metodu vzorkování, ale vyhodnocovat působení těchto vlivů v kontextu. Volba metody vzorkování je důležitá nejen z hlediska optimálního provedení (Minařík et al., 2018), ale promítá se do ní i hledisko proveditelnosti a ekonomické náročnosti. Dobrým příkladem jsou vinice či ovocné sady, které mají detailně propracované metody integrované ochrany rostlin. Hezkým příkladem v této oblasti je možnost vybavení feromonových lapačů na obaleče jablečného kamerou pro časosběrné snímkování lepové plochy možností дистанčního vyhodnocení (Obr. 59).

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.). Ty mohou být spojeny s omezenou funkcí autoregulačních procesů spojených např. s porušením systémů ovlivňujících otevírání a uzavírání průduchů. Efekt zavírání/otevírání průduchu provází změna povrchové teploty rostlin. Příklad v obrázku 60. 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 (Obr. 60).

Zásadní přínos senzorové techniky pro ochranu rostlin v precizním zemědělství je v oblasti 1/ včasné detekce výskytu škodlivého organismu, 2/ operativnosti průzkumu, 3/ kontrole kvality ochranných opatření. Příkladem včasné detekce výskytu škodlivých organismů je využití termokamerové techniky, která identifikuje teplotní změny rostlin s ohledem na přítomnost abiotického nebo biotického stresoru (Lukáš et al., 2019).

Variabilní ochrana rostlin

Cílem ochrany rostlin v precizním zemědělství je optimalizovat aplikaci pesticidů tak, aby byly aplikovány včas, vhodným způsobem a na správné místo. Smyslem je ochránit pouze ta místa, která jsou zasažena přítomností škodlivých organismů v případě, že překročí jejich výskyt práh škodlivosti resp. jsou splněny takové abiotické podmínky (teplota, vlhkost), které povedou k rozvoji chorobných stavů vyvolaných houbovými či bakteriálními patogeny. Tradiční rostlinolékařské péče rozlišuje původce biotických stresorů na druhové úrovni škodlivého hmyzu, plevelných rostlin, bakteriálních, virových i houbových původců chorob. Pro tento účel pracuje s detekčními metodami od molekulárních (ELISA), přes chemické (feromony) či fyzikální (mikroskopování, ultrazvuk, NIR). V tomto kontextu vizuálně popisuje reakce 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). Faktor času je v ochraně rostlin nahlížen ve smyslu dynamiky intenzity výskytu a z hlediska časování (timing) ochranného zásahu, do kterého se promítají informace o bionomii a biologii konkrétních druhů, ale i abiotické faktory podmiňující výskyt konkrétních druhů, rychlost jejich vývoje či šíření. V případě škodlivého hmyzu je dominantním faktorem určujícím rychlost jejich vývoje teplota (Obr. 61).

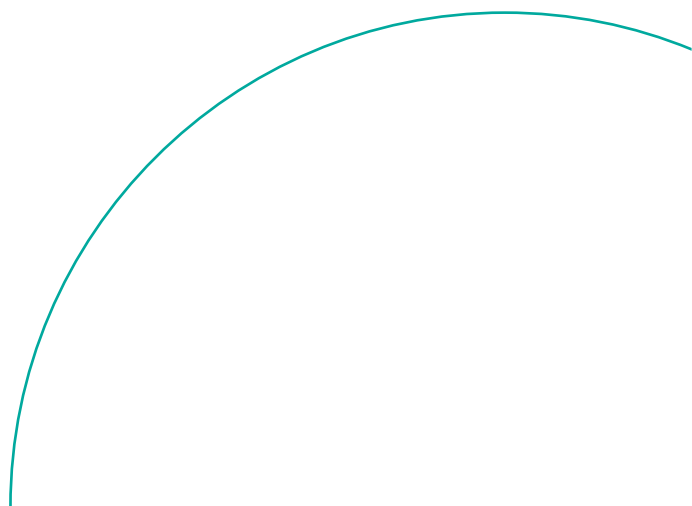
Ta je využívána v tzv. teplotních modelech definovaných parametry spodních prahů vývoje (SPV) a sumy efektivních

Graf. 61: Závislost doby vývoje mšice travní na teplotě vzduchu (Skuhrovec a kol., 2019).



Obr. 62: Detail prototypu postřikovače se 2 nádržemi (bílé) na koncentráty biocidů, směšovací zařízením a cisternou na vodu (žluté) (foto Jan Lukáš)

teplot (SET) pro konkrétní druhy škůdců (např. Dixon et al., 2009, Honěk 1996). U houbových chorob bývá důležitá konkrétní specifické kombinace teploty a vlhkosti vzduchu, případně doba ovlhčení listů. Meteorologická data jsou pak určující pro přesnost a kvality předpovědí těchto modelů. Kombinace populační dynamiky škodlivých organismů a jejich disperze v prostorovém měřítku je prozatím pro praktické užití omezená. Při aplikaci pesticidů do prostředí je kromě výše popsaného způsobu správného načasování nezbytné brát v úvahu i prostorový aspekt. V návaznosti na vytvořené aplikační mapy je nutné pracovat s takovou aplikační technikou, které umožňuje práci na úrovni jednotlivých trysek nebo alespoň sekcí. Do provozní praxe se v současnosti testují i postřikovače, které jsou osazeny vícero zásobníky pro koncentráty biocidních přípravků, které umožňují během jednoho pojezdu připravovat a aplikovat postřiky odděleně (nikoliv v tank mixu) na různých místech a v různé koncentraci (Obr. 62).



POLNÍ ROBOTIKA A AUTONOMIE

Každý nový nápad, myšlenka, inovace nebo technologie mají svůj životní cyklus a vývoj. S novým nápadem přichází velké očekávání, nehledíme kolem sebe, tedy ani na překážky a jdeme si za svým cílem. Překážky ale nelze opomíjet, a tak po prudkém vzestupu následuje často vystřízlivění nebo zklamání, kdy ony překážky převáží počáteční nadšení. S technickým pokrokem ale získáváme nové poznatky, řadu příčin a souvislostí objasníme a znovu přichází vzestup, již ne tak prudký a překotný, ale pozvolný a nové metody si nacházejí svá uplatnění. Jistě by se dalo vyjmenovat z oblasti zemědělství mnoho takových případů. Asi nejlépe dokumentuje úvodní slova cesta precizního zemědělství. Počáteční nástup byl velmi ambiciózní, ale řada překážek významnému uplatnění často bránila. S významným zpřesněním satelitní navigace, výkonnou telekomunikační sítí a mobilních telefonů, dostupností internetu, rozvojem senzorové techniky dostává řada původních myšlenek zcela nový impuls a možnost uplatnění.

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.

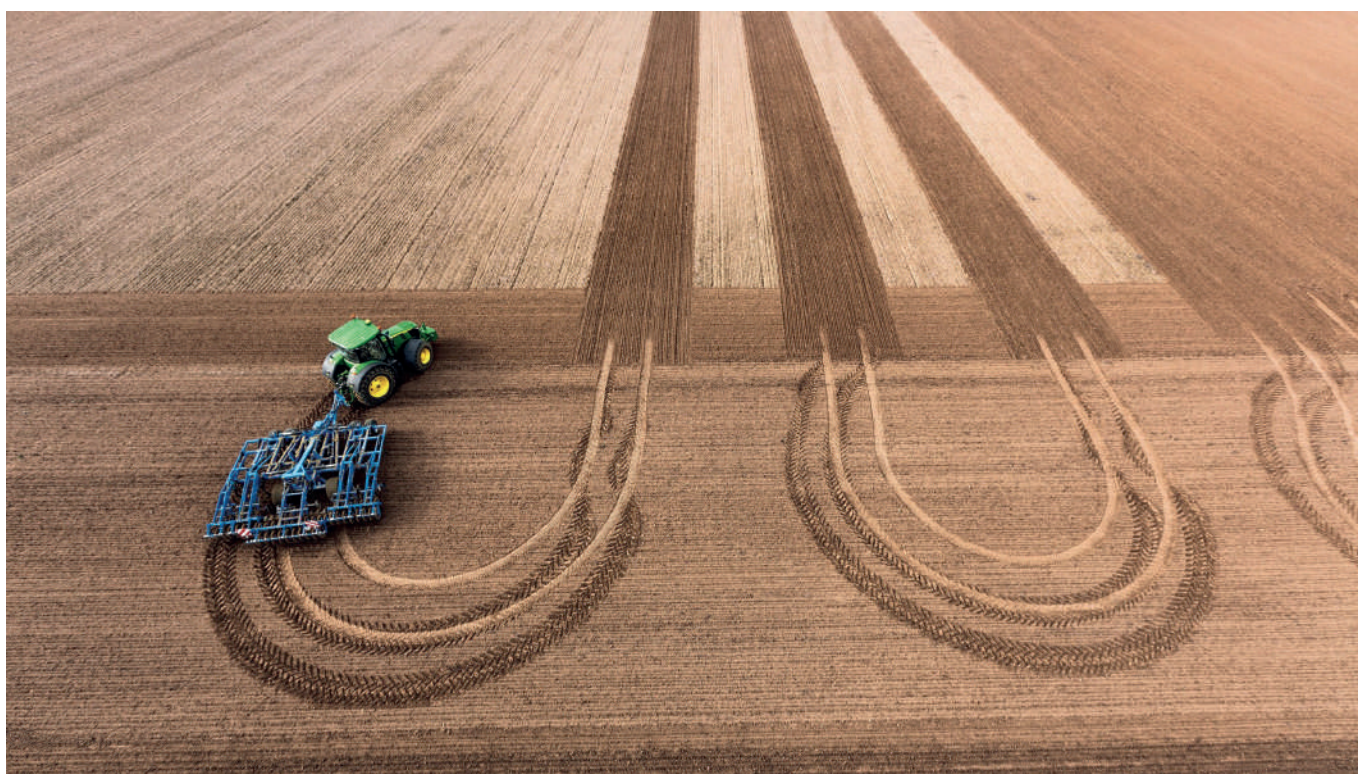
Tento směr nám umožní kontrolu věcí kolem nás, ale také udržet nás informovanými o stavu věcí. Změna povahy průmyslu, zemědělství, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství se opírá o obory již využívané, ale rovněž o zcela nové pojmy: internet věcí (IoT), umělá inteligence, Big data, autonomní roboti, senzory, cloudové výpočty, 3D tisk, nanotechnologie, genetika, datová uložiště, aditivní výroba, umělá inteligence, M2M (Machine-to-Machine communications). 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.

Fyzická omezení strojních zařízení

Při pohledu na strojní zařízení, která pracují především v rostlinné produkci, sledujeme trend výkonných a velkých traktorů s výkonem okolo 450 kW. Je to rovněž dáno kombinací záběru strojů, pracovní rychlosti tahové síly a účinnosti. Adekvátně výkonu musí být traktor dostatečně těžký. Dotížení traktoru se pohybuje v rozmezí od 60 do 70 kg/kW, resp. od 21 000 do 31 000 kg celkové hmotnosti. Například 36 řádkový secí stroj pro přímé setí, pracující rychlostí 10 km/h vyžaduje cca 6.25 kW/řádek. K tomu je zapotřebí dodržovat doporučené huštění a rozměry pneumatik dané výrobcem. Zde také platí vztah mezi huštěním pneumatik a půdou. V souvislosti s tím je doporučováno snižování tlaku v pneumatikách na minimum s ohledem na maximální výkonnost a spotřebu paliva. Při dalším navyšování výkonu traktoru nad současný trend budou muset



Obr. 63: Ukázka použití navigace a autonomního otáčení souprav na souvratích (foto Strom Praha).

být navyšovány další limity. Jedná se například o navyšování zátěže pneumatik, velikostí pneumatik, počtu pneumatik na nápravu nebo počtu náprav. Zde však narážíme na omezení jako maximální šíře traktoru a zařízení v rámci evropských zemí 3 a 3,5 m. Další limit představuje maximální možné zatížení na nápravu 15 000 kg (Shearer a Pitla 2013).

Vývoj na poli automatizace polních strojů

Od počátku vývoje robotických systémů byla představena řada kroků směřující k nástupu robotů a autonomních strojů, jako je snímání, navigace, ovládání, komunikace a spolupráce robotů s lidmi. Zavádění prvků automatizace lze pozorovat na několika dílčích krocích. S představením a využitím mikroprocesorů v zemědělských strojích bylo jen otázkou krátkého času, kdy bude spuštěna realizace sdílení a správy dat mezi jednotlivými procesory. Důležitými prvky pro zavádění automatizace spočívá také v budování RTK korekčních stanic a sítí pro bezdrátovou komunikaci a transfer dat. Vznikne tak dostatečná kapacita pro generování, sdílení a ukládání dat v reálném čase pro kontrolu funkcí strojů, podporu vzájemné komunikace mezi stroji (M2M) a sdílení dat pro vzájemnou koordinaci polních prací. Vše směřuje k postupnému zavádění automatizace zemědělských strojů (Shearer a Pitla 2013).

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 flotily strojů, využití pouze jednoho terminálu pro různé stroje, výměně dat mezi strojem a traktorem, ovládání pomocí joysticku, aplikaci systému

TIM –TractorImplement 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., 2010). Logickým krokem v dalším rozšíření a uplatnění navigací je autonomní otáčení strojů na souvratích a s tím spojené ovládání nářadí (Obr. 63). 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. Významnou kapitolu představuje automatické ovládání sekcí aplikační techniky (Shearer a Pitla 2013).

Koncepty robotů pro zemědělství

Tato myšlenka není zcela novou. Mnoho inženýrů již v minulosti vyvinulo traktory fungující bez řidiče, ale žádný z nich nebyl úspěšný, neboť nebyl schopen zahrnout rozmanitost skutečného prostředí. Mnozí z nich převzali průmyslový způsob hospodaření, kde je všechno předem známé a stroje pracují výhradně podle předem definovaných postupů – stejně jako výrobní linka. Současné pojetí si klade za cíl vyvinout chytřejší stroje, které budou natolik inteligentní, aby byli schopni pracovat v polním prostředí a vykonávat různé druhy zemědělských činností. Tyto stroje nemusí být inteligentní ve smyslu, jak se díváme na inteligenci u člověka, ale musí projevovat určitou dávku rozumného chování v rozpoznatelných souvislostech. Z tohoto hlediska by měli mít dostatek vnitřně zabudované inteligence, aby byly schopny samostatného chování po delší časové období, bez dozoru, v provozním prostředí při provádění potřebných úkolů. Jednou z cest pochopení spletnosti všech postupů bylo určení činností, které lidé dělají v určitých situacích a jejich rozložení do jednotlivých příkazů pro strojové řízení. Nazýváme

to například robotické chování a návrh metod pro aplikování přístupů v zemědělství. Tento přístup k zacházení s plodinami a půdou selektivně, podle jejich potřeb pomocí malých samostatných strojů je přirozeným krokem k rozvoji precizního zemědělství, třebaže zmenšuje pole působnosti až k individuálnímu přístupu k pěstovaným rostlinám. Autonomní roboti pro zemědělskou praxi se v budoucnu mohou stát realitou. Dnes se většina zemědělských plodin pěstuje v řádcích. To by mohl být rovněž podnět pro vývoj těchto systémů a do jisté míry usnadnění práce pro robota z pohledu snadné orientace v porostu následováním řádků rostlin [Astrand a Baerveldt 2005].

S nástupem elektroniky a senzorů se rovněž snižuje měřítko pro rozhodování a variabilní zásahy. Z jednotky farma se tak dostáváme na měřítko pole a časem se jistě dopracujeme na měřítko rostlina nebo části rostlin. V souvislosti s tzv. robotickým zemědělstvím se stále častěji k běžným termínům ze zemědělské praxe přiřazuje předpona mikro – hovoří se mikrozpracování půdy, mikropostřiku a podobně. Na obrázku 64. je představen poloautonomní kultivátor pro meziřádkovou kultivaci a kypření v řádku mezi rostlinami.

S menším měřítkem bude také zapotřebí menších strojů. Mobilní roboti by mohli převzít běžné úkoly, jako je kontrola zaplevelení nebo napadení rostlin chorobami, variabilní aplikace, mapování pozemků nebo například umísťování atraktantů pro přilákání přirozených nepřátel škůdců [Van Henten a kol., 2009]. K výkonu této funkce musí veškerá použitelná data splňovat základní požadavky - pohotovost a prostorovou rozlišovací schopnost. Od zjištění požadavku do provedení zásahu běží velmi krátká reakční doba. 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].



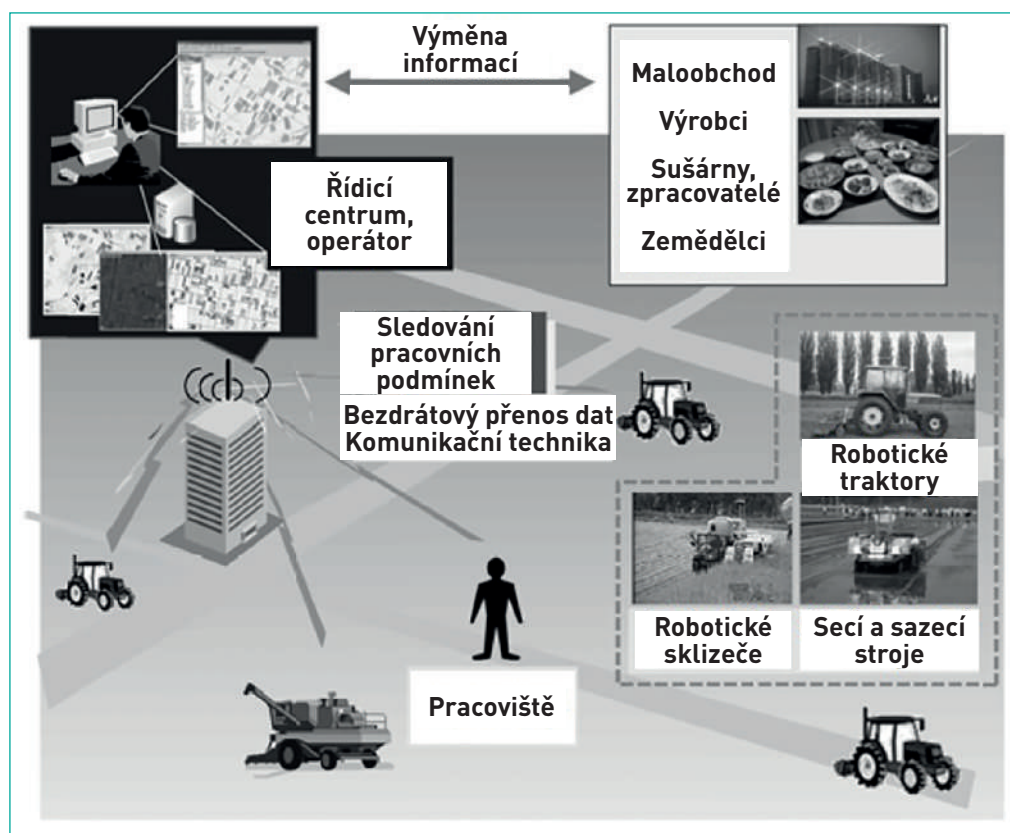
Obr. 64: Poloautonomní kultivátor pro mechanickou likvidaci plevelů. (foto Kroulík)

Výzkum a vývoj v této oblasti je zaměřen na představení vysoce sofistikovaných robotů, zcela nezávislých na lidském rozhodování, kteří díky vysoké technologické úrovni mohou přinést ekonomický a ekologický prospěch [Ruckelshausen a kol., 2009]. Jak uvádí Blackmore (2009) je možné rozdělit pěstební sezonu s ohledem na využití robotů do tří fází: zakládání porostu, cílené ošetřování a selektivní sklizeň.

Při zakládání porostu by byly maximálně respektovány půdní podmínky a požadavky osiva s cílem snížení počtu operací na minimum. Intenzivní zpracování půdy vyžaduje dostatečně výkonné traktory. Pokud ale uvažujeme o menších a lehčích strojích, potom jsme například ve velikosti tažné síly značně limitováni. Alternativou může být právě cílené zpracování půdy pro jednotlivé rostliny. Společně s lokální aplikací hnojiva by bylo možné vytvořit požadované podmínky pro růst a vývoj rostlin. Rovněž rozmístění osiva nebo sadby do pravidelného organizovaného sponu, kde navíc bude známa poloha jednotlivých rostlin, umožní další cílené zásahy jako je přihnojování, ochrana rostlin nebo případné dosévání a dosazování.

Ve fázi ošetřování porostu bude kladen důraz na důkladné monitorování stavu rostlin a na základě potřeby nebo zjištění infekčního tlaku bude proveden cílený zásah. Cílená aplikace může být navíc provedena velmi rychle. Další možností je podání informace o případné hrozbě zasláním zprávy konkrétní osobě. Významnou roli v této oblasti může hrát také mechanický způsob potlačování plevelů, vzhledem k neorganizovanému výskytu plevelných rostlin a známé poloze rostlin kulturních.

Při selektivní sklizni může být nahrazena lidská práce při kontrole zralosti, barvy, velikosti plodů apod. Při jednorázové sklizni není respektována variabilita porostu, ač je tato skutečnost obecně známa. Jak uvádějí Stentz a kol., (2002), automatizací zemědělských strojů můžeme zvýšit produktivitu, zlepšit bezpečnost a snížit náklady mnoha zemědělských operací.



Obr. 66: Ukázka organizace robotické farmy (Noguchi, 2018). Upravil Kroulík).

Koncept člověk - robot

Kooperace lidí (HO; Human Operator) a robotů jako HRI nebo HRS (Humane-Robot Interaction; Human Robot System) v posledních letech výrazně nabylo na významu (Obr. 65). Kooperaci robotů a člověka můžeme definovat ve čtyřech bodech od dozorování rutinních úkonů, kdy roboti provádí omezenou sérii akcí, po dálkově ovládané stroje pro řešení nepředvídatelných situací nebo plnění úkolu v režimu mastere - slave, autonomní vozidla, kdy je člověk na pozici cestujícího, po interakci sociální (Sheridan, 2016). Lze předpokládat, že lidé budou i nadále zapojeni do rozhodovacího procesu a roboti budou v procesu napomáhat a s rostoucí inteligencí strojů bude systém více a více autonomní (Wolfert 2017).



Obr. 65: Odvozový prostředek pracuje v kooperaci se sklízecí mlátičkou (foto Kroulík).

Pokud uvažujeme o zemědělství, stojí na jedné straně vysoký stupeň variability, anomálií a nepředvídatelných situací, pro zemědělství typické, kdy jsou schopnosti lidí vnímat, přemýšlet a rozhodovat se nepřekonatelnými (Tervo a Koivo, 2014), na druhé straně čelíme nedostatku pracovní síly. Ačkoliv je pro řadu zemědělských operací možné počítat s uplatněním autonomních prostředků (Marinoudi a kol., 2019), některé speciální práce nelze spolehlivě robotickými systémy plně nahradit. Zejména se jedná o pěstování ovoce a zeleniny. V případech, kdy manuální práci nelze nahradit robotem, lze manuální práci robotických systémem doplnit a těžit tak ze vzájemné spolupráce (Bechar a Vigneault, 2016; Vasconez a kol., 2019). Výsledky ukazují na výrazné zvýšení přesnosti navigace a rovněž výrazné zkrácení doby potřebné na polní operace v porovnání s prací jednoho traktoru (Zhang a kol., 2015).

Autonomní polní robot

Autonomní robotické systémy (ARS; Autonomous robot systems) jsou vyvíjeny pro provádění úkolů, rozhodování a jednání v reálném čase bez zásahu člověka. Řada výzkumů se také orientuje na vývoj robotů do nestrukturovaného prostředí a to jak venkovního tak vnitřního. Od podobných strojů se vyžaduje vysoká míra flexibility, proto sběr dat a rozhodování jsou základními požadavky na dosažení přiměřeného stupně autonomie (Bechar a Vigneault, 2016).

Robotický zemědělský systém plně automatizuje zemědělské činnosti, od zakládání porostů a sklizně až po dodávky konečnému uživateli. Robotické traktory a robotické stroje využívají přesné navigace. Veškeré stroje plní



Obr. 67: Koncepte robotického traktoru společnost CNH (foto Kroulík).



Obr. 68: Koncepte robotického traktoru John Deere (foto Kroulík).



Obr. 69: Koncepce robotického traktoru CNH - New Holland (foto Kroulík).



Obr. 70: Koncepce koordinovaného roje robotů Fendt (foto Kroulík).

zadané úkoly s možností vzájemné komunikace mezi stroji. Obrázek 66. prezentuje vizi robotické farmy. Zahrnuje systém řízení robotů v reálném čase, monitoring strojů, navigační systémy a samozřejmě bezpečnostní prvky. Operátor v řídicím centru může analyzovat data odesílaná robotickými stroji v reálném čase a může okamžitě předávat informace zemědělcům, maloobchodníkům, případně výrobcům atd. Operátor rovněž vidí stav zařízení v reálném čase s využitím GIS aplikací, zatímco stroj pracuje (Noguchi, 2018).

Příklady provedení, výzkumné projekty

Společnost CNH představila koncepci autonomních traktorů (Obr. 67), který konstrukčně vychází ze současných traktorů. Je určen pro autonomní práce, případně pro kooperaci s jiným traktoem ovládaným řidičem. S telematickým přenosem dat je možné vzdáleně kontrolovat práci strojů a rozhodovat v případě omezení nebo překážek.

S provozem velkých traktorů je na druhou stranu spojeno utužení půdy a poškození půdní struktury. Pokud jsou traktory menší a lehčí, nedochází k tak výraznému poškození

půdy, ale také klesá výkonnost traktorů. Pro zajištění shodné plošné výkonnosti je zapotřebí jejich většího počtu. Z pohledu ekonomiky však toto řešení není přijatelné, už jenom z pohledu zajištění řidičů pro jednotlivé traktory. Řešení se nabízí v nasazení autonomních systémů, které nahradí těžké traktory v podobě malých a lehkých robotů. Farmy tak budou mít k dispozici skupiny robotických traktorů (Obr. 68, 69). Stále však stojíme před řadou problémů (Grimstad a From 2017). Většina výzkumů v oblasti nasazení skupin (rojů) robotů vychází z běžného chování sociálních skupin hmyzu, ryb nebo savců (Tan a Zheng 2013). I když se ukazuje, že traktor bude i nadále hlavním zdrojem trakční síly, budoucnost je v nasazení rojů robotických platforem s nižší hmotností.

Fendt vede vývojový projekt Xavier (Obr. 70). Systém Xavier zahrnuje 6 až 12 koordinovaných robotů a cloudovou platformu pro plánování, sledování a přesné zdokumentování jednotlivých úkonů. Vedle nižších emisí a úspor paliva vykazuje výrazně nižší zhutňování půdy. Nevýhodou je, že traktor s hmotností nižší než 40 kg bude limitován nízkou trakcí. To bude i nadále vyžadovat součinnost s traktory.



Obr. 71: Robotická platforma Ecorobotix. (foto Kroulík)



Obr. 72: Robot Naio Dino. (foto Kroulík)

Koncepce robotické platformy Ecorobotix (Obr. 71) je určena pro cílenou aplikaci herbicidů v širokořádkových plodinách.

Komerčně dostupnými jsou dnes roboti společnosti Naio. U nasazení platform se počítá především s kultivačními pracemi. Na obrázku 72. je představen robot Naio Dino.

V roce 2018 byla společností LeadingFarmers a.s. v České republice představena robotická platforma AgriointelliRobotti (Obr. 73). Koncepce je založena na dvou motorových jednotkách, 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.

Na řadě univerzit a výzkumných centrech je veden výzkum a vývoj zaměřený na uplatnění robotů v zemědělství. Mezi mediálně známé projekty patří „Hands Free Hectare“ univerzity Harper Adams University. Univerzitní pozemek je zcela obhospodařován robotickými stroji.

Jedno z největších výzkumných center zaměřených na robotiku je Australian Centre for Field Robotics.

Bezpilotní prostředky

Jedna z významných oblastí pro uplatnění robotických systémů je dálkový průzkum Země s využitím bezpilotních prostředků. Bezpilotní prostředky lze klasifikovat jako poloautonomní, autonomní, případně skupinová UAV (Unmanned Aerial Vehicle) v závislosti na úrovni automatizace. Základní rozdělení bezpilotních letadel podle typu je na multikoptéry (Obr. 74), které mají několik vrtulí, které celou konstrukci drží ve vzduchu a udávají směr letu a křídla - bezpilotní letadla „klasické konstrukce“ s dvěma křídly. Multikoptéra je typ bezpilotního letadla s kolmým startem a přistáním, k čemuž mu slouží daný počet motorů a vrtulí. Na rozdíl od klasické helikoptéry s jedním hlavním rotorem má rotorů několik. Podle počtu motorů dělíme multikoptéry na: kvadrokoptéry (čtyři vrtule), hexakoptéry (šest vrtulí) a oktakoptéry (osm vrtulí). Pro uložení vrtulí na ramenu bezpilotního letadla platí, že se sousední vrtule točí v protisměru. Čím větší je počet vrtulí, tím více stoupá výkon multikoptéry a tím je stroj ve vzduchu stabilnější a provozně bezpečnější. Multikoptéry je možné používat jak k manuálnímu létání, tak k semiautomatickým letům dle předem definované trajektorie. Hlavní nevýhoda multikoptér oproti křídlovým spočívá



Obr. 73: Předváděcí akce společnosti LeadingFarmers a.s. a představení robota Agrobot (foto Kroulík).



Obr. 74: Konstrukční řešení používaných bezpilotních prostředků, delta křídlo a multikoptéty. (foto Kroulík)



Obr. 75: Kooperace pozemní platformy a bezpilotního prostředku. (foto Kroulík)



Obr. 76: Bepiltní prostředek vybavený aplikačním zařízením. (foto Kroulík)

v tom, že multikoptéry mají ve vzduchu menší výdrž než bezpilotní letadla s křídlem. Důvodem je jednak jejich větší hmotnost, ale také skutečnost, že nemohou využívat vzlaku křidel a vzdušné termické proudy. Hlavní výhodou multikoptér je především snadná manipulovatelnost a konfigurovatelnost vzhledem sensorovému příslušenství. Hybridní řešení spojující přednosti obou předchozích typu je VTOL (Vertical Take-Off and Landing), tedy křídla, které jsou schopny kolmého letu i přistání.

Snímky pořízené bezpilotními prostředky se používají ke sběru informací o celých pozemcích. Tato data by měla být vždy propojována s údaji shromážděnými pozemní sensorikou (zemědělských strojů, ručním či stacionárními měřeními) za účelem vytvoření podrobných digitálních map konkrétních zón (Hoeren a Kolany-Raiser 2018).

K monitoringu zájmového území se využívá pasivních senzorů kamer, multispektrálních/hyperspektrálních kamer, termokamer nebo nebo aktivních senzorů LIDARů. Pomocí snímků lze analyzovat variabilitu rostlin, půdy, detekovat výživný stav rostlin, plevel, škůdce, choroby, klasifikovat stresové faktory.

Schmale a kol. (2008) zaznamenali během autonomních přeletů a odběrů nad sledovanými pozemky výskyt celé řady nebezpečných patogenů rostlin zejména u pšenice, ječmene a kukuřice. Techy a kol. (2010) použili bezpilotních prostředků ke zjištění a popisu šíření spor plísňe bramborové z míst se zaznamenaným výskytem. Byly dokonce nasazeny dva stroje, které pracovaly ve vzájemné součinnosti. Podobný způsob odběru vzorků by mohl v budoucnu přispět k určení míry rizika infekce, šíření chorob a napomáhat k efektivnějšímu rozhodování o použití vhodných účinných látek.

Výzkumně se řeší rovněž využití platformy co-robot, a to nejen pro spolupracující s lidmi ale také s ostatními stroji nebo roboty (Obr. 75). Bepiltní prostředky je možné v současné době využít i pro aplikaci hnojiv či pesticidů s limity danými technickými vlastnostmi platformy (nosnost, doba provozu) a legislativními podmínkami (Obr. 76). Využití naleznou především v hůře dostupném terénu, případně v ohniskovém ošetření ploch. Rovněž může ošetřit příslušné partie vzrůstnějších výsad, které stroje pro ochranu rostlin již nedokážou spolehlivě ošetřit. V rozvojových zemích tyto roboty představují náhradu za ruční ošetření, kdy dochází k intenzivnímu kontaktu člověka s používanými chemikáliemi a výraznému navyšování aplikovaných postřiků.



Obr. 77: Platforma Tibot, určená do chovných zařízení drůbeže. (foto www.tibot.fr)



Obr. 78: Robotická platforma, na které pracuje robotický tým ČZU v Praze (foto Kroulík).



Obr. 79: Jeden z robotů, připravený na robotické klání (foto Lev).

Robotika v živočišné výrobě

Velmi dobrým příkladem uplatnění robotických systémů je chov hospodářských zvířat, kde mikročipy a senzory například v obojcích nebo ušních známkách měří tělesnou teplotu, životně důležité údaje a pohybové aktivity zvířat. Analýza těchto údajů neumožňuje pouze nepřetržité sledování zdraví krav, ale také například upozorňuje na vhodný termín pro inseminaci nebo na blížící se porod. Farmáři a veterináři jsou upozorňováni softwarově řízenou aplikací. Dojení krav je již zcela prováděno pomocí robotů, které rovněž kontrolují užitkovost jednotlivých krav. Rovněž je sledováno stájové prostředí. Veškeré tyto informace umožní včasné rozpoznání a řešení problémů, napomáhají optimalizaci chovu a přispívají k pohodě a klidu zvířat (Hoeren a Kolany-Raiser 2018, Loučka a kol., 2019). Robotických systémů se dále využívá k čištění chodeb nebo zakrmování Wolfert (2017). Obecně lze říci, že v oblasti živočišné výroby se setkáváme se systémem inženýrských budov, které poskytují nezbytné chovatelské prostředí a podpůrné infrastruktury pro chod chovatelského zařízení (Purswell a Gates 2013).

Na obrázku 64 je představena robotická platforma pro zajištění pohybové aktivity drůbeže na volné podestýlce. Uplatnění nachází v chovech nosnic, kde dochází k redukci snůšky mimo snášková hnízda, ale také u brojlerů, kde je sledován, díky pohybu zlepšený zdravotní stav drůbeže.

Robotika na ČZU v Praze

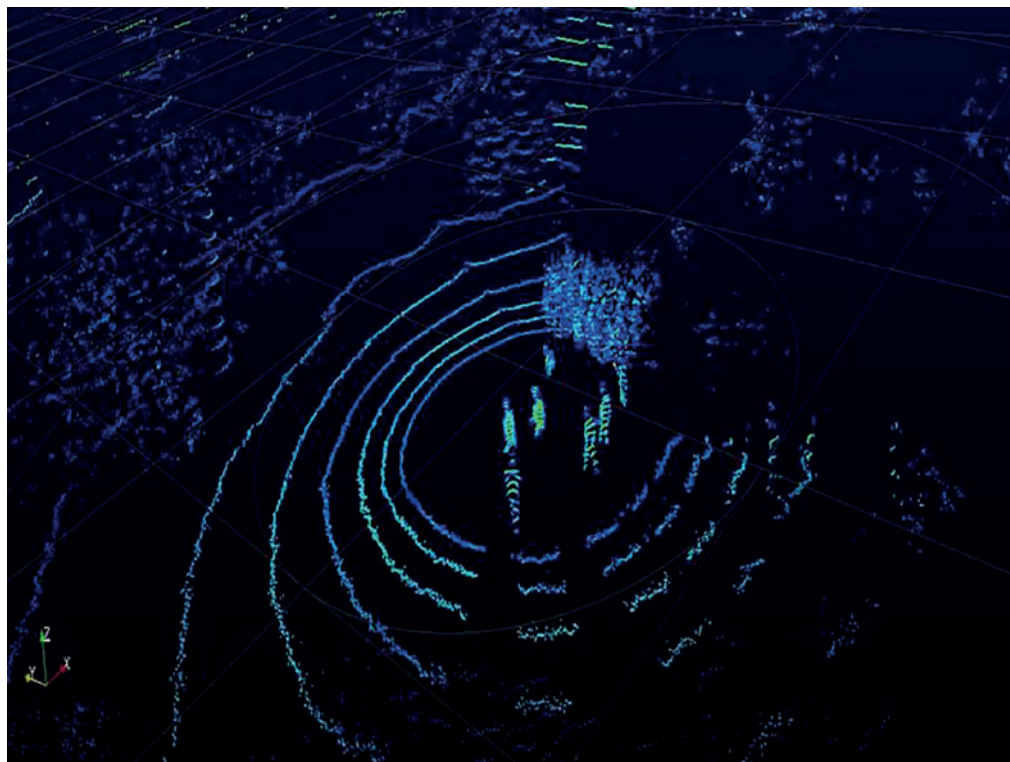
Vývoj robotických systémů pokrývá celou řadu oborů a také podmínek pro nasazení do zemědělství a robotický tým katedry zemědělských strojů TF ČZU pracuje hned na několika prototypech robotů.

Interní projekt FARMS (Fields Agricultural Robotics Mobile Systems) se zaměřuje na výzkum, vývoj a aplikace autonomních robotických platform a systémů pro využití ve venkovních polních podmínkách (Obr. 78).

Podle využití se jedná o konstrukce pro širokořádkové a úzkořádkové plodiny, zeleninu a ovoce nebo vytrvalé porosty dřevin a chmele. Vedle vývoje nových platform se tým rovněž zabývá rozšířenou implementací stávajících systémů, návrhy nových aplikací pro tyto systémy a hledání cest pro uplatnění v zemědělství a různých environmentálních podmínkách.

Kromě reálných aplikací v polních podmínkách se robotický tým také úspěšně prezentuje na mezinárodních soutěžích a to včetně prestižní soutěže, kterou vyhlásila americká agentura DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) viz obrázek 79. Do řady aktivit se zapojují studenti.

Projekt zaměřený na zcela nové pojetí ovocných sadů. Řada pracovišť na celém světě v současné době vyvíjí a testuje autonomní systémy určené pro práci v sadech. Ovocnářství bylo ve všech operacích, prováděných v sadech vždy spojeno s intenzivní lidskou prací. Navíc je současná praxe v přístupu k sadům omezena na správu celých bloků, bez zohlednění přirozené nebo vnesené variability. Otevírá se zde výrazný prostor pro zajištění efektivnější práce s výrazným omezením potřeby práce lidské práce. Nedostatek pracovníků rovněž prohloubila situace ohledně omezení, spojených s pandemií Covid-19. Nově přijatý projekt bude řešit zcela novou koncepci ovocného sadu, se zaměřením na produkci kvalitních tržních jablek, s reálným využitím senzorové techniky, cílených zásahů, pokročilých metod automatizace, umělé inteligence a robotiky.



Obr. 81: Výstup z 3D Lidaru.

Co přinese přechod na robotickou farmu?

Zemědělský robot sám o sobě mnoho nezmůže, potřebujeme podpůrné systémy, manipulaci s materiálem, zajištění vstupů na pole (osivo, hnojiva, atd.), případně odvoz z pole (zrno, balíky sena). Dále je to doplňování energie (palivo nebo dobítí).

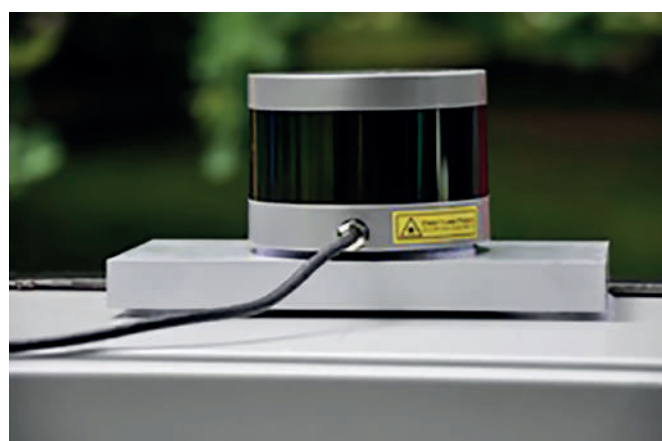
Na řadě pracovišť se zkouší pátá generace mobilní komunikační sítě, zkráceně 5G. Tento bezdrátový standard není jen rychlejší než jeho předchůdci, ale je orientován na potřebu vysoké rychlosti přenosu dat na jedné straně a rychlou dobou odezvy na straně druhé.

Dále se ukazuje, že lokalizace s využitím GNSS není dostatečně spolehlivá pro autonomní použití. V neposlední řadě je třeba pamatovat na bezpečnostní systémy a právní předpisy a omezení, která jsou stále v přípravě. S nástupem nových technologií a trendem zavádění autonomních systémů a robotizace do zemědělství, se všemi klady i záporů, které se s robotizací pojí, se k některým alternativám k družicovým navigacím vracíme a zavádíme.

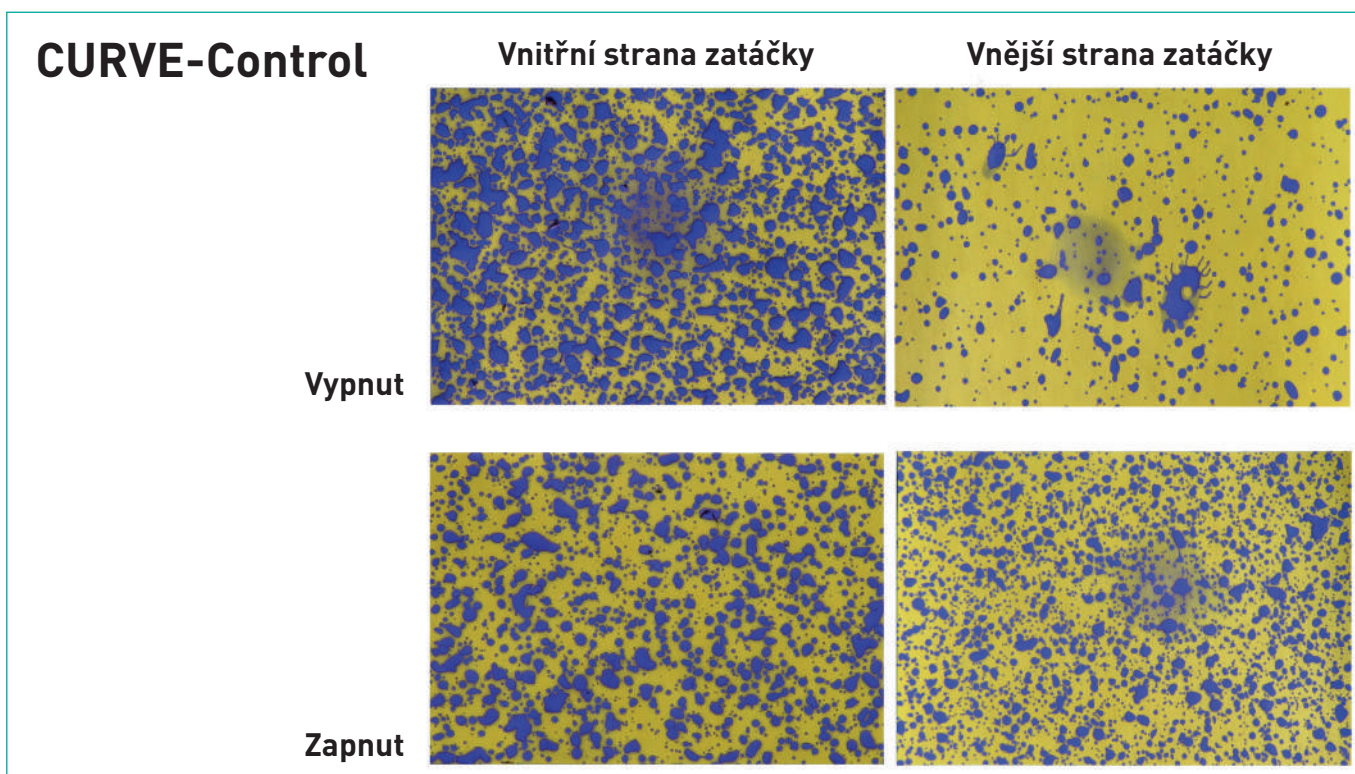
Na obrázku 80. je představen 3D laserový skener, nebo též 3D Lidar, který skýtá vedle navigace také potenciál pro sběr dat. V jednom okamžiku senzor proměřuje vzdálenosti okolních předmětů ve více rovinách, resp. kuželech, (zde celkem v 16ti), v rozsahu v 360°.

Na obrázku 81. je představen výstup, kde je možné rozpoznat přítomné osoby, pohybující se v blízkosti robota a vzdálenější keře a stromy.

Vedle GPS navigace a optických senzorů se uplatňují další senzory, jako je například IMU jednotka (Inertial Measurement Unit, zahrnuje kompas, akcelerometr a gyroskop). Význam jednotky je demonstrován na práci ramen postřikovače v zatáčkách, kde je třeba kompenzovat rozdílné obvodové rychlosti ramen pro zajištění rovnoměrnosti pokrytí postřikem. Rozdíly u krajních sekcí jsou patrné i bez dalších analýz (Obr. 82). V rámci jednoduchého polního testu byl zkoušen samojízdný postřikovač DINO od firmy AGRIO MZS s.r.o., osazený výbavou CURVE-Control firmy Müller Elektronik, která umíněnou kombinaci senzorů využívá.



Obr. 80: 3D Lidar PUCK VLP-16 od společnosti Velodyne (foto Kroulík).

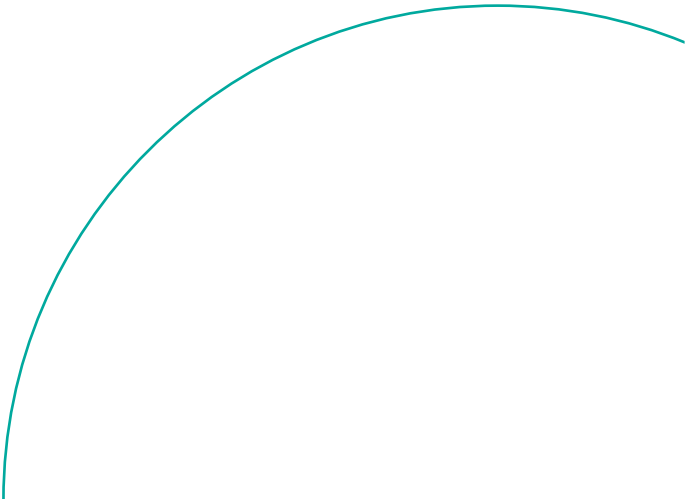


Obr. 82: Výsledek testu s aplikací CURVE-Control, která zajišťuje vyrovnaní dávky postřikové kapaliny v zatáčkách (Kroulík).

Další možností pro podporu navigace je využití stereo-kamer, tedy dvou synchronizovaných kamer snímajících přibližně stejný prostor ze dvou pozic. Podobně jako my využíváme dvě oči, abychom mohli vnímat svět kolem nás ve třech rozměrech, tak i stereokamera nám umožní dopočítat prostorovou polohu každého bodu v obraze. Obě metody nám tedy přinášejí informaci o prostorové poloze našich významných bodů. Pokud se stroj nyní pohybuje, nemáme již jen prosté informace o směru pohybu, ale získáváme již celkem přesná data o poloze stroje v reálném čase.

Metody vizuální odometrie jsou využívány primárně na autonomních strojích (drony, mobilní roboti). Díky tomu se tyto stroje mohou pohybovat v uzavřených prostorech bez signálu GPS. Ve venkovních prostorech pak vizuální odometrie může doplňovat systém GPS například v sadech a chmelnicích.

Nasazení stroje vyvolává vždy mnoho otázek stran jeho pořízení, přizpůsobení se specifickému prostředí, ziskovosti, dlouhodobé účinnosti. V případě robotických platforma vstupují do úvah i nové faktory v podobě technické kompetence obsluhy a socioekonomických souvislostí vytváření nových pracovních pozic. Řádná příprava farmy a schopnost vypořádat se změnami jsou nepominutelnými milníky jejich implementace a konverze s tím spojených činností.



POUŽITÁ LITERATURA

- Astrand B., Baerveldt A.J. (2005): A vision based row-following system for agricultural field machinery. *Mechatronics*, 15(2), 251-269.
- Bechar, A., Vigneault, C. (2016): Agricultural Robots For Field Operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Blackmore B.S. (2009): New concepts in agricultural automation. Precision in arable farming – current practice and future potential. Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK, Home Grown Cereal Authority.
- 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.
- Grimstad L., From P. J. (2017): Thorvald II-a modular and re-configurable agricultural robot. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 4588-4593.
- Hoeren T., Kolany-Raiser B. (2018): Big Data in Context: Legal, Social and Technological Insights. Springer.
- Karsten B. (2019): Tractor swarms poised to take over. [Cit. 18.12.2020] Dostupné z: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2019/7/Tractor-swarms-poised-to-take-over-440320E/>
- Loučka R., Homolka P., Jančík F., a kol. (2019): Precizním farmařením k lepším výsledkům ve výrobě. Sborník ze semináře pro chovatelskou veřejnost: Prvky precizního zemědělství v chovu hospodářských zvířat. Praha, Útvar dokumentace a propagace VÚŽV, v.v.i. Uhřetěves.
- Marinoudi V., Sørensen C. G., Pearson S., Bochtis D. (2019): Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, 184, 111-121.
- Noguchi N. (2018): Agricultural vehicle robot. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 30(2), 165-172.
- Purswell J. L., Gates R. S. (2013): Automation in Animal Housing and Production. In: Zhang Q, Pierce F., J. Eds. *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, CRC Press, 205-224.
- Rovira-Más F., Zhang Q., Hansen A. C. (2011): *Mechatronics and intelligent systems for off-road vehicles*, Springer.
- Ruckelshausen A., Biber P., Dorna M., Gremmes H., Klose R., Linz A., Rahe R., Resch R., Thiel M., Trautz D., Weiss U. (2009): BoniRob: an autonomous field robot platform for individual plant phenotyping. In: *Precision agriculture '09: Proceedings of the 7th European Conference on Precision Agriculture*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 988 s.
- Shearer S., Pitla S. (2013): Field Crop Production Automation. In: Zhang Q, Pierce F., J. Eds. *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, CRC Press, 97-122.
- Schmale D.G., Dingus R., Reinholtza C. (2008): Development and Application of an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle for Precise Aerobiological Sampling above Agricultural Fields. *Journal of Field Robotics*, 25(3), 133-147.
- Soukup J. (2000): Regulace zaplevelení v pojetí precizního zemědělství. Sborník z 6. konference: Racionální použití hnojiv, KAVR AF ČZU v Praze, 30.11.2000, 56-61.
- Stentz A., Dima C., Wellington C., Herman, H., Stager, D. (2002): A system for semi-autonomous tractor operations. *Autonomous Robots*, 13(1), 87-104.
- Tan Y., Zheng Z. Y. (2013): Research advance in swarm robotics. *Defence Technology*, 9(1), 18-39.
- Techy L., Schmale III D. G., Woolsey C. A. (2010): Coordinated aerobiological sampling of a plant pathogen in the lower atmosphere using two autonomous unmanned aerial vehicles. *Journal of Field Robotics*, 27(3), 335-343.
- Tervo K., Koivo, H. N. (2014): Adaptation of the human machine interface to the human skill and dynamic characteristics. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3).
- Van Henten E.J., Van Asselt C.J., Bakker T., Blaauw S.K., Govers M.H.A.M., Hofstee J.W., Jansen R.M.C., Nieuwenhuizen A.T., Speetjens S.L., Stigter J.D., Van Straten G., VanWilligenburg, L.G. (2009): WURking:

- a small sized autonomous robot for the Farm of the Future. In: Precision agriculture '09: Proceedings of the 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 833-840.
- Vasconez J. P., Kantor G., A., Cheein F., A., A. (2019): Human-robot interaction in agriculture: A survey and current challenges. *Biosystems Engineering*, 179, 35-48.
 - Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M. J. (2017): Big data in SmartFarming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
 - Zhang C., Yang L., Noguch N. (2015): Development of a robot tractor controlled by a human-driven tractor system. *Engineering in agriculture, environment and food*, 8(1), 7-12.
 - 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.
 - 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. Certifikovaná metodika, VÚRV. 54 s.
 - 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. 42 s.
 - Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W. (2014): Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, 736 s.
 - Humboldt State University. (2018): Vegetation Spectral Reflectance Curves. [Cit. 22.4.2019]. Dostupné z: http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/vegetation.html
 - Satellite Imaging Corp. (2017). Satellite Sensors and Specifications. [Cit. 27.4.2019]. Dostupné z: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/>
 - Pohanková E. (2016): Modelování růstu a vývoje ječmene jarního. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrosystémů a bioklimatologie. Vedoucí práce Prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D.
 - Jones H. G., Vaughan R. A. (2010): Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications. OUP Oxford, 353 p.
 - Kolář J. (1990): Dálkový průzkum Země. SNTL, 170 s.
 - Moldan B. (2015): Podmaněná planeta. Karolinum Press, 512 s.
 - Pham X., Stack M. (2018): How data analytics is transforming agriculture. *Business Horizons*, 61(1), 125-133.
 - Poonia R. C., Gao X.Z., Raja L., Sharma S., Vyas S. (2018): Smart farming technologies for sustainable agricultural development. IGI Global, 308 s.
 - Raymond Hunt Jr E., Doraiswamy P. C., McMurtrey J. E., Daughtry C. S., Perry E. M., Akhmedov B. (2013): A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103-112.
 - Richards J. A. (2013): Remote Sensing Digital Image Analysis : An Introduction. Springer Science & Business Media, 281 s.
 - Thenkabail P. S. (2015): Remotely sensed data characterization, classification, and accuracies. CRC Press, 712 s.
 - Zhang Q. (2016): Precision agriculture technology for crop farming. CRC Press, 374 s.
 - Zhang Q., Pierce F. J. (2016): Agricultural Automation: fundamentals and practices. CRC Press, 411 s.
 - Dobrovolný P. (1998): Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Katedra Geografie, 208 s.



PŘÍRUČKA PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ PRO PRAXI

Autoři:

Ing. Jan Lukáš, Ph.D.
doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.
Ing. Kateřina Křížová

Vydavatel:

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Česká technologická platforma pro zemědělství
Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze

Grafika:

Pavla Brus Ortová

Tiskárna:

SYNERGIE: 4U s.r.o.

Vydání: první

Rok vydání: 2020

Náklad: 1000 ks

ISBN: 978-80-7427-346-9

Publikace vznikla jako součást projektu č.: QK 1910281

