

PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

Ministerstvo zemědělství

PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ

Praha 2023

Obsah

I	Historie precizního zemědělství	5
1.1	Vývoj ve světě	5
1.2	Historický vývoj v ČR	7
2	Možnosti precizního zemědělství v rostlinné výrobě	9
2.1	Co je precizní zemědělství a jak pomáhá rostlinné produkci?	9
2.2	Optimalizace pojezdových linií	9
2.3	Variabilita setí	10
2.4	Variabilní hnojení	10
2.5	Postupy precizního zemědělství v ochraně rostlin	10
2.6	Odhady a měření výnosu	12
3	Precizní zemědělství a vztah k životnímu prostředí	13
3.1	Cílený pohyb zemědělské techniky	13
3.2	Význam navigačních systémů	14
3.3	Přesnost jako základ snížení spotřeby přípravků na ochranu rostlin a hnojiv	15
4	Možnosti precizního zemědělství v živočišné výrobě	16
4.1	Den v provozu mléčné farmy	16
4.2	Precizní zemědělství v chovu skotu	17
5	Precizní zemědělství v ekologickém zemědělství	21
5.1	Precizně ekologicky na poli	21
5.2	Nové metody a precizní stroje umožní přizpůsobit se variabilitě prostředí	21
5.3	Základem je plán optimalizace půdních bloků	21
5.3.1	Precizní zpracování půdy	22
5.3.2	Precizní podmiňovače a kultivátory	22
5.4	Multifunkční řešení nejen pro ekologii	22
5.5	Regulace zaplevelení přímo u zdroje – drčení semen plevelů na výstupu ze sklízecí mlátičky	22
5.6	Výzvou je řešení variabilní aplikace tuhých statkových hnojiv	22
6	Pozitivní dopady zavádění precizního zemědělství na ekonomiku podniku	24
7	Budoucnost (precizního) zemědělství	26
8	Seznam autorů	29
9	Seznam zkratk	30
10	Seznam obrázků	31
11	Seznam citací	32

I Historie precizního zemědělství

Precizní zemědělství (precision agriculture) je mezinárodně ujednocený název pro směry využívající nové technologie, které začaly být rozvíjeny koncem osmdesátých a začátkem devadesátých let dvacátého století a nazývaly se například: *farming by soil*, *computer aided farming*, *farming by satellite*, *high-tech sustainable agriculture*, *site crop management*, *site specific agriculture* atd. V širším pojetí jsou postupy precizního zemědělství označovány také jako „*smart farming*“ nebo *Zemědělství 4.0*.

Precizní hospodaření se od ostatních způsobů hospodaření na zemědělské půdě liší způsobem provádění managementu. Tradiční pojetí vychází z toho, že základní jednotkou agrosystému je pozemek, který je považován za homogenní. Precizní zemědělství překonává tento přístup, a snaží se uplatněním nových technologií v rostlinné produkci využívat heterogenitu půdních podmínek v rámci pozemků i rozdílů v časové dynamice produkčních procesů. Namísto managementu celých polí jako jednotlivých jednotek, je řízení uzpůsobeno pro malé plochy v jejich rámci. To klade větší nároky na dodržování správných agronomických postupů. Důležitou součástí precizního zemědělství je proto práce s informacemi.

Jako hlavní technologie precizního zemědělství jsou uváděny výpočetní technika, GIS, GNSS, senzory a aplikační kontrolní prvky. Historie tohoto způsobu hospodaření je tedy úzce spjata s vývojem uvedených technologií. Ačkoli jsou pro precizní zemědělství klíčové, koncept tohoto způsobu hospodaření se objevil ještě před jejich masivním rozšířením do zemědělství. Prostorovou a časovou variabilitu půdních a porostních faktorů v rámci honů si pěstitelé uvědomovali již před staletími. Menší pozemky a jejich vymezení přirozenými hranicemi usnadňovaly provádět a modifikovat pěstební zásahy manuálně. Se zvětšováním pozemků, intenzivní produkcí a masivním zaváděním mechanizace v polovině minulého století již nebylo možné zohledňovat prostorovou nevyrovnanost honů bez vývoje a uplatnění zmíněných technologií.

GIS je zkratka pro „geografický informační systém“, jedná se o počítačový program, ve kterém je možné zpracovávat prostorová data. Veřejnost se může setkat s využitím GIS například při náhledu do katastru nemovitostí. GNSS je pak zkratka odvozená od anglického *Global Navigation Satellite System*, v češtině tedy „globální družicový polohový systém“, v dnešní době je k dispozici celá řada těchto systémů, například americký *Global Positioning System (GPS)*, ruský *GLO-NASS*, evropský *Galileo*, čínský *BeiDou* a další.

I.1 Vývoj ve světě

Koncept systému precizního zemědělství vznikl ve Spojených státech na počátku 80. let 20. století. Jedním ze zakladatelů tohoto výzkumného směru byl Pierre Robert z *University of Minnesota*, který se následně počátkem 90. let podílel na organizaci prvního odborného semináře

„*Soil Specific Crop Management*“ zaměřeného na precizní zemědělství (*Minneapolis, Minnesota 1992*). V roce 1995 zakládá při univerzitě úspěšné *Precision Agriculture Center*, které má významný vliv na rozvoj precizního zemědělství v USA a ve světě, a následně se podílí na vydávání mezinárodního odborného časopisu *Precision Agriculture* pod nakladatelstvím *Springer (1999)*. První evropská konference precizního zemědělství se konala v roce 1997 ve Velké Británii (*Warwick*).

Precizní zemědělství je mnohými odborníky považováno za klíčovou součást třetí vlny moderní zemědělské revoluce, označované také jako „zelená revoluce“. Nárůst transferu technologií umožňoval zvýšení celosvětové zemědělské produkce. Důraz byl kladen na přenesení již existujících informačních a geoprostorových nástrojů do nových oblastí uplatnění – zemědělství. Doménou geografických informačních systémů (GIS) v 80. letech 20. stol. byly především výzkumné instituce. S ohledem na rostoucí velikost farem se GISy začaly postupně uplatňovat při sběru geografických dat a zpracování podkladů pro agronomické rozhodování. V roce 1995 byl uvolněn pro civilní účely globální družicový polohový systém GPS, který byl vytvářen armádou Spojených států od roku 1973, a který i přes záměrně implementovanou odchylku umožňoval stanovit pozici v desítkách metrů kdekoli na zemském povrchu. Záměrná odchylka (tzv. *S/A kód*) byla ze systému GPS odstraněna rozhodnutím Clintonovy vlády v roce 2000 a současně s doplněním bezplatného korekčního signálu DGPS systému *EGNOS/WAAS* dosahuje současně přesnosti 1–3 m absolutně (20–30 cm relativní přesnosti – jízda vedle jízdy). Vybudování dalších GNSS systémů (*Galileo, Glonass, Beidou*) vedlo k významné stabilizaci příjmu signálu. Rozvoj určování pozice pomocí geodetických RTK systémů a síťových řešení VRS pak nabídl přesnost na úrovni několika centimetrů, čímž zcela naplnil základní potřebu v oblasti přesného sběru dat a navádění zemědělské mechanizace.

Zkratka RTK vychází z anglického „*Real Time Kinematic positioning*“ a jedná se o techniku sloužící k získání vysoce přesných polohových dat v reálném čase. RTK kombinuje signály z GNSS s dodatečnými informacemi z pozemních referenčních stanic umístěných v blízkosti měřeného místa.

S ohledem na potřebnost získávání informací o pozemcích s dostatečným plošným pokrytím je při mapování pozemků klíčové využívání různorodé senzorové techniky. Na prvním místě je nutné zmínit mapování výnosů. Senzory průtoku zrna či biomasy na sklízecí technice umožnily od 90. let 20. stol. identifikovat výnosově silná a slabá místa na pozemcích a konzistenci dat za více let. Informace o rozdílech ve výnosu plodin má jednoznačný ekonomický efekt. Jeho uplatnění při řízení rostlinné produkce se stalo velmi populárním a slibným nástrojem. První výnosoměr pro sklízecí techniku byl uveden v roce 1992. Podobně jako navigační systémy se

tato technologie stala postupem času standardní výstavou sklízecí techniky vyšších výkonových řad. Používání senzorového průběžného měření se rozšířilo také do oblasti mapování půd (měření elektrické vodivosti půdy) nebo diagnostiky stavu rostlin (plodinové senzory).

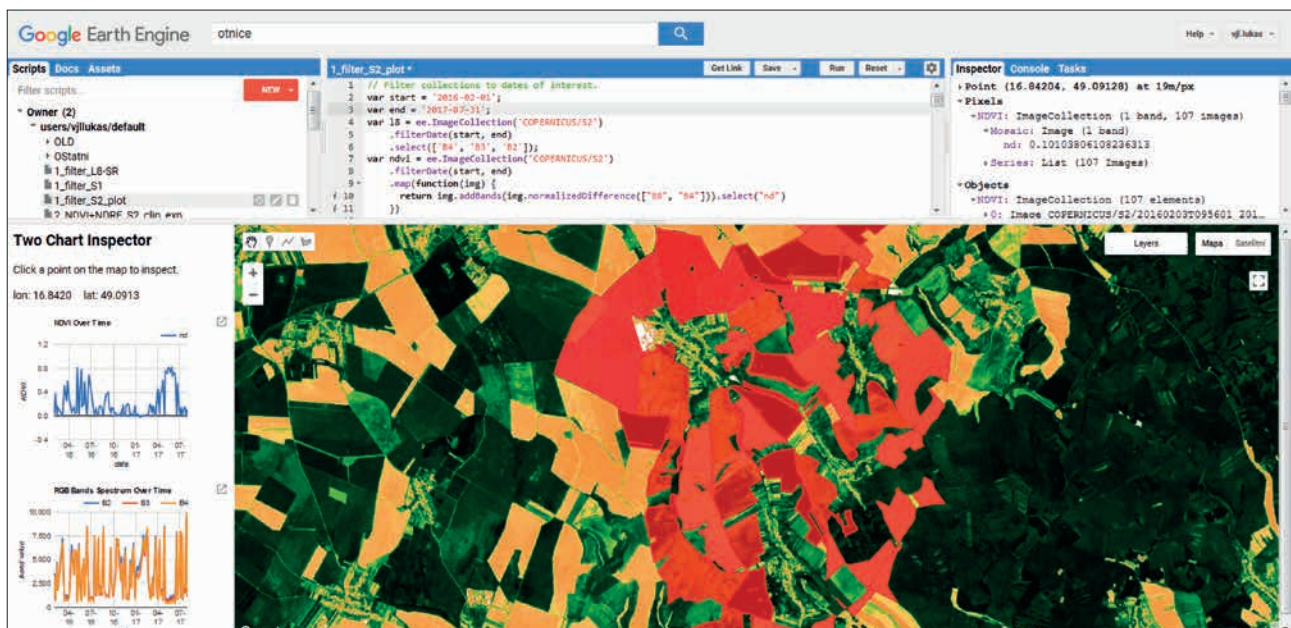
Další významnou skupinou metod pro detekci nevyrovnanosti pozemků je dálkový průzkum Země (DPZ). V roce 2008 bylo americkými institucemi NASA a USGS rozhodnuto o volném poskytování dat z nejdéle běžícího programu družicového pozorování Země – Landsat. V současnosti více jak 50ti letá historie datového archívu významně přispívá ke studiu časových proměn planety v mnoha oborech, včetně zemědělství. V roce 2015 byly vypuštěny první družice evropského družicového programu Copernicus. Konfigurace tandemu družic Sentinel-2 poskytuje od roku 2017 bezplatně multispektrální snímky každé cca 4 dny s prostorovým rozlišením 10m / pixel. Právě zpřístupnění družicových obrazových dat s vysokou frekvencí snímkování a dostatečným prostorovým rozlišením umožnilo rozvoj nových služeb v precizním zemědělství zaměřených na identifikaci plošné variability půdy, diagnostiku stavu porostů a predikci výnosů zemědělských plodin. V zemědělství se také začínají v poslední dekádě masivně využívat zcela nové technologie v podobě bezpilotních prostředků – dronů. Vysoká operativnost jejich nasazení, snadnost ovládání, autonomní řízení a vysoké prostorové rozlišení představují vysoký potenciál při úlohách vyžadujících detailnost v rádech několika cm či mm, jako je detekce zaplevelení či škodlivých organismů a následné řízení aplikační techniky po jednotlivých tryskách. V poslední dekádě pak dochází k rozvoji autonomních polních systémů; v roce 2017 Harper Adams University (Velká Bri-

tánie) představuje projekt hospodaření Hands-free hectare bez přímé obsluhy mechanizace člověkem.

V živočišné produkci je pozornost zaměřována na welfare zvířat v podobě sledování zdraví, produkce a chování hospodářských zvířat a monitoringu prostředí s využitím senzorových měření a pokročilých metod zpracování dat. Současně je kladen důraz na snížení pracovní náročnosti začleňováním automatizace a robotizace (např. automatizované dojící stroje).

Podobně jako v mnoha jiných oblastech lidské činnosti se zavádění pokročilých postupů setkala se skepsí v oblasti jejich výhod a slibované ekonomické návratnosti. Nedostatečné porozumění technologiím a omezená podpora ze strany výrobců a dodavatelů techniky způsobily vlažné přijetí nových technologií zemědělci, kteří se museli sami učit, jak je efektivně využívat. Tuto situaci ještě více zdůraznila nekompatibilita hardware a software mezi výrobcí, která vedla k neochotě farmářů experimentovat s novými technologiemi. Naráželi na četné chyby a neschopnost adekvátně zpracovávat data. Toto vedlo ke stagnaci nárůstu zájmu ze strany zemědělské praxe, které napomohla překonat až zjednodušení hardware a software nástrojů, snížení cen, standardizace některých postupů a vývoj nových mapovacích technik – zejména v oblasti dálkového průzkumu Země družicovým, leteckým a bezpilotním snímkováním. Vzhledem k tomu, že precizní zemědělství je považováno za způsob hospodaření, který splňuje cíle produkce a ochrany životního prostředí, byly vědci i politiky zkoumány postupy k překonání překážek v zavádění tohoto způsobu hospodaření do praxe. Přitom je zřejmé, že některé aspekty precizního zemědělství byly přijaty velmi rychle a široce, zatímco jiné zaostávaly z technických nebo ekonomických důvodů.

Dálkový průzkum země neboli „DPZ“ je metodou soustavného získávání dat o objektech na zemském povrchu. Existují dvě základní metody a to konvenční např. letecké snímkování a nekonvenční, kdy se jedná o družicové snímání. V obou případech je přenos informací zajištěn prostřednictvím registrace elektromagnetického záření speciálními snímači (senzory).



Obrázek 1: Zpracování dat Sentinel, zdroj Lukas.

1.2 Historický vývoj v ČR

Na celosvětový rozvoj precizního zemědělství reaguje i zemědělský sektor v ČR, čemuž výrazně napomáhá příznivá agrární struktura pro uplatňování technologií precizního zemědělství (převládají velké zemědělské podniky i hony) a vyšší geografická různorodost a členitost pozemků. Nevýhodou je převažující nepříznivá ekonomická situace většiny podniků, která komplikuje nákup nových (mnohdy značně drahých) technologií i placení služeb. Zavádění technologií precizního zemědělství je tak pod značným ekonomickým tlakem. Těžšíte využití je zpočátku zejména v podnicích služeb. V roce 1997 začala společnost MJM Litovel a.s. poskytovat služby v oblasti precizního zemědělství pod obchodním názvem Prefarm. Základní principy byly převzaty z USA, systém cílil na optimalizaci nákladů a zvýšení efektivity vstupů polní produkce jako jsou minerální hnojiva a vápenaté hmoty. Základ systému stavěl na informacích o nevyrovnanosti pozemků z půdních vzorků v podobě půdních map doplněných o výnosové záznamy a údaje z dálkového průzkumu Země. Za komplet GPS pod názvem „Precizní zemědělec“ obdržela společnost ocenění na veletrhu Techagro 2003. V roce 2004 již bylo v systému Prefarm evidováno mapování variability více jak 200 tis. ha zemědělské půdy.

sových map; později také o výhodách využití GPS navádění zemědělské mechanizace. V tomto roce se také v ČR objevují první sklízecí mlátičky vybavené senzory pro mapování výnosů (ZZN Pelhřimov). V roce 1999 ověřuje společnost Leading Farmers CZ nasazení komerčního sensorového systému Hydro N sensor pro variabilní aplikaci dusíkatých hnojiv na základě průběžné spektrální diagnostiky výživného stavu rostlin. Výsledky srovnávacích pokusů prokázaly zvýšení výnosů v jednotkách procent a vyrovnání kvality zrna při snížení celkové dávky hnojiv a omezení přehnojování porostů. V roce 2004 pak tato společnost instaluje první systém automatického navádění (tzv. autopilot) do zemědělské techniky. Postupně se naváděcí systémy staly běžnou součástí výbavy mechanizace. Příkladem jejich využití při optimalizaci hospodaření na svažitých pozemcích je tzv. pásové střídání plodin s rozdílnou protierozní funkcí po vrstevnicích (contour farming) o šířce 36 m, které v roce 2018 zavedla zemědělská společnost Rostěnice a.s.

Postupně je tento systém rozšiřován na další pozemky a představuje jedno z možných řešení, jak hospodařit na erozně ohrožené půdě s využitím sofistikovaného plánování agrotechnických operací. V roce 2019 je v ČR představen první komerčně dostupný robotický nosič nářadí Agroboti



Obrázek 2: Exkurze studentů MENDELU předmětu Precizní zemědělství do společnosti MJM Litovel a.s., zdroj Lukas.

V roce 1998 se v rámci zemědělského veletrhu Techagro v Brně koná odborný seminář „Precizní zemědělství“, na kterém jsou předneseny příspěvky věnované problematice nově používaných technologií a postupů. Současně v tomto roce vychází v edici VÚZE (dnes ÚZEI) studijní publikace „Precizní zemědělství“ od autorského týmu vedeného doc. Rybkou. V následujících letech se v zemědělských periodikách a odborných seminářích objevují příspěvky z výzkumných a akademických institucí pojednávající o přínosech precizního zemědělství, sběru informací o plošné variabilitě půdy, agrobiologické kontrole porostů polních plodin, zpracování výno-

Robotti pro autonomní provádění vybraných mechanizačních zásahů bez přímého řízení člověkem.

Nezbytnost výzkumu a vzdělávání v oblasti „smart farming“ si uvědomovaly výzkumné a akademické instituce v ČR. Společnost Lesprojekt-sluzby v letech 2000–2003 koordinuje evropský projekt Wirelessinfo zaměřený na vývoj GIS a komunikačních systémů v zemědělství a lesnictví. Ve shodném období realizuje Technická fakulta ČZU výzkumný záměr „Precizní technické systémy v rostlinné produkci“ (2002–2004). V roce 2004 zařazuje Agronomická fakulta Mendelovy univerzity



Obrázek 3: Pásové střídání plodin (contour farming) zavedené zemědělskou společností Rostěnice a.s. v roce 2018 na erozně ohrožených pozemcích, zdroj Lukas.

v Brně pod garancí prof. Křena do studijních programů výuku předmětu Precizní zemědělství. V roce 2009 pořádá ČZU konferenci zaměřenou na využití GPS autopilotů v zemědělství. O dva roky později se na ČZU koná Evropská konference precizního zemědělství ECPA (2011) a později také mezinárodní soutěž polních robotů Field Robot Event 2013. V jejím dalším ročníku konaném v Německu (2014) se tým EDURO z ČZU se svým polním robotem umísťuje na první příčce. V roce 2017 zakládá ČZU Centrum precizního zemědělství, které sdružuje přední odborníky s různorodým pokrytím dílčích oblastí precizního zemědělství. Na význam podpory výzkumu zavádění inovativních postupů do zemědělství poukazuje ocenění Český nápad udělené Technologickou agenturou ČR v roce 2019 za výzkumný projekt „Vývoj systémů pro variabilní dávkování pesticidů a hnojiv na základě sensorového

monitoringu porostních podmínek“ řešitelského týmu AGRIO MZS, MENDELU a WirelessInfo. Fakulta zemědělská a technologická Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích představila v roce 2022 nový doktorský studijní program Zemědělství a technologie 4.0. Obdobnou cestou specializace výuky se vydává Česká zemědělská univerzita v Praze, která v roce 2023 otevírá magisterský studijní program Precizní zemědělství. V posledních letech je výuka precizního zemědělství zaváděna také na střední odborné školy a současně jsou realizovány osvětové akce pro druhý stupeň základních škol a také pro veřejnost.

**Autoři: doc. Ing. Vojtěch Lukas Ph.D.,
prof. Ing. Jan Křen CSc.
(Mendelova univerzita v Brně)**



Obrázek 4: Představení autonomního nosiče nářadí AgroIntelli Robotti, zdroj Lukas.

2 Možnosti precizního zemědělství v rostlinné výrobě

2.1 Co je precizní zemědělství a jak pomáhá rostlinné produkci?

Precizní zemědělství v rostlinné produkci je takový způsob řízení procesů, který cílevědomě pracuje s variabilitou biotických a abiotických faktorů v prostoru i čase. Klíčové informace na úrovni velkých dat o půdě, plodinách, živinách, škodlivých či užitečných organismech a agroekosystému jako celku získává pomocí pokročilých sensorových systémů navázaných na technologické celky jak na pozemních kontaktních, tak distančních platformách, které zahrnují vše spojené s dálkovým průzkumem pilotovaných i bezpilotních systémů včetně satelitních. Geoinformační systémy, expertní systémy i systémy pro modelování tvoří pojitko pro pracovní výstupy na úrovni mapových podkladů, navigaci v polních podmínkách při aplikačních úkonech i v ve fázi rozhodnutí o tom, které opatření, v jaké intenzitě, kdy a kde provést či vynechat. Všechny tyto činnosti směřují k tomu, aby zdroje (hnojiva, přípravky na ochranu rostlin, pohonné hmoty lidí, technika, voda, půda, biodiverzita) a opatření (optimalizace pohybu zemědělské techniky, variabilní aplikace, časování opatření typu hnojení či aplikace přípravků na ochranu rostlin v čase a prostoru na základě predikčních modelů) byla prováděna na základě dat s cílem optimalizovat jejich využití tak, aby byla docílena taková produkce, která zajistí prvovýrobci odpovídající profit, spotřebitelům kvalitu za férovou cenu a společnosti udržitelnost systému hospodaření na půdě v dlouhodobém horizontu při zachování funkční biodiverzity, kvality půdního fondu i minimalizace kontaminace spodních vod rezidui zemědělské činnosti.

Variabilní aplikací se myslí taková aplikace hnojiva, osiva či přípravku na ochranu rostlin, jejíž dávka se v průběhu aplikace přizpůsobuje stavu konkrétní části pozemku nebo porostu.

Podstatná vlastnost v přístupu využívání systémů precizního zemědělství v rostlinné produkci je, že aplikování opatření podléhá neustálé kritické revizi z hlediska jejich účinnosti a ekonomické efektivity. Schématický přístup zde není možný, protože např. při určité konstelaci konkrétních agrometeorologických podmínek v daném roce může variabilní aplikace na stejném pozemku postrádat smysl, neboť pěstování plodiny je zatíženo jedním výrazným limitujícím faktorem, např. nedostatkem vody, který unifikuje podmínky. Zde je rozhodující dlouhodobá práce s přesnými datovými podklady na všech úrovních, které vychází z dobré vzorkovací praxe.

Popis variability půdních podmínek v obhospodařovaných půdních blocích je základní datovou vrstvou. Půda se v různých místech liší pedologickými vlastnostmi – svým fyzikálním složením, strukturou, texturou, pórovitostí, tepelnými poměry, pH, obsahem organického materiálu, zastoupením

živin, vláhovými poměry atd. Prostorová variabilita půdního bloku se liší i v závislosti na topografii, a klimatických podmínkách. Zrcadlem půdních a agroklimatických podmínek je variabilita, která se promítá do dynamiky růstu pěstovaných plodin, jejich fitness a v konečném důsledku i do výnosu i kvality produktu. Syntéza těchto informací z delších časových řad může pomoci při výběru vhodných plodin/odrodnů na konkrétním pozemku a stanovení optimálních agronomických postupů, jako jsou osetí, hnojení, zavlažování a ochrana před škodlivými organismy.

Pojmem fitness rostlin je charakterizována jejich reprodukční úspěšnost, konkrétně se tedy jedná o vytvoření vyklíčených semen.

Variabilita abiotických faktorů může být způsobena různými faktory, jako jsou geografické podmínky, nadmořská výška, typ půdy, sezóna, klimatické podmínky – v oblastech s různými nadmořskými výškami se teplotní dynamika i srážkové úhrny mohou výrazně lokálně lišit, což může mít vliv na růst a vývoj vegetace. Podobně může mít různá půda různou kapacitu zadržování vody a živin, což ovlivňuje růst rostlin. Monitorování meteorologických proměnných je kromě toho důležité pro práci s různými plodinovými či teplotně vlhkostními modely pro simulační a predikční účely. Jejich integrace do systémů precizního zemědělství není prozatím samozřejmá. V blízké budoucnosti se však předpokládá, že se stanou pevnou součástí komplexních expertních systémů, které budou pomáhat při rozhodování nad velkými datovými soubory biologického, agronomického, meteorologického a ekonomického typu v podobě variant scénářů zohledňující konkrétní produkční cíl či záměr zemědělského podniku.

Klíčové technologie jsou uvedeny a krátce komentovány dále.

2.2 Optimalizace pojezdových linií

Tato technologie je klíčová a nejjednodušeji zaveditelná do systému práce s nástroji precizního zemědělství. Pro svoji funkčnost vyžaduje dostupnost hardware v podobě GNSS systémů s vysokou přesností, ideálně garantovanou kvalitou a dostupností RTK korekčního signálu, software pro optimalizaci trajektorií pojezdu a autopilotem vybavenou techniku. Samotný proces vychází z tvaru a morfologie půdního bloku (topografie terénu, překážky, příjezdy na pozemek). Softwarová optimalizace navrhne takový průběh linií, které minimalizují neproduktivní jízdy, otáčení na souvracích s ohledem na vynechané prostory. Výslednou pojezdovou linii je možné upravit s ohledem na průběh vrstevnic, nahrát v podobě souboru do autopilotu traktoru, kde jsou dále vymezeny kolejevé meziřádky. Tímto způsobem jsou

připraveny trasy pojezdů pro konkrétní agrotechnické operace. Organizace pojezdů tímto způsobem nejen snižuje náklady na provoz aplikační techniky a zvyšuje hektarový výkon, ale vede i k preventivním opatřením v oblastech s komplexní topografií terénu s vyšší svazitostí.

Souvratí je označována okrajová část pozemku využívaná pro otáčení strojních souprav na daném půdním bloku.

2.3 Variabilita setí

Technologie variabilního nastavení výsevu se snaží proaktivně zohledňovat půdní podmínky pro dosažení optimální vzházení, růstu a fitness plodin. V rozhodovacím řetězci pracuje s podkladovou aplikační mapu sestavenou na základě výnosového potenciálu. Podstatným rozhodnutím je volba strategie s ohledem na plodinu a odrůdu ve smyslu – kde zvyšovat/ snižovat výsevek. Úvaha v případě obilnin může být např. taková, že zvýšíme výsevek v místě s nižším potenciálem a snížíme v místě s vyšším potenciálem v případě, že pracujeme s odrůdou, která má tendenci více odnožovat. Výsledkem je různé množství jedinců v konkrétních zónách. Změna šířky řádků, hloubky setí a přítlak na secí botku s ohledem na dostupnost vody, velikost půdních agregátů, teploty, a další přístupy k variabilnímu setí, které se snaží zohledňovat proměnlivost stanovištních podmínek, které se promítají do změny architektury rostlin, výšky porostu i alometrie (nerovnoměrnost růstu, vývinu), alokace energetických zásob mezi biomasu a výnos. Podle literárních zdrojů má smysl uvažovat o této technologii tam, kde je vyšší podíl zón s nižším výnosovým potenciálem. Pro zemědělce se středním a vysokým výnosovým potenciálem nemá variabilní výsevek žádoucí ekonomický efekt. Při využití této technologie je podstatná i vyrovnanost porostu z hlediska kvality setí, tedy vospělost techniky i zvládnutí postupu, na souvratích a v místech obsevů. Toto fakticky zajišťují moderní prvky řízení a navádění, které garantují shodné roze-stupy i v zatáčkách, kde se mění úhlová rychlost.

Relativní výnosový potenciál vyjadřuje produktivitu jednotlivých částí pozemku. Je vypočten jako procentuální vyjádření dosažené produktivity na daném místě vůči průměrné hodnotě za celý pozemek. Je vyjádřením analýzy víceleté řady výnosových map, případně dat družicových. Lze využít jako podklad pro variabilní setí, zásobní hnojení nebo pro stanovení odběrné sítě pro odběr půdních vzorků.

2.4 Variabilní hnojení

Stejně jako ve všech ostatních přístupech variabilních aplikací je klíčovou informací precizní podklad o zásobenosti půdy či rostlin živinami v kombinaci s výnosovým potenciálem. Stav zásobenosti půdy P, K, Ca, Mg je upravitelný v režimu zásobního hnojení v návaznosti na variabilní aplikaci průmyslových hnojiv rozmetadlem, které je schopné během pojezdu upravovat dávkování. Strategie v tomto případě vychází z logiky zvýšeného odběru živin v místech realizovaného vysokého

výnosového potenciálu. V těchto zónách je předpoklad zvýšení dávků, zatímco v místech nízkého výnosového potenciálu, kde je odběr odvoz živin s výnosem a biomasou snížený, lze dávků adekvátně snížit. Takto nastavená variabilní strategie zásobního hnojení má ve spojení s průběžným vzorkováním pro skutečný stav živin potenciál zabránit přehnojování, resp. nedohnojování v rozdílných výnosových zónách.

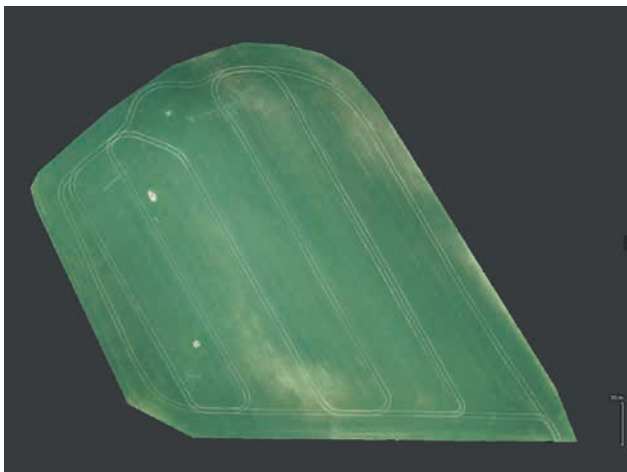
Slovem biomasa je v tomto případě myšlen soubor látek tvořících těla rostlin, které jsou dle pěstované kultury v praxi buďto odváženy z pozemku (silážní kukuřice), či jsou ponechány na poli ve formě posklizňových zbytků (sláma řepky ozimé), které po jejich zapravení do půdního profilu obohatí živinovou bilanci v půdě.

Podobně hnojení dusíkem vychází ze základních map relativního výnosového potenciálu a znalosti obsahu N v rostlinách v klíčových vývojových fázích navázaných u obilnin především k regeneračnímu, produkčnímu, případně kvalitativnímu přihnojení. K průběžné kontrole výživového stavu vegetace je možné využít jak laboratorní rozbory, tak distanční metody spojené senzory s předpokladem korektní kalibrace. Opět je na místě rozvaha ohledně strategie aplikace N, která se v poslední době obecně přiklání k vyšším dávkám hnojení do míst s vysokým a středním výnosovým potenciálem a restrikci do míst s nízkým potenciálem.

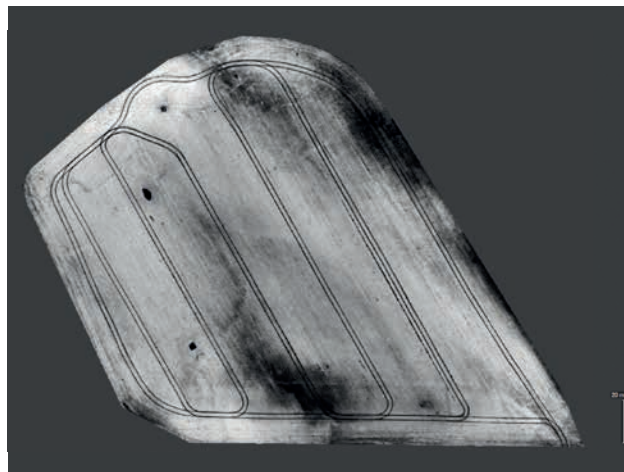
V souvislosti s variabilním hnojením je potřebné zmínit i možnost práce s organickými hnojivy, kde je možné uvažovat o využití při aplikaci kejdy či digestátu aplikátory na základě změny průtoku, resp. průběžného vyhodnocování obsahu dusíku.

2.5 Postupy precizního zemědělství v ochraně rostlin

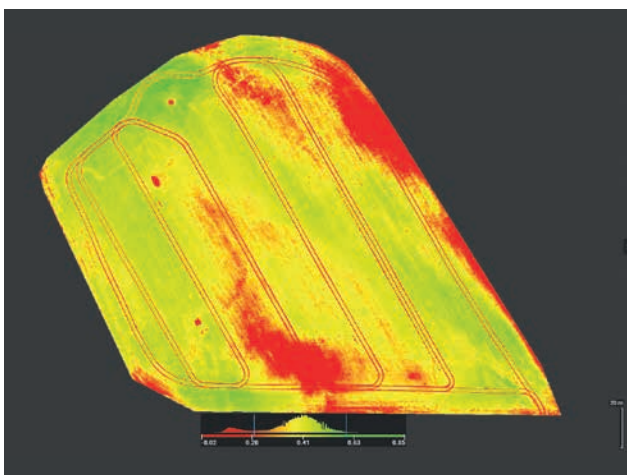
Neopomenutelný a stále málo rozpracovaný je precizní přístup k ochraně rostlin. Vychází z principů integrované ochrany s prostorovým akcentem a technickými možnostmi spojením moderních postřikovačů s vypínatelnými sekcemi či jednotlivými tryskami navázaných na telematiku zemědělské techniky. Pracuje se všemi informačními zdroji (vlastnosti/historie pozemku, rezistence odrůd, osevní postup atd.) a kontexty (socioekonomický, technický, meteorologický atd.) s cílem rozhodnout, zda je opodstatněné provádět nějaký zásah proti škodlivému organismu ať už jím je plevel, živočišný, houbový, bakteriální či virový původce potenciální škody na pěstované plodině. Tradiční rostlinolékařský přístup je orientovaný na hledání patologie systému s aproximací na monitorovanou plochu. Z hlediska precizní ochrany rostlin je však výchozí strategie rámována otázkou „Jak velká část porostu je zdravá?“. Zdravý porost lze totiž pomocí sensorové techniky snadno definovat, a následně i prostorově jednoznačně vymežit. Správné načasování ochranného zásahu (časová variabilita) se odvíjí od znalosti bionomie a biologie konkrétních druhů navázanou na dynamiku abiotických faktorů (teplota a vlhkost), které podmiňují rychlost jejich vývoje i šíření.



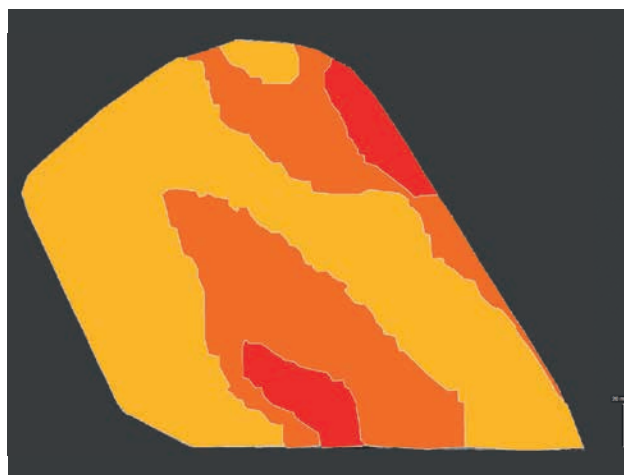
Obrázek 5: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Širokospektrální RGB snímek, zdroj Lukáš.Robotti, zdroj Lukas.



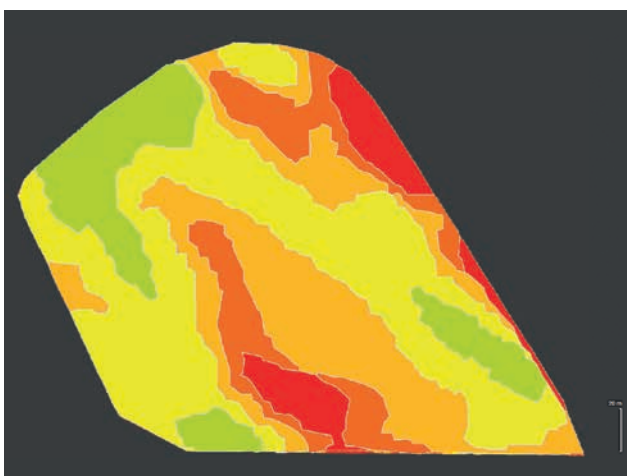
Obrázek 6: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Vegetační index VARI zpracovaný ze širokospektrálního RGB snímku, zdroj Lukáš.



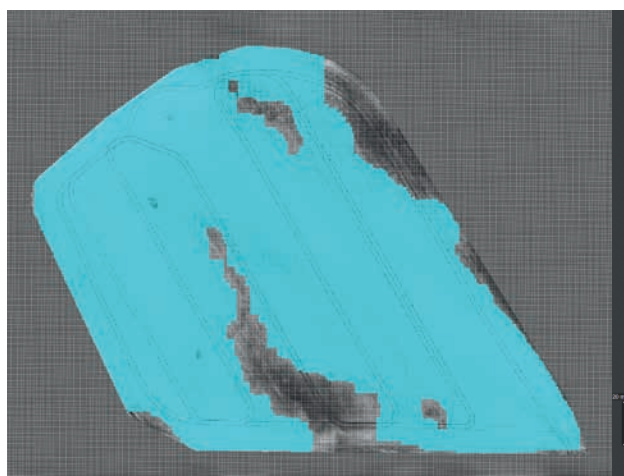
Obrázek 7: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Vymezení zón optimalizací histogramu rozložení hodnot odrazivosti vegetačního indexu ExG vypočítaného z širokopásmového zdrojového RGB snímku, zdroj Lukáš.



Obrázek 8: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Výsledek automatické detekce 3 zón se shodnou charakteristikou na základě indexu VARI, zdroj Lukáš.



Obrázek 9: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Výsledek automatické detekce 5 zón, zdroj Lukáš.



Obrázek 10: Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Identifikace 2 zón s pomocí algoritmu umělé inteligence s expertním dohledem na základě výběru metrových čtvercových polygonů, které zahrnují podle charakteristik odrazivosti nestresované (modře) a stresované rostliny, zdroj Lukáš.

V případě škodlivého hmyzu je dominantním faktorem určujícím rychlost jejich vývoje teplota. Dlouhodobě je s úspěchem používán koncept tzv. práhů škodlivosti, který dovozuje, že existuje taková míra intenzity výskytu škodlivého organismu, nad kterou je zdůvodnitelné (ať už s hledisky předpokládané škody nebo ekonomické ztráty) realizovat ochranný aplikační zásah. Pro houbové choroby je určující kombinace teploty a vlhkosti vzduchu, případně doba ovlhčení listů. Dostupnost a kvalita meteorologických dat, postihujících variabilitu sledovaného prostoru, jsou úzkým hrdlem přesnosti prediktivních modelů. Nejslabší místo celého systému je postihnutí variability lokálních meteorologických dat, resp. jejich dostupnost. Velmi dobře jsou modelové situace zpracovány pro trvalé kultury typu ovocných sadů a vinic, kdy bývá síť meteo čidel tradičně instalována a využívána. U plevelů se úspěšně, kromě tradičních agrotechnických a chemických postupů, v poslední době prosazují i vysoce selektivní mechanické, laserové, elektrické ošetřovací techniky.

Integrovaná ochrana rostlin je v rámci systému ochrany rostlin mezistupněm mezi přístupem konvenčním a ekologickým. Rozhodujícím faktorem jsou tzv. práhy škodlivosti. V případě dosažení horní hranice práhu škodlivosti, kdy patogen či škůdce dosahuje takového vývojového stádia a početnosti, že při ponechání bez zásahu by ekonomické škody na polní kultuře dosáhly neúnosné míry a současně náklady vynaložené na přípravky na ochranu rostlin jsou opodstatněné je třeba přikročit k určité formě biologické, potažmo chemické ochrany. Důraz je kladen taktéž na používání látek, jež současné poznání považuje za přijatelnou formu chemického vstupu do životního prostředí.

2.6 Odhady a měření výnosu

Pro měření výnosu je možné výhodně využít výnosoměry, kterými jsou vybavovány moderní sklízecí mlátičky, kde jsou při sklizni s konkrétním místem spárovány údaje o konkrétním výnosu. Výsledkem záznamu je pak výnosová mapa podávající přehled o výnosové variabilitě na daném pozemku v příslušném roce. Jedná se zároveň tedy o důležitý prvek zpětné vazby, který pomáhá vyhodnotit efekt provedených opatření. Jakkoliv je princip a užitečnost této technologie zřejmá, nedosahuje prozatím takové technologicky-provozní úrovně uživatelské přívětivosti a spolehlivosti, která by zaručovala opakovatelnost a snadnou interpretovatelnost výsledků. Jiným přístupem je využití technologie dálkového průzkumu, která je schopna konzistentního odhadu výnosu, byť s nižší prostorovou přesností, zato s jistotou opakovatelnosti procesu, který je ověřitelný a použitelný ve velkém měřítku v návaznosti na zpřesňování vycházející z dynamiky časové řady informací.

Precizní nástroje, techniky, přístupy a technologie mají kapacitu naplnit podstatné potřeby, které jsou kladeny na současnou rostlinnou produkci ve smyslu zabezpečení dostatečné kvantity i kvality, bezpečnosti potravin, ochrany půdy, vody i biodiverzity, rozvoje informační společnosti a socioekonomické prosperity venkova. O tom, zda, jak a v jaké míře bude precizní zemědělství využíváno rozhodne míra odborné vzdělanosti v této oblasti, která vyžaduje mezioborové kompetence propojující biologii s agronomií, novými technologiemi, ekonomikou a vnímavost k životnímu prostředí.

Autor: Ing. Jan Lukáš Ph.D. (VÚRV)

3 Precizní zemědělství a vztah k životnímu prostředí

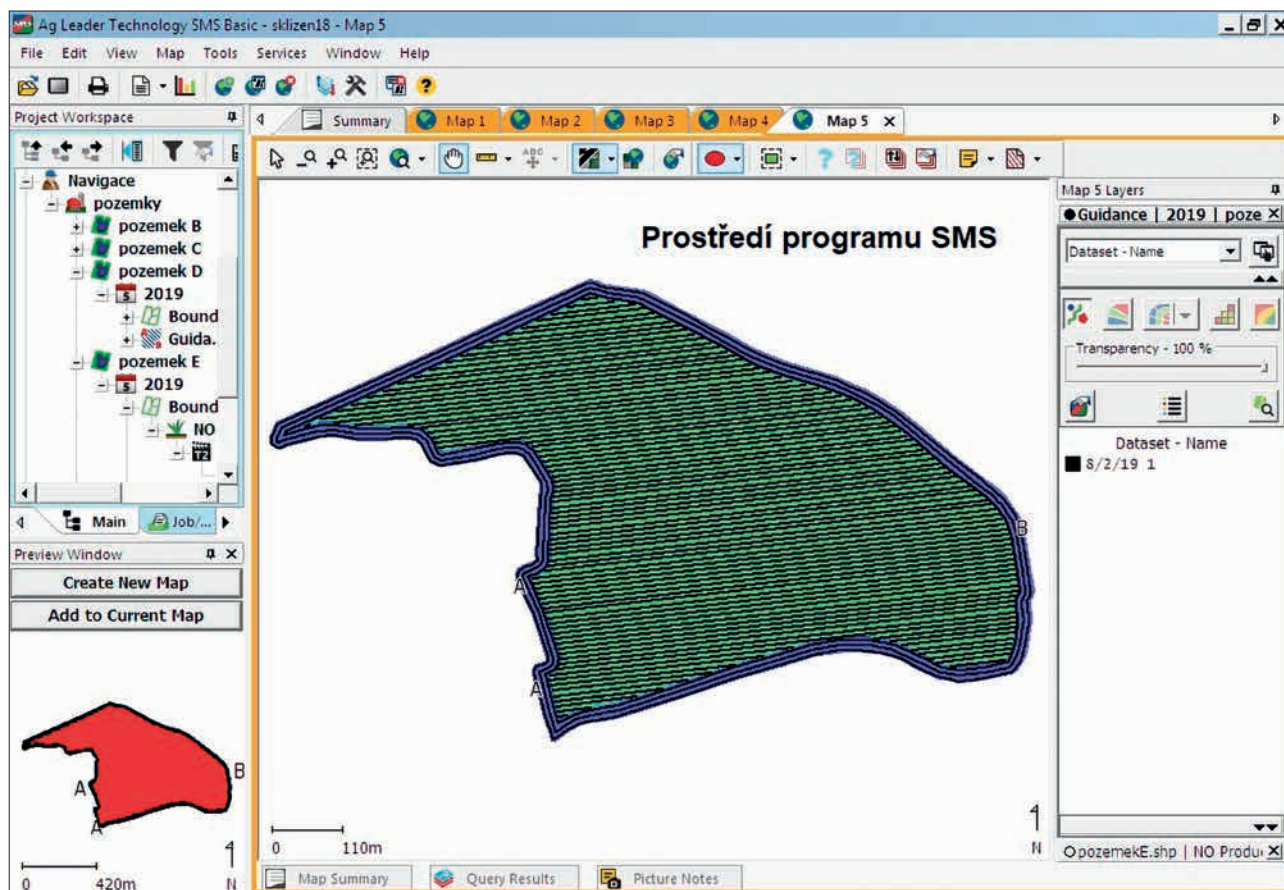
Uplatnění principů precizního zemědělství je jednoznačně spojeno s omezováním negativního vlivu hospodaření v krajině na životní prostředí. V současné době lze přínosy precizního zemědělství spojovat se snižováním materiálních a energetických vstupů a s možností cílené aplikace přípravků na ochranu rostlin (POR) a minerálních hnojiv.

3.1 Cílený pohyb zemědělské techniky

Zásadním způsobem mohou principy precizního zemědělství přispět k omezení spotřeby pohonných hmot (PHM), které je spojeno nejen s energetickými úsporami, ale také se snižováním emisí skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Na základě přesné znalosti parametrů půdního bloku lze jasně specifikovat trajektorie jízd pracovních souprav tak, aby ve vztahu k tvaru a svažitosti půdního bloku bylo dosaženo co nejkratších pracovních jízd a počtu otáček na souvrati, ale došlo i ke snížení spotřeby PHM. Postupy optimalizace pracovních jízd jsou následně spojeny i s poklesem plochy přejeté půdy na pozemku, čímž zásadním způsobem dochází k eliminaci ztuhnutí půdy, které je spojeno s poklesem infiltračních schopností půdy, se zvýšením eroze,

s omezením vývoje rostlin, ale také s nízkou efektivitou vstupů. Obrázek 11 dokládá výsledek optimalizace směru pohybu pracovních souprav za účelem snížení celkové délky přejezdů. Tyto postupy pracují se stávajícími parametry půdních bloků a optimalizace přizpůsobuje pohyb techniky ve vztahu k daným individuálním vlastnostem pole. Pohyb souprav na pozemku probíhá po stanovených liniích pracovních jízd pomocí navigačních systémů. Obrázek 12 znázorňuje reálný návrh pohybu konkrétní pracovní soupravy, včetně optimalizace otáček a šířky souvratě.

Z hlediska zvýšení pozitivního vlivu na krajinu začíná zemědělská praxe provádět optimalizaci půdních bloků ve vztahu k možnostem technických prostředků používaných v polní výrobě. Příkladem je dělení půdních bloků na tzv. produkční a environmentálně-technické plochy (obr. 13). Základem přístupu je tvorba produkčních ploch, které zajišťují velmi efektivní pohyb zemědělských souprav po pozemku, ale také jsou vytvořeny tak, aby eliminovaly otáčení pracovních souprav na těchto produkčních plochách a maximálně eliminovaly pohyb transportních prostředků po produkčních částech pozemku při dopravě vstupů a při odvozu produktů.

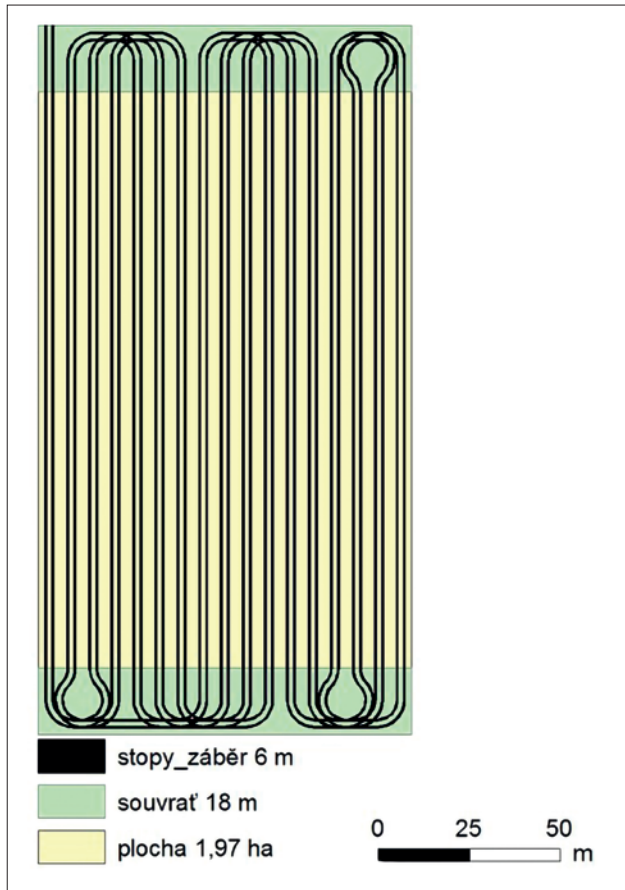


Obrázek 11: Výsledek optimalizace směru pohybu pracovních souprav na půdním bloku za účelem snížení celkové délky přejezdů, zdroj Brant a Kroulík.

Šířky produkčních ploch odpovídají násobkům záběrů strojů, které jsou uplatňovány při zpracování půdy, setí a kultivaci během vegetace. Pracovní soupravy se po pozemku pohybují po předem navržených liniích na základě použití navigačních systémů. Environmentálně technické plochy jsou využitelné pro cílený pohyb zemědělské techniky, ale především pro zvýšení pestrosti krajiny. Environmentální funkce

je dána systémem tvorby vegetačního pokryvu a způsobem mimoprodukčního využití.

Za mimoprodukční funkce se považuje například přirozená akumulace vody v agroekosystému, vytváření vhodných biotopů pro volně žijící živočichy (biopásy s různým druhovým zastoupením rostlin), estetická funkce krajiny, podpora opylovačů (nektarodárné pásy).



Obrázek 12: Reálný návrh pohybu konkrétní pracovní soupravy, včetně optimalizace otáček a šířky souvratě, zdroj Brant.

3.2 Význam navigačních systémů

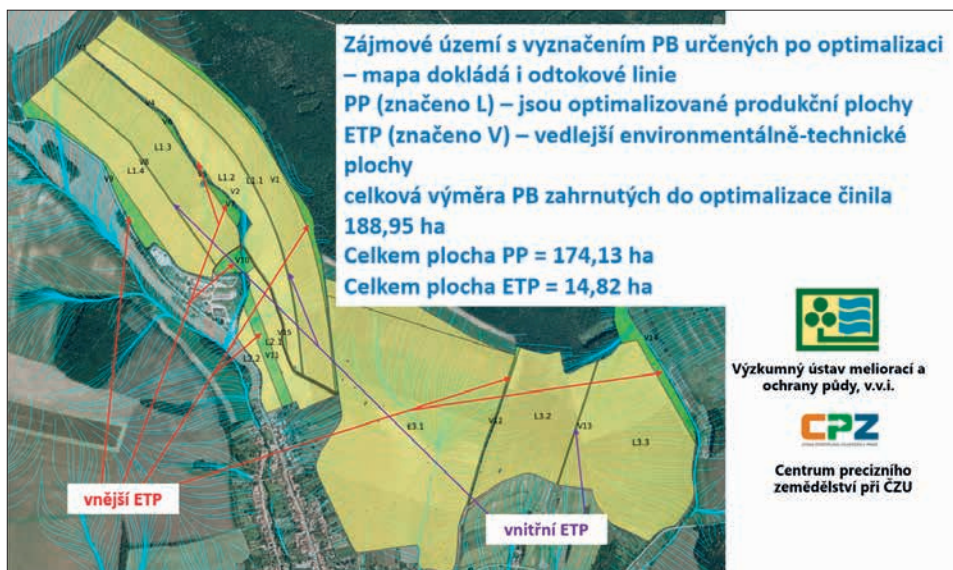
Uplatnění navigačních systémů není spojeno jen s dodržováním jízdy pracovní soupravy po naplánované linii, ale zajišťuje zásadním způsobem přesné návaznosti jednotlivých pracovních jízd. Omezení překryvu pracovních jízd zásadním způsobem snižuje opakované zpracování půdy při navazující jízdě, ale také snižuje počet přejezdů v důsledku konečného snížení počtu jízd na pozemku. Toto snížení má pozitivní vliv na omezení přejezdů, tedy na snížení rizika zhutnění, ale také vede k úsporám PHM a tím i ke snížení již zmíněné produkce skleníkových plynů.

Omezení překryvu pracovních jízd při setí omezuje spotřebu osiva a přispívá k zajištění optimální struktury porostu. Zásadní význam má omezení překryvů pracovních jízd při aplikaci přípravků na ochranu rostlin (POR) a hnojiv (minerálních i organických). Při aplikaci přípravků na ochranu rostlin tak nedochází ke zvýšení dávky těchto látek na hranici jednotlivých jízd, čímž se omezuje nejen spotřeba látek na jednotku plochy, ale i případné negativní působení látek v důsledku překročení jejich registrovaných dávek. K obdobnému efektu dochází samozřejmě i při aplikaci hnojiv.

Opomenout nelze ani skutečnost, že využití navigací omezuje i případnou nenávaznost pracovních jízd, která je spojena se vznikem nezpracovaných, či neošetřených, ploch mezi pracovními záběry. Omezení zpracování půdy, ochrany rostlin a hno-

jení na těchto plochách může zvyšovat rizika šíření chorob a škůdců, včetně snížení efektivity vstupů na celém pozemku.

Zásadní význam využití navigačních systémů lze spatřovat především při provádění aplikací přípravků na ochranu rostlin a hnojiv u hranic pozemku. Právě přesné sledování hranice půdního bloku navigačními systémy zásadním způsobem eliminuje aplikace POR a hnojiv mimo jeho hranice, což omezuje zatížení lemových společenstev těmito látkami.



Obrázek 13: Optimalizace půdních bloků pro technologie precizního zemědělství na základě tvorby produkčních a environmentálně-technických ploch, zdroj Brant.

3.3 Přesnost jako základ snížení spotřeby přípravků na ochranu rostlin a hnojiv

Základem precizního zemědělství je zajištění cílené aplikace konvenčních a biologických přípravků pro ochranu rostlin, pro regulaci fyziologických procesů v kulturních rostlinách a hnojiv. Z tohoto důvodu jsou vyvinuty technologie umožňující přesnou aplikaci těchto látek. Základem cílených aplikací je potřeba definice konkrétní zóny, kam má být látka umístěna. Nejširší uplatnění má dnes cílená aplikace herbicidů, tedy látek regulujících plevele.

omezuje i negativní vliv pesticidů na kvantitativní a kvalitativní parametry získávaných produktů. Cílené aplikace přípravků na ochranu rostlin a hnojiv lze z důvodu snížení PHM a celkového počtu pracovních operací provádět souběžně. Na obrázku je pracovní souprava pro mechanickou regulaci plevelů v meziřádku se souběžnou aplikací herbicidu na řádek vyseté plodiny a s cílenou souběžnou aplikací hnojiva pouze k řádku kulturní rostliny.

Další z možností snížení spotřeby přípravků na ochranu rostlin POR na jednotku plochy ve vztahu k eliminaci ekolo-



Obrázek 14: Efekt pásové aplikace herbicidů na vývoj plevelů v porostech kukuřice seté, zdroj Brant.

Velmi rozšířený postup představují pásové aplikace herbicidů. Cílem technologie je aplikace herbicidu pouze na řádek kulturní rostliny, kdy meziřádek je následně odplevelen mechanicky. Pásová aplikace herbicidů je proto vhodná pro plodiny pěstované v širších řádcích. Obrázek 14 ukazuje vliv pásové aplikace herbicidu přímo při setí kukuřice seté. Omezení aplikace herbicidu, či jiného pesticidu, pouze na řádek plodiny může přispět ke snížení jejich spotřeby na jednotku plochy půdy o 35 až 70 %. Regulaci plevelů v meziřádku nemusí zajišťovat jen kultivace půdy, ale například mulč meziplodiny, či pomocné plodiny. Z důvodu snížení spotřeby pesticidů na jednotku plochy lze použít i meziřádkové aplikace, kdy je daná látka aplikována do meziřádku hlavní plodiny, čímž se

gických rizik je cílená zonální aplikace pesticidů. V současné době jsou cílené zonální aplikace využívány především při regulaci plevelů. Důvodem je dostupnost metod monitoringu výskytu plevelů na pozemku, které jsou ve srovnání s detekcí přítomnosti chorob a škůdců již implementovány do zemědělské praxe. Základem cílených zonálních aplikací herbicidů je např. tvorba map výskytu plevelných druhů, na jejímž základě následně probíhá cílená aplikace moderními konvenčními postřikovači. Úspora herbicidů ve vztahu k termínu aplikace a intenzitě zaplevelení může činit až 90 %.

Autor: doc. Ing. Václav Brant Ph.D.
(Česká zemědělská univerzita v Praze)



Obrázek 15: Souprava pro mechanickou regulaci plevelů v meziřádku se souběžnou aplikací herbicidu na řádek vyseté plodiny a s cílenou souběžnou aplikací hnojiva pouze k řádku kulturní rostliny, zdroj Brant.

4 Možnosti precizního zemědělství v živočišné výrobě

4.1 Den v provozu mléčné farmy

Je letní ráno a první sluneční paprsky dopadají na fotovoltaické panely umístěné na střeše stáje pro dojnice.

Ve stáji se postupně vypínají sekce světel.

Krávy, které ještě nebyly podojeny, vyčkávají poblíž dojícího robotu. Většina zvířat odpočívá v pohodlných ložích.

Nadojené mléko z robotů putuje do chladicích nádrží. Řídící jednotka směřuje zbytkové teplo k ohřevu užitkové vody.

V přípravě jsou krmné suroviny nakládány do robotického krmného vozu, který kravám založí ranní dávku.

Krmný vůz tiše vyjíždí a dojnice se poklidně přemísťují ke žlabu. Ve chvíli, kdy jsou prostory lehacích boxů prázdné, vydává se další robot na svou každodenní úpravu loží. Když projede, zůstávají za ním pohodlná místa, jen zalehnout, jedno jako druhé. Jiný robot se posouvá chodbou a čistí podlahu.

Když jsou dojnice podojené a nakrmené, vrací se do čistých nastlaných lehacích boxů. Některé z krav třídící branky odklonily do separačního kotce s možností fixace. Tato zvířata vybral zootechnik ze seznamu, který hned ráno zkontroloval na svém telefonu. Prohlédl si informace o hlášených zvířatech a na základě jejich údajů o aktuálním nádoji, kvalitě mléka, tělesné kondici, pohybové aktivitě, příjmu krmiva, přežvykovaní a tělesné teplotě zadal do systému pokyn k oddělení těchto zvířat.

Protože potřebné informace mají na svém chytrém zařízení už od rána i dodavatelé služeb – veterinář, inseminační technik i paznehtář, dojnice na ošetření dlouho nečekají a jsou brzy vpuštěny zpět do stáda.

Inseminační technik aplikoval inseminační dávky zvolené individuálně podle genotypu plemence a genotypu býka.

Veterinární lékař měl v předstihu i přímo ve stáji k dispozici veškeré údaje o léčbě, včetně historie zdravotního stavu od narození pacienta, a o případných rizicích souvisejících s genetickým původem.

Podobně paznehtář pracoval s aplikací zobrazující aktuální stav končetin a dříve proběhlé zákroky.

Všechny záznamy o uskutečněných ošetřeních jsou jednou operací zapsány do evidence veterinárního lékaře, inseminačního technika či paznehtáře, do faremní evidence pro provozní potřeby, do podnikové evidence pro ekonomický úsek a také do evidence předepsané legislativou.

Venku se zatím oteplilo a ve stáji se v reakci na údaje z meteorologických senzorů spustily ventilátory.

Když krmný automat projíždí přihnout zvířatům krmení a založit dopolední čerstvou dávku, zjišťuje nedostatečný příjem krmiva dojnici. Zbytky krmiva jsou příliš velké. Okamžitě odesílá informaci zootechnikovi a výživovému poradci.

Zootechnikovi přichází další hlášení – v porodním kotci se v nejbližších hodinách začne telit jalovice a jedna ze starších krav. Přes kameru hned zkontroluje obě zvířata. Na kamerovém obrazu porodny se obě sledované plemence barevně zvýrazní, nad zvířaty jsou vidět data o jejich stavu, aktivitě a tělesné teplotě. Je zde i údaj plemenné hodnoty pro průběh porodu ze strany matky i otce telete a informace, o kolik se porod odchýlil od předpokládaného termínu.

Upozornění na blížící se telení také přijde ošetřovateli, který se o zdárný průběh porodů a následné ošetření matek i telat postará. Poté telata vybaví senzory na sledování tělesných funkcí a podá zprávu zootechnikovi. Ten označí telata dle legislativy, systému odsouhlasí nabízenou registraci a telata jsou tak na všech úrovních zaevidována.

Nebe se zatahuje a schyluje se k letní bouři. Zootechnik jde na pastvu zkontrolovat suchostojné dojnice. Dle informací z aplikace by mělo být na pastvině vše bez potíží. Ohradník není na žádném místě přerušen a napětí je dostatečné. Všechna zvířata dobře přijímají potravu, přiměřeně se pohybují a nemají zvýšenou teplotu. Tyto údaje zasílá senzor umístěný na zvířeti přes anténu napájenou vlastním solárním panelem. Zootechnik se osobně přesvědčí, že jsou všechny krávy v pořádku. Ještě vyhledá zvíře, na které ho systém upozornil a zároveň označil světelnou signalizací na ušní známce. Tato kráva měla minulé suchostojné období komplikace. Díky lokalizační funkci a svítící LED diodě je plemence snadno dohledatelná.

Suchostojné období je označení pro období vymezené ukončením produkce mléka v období pokročilé fáze březosti (posledních 8–9 týdnů březosti) do samotného porodu dojnice. V tomto období je třeba dbát na vyváženou krmnou dávku pro zabránění vzniku metabolických poruch a přípravu organismu zvířete na bezproblémový porod.

Když začínají padat první kapky blížícího se lijáku, je dočasně uzavřena střešní štěrbinová stáje. Protože se s přehánkou setmělo, rozsvítí se ve stáji několik světelných sekcí.

Systém sledování tělesné kondice umístěný na odchodu z dojícího robotu zjistil, že jedna dojnice rychle tzv. ztrácí kondici,

tedy hubne. Informaci dostává zootechnik, prohlédne vitální údaje zvířete (užitkovost, aktivita, tělesná teplota), prostřednictvím pozičního systému zjistí, kde se zvíře ve stáji aktuálně nachází, a zadá označení zvířete světelnou signalizací. Krávu tak kontroluje pár minut po upozornění a může jí včas podat posilující nálev, který podpoří její vitalitu.

Rozjasnění oblohy a konec přeháňky zaregistrují senzory. Ve stáji se zhasnou světla, střešní štěrbinata se otevírá. Krmný automat připravuje odpolední dávku. Při průjezdu stáji zjišťuje zvýšený příjem krmiva. Kravám v bouřce chutnalo. Zootechnik i výživový poradce tuto skutečnost zjišťují pohledem na aplikaci v telefonu.

Pracovní den se chýlí ke konci. Zootechnik naposledy prochází stáji a pohledem přechází spokojená zvířata. Krávy leží v postýlkách nebo se krmí u žlabu, některé se drbou pomocí rotačních kartáčů, jiné žvýkají přesně odměřenou dávku granulí v dojíčích robotech. Před spaním si zootechnik „svoje holky“ zkontroluje přes mobil ještě jednou.

4.2 Precizní zemědělství v chovu skotu

S rozvojem precizního přístupu v jednotlivých oborech se otevírají široké možnosti jeho využití i v chovu hospodářských zvířat. Sběr dostatku relevantních údajů, jejich uchování, propojení s externími databázemi, zpracování, vyhodnocení a poskytnutí přehledných praktických výstupů umožňuje chovateli cíleně nasměrovat péči dle individuálních potřeb konkrétního jedince s přihlédnutím k aktuálním podmínkám. Tradiční evidenčně-třídící programové vybavení je nahrazováno expertními systémy. Automatizace postupů a robotizace činností usnadňují každodenní rozhodování a eliminují nevýhody plynoucí ze závislosti produkce na lidském faktoru. Precizní přístup v zemědělské výrobě také zajišťuje efektivní využití všech zdrojů, čímž významně přispívá k udržitelnosti hospodaření.

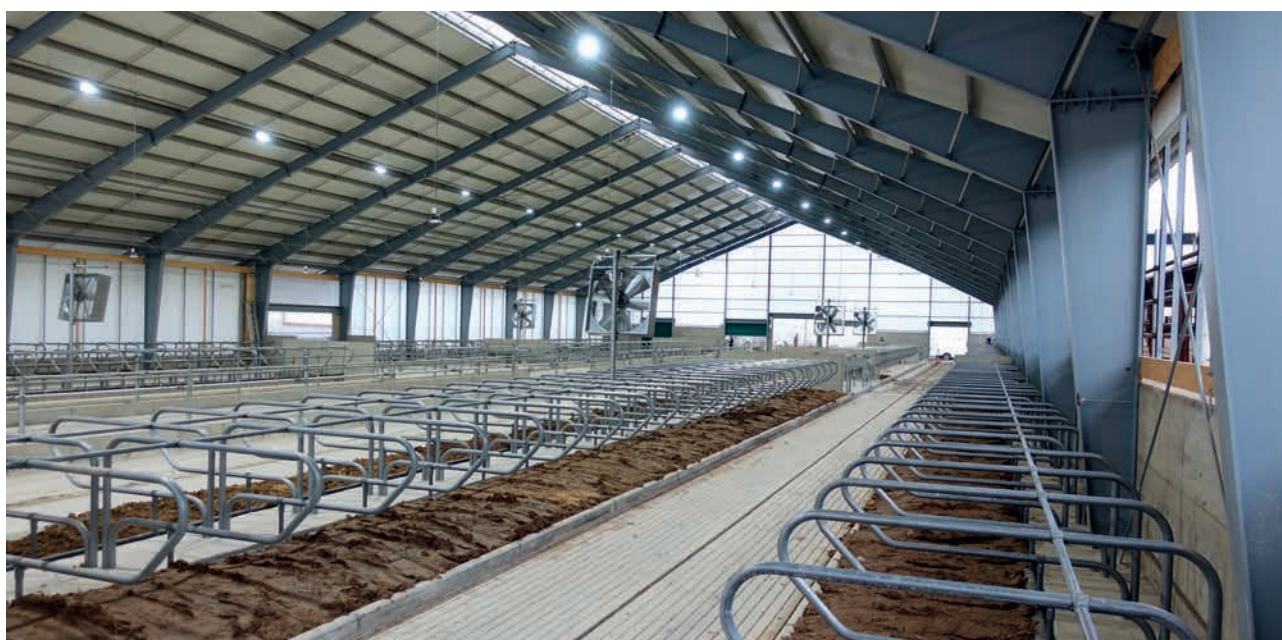
Chovné prostředí přizpůsobené potřebám zvířat je základem dobré užitkovosti a vypovídá o úrovni odpovědnosti chovatele vůči chovaným živým organismům.

Nově zprovozněné nebo zrekonstruované farmy bývají standardně vybaveny systémy na řízení mikroklima ve stáji. Senzory monitorují aktuální stav stájového prostředí i venkovní meteorologickou situaci. Moderním kritériem určujícím kvalitu mikroklimatu ve stáji je katahodnota, fyzikální veličina, která vypovídá o tepelné pohodě zvířat. Tuto hodnotu zjišťujeme pomocí katateploměru. Na tomto měřidle je vidět vývoj od mechanického zařízení k elektronickému (viz obr. 17). Software na základě těchto dat zasílá pokyny ovládacím jednotkám stájových technologií, např. ventilátorům, otevírání a uzavírání otvorů v plášti budovy, vytápění, zkrápění, osvětlení apod.

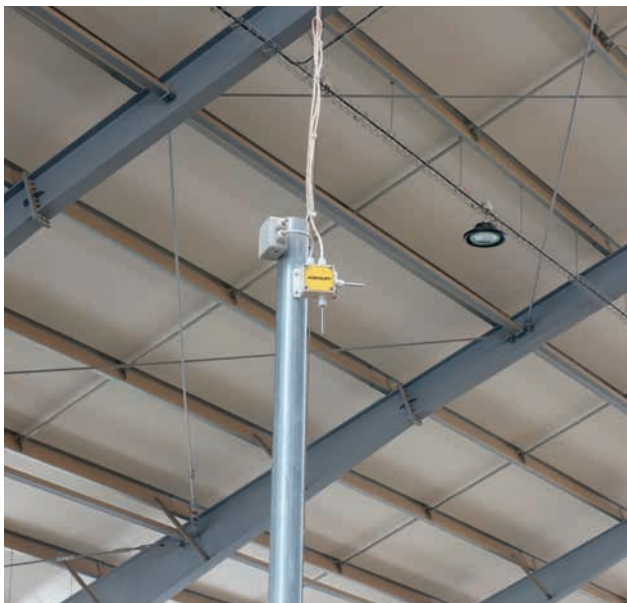
Chytré elektrické ohradníky umožňují kontrolu stavu oplocení, a tím i dohled na bezpečnost zvířat ve výběhu či na pastvině. Generátory impulzů lze řídit prostřednictvím dálkových ovladačů a vzájemně propojit přes centrální jednotku. Systém poskytuje vzdálenou správu celé soustavy a v případě zjištění chyby (například pokles napětí) uživatele upozorní alarmem.

Významný dopad na pohodu zvířat mají prvky sledování zvířat a manažerské programy, které na podkladě získaných dat poskytují odpovídající reporting. V praxi jsou to zejména senzory zaznamenávající pohybové, alimentární aktivity zvířete, fyziologické hodnoty jeho organismu, jeho lokalizaci a interakce s ostatními jedinci. Monitoring zvířat a jejich životních podmínek nabízí také ucelené kamerové systémy doplněné příslušným softwarem.

I v oboru chovu hospodářských zvířat se dynamicky rozvíjí automatizace a robotizace. K usnadnění lidské práce a eliminaci určité chybovosti lidského činitele jsou jednotlivé pracovní postupy automatizovány prostřednictvím moderních



Obrázek 16: Nová stáj, farma Počernice, zdroj Agrosoft.



Obrázek 17: Elektronický katateploměr, zdroj Agrosoft.

technologií. Rutinní činnosti jsou stále více nahrazovány prací autonomních strojů – robotů. Výsledkem je nejen kvalitně uskutečněná pracovní operace, ale i možnost její okamžité modulace na základě vyhodnocení aktuálních vstupních informací a zároveň poskytnutí dat vysoce přesahujících rámec možností lidského pracovníka.

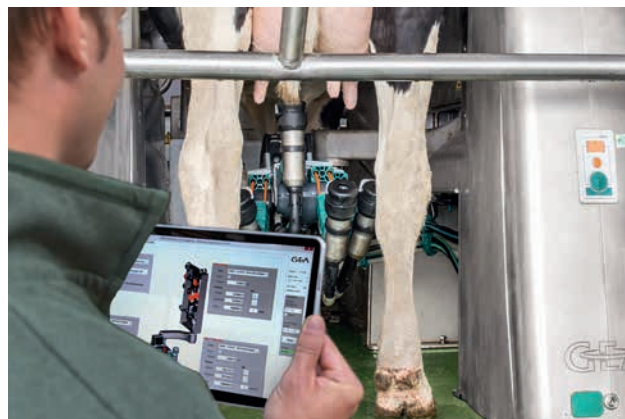
V provozu živočišné výroby se nejčastěji setkáváme s automatizovanými či robotizovanými technologiemi získávání mléka. Formy robotického dojení zaznamenávají v posledních letech rychlý rozvoj. V praxi nacházíme nejčastěji klasické dojící roboty (individuální dojící boxy umístěné v prostoru stáje, dojení umožňuje svobodný pohyb zvířat), skupinové uspořádání těchto boxů (tzv. batch milking, dojení probíhá v samostatné budově oddělené od stáje a respektuje stádové chování zvířat) a robotizované dojírny (kruhové dojírny s robotickým ramenem na každém stání nebo tradiční dojírny obsluhované robotickou rukou, dojírny zachovávají zvyklosti managementu a zvířat a jejich uvedení do provozu minimalizuje stres ze změny dojení).



Obrázek 18: Batch milking, zdroj delaval.com.



Obrázek 19: Robotická kruhová dojírna, zdroj gea.com.



Obrázek 20: Robotické nasazování dojícího stroje, zdroj gea.com.



Obrázek 21: Krmný automat Lely Vector, zdroj agropartner.cz.

Moderní dojící soustavy respektují individualitu zvířete a přizpůsobují se jeho stávajícím potřebám. Z průběhu dojení a vlastností mléka jsou získány důležité informace, které vypovídají o stavu dojnice z pohledu zdraví, užítkovosti, výživy a plodnosti.



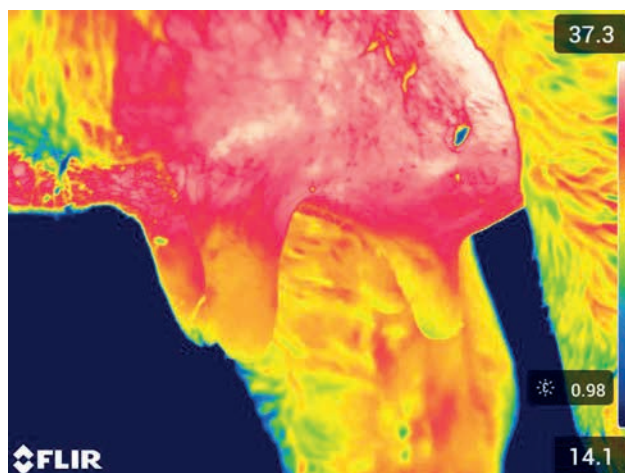
Obrázek 22: Automatický přihrnovač DeLaval Opti Duo, zdroj delaval.com.



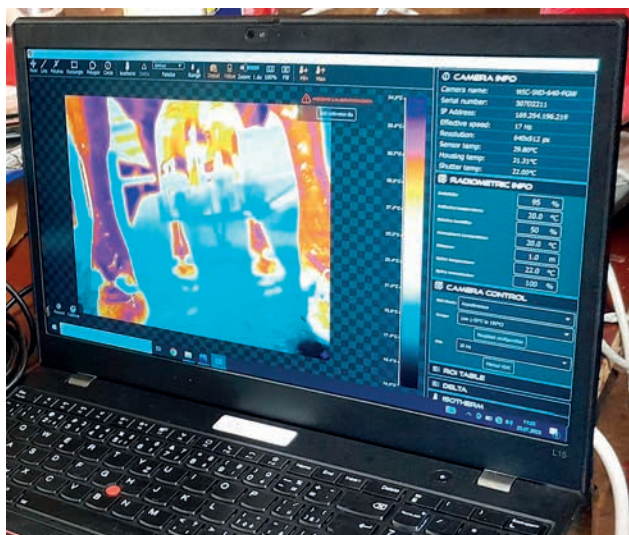
Obrázek 23: Automatický shrnovač/vysavač kejdy Lely Discovery Collector, zdroj agropartner.cz.

Své uplatnění stále více nacházejí moderní krmné technologie (krmné vozy s automatizovanými funkcemi, krmné přihrnovače a roboty), chytré technologie pro manipulaci se zvířaty (automatické selekční branky, řízený pohyb zvířat) nebo technologie pečující o čistotu prostředí a komfort zvířat (odkliz moči a výkalů, automatizované nastýlání). Vzájemná koordinace a sdílení dat všech těchto systémů se stává samozřejmostí.

Udržení dobrého zdravotního stavu zvířat a jejich reprodukce je dalším základním úkolem chovatele. Již výše zmíněný detailní monitoring zvířat a jejich produkce napomáhá včasné detekci fáze reprodukčního cyklu a diagnostice onemocnění, obvykle ve významném předstihu před člověkem pozorovatelnými příznaky. To přispívá ke zkrácení doby léčby a snížení spotřeby léčiv. Ke kontrole zdravotního stavu se využívá termografie. Uplatňuje se především ke zjišťování zánětů různých lokalizací. Díky kontinuitě záznamů lze nejen úspěšně detekovat říji nebo často předejít rozvinutí daného onemocnění, ale je možno také sledovat reakci organismu na aplikovanou léčbu či ošetření.



Obrázek 24: Termosnímek mléčné žlázy, zdroj Agrosoft.



Obrázek 25: Softwarové rozhraní určené k práci s termovizí, zdroj Agrosoft.

Do veterinární medicíny postupně přechází prvky precizní humánní medicíny. Vysoký potenciál tohoto oboru spočívá zejména v cílené léčbě „na míru“ konkrétnímu jedinci. Výsledkem může být nejen velmi účinná léčba, ale také prevence.

Další pomyslné dveře otevírají nové šlechtitelské metody. Díky genotypizaci zvířat lze odhadnout riziko výskytu onemocnění v průběhu života zvířete. Také chovatele předběžně informují o chovatelské (plemenné) hodnotě daného jedince, o výši předpokládané užitkovosti a efektivitě jeho produkce. Genotypizace ve spolupráci se softwary na tvorbu optimálních rodičovských párů posouvají chov hospodářských zvířat a jeho dopad na životní prostředí o významný krok kupředu.

Sofistikovaný přístup k výživě přispívá k udržení kvality a množství požadované produkce, k dobrému zdravotnímu a celkovému stavu zvířat a k efektivnímu využití vstupních zdrojů. Při výrobě vlastních krmiv se uplatňují prvky precizního zemědělství v rostlinné výrobě. Tyto systémy jsou založeny na propojení podrobných dat získaných z GPS lokace, senzorů a dostupných databází. Údaje jsou bezprostředně vyhodnoceny a výsledky jsou okamžitě zohledněny např.

v činnosti pracovní jednotky. Výstupem tohoto procesu jsou vysoce kvalitní krmiva s optimálním zastoupením a stravitelností jednotlivých živin.

Precizní výživa zvířat akceptuje v maximální míře veškeré vlastnosti krmiv a podmínky chovu, je zacílena na potřeby každého konkrétního jedince. Umožňuje sestavování krmných dávek a managementu krmení s maximálním využitím provozních dat zahrnujících přesnou charakteristiku krmiv a jejich vzájemné působení, charakteristiku jednotlivých zvířat, podmínky chovu i vnější podmínky.

Elektronický reporting spolupracující s veřejnými databázemi, manažerský software, vzdálený přístup, sloučení informací v ucelených přehledech a jednotné uživatelské rozhraní usnadňují a částečně automatizují náročnou správu farmy. Systém koordinuje sběr, správu a zpracování všech dat. Chovatelé poskytují kompletní informace v přehledných výstupech, nabízí mu řešení nastalých situací a modeluje dopady jednotlivých rozhodnutí. Díky propojení software s automatizovanými procesy a robotizovanými činnostmi aplikovanými do provozu farmy má chovatel více prostoru pro práci na vyšší manažerské úrovni.

Provozovat farmu s prvky precizního zemědělství znamená hospodařit zodpovědněji. Jak již bylo řečeno výše, systémy zohledňují specifitu vstupů a individuální potřeby zvířat, čímž dochází k efektivnějšímu využití všech zdrojů a ke snížení nežádoucích produktů v podobě stájových plynů, prachu, zápachu a hluku.

I k získávání vstupních zdrojů a zacházení s nimi lze přistupovat racionálně. Technologie farmy mohou zahrnovat i vlastní zdroje energie, jako jsou bioplynové stanice nebo fotovoltaické elektrárny na střeších budov. Energie získaná z fotovoltaických panelů může v létě sloužit k chlazení a v zimě k vytápění. Jednotlivé faremní soustavy mohou být a jsou vybavovány recyklačními, recirkulačními a rekuperačními funkcemi. Jako příklad lze uvést využití „šedé“ vody k oplachu dojírny nebo ohřev užitkové vody pomocí odpadního tepla z chladicí soustavy (nádrže na mléko, chlazení zvířat).

Autoři: Ing. Luboš Smutný, Ph.D., Ing. Maria Kožíšková (AGROSOFT Tábor, s. r. o.)

5 Precizní zemědělství v ekologickém zemědělství

5.1 Precizně ekologicky na poli

Principy a metody precizního zemědělství založené na sběru a analýze prostorových, klimatických, biologických a fyzikálně-chemických parametrů s ohledem na jejich variabilitu v prostoru a čase, jsou cenným nástrojem také pro ekologické zemědělství. Umožňují zemědělcům řídit a regulovat vstupy, jako jsou pohonné hmoty, osiva, hnojiva a biologické přípravky na ochranu rostlin s větší přesností a účinností. Efektivně regulovat plevele a zavádět technologie redukováného zpracování půdy, které omezují mineralizaci živin a emise skleníkových plynů, uvolňované do atmosféry při klasické orbě. Současně snižují riziko eroze půdy a zachovávají její úrodnost.

Mezi základní principy ekologického zemědělství patří udržování přirozeného životního cyklu pěstovaných rostlin a chovaných zvířat, kdy je zakázána většina průmyslových hnojiv a syntetických přípravků na ochranu rostlin. Doplnění živin je zabezpečeno používáním statkových a dalších forem biologických hnojiv. Dále jsou povoleny přirozené formy minerálních hnojiv jako např. dolomitický vápenec, který plní v půdě zároveň i fyto-sanitární funkci. Ochrana rostlin před chorobami a škůdci je založena především na principu prevence, tj. správném osevním postupu a výběru vhodných odrůd pěstovaných plodin. Přípravky na ochranu rostlin obsahují účinné látky převážně přírodního původu a herbicidy jsou zcela vyloučeny. V systému ekologického zemědělství je kladen důraz i na regionalitu vyprodukovaných komodit a krátkou výrobně-obchodní vertikálu (např. "prodej ze dvora").

5.2 Nové metody a precizní stroje umožní přizpůsobit se variabilitě prostředí

Variabilita prostředí má zásadní vliv na výnosy hlavních plodin. Konvenční zemědělství, které ve srovnání s ekologickým zemědělstvím využívá větší množství externích vstupů chemické nebo energetické povahy, může vliv variability prostředí efektivně eliminovat, a proto dosahuje vyšších a stabilnějších výnosů než ekologické. V precizním ekologickém zemědělství není možné vzhledem k absenci některých vstupů (přípravků na ochranu rostlin a syntetických hnojiv) variabilitu systému jednoduše kontrolovat. Pro mnoho situací v ekologickém zemědělství je tak třeba vyvíjet speciální nářadí a metody (Haapala, 2003).

Jeden z hlavních cílů strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“ (Farm to Fork) je navýšení podílu ekologického zemědělství na 25% zemědělské půdy ve všech členských státech do roku 2030. Tento cíl sleduje i národní Akční plán ekologického zemědělství na období (APEZ) 2021–2027, který definuje roli EZ v ČR do roku 2027 jako klíčový a účinně využívaný nástroj šetrnějšího způsobu hospodaření k posílení odolnosti krajiny a zavedení udržitelného potravinového systému.

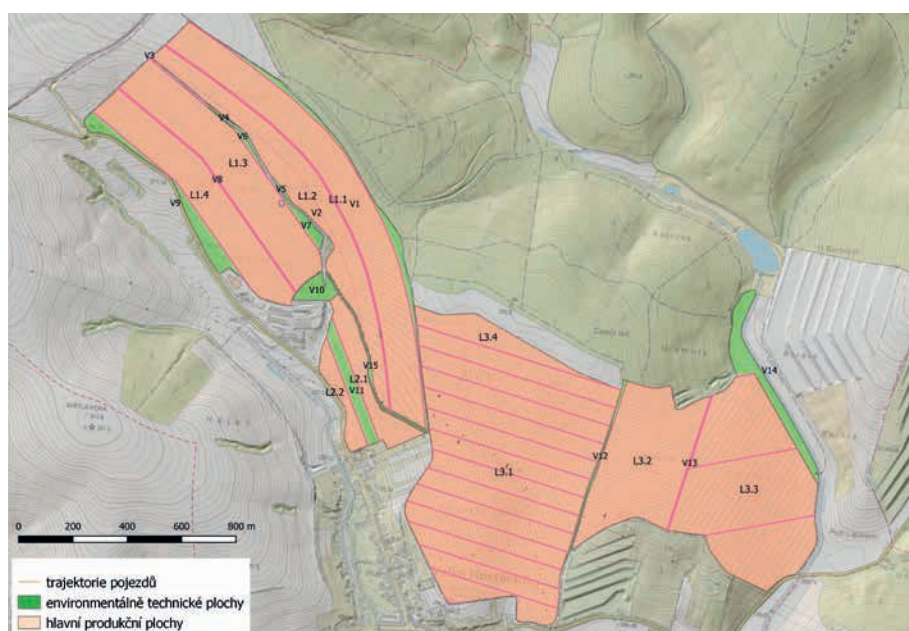
Kvantitativní strategické cíle APEZ pak jmenovitě uvádějí:

- Dosažení 22% podílu ekologických ploch na celkové zemědělské půdě ČR
- Dosažení 30% podílu orné půdy na celkové výměře půdy v EZ

Pro naplnění těchto cílů je zavádění technologií precizního zemědělství, vývoj speciálního nářadí a metod klíčové.

5.3 Základem je plán optimalizace půdních bloků

Umožňuje naplánovat takový způsob hospodaření, který snižuje spotřebu pohonných hmot, omezuje přesevy při překryvu secího stroje a utužení půdy způsobené pojezdy zemědělské techniky. V rámci optimalizace jsou mj. vytvořeny tzv. mimoprodukční plochy, na kterých není ekonomicky rentabilní hospodařit a jsou navrženy k využití jako tzv. environmentálně-technické plochy. Díky plánu pak palubní počítače a navigace zemědělské techniky optimalizují pohyb strojů po zemědělské půdě a zajistí dodržení potřebné dávky vstupů. Plán optimalizace zefektivní využití technologií od zpracování půdy, setí, přes mechanickou regulaci plevelů, aplikaci statkových hnojiv až po sklizeň.



Obrázek 26: Příklad optimalizace půdních bloků Velké Hostěradky, zdroj Kapička.

5.3.1 Precizní zpracování půdy

Hluboká orba byla v ekologickém zemědělství, které nepoužívá herbicidy, až donedávna jedinou účinnou metodou pro regulaci plevelů. V posledních letech je nahrazována technologiemi redukovaného zpracování půdy (zpracování půdy v hloubce 5–10 cm), které přispívají ke snížení emisí skleníkových plynů. Proto je potřeba řešit regulaci plevelů jinými metodami, resp. nářadím, které umožňuje kontrolu nad fyzikálně-chemickými a biologickými parametry prostředí ve vztahu k růstovým fázím hlavních polních plodin a plevelů.

5.3.2 Precizní podmítače a kultivátory

5.3.2.1 Radličkové podmítače a kultivátory

Tato zařízení jsou určena ke zpracování půdy po sklizni – podmítání strniště, dále k hloubkovému zpracování a přípravě půdy před setím. Podmítače podřezávají kořeny jednoleťtých i vytrvalých plevelů, víceletých píceňin nebo meziplodin, půdu efektivně promíchávají a provzdušňují a ta je pak připravena k dalšímu zpracování nebo setí.



Obrázek 27: Treffler, zdroj Matěj.

5.3.2.2 Prutové brány i opticky naváděné přístroje pro regulaci plevelů

Prutové brány jsou základní mechanizací používanou k regulaci plevelů v porostu ekologicky pěstovaných plodin. Jejich moderní precizní nástupci zvládnou mechanickou regulaci plevelů u většiny kulturních plodin, jako jsou brambory, obiloviny, slunečnice, kukuřice, sója, cukrovka, hrách, salát, dýně, a dalších. Díky těmto technologiím pak mohou ekologičtí zemědělci efektivně pěstovat plodiny, u kterých byl v minulosti vyžadován značný podíl ruční práce.

Ekologičtí pěstitelé zeleniny jsou průkopníky ve využívání technologií nechemické ochrany porostů proti plevelům, jako je opticky naváděné nářadí pro meziřádkovou kultiva-

ci, senzory pro monitorování rostlin, systémy zavlažování, biologickou ochranu rostlin a použití krycích plachet, které mohou být kombinovány a přizpůsobeny potřebám jednotlivých plodin.

5.4 Multifunkční řešení nejen pro ekologii

Existují stroje, které zvládnou hned několik pracovních operací najednou: řádkovou přípravu půdy s možností aplikace organického hnojiva, výsev a plečkování, v průběhu, kterého je možné současně zakládat podsevy do hlavní plodiny. Zavádění podobných systémových technologií může hrát klíčovou roli v zavádění precizních technologií v ekologickém i konvenčním zemědělství.



Obrázek 28: Systém Cameleon, zdroj Matěj.

5.5 Regulace zaplevelení přímo u zdroje – drčení semen plevelů na výstupu ze sklízecí mlátičky

I při ideálním nastavení sklízecí mlátičky se nedá zabránit určitým sklízňovým ztrátám, při kterých dochází i k navrácení semen plevelů a jejich dalšímu šíření na poli. Předcházet riziku zaplevelení při sklizni umí drtiče, které pomocí vícestupňového kladívkového mlýnku rozmělnují semena plevelů spolu s výdrolem obilí tak, aby nemohla vyklíčit. Vznikne jemný mulč připomínající piliny, který dodává živiny do půdy. Drtiče umí zachytit až 80 % výdrolu a semen plevelů, a tak snižují zásobu semen plevelů v půdě.

5.6 Výzvou je řešení variabilní aplikace tuhých statkových hnojiv

Nadměrné používání hnojiv je problémem jak pro životní prostředí, tak pro ekonomiku produkce, jejich nedostatek naopak limituje růst plodin a výnosy. Potřebné množství živin je díky moderním technologiím možné dodávat přesně na „míru“, podle potřeb pozemku. Variabilní aplikace tekutých statkových hnojiv je založena na monitoringu pozemků, půdních mapách, satelitním a leteckém snímkování, výnosových mapách, a kontinuálním rozboru úrovně živin hnojiva přímo při aplikaci a je již poměrně rozšířenou a v praxi běžně zaváděnou technologií.

V případě tuhých statkových hnojiv (hnoje) a kompostů je potřeba tuto metodu ještě dál rozvíjet, především kvůli proměnlivému obsahu živin a jejich dostupnosti pro pěstované plodiny. Stejně tak je potřeba vyvíjet stroje pro jejich přesnou aplikaci na zemědělskou půdu apod. Tuhá statková hnojiva i komposty jsou v ekologickém zemědělství, které nepoužívá syntetická minerální hnojiva, klíčovým zdrojem organického dusíku a podle toho je potřeba s nimi i tak nakládat. Optimalizace jeho využití je tedy výzvou nejen pro samotné zemědělce, ale především pro zemědělský výzkum.

**Autor: Ing. Jan Trávníček, Ing. Adam Brezáni
(Czech organics)**

6 Pozitivní dopady zavádění precizního zemědělství na ekonomiku podniku

Zemědělská účetní datová síť (FADN – Farm Accountancy Data Network) byla založena v roce 1965 a představuje jediný informační zdroj Evropské komise o reálné ekonomické situaci podnikatelských subjektů v zemědělství ve všech členských státech EU. Jedná se o výběrové šetření, které probíhá každoročně na základě jednotné metodiky FADN EU. V ČR bylo šetření FADN zahájeno vstupem do EU v roce 2004.

Data o využívání technologií precizního zemědělství (PZ) jsou v České republice sbírána od roku 2017 v rámci šetření FADN CZ. V následující analýze jsou porovnány výsledky hospodaření podniků využívajících technologie precizního zemědělství s podniky bez precizního zemědělství za účetní rok 2021. Většina výsledků je s ohledem na srovnatelnost přepočtena na 1 hektar z. p. Podniky výrobního zaměření chov prasat a drůbeže nebyly do následujícího hodnocení zahrnuty z důvodu minimální výměry obhospodařované půdy. Z oficiálního souboru předaného za rok 2021 do EU (1 122 podniků) uvedlo 197 podniků (17,6 %), že využívá alespoň jednu technologii PZ (z toho 53 podniků fyzických osob a 144 podniků právnických osob). Dle metodiky FADN jsou podniky zařazeny do kategorií výrobního zaměření (VZ) dle převažujícího druhu jejich specializace. Nejvíce podniků využívajících technologie PZ bylo zastoupeno ve výrobním zaměření smíšená výroba (44,7 %), dále ve VZ polní výroba (34,0 %) a produkce mléka (17,8 %).

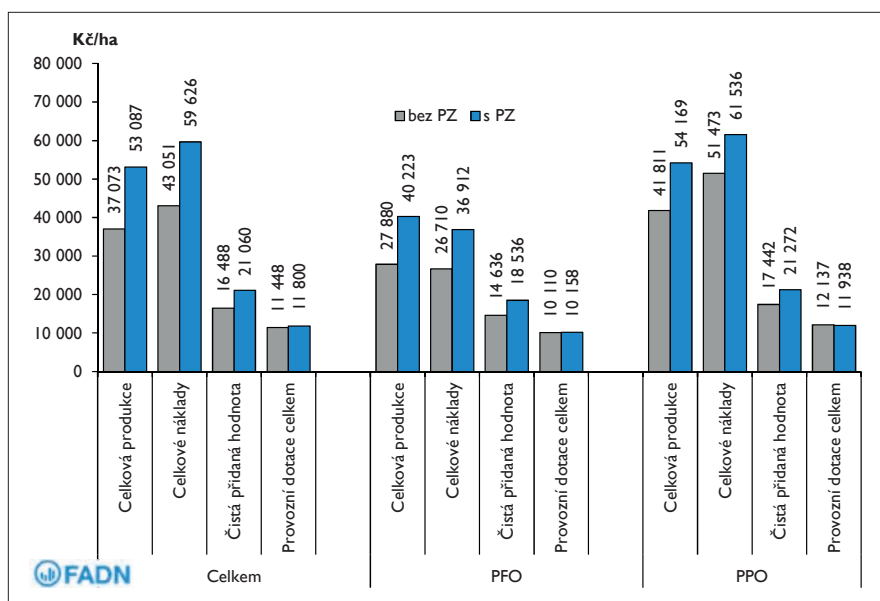
Podniky s PZ dosahují vyšších hodnot celkové produkce přepočtené na hektar z. p. (Obrázek 29). V roce 2021 dosáhly hodnoty celkové produkce 53,1 tis. Kč/ha, což bylo o 43,2 % více, než bylo zaznamenáno u podniků bez PZ (37,1 tis. Kč/ha). Vyšších hodnot celkové produkce dosahují podniky s PZ také při rozdělení podle jejich právní formy. Podniky fyzických osob (PFO) s PZ zaznamenaly hodnotu celkové produkce 40,2 tis. Kč/ha, což bylo o 44,3 % více než podniky PFO bez PZ (27,9 tis. Kč/ha). U podniků právnických osob (PPO) bez PZ byla hodnota celkové produkce 41,8 tis. Kč/ha, zatímco u PPO s PZ byla o téměř 30 % vyšší a dosáhla hodnoty 54,2 tis. Kč/ha.

Podniky s PZ dosahují vyšších výnosů u hlavních pěstovaných plodin, v roce 2021 byl zaznamenán výnos pšenice ozimé 6,99 t/ha, což bylo o 11,7 % více, než dosáhly podniky bez PZ (6,25 t/ha). Také výnos řepky byl u podniků s PZ vyšší, a to o 2,3 % (3,13 t/ha oproti 3,06 t/ha). Podniky využívající technologie PZ vykazují také vyšší doajivost. V roce

2021 byla zaznamenána užitkovost 9 273 l/dojnici/rok, což bylo o 11,7 % více než u podniků bez PZ (8 303 l/dojnici/rok). Vyšší dosažené výnosy a doajivost současně korespondují i s vyššími celkovými náklady včetně přímých nákladů na osiva, nakupovaná hnojiva, prostředky ochrany rostlin a krmiva.

Podniky využívající technologie PZ vykázaly v roce 2021 celkové náklady přepočtené na hektar z. p. ve výši 59,6 tis. Kč/ha, což bylo o 38,5 % více, než u podniků bez PZ (43,1 tis. Kč/ha). I po rozdělení podniků dle jejich právní formy platí, že podniky s PZ vykazují vyšší nákladovost než podniky bez PZ. Dlouhodobě nižší celkové náklady vykazují podniky fyzických osob, což je ovlivněno významným zastoupením neplacené práce u PFO, která není v hodnotě celkových nákladů zahrnuta. U PFO s PZ byly v roce 2021 zaznamenány celkové náklady ve výši 36,9 tis. Kč/ha, což bylo o 38,2 % více, než vykázaly PFO bez PZ (26,7 tis. Kč/ha). Celkové náklady PPO s PZ byly s hodnotou 61,5 tis. Kč/ha o 19,6 % vyšší než náklady u PPO bez PZ (51,5 tis. Kč/ha). Zde je třeba zdůraznit, že podniky využívající technologie PZ hospodaří intenzivněji než podniky, které je nevyužívají. Ve skupině podniků bez PZ jsou i podniky s extenzivním typem hospodaření nebo ekologicky hospodařící podniky, což je jedním z důvodů, proč podniky bez PZ vykazují nižší nákladovost a dosahují nižších hodnot produkce.

Celková hodnota provozních dotací byla u obou skupin podniků na srovnatelné úrovni a její výše přímo nesouvisí s technologiemi PZ. Mírné rozdíly byly způsobeny spíše specializací podniků v dané skupině, nikoliv využíváním či nevyužíváním technologií PZ.

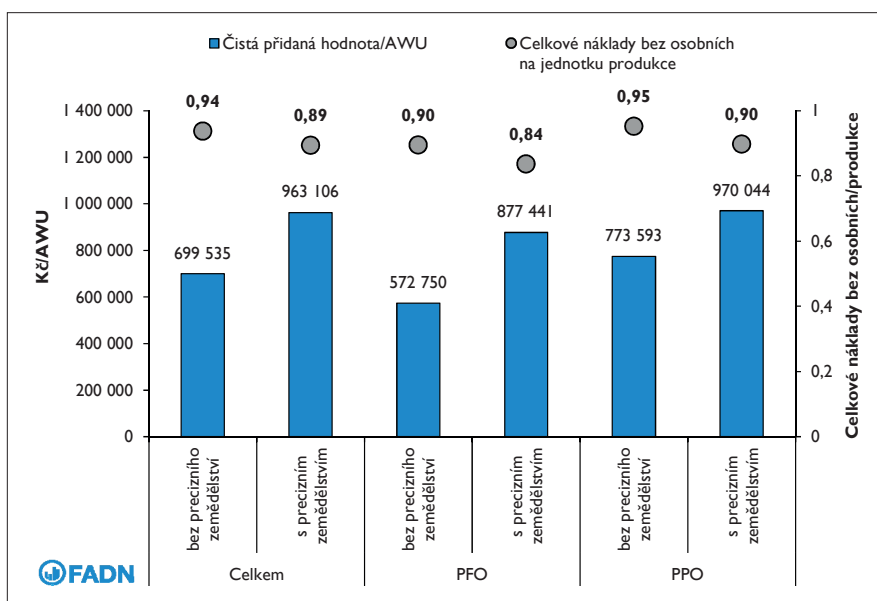


Obrázek 29: Ukazatele hospodářského výsledku podniků bez PZ a s PZ za rok 2021, zdroj Šetření FADN CZ (ÚZEI).

Efektivitu výroby lze vyjádřit podílem nákladů na produkci. Platí, že čím nižší je hodnota tohoto podílu, tím efektivněji jsou využity vynaložené náklady. Hodnota podílu celkových nákladů (bez osobních) na jednotku produkce vychází nižší u podniků, které využívají technologie PZ, a to u obou právních forem podniků. V roce 2021 dosáhly podniky s PZ hodnoty tohoto ukazatele 0,89, zatímco u podniků bez PZ byl tento podíl 0,94. Hodnota tohoto indikátoru potvrzuje efektivnější využití vynaložených vstupů u podniků, které využívají technologie precizního zemědělství.

Jedním z hlavních ukazatelů ekonomické efektivity hospodaření podniků je čistá přidaná hodnota (ČPH), kterou získáme součtem celkové produkce a salda provozních dotací a daní, od kterých odečteme náklady na výrobní spotřebu a odpisy. ČPH tedy představuje zdroje podniku určené k úhradě externích nákladů na práci, půdu a kapitál a pro tvorbu zisku. Vyšší hodnoty čisté přidané hodnoty přepočtené na hektar z. p. dosahují podniky využívající technologie PZ (Obrázek 30), které v roce 2021 vykázaly o 27,7 % vyšší hodnotu ČPH (21,1 tis. Kč/ha) než podniky bez PZ (16,5 tis. Kč/ha). Ještě lepších výsledků dosahují podniky s PZ u ukazatele čisté přidané hodnoty přepočtené na roční pracovní jednotku AWU (Annual Work Unit = 2 000 odpracovaných hodin za rok). V roce 2021 vykázaly o 37,7 % vyšší hodnotu ČPH/AWU než podniky bez PZ, dosažená hodnota se lišila o 263 tis. Kč/AWU (963 tis. Kč/AWU oproti 700 tis. Kč/AWU u podniků bez PZ). Tento významný rozdíl souvisí nejen s vyšší hodnotou čisté přidané hodnoty, ale také se skutečností, že podniky s PZ vykazují nižší vstup pracovní síly. V roce 2021 byla

u podniků s PZ zaznamenána hodnota ukazatele vstupu pracovní síly přepočtené na plochu ve výši 2,19 AWU/100 ha, zatímco u podniků bez PZ byl tento ukazatel o více než 7 % vyšší a činil 2,36 AWU/100 ha.



Obrázek 30: Ukazatele ekonomické efektivity podniků bez PZ a s PZ za rok 2021, zdroj Šetření FADN CZ (ÚZEI).

Při porovnání obou skupin podniků dosahují podniky s PZ lepších hospodářských výsledků. Technologie precizního zemědělství jsou spíše využívány v podnicích právnických osob větší ekonomické velikosti. Jde o podniky, které hospodaří s vyšší intenzitou, s čímž souvisí nejenom vyšší dosažená celková produkce, ale i vyšší celková nákladovost. Podniky využívající technologie PZ vykazují vyšší úroveň odpisů než podniky bez PZ, což je důsledkem zlepšující se technické vybavenosti a vyššími investicemi do strojů a technologií.

Autor: Ing. Martina Döbertová (Kontaktní pracoviště FADN ČR, Ústav zemědělské ekonomiky a informací)

7 Budoucnost (precizního) zemědělství

Precizní zemědělství lze v současné době nazvat již klasickým přístupem, kterým lze maximalizovat zemědělskou produkci a zároveň minimalizovat použití vstupních zdrojů (lidská práce, hnojiva, voda, chemické ochranné látky atd.), to vše za pomoci moderní techniky využívající informačních a komunikačních technologií.

Zemědělské aktivity jsou však z velké většiny stále závislé na lidské práci, a to jak ve vyspělých, tak především v rozvojových zemích. To lze názorně doložit např. nedostatkem sezónních pracovníků v době koronavirové pandemie. Ochota lidské populace pracovat v zemědělství také stále klesá, a to znovu jak ve vyspělých, tak rozvojových zemích. Zemědělská populace proto stárne. Potřeba potravin ale neklesá, ba právě naopak. Jedním z cílů Organizace spojených národů stále zůstává konec hladovění.

Technologie chytrého (smart) či digitálního zemědělství mohou být zásadní pro vyřešení těchto problémů. Jejich nedílnou součástí je využívání tzv. velkých dat (big data), robotizace a umělé inteligence. Dosavadní vývoj nasvědčuje tomu, že budoucností zemědělské výroby budou právě tyto technologie a lidská síla bude postupně nahrazována roboty.

Robotické platformy pro využití v zemědělství lze rozdělit podle různých hledisek. Jedná se o roboty pozemní, roboty létající, mobilní manipulátory a zemědělské multirobotické systémy. Předpokládá se přitom, že právě multirobotické systémy budou pro budoucí vývoj zemědělských technologií zásadní.

Z hlediska současného přístupu k robotizaci zemědělství lze pozorovat dva vývojové směry. Jeden spočívá v náhradě zemědělských strojů současných rozměrů a výkonnosti (především traktorů) s obsluhou stroji robotickými (autonomními). Typickými příklady těchto snah jsou např. autonomní traktory firem Case IH nebo John Deere ale také mnohých dalších (New Holland, AgXeed spolupracující např. s firmou Claas, Krone a Lemken – stroj nazvaný Combined Powers atd.).

V zemědělské praxi se již začínají prosazovat pozemní robotické platformy, které u nás začínají být využívány především v zelinářských provozech, nebo při pěstování širokořádkových plodin (např. kukuřice). Tyto stroje jsou vhodné k seti či sázení, ale také k meziřádkové kultivaci. Zde je další obrovský potenciál využití robotizace, který souvisí s postupným omezováním používání chemických ochranných látek. Jejich náhrada mechanickým ošetřením (meziřádkovou kultivací) je jednou z mála možností. Poptávka po automatizaci těchto operací je opět v důsledku nedostatku pracovních sil značná. Podobně jako v předchozím případě jsou již tyto platformy komerčně nabízeny různými výrobci, jmenujme např. značky Agrobot nebo Farmdroid.

Dalším, technologicky náročnějším směrem, jsou platformy založené na multirobotických systémech. V tomto případě jsou roboti menší a předpokládá se jejich skupinové nasazení. Odtud také vznikl samotný pojem multirobotický systém. V závislosti na stupni vývoje mohou tyto roboti mezi sebou pasivně nebo aktivně spolupracovat. Potenciál multirobotických systémů je tak značný. Jejich využití může přispět také



Obrázek 31: Robotická platforma Robotti dánské firmy Agrobot při pletí cibule, zdroj Kumhála.

k řešení některých závažných problémů současného zemědělství, souvisejících např. s utužováním půdy těžkou zemědělskou technikou a její s tím spojenou degradací. Protože jednotliví roboti nevyžadují obsluhu, mohou být menší, ale díky jejich skupinovému nasazení stejně výkonné, ba i výkonnější než dnes používané velké stroje.

Pozemní multirobotické systémy jsou založeny na menších po zemědělských pozemcích autonomně se pohybujících strojích, které mohou samostatně nebo v součinnosti vykonávat různé operace, zpravidla opět meziřádkovou kultivaci, pletí, ochranu rostlin a další úkony.

Další možností jsou letecké multirobotické systémy. V tomto případě jsou základem nejčastěji drony, popřípadě jiné bezpilotní prostředky. Tyto stroje mohou opět buď samostatně nebo ve spolupráci mezi sebou zajišťovat např. dálkový průzkum Země či ochranu rostlin (především v případě sadů, vinic, chmelnic apod.).

Asi vrcholem vývoje multirobotických systémů je pak spolupráce mezi pozemními a leteckými stroji. V tomto případě zpravidla letecké systémy zjišťují informace pro následné řízení pozemních strojů. Celý systém tak může dosahovat vysoké autonomie.



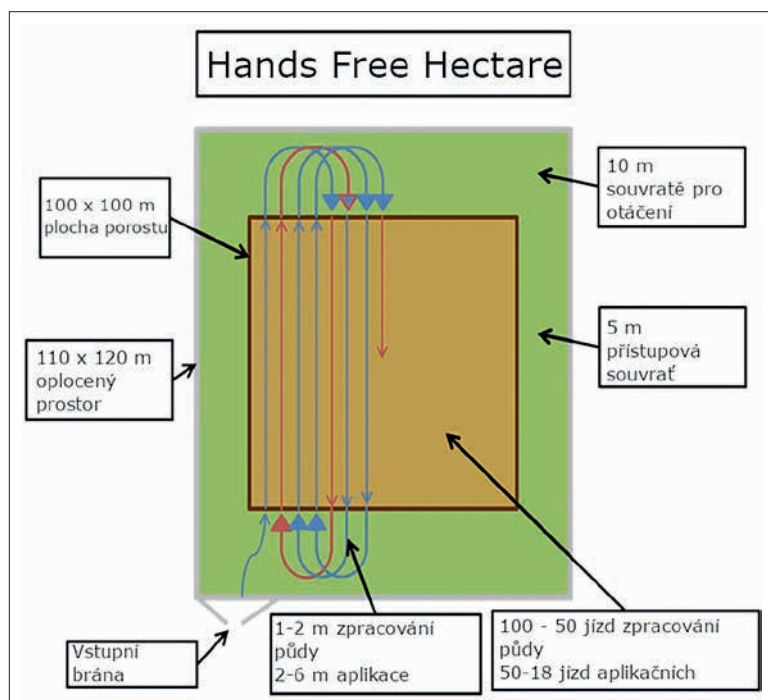
Obrázek 32: Malý autonomní zemědělský robot Eduro Maxi, vyvinutý na Technické fakultě ČZU v Praze. Podobné stroje tvoří základ pozemních multirobotických systémů, zdroj Kumhála.



Obrázek 33: Autonomní pozemní platforma pro lehký až středně těžký terén navržena vývojem laboratoří ProLab ve spolupráci s Katedrou zemědělských strojů Technické fakulty ČZU v Praze. Plně elektrický pásový stroj řízený smykem. Osazen dvěma tříbodovými závěsy. Na jedno nabití 20 hod. provozu, dojezd až 100 km, zdroj Kumhála.

Velkým potenciálem multirobotických systémů, ale v některých případech i robotických platform, je jejich možné využití v tzv. CO₂ neutrálních aplikacích. Zvláště menší stroje jsou zpravidla poháněny elektrickou energií. Ta může být vyrobena např. v ostrovním energetickém systému. Celá technologie pak funguje tak, že na kraj obdělávaného pozemku je dopraven ostrovní energetický systém. Ten dobíjí své baterie nejčastěji sluneční, popřípadě jinou obnovitelnou energií (např. větrnou), či kombinací obojího. Jakmile se některému stroji z multirobotické platformy vybijí baterie, dojede si je k ostrovnímu energetickému systému znovu nabít.

V současném stupni vývoje robotických systémů jsou hlavními aplikacemi, pro které jsou využívány, především následující: dálkový průzkum Země a mapování zemědělských porostů, setí či sázení, meziřádková mechanická kultivace, detekce plevelů a chemická ochrana rostlin, zavlažování, hnojení, fenotypizace (zjišťování reakce rostlin, jejich růstu a vývoje, na jednotlivé zásahy či změnu prostředí a sklizeň.



Obrázek 34: Rozvržení pozemku projektu Hands Free Hectar. Využití robotických systémů bude vyžadovat, aby se jim obdělávané plochy přizpůsobovaly. Problémem bude i legislativa, zdroj Kumhála.

Existují ale také snahy o automatizaci celého systému rostlinné výroby na farmě. Již na konci roku 2016 představil anglický National Centre for Precision Farming ve spolupráci s Harper Adams University projekt Hands Free Hectar. Robotizované stroje vypěstovaly během celé sezóny pšenici na orné půdě „na dálku“, bez operátorů v kabinách strojů nebo agronomů na pozemku. Veškeré informace a zásahy byly prováděny zcela bez lidských zásahů, a to včetně rozhodování o cílené ochraně rostlin či hnojení. Na tento projekt navazuje Hands Free Farm, kde by obdobným způsobem měl být zajištěn chod farmy o rozloze 35 ha.

I když trendy ve vývoji zemědělské techniky a technologií není vždy úplně jednoduché odhadnout, robotizace je v současné době bezesporu jedním z nejdůležitějších. Do jaké míry bude skutečně využít její potenciál, ale ukáže až budoucnost.

**Autor: prof. Dr. Ing. František Kumhála
(TF Česká zemědělská univerzita v Praze)**

8 Seznam autorů

- Příspěvek č. 1: **Historie precizního zemědělství**
doc. Ing. Vojtěch Lukas Ph.D., prof. Ing. Jan Křen CSc. (Mendelova univerzita v Brně).
- Příspěvek č. 2: **Možnosti precizního zemědělství v rostlinné výrobě**
Ing. Jan Lukáš Ph.D. (VÚRV).
- Příspěvek č. 3: **Precizní zemědělství a vztah k životnímu prostředí**
doc. Ing. Václav Brant Ph.D. (Česká zemědělská univerzita v Praze).
- Příspěvek č. 4: **Možnosti precizního zemědělství v živočišné výrobě**
Ing. Luboš Smutný, Ph.D., Ing. Maria Kožíšková (AGROSOFT Tábor, s. r. o.).
- Příspěvek č. 5: **Precizní zemědělství v ekologickém zemědělství**
Ing. Jan Trávníček, Ing. Adam Brezáni (Czech organics).
- Příspěvek č. 6: **Pozitivní dopady zavádění precizního zemědělství na ekonomiku podniku**
Ing. Martina Döbertová (Kontaktní pracoviště FADN ČR, ÚZEI).
- Příspěvek č. 7: **Budoucnost (precizního) zemědělství**
prof. Dr. Ing. František Kumhála (TF Česká zemědělská univerzita v Praze).

9 Seznam zkratek

- APEZ: Akční plán ekologického zemědělství, 21
- AWU: Annual Work Unit = 2 000 odpracovaných hodin za rok, 25
- ČPH: Čistá přidaná hodnota, 25
- ČZU: Česká zemědělská univerzita, 7, 8
- DPZ: Dálkový průzkum země, 6
- FADN: Zemědělská účetní datová síť, 24
- GIS: Geografický informační systém, 5, 7
- GNSS: Globální družicový polohový systém, 5, 9
- GPS: Globální polohový systém, 5, 7, 8, 20
- NASA: Národní úřad pro letectví a vesmír (USA), 6
- PFO: Podniky fyzických osob, 24
- PHM: Pohonné hmoty, 13, 14, 15
- POR: Přípravek na ochranu rostlin, 13, 14, 15
- PPO: Podniky právnických osob, 24
- PZ: Precizní zemědělství, 24, 25
- RTK: Real Time Kinematic, 5, 9
- USGS: Geologická služba USA, 6
- ÚZEI: Ústav zemědělské ekonomiky a informací, 7
- VRS: Síť virtuálních referenčních stanic, 5
- VÚZE: Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, 7
- z. p.: Zemědělská půda, 24, 25

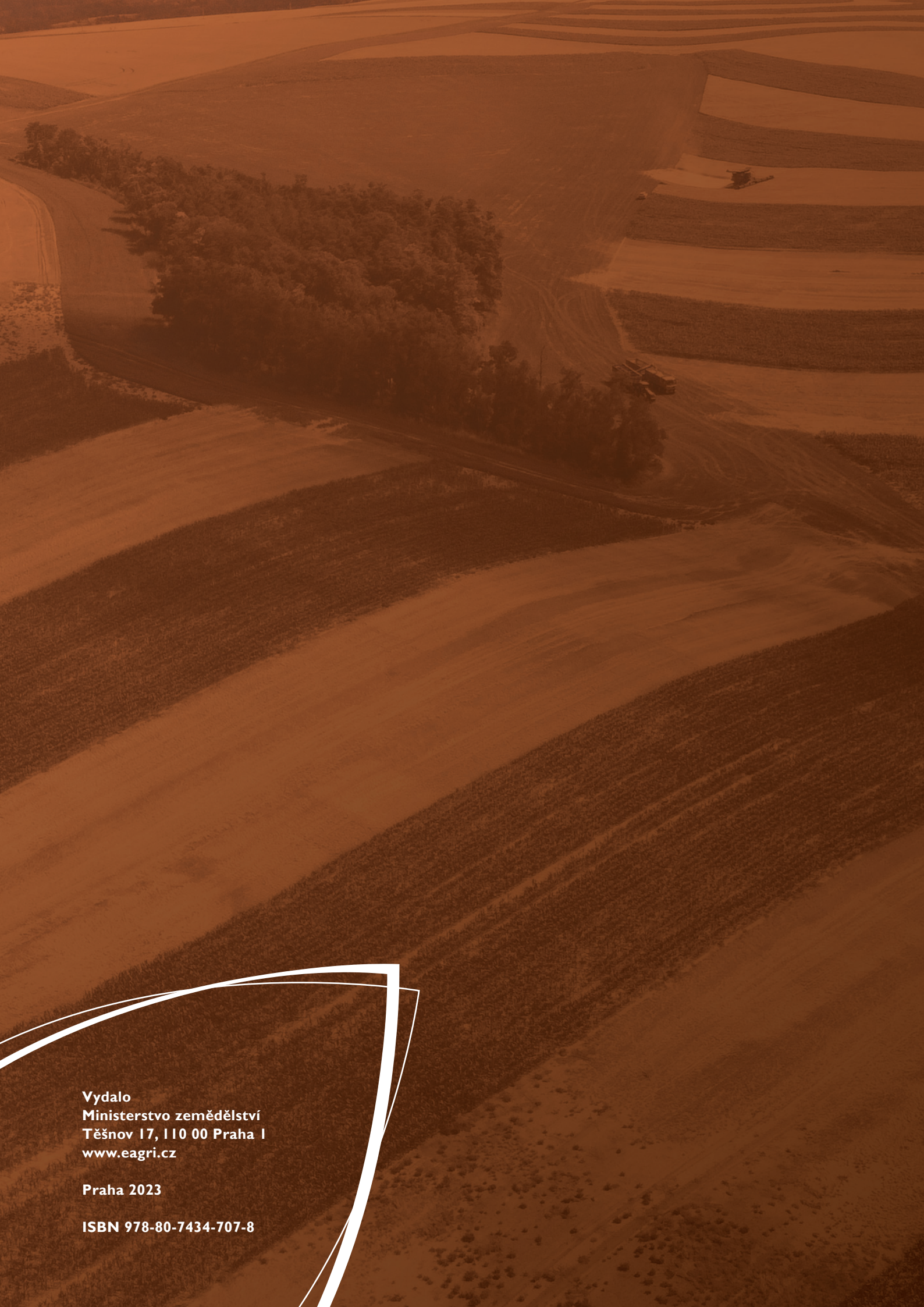
10 Seznam obrázků

Obrázek 1:	Zpracování dat Sentinel, zdroj Lukas.	6
Obrázek 2:	Exkurze studentů MENDELU předmětu Precizní zemědělství do společnosti MJM Litovel a.s., zdroj Lukas.	7
Obrázek 3:	Pásové střídání plodin (contour farming) zavedené zemědělskou společností Rostěnice a.s. v roce 2018 na erozně ohrožených pozemcích, zdroj Lukas.	8
Obrázek 4:	Představení autonomního nosiče nářadí AgriIntelli Robotti, zdroj Lukas.	8
Obrázek 5:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Širokospektrální RGB snímek, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 6:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Vegetační index VARI zpracovaný ze širokospektrálního RGB snímku, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 7:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Vymezení zón optimalizací histogramu rozložení hodnot odrazivosti vegetačního indexu ExG vypočítaného z širokopásmového zdrojového RGB snímku, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 8:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Výsledek automatické detekce 3 zón se shodnou charakteristikou na základě indexu VARI, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 9:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Výsledek automatické detekce 5 zón, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 10:	Možnost zpracování snímku z UAV s RGB senzorem. Identifikace 2 zón s pomocí algoritmu umělé inteligence s expertním dohledem na základě výběru metrových čtvercových polygonů, které zahrnují podle charakteristik odrazivosti nestresované (modře) a stresované rostliny, zdroj Lukáš.	11
Obrázek 11:	Výsledek optimalizace směru pohybu pracovních souprav na půdním bloku za účelem snížení celkové délky přejezdů, zdroj Brant a Kroulík.	13
Obrázek 12:	Reálný návrh pohybu konkrétní pracovní soupravy, včetně optimalizace otáček a šířky souvratě, zdroj Brant.	14
Obrázek 13:	Optimalizace půdních bloků pro technologie precizního zemědělství na základě tvorby produkčních a environmentálně-technických ploch, zdroj Brant.	14
Obrázek 14:	Efekt pásové aplikace herbicidů na vývoj plevelů v porostech kukuřice seté, zdroj Brant.	15
Obrázek 15:	Souprava pro mechanickou regulaci plevelů v meziřádku se souběžnou aplikací herbicidu na řádek vyseté plodiny a s cílenou souběžnou aplikací hnojiva pouze k řádku kulturní rostliny, zdroj Brant.	15
Obrázek 16:	Nová stáj, farma Počtenice, zdroj Agrosoft.	17
Obrázek 17:	Elektronický katateploměr, zdroj Agrosoft.	18
Obrázek 18:	Batch milking, zdroj delaval.com.	18
Obrázek 19:	Robotická kruhová dojírna, zdroj gea.com.	18
Obrázek 20:	Robotické nasazování dojícího stroje, zdroj gea.com.	18
Obrázek 21:	Krmný automat Lely Vector, zdroj agropartner.cz.	19
Obrázek 22:	Automatický přihrnovač DeLaval Opti Duo, zdroj delaval.com.	19
Obrázek 23:	Automatický shrnovač/vysavač kejdy Lely Discovery Collector, zdroj agropartner.cz.	19
Obrázek 24:	Termosnímek mléčné žlázy, zdroj Agrosoft.	19
Obrázek 25:	Softwarové rozhraní určené k práci s termosnímkou, zdroj Agrosoft.	20
Obrázek 26:	Příklad optimalizace půdních bloků Velké Hostěradky, zdroj Kapička.	21
Obrázek 27:	Treffler, zdroj Matěj.	22

Obrázek 28: Systém Cameleon, zdroj Matěj.	22
Obrázek 29: Ukazatele hospodářského výsledku podniků bez PZ a s PZ za rok 2021, zdroj Šetření FADN CZ (ÚZEI).	24
Obrázek 30: Ukazatele ekonomické efektivity podniků bez PZ a s PZ za rok 2021, zdroj Šetření FADN CZ (ÚZEI).	24
Obrázek 31: Robotická platforma Robotti dánské firmy Agrobotics při pletí cibule, zdroj Kumhála.	26
Obrázek 32: Malý autonomní zemědělský robot Eduro Maxi, vyvinutý na Technické fakultě ČZU v Praze. Podobné stroje tvoří základ pozemních multirobotických systémů, zdroj Kumhála.	27
Obrázek 33: Autonomní pozemní platforma pro lehký až středně těžký terén navržená vývojovou laboratoří ProLab ve spolupráci s Katedrou zemědělských strojů Technické fakulty ČZU v Praze. Plně elektrický pásový stroj řízený smykem. Osazen dvěma třibodovými závěsy. Na jedno nabití 20 hod. provozu, dojezd až 100 km, zdroj Kumhála.	27
Obrázek 34: Rozvržení pozemku projektu Hands Free Hectar. Využití robotických systémů bude vyžadovat, aby se jim obdělávané plochy přizpůsobovaly. Problémem bude i legislativa, zdroj Kumhála.	28

II Seznam citací

Haapala, Hannu. (2023). Precision Organic Farming. 10.13031/2013.15391.



Vydalo
Ministerstvo zemědělství
Těšnov 17, 110 00 Praha 1
www.eagri.cz

Praha 2023

ISBN 978-80-7434-707-8