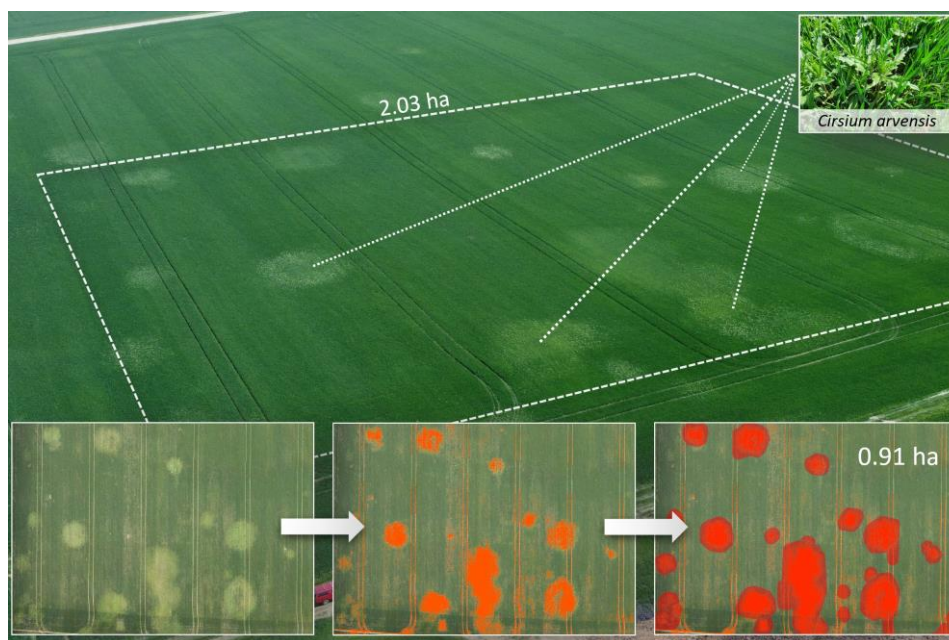


Ověřená technologie (Z_{tech})



Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství

Lukas V., Širůček P., Mezera J., Porčová L., Czíria K., Elbl J., Neudert L., Smutný V.

Výstup z projektu MPO Aplikace

„Skymaps – výzkumný projekt“ (CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024838)

Technická dokumentace výsledku

(popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie)

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství

Z_{tech} – Ověřená technologie

Vojtěch Lukas, Petr Širůček, Jiří Mezera, Lenka Porčová,
Kornél Czíria, Jakub Elbl, Lubomír Neudert, Vladimír
Smutný

2023

Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství

Cílem ověřené technologie je popsat postupy mapování zaplevelení pomocí metod DPZ a tvorbu podkladů pro plošně diferencovanou aplikaci herbicidního ošetření. Zahrnuje postupy sběru dat s využitím bezpilotních prostředků, zpracování obrazových dat v GIS a rozhodovací kritéria při ovládní aplikační techniky s ohledem na stupeň technické výbavy. Postupy byly ověřeny v zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s.

Site-specific application of herbicides in precision farming

The aim of the verified technology is to describe the procedures of precise weed management using remote sensing methods and the preparation of prescription maps for site-specific application of herbicides. It includes data collection procedures using unmanned aerial vehicles, image data processing in GIS and decision criteria when controlling application technology with regard to the level of technical equipment. The procedures were verified in the agricultural company ROSTĚNICE a.s.

Ověřená technologie je výsledkem řešení výzkumného projektu **MPO Aplikace** s názvem „Skymaps – výzkumný projekt“ (CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024838).

Autorský kolektiv:

doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně; ROSTĚNICE a.s.

Ing. Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Lenka Porčová, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Kornel Czírja, Skymaps s.r.o.

Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

doc. Ing. Vladimír Smutný, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Projekt

SKYMAPS - VÝZKUMNÝ PROJEKT

je spolufinancován Evropskou unií.

Předmětem projektu je výzkumný projekt společnosti SKYMAPS s účinnou spoluprací spočívající ve vývoji lokálně cílené aplikace herbicidních látek s využitím technologií precizního zemědělství.



EVROPSKÁ UNIE

Evropský fond pro regionální rozvoj

OP Podnikání a inovace

pro konkurenceschopnost

Technická dokumentace výsledku

(popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie)

© Mendelova univerzita v Brně, 2023

I. ÚVOD

Optimalizace využívání pesticidních látek v ochraně rostlin je klíčovým tématem při pěstování zemědělských plodin jak z hlediska environmentálních efektů, tak v případě zajištění rentability pěstování a zvýšení konkurenceschopnosti českých zemědělských podniků. Lokálně cílená regulace zaplevelení chemickým ošetřením navrhuje použití herbicidních látek v dávce nezbytné dle polohy a intenzity zaplevelení.

Pro tyto účely se využívá nejrůznějších technologií precizního zemědělství, jako je navádění zemědělské mechanizace s využitím GNSS, mapování stavu porostů prostřednictvím dálkového průzkumu Země (družicového, bezpilotního), zpracování prostorových dat v geografických informačních systémech (GIS) a technické vybavení aplikační techniky pro **zónovou** či **bodovou aplikaci**.

Klíčovou roli hrají **postupy efektivního mapování zaplevelení** na pozemcích. Ačkoli se objevují prototypy on-the-go senzorů vyhodnocující stav přímo při průjezdu aplikační techniky, v současnosti jsou nejvíce využívány metody dálkového průzkumu Země v podobě **bezpilotního snímkování drony**.

II. LITERÁRNÍ PŘEHLED K DANÉ PROBLEMATICE

1. Základní principy plošně diferencované regulace zaplevelení

V posledních letech je kladen velký důraz na snížení environmentálních a zdravotních rizik v souvislosti s aplikací přípravků na ochranu rostlin (POR) a dochází k omezování používání některých účinných látek, jako je např. glyfosát. Tato opatření se budou dále zpříšňovat, jak naznačuje koncepce Evropské komise "Farm to Fork". Rostlinolékařská péče tak čelí nebývalé výzvě, jak za těchto podmínek zajistit nezbytnou ochranu rostlin. Aby bylo dosaženo co nejnižších vstupů pesticidních látek do potravinového řetězce, musí se ve větší míře využívat přírodních, technologických a digitálních řešení. Jedním z řešení je nahrazení celoplošné aplikace postupy aplikace přípravků na ochranu rostlin pouze na cílový organismus, jako je např. plošně diferencovaná aplikace herbicidů na základě detekce výskytu plevelných rostlin na pozemcích. Výsledky řady výzkumných studií ukazují na výraznou úsporu herbicidních látek při cílené aplikaci, která se liší dle úrovně zaplevelení pozemku, dle strategie nastavení dávky a možností pokročilého ovládání aplikační techniky. Na tyto požadavky postupně reagovali výrobci zemědělské techniky uvedením nové úrovně výbavy postřikovací techniky pro cílenou aplikaci s ovládáním jednotlivých postřikovacích trysek.

Lokálně cílená aplikace vyžaduje znalost nevyrovnanosti pozemků a prostorově proměnlivé distribuce plevelů. Tomuto tématu se věnuje řada výzkumných prací, které se zaměřují na rozlišení kulturních a plevelných druhů na základě spektrálních měření, avšak často s rozdílnými výsledky (Burgos-Artizzu et al., 2011). Tato spektrální měření mohou být prováděna formou off-line mapování prostředky dálkového průzkumu nebo on-line prostřednictvím on-the-go senzorových systémů instalovaných přímo na aplikační technice. Jak ve své přehledové studii ukazují Rai et al., (2023), pro detekci zaplevelení jsou využívány často pokročilé metody zpracování obrazu včetně nástrojů strojového učení, jako jsou Random Forest, Support Vector Machine či v současnosti často využívaný algoritmus YOLO.

Kromě vlastní přesnosti detekce zaplevelení jsou podstatná také rozhodovací pravidla pro provedení aplikace. Somerville et al. (2021) popisují ve své studii dva druhy chyb spojených s variabilní aplikací herbicidních látek: (1) doporučení aplikace na místě, kde není nutné provést ošetření (chybné určení zaplevelení), a (2) neprovedení aplikace na místě výskytu plevelů, které nebyly správně detekovány.

2. Metody regulace zaplevelení vybraných plodin

Obilniny

Běžně používané širokospektrální listové a půdní herbicidy se za optimálních podmínek obvykle vyznačují velmi dobrou účinností. Přesto můžou některé druhy vytrvalých nebo jednoletých druhů, které klíčí z větších hloubek, způsobit nutnost opravného zásahu. Proto v ozimých obilninách řada zemědělců již dnes na podzim aplikuje levnější jednosložkové

herbicide s nižším spektrem účinku (zejména proti chundelce metlici a druhým tzv. spodního patra) a na jaře provádí tzv. „dočištění“. Navzdory úbytku povolených účinných látek je výběr herbicidů pro opravný zásah jednodušší, protože se často zaměřuje na jeden, nebo dva plevele, které je třeba eliminovat. Je proto pravděpodobné, že využití opravných herbicidních zásahů bude v ozimech i jařinách v jarním období nabývat na významu.

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.)

Opravné zásahy jsou často na místě v řídkých špatně přezimovaných porostech pšenice ozimé, kde se mohou významněji uplatňovat jarní druhy, které se běžně v ozimech neuplatňují. Jedná se především o ježatku kuří nohu, opletku obecnou, oves hluchý, nebo ve vlhčejších a chladnějším oblastech konopice polní.

Problematické mohou být i některé ozimé druhy plevelů. Svízel přítula (*Galium aparine* L.) má vysokou konkurenční schopnost, proto může způsobit ztrátu na výnose i při poměrně nízkém výskytu. Na použití morforegulátorů reaguje často bujným větvením a zvýšenou tvorbou plodů. Práh škodlivosti je nízký, 1 až 5 rostlin na 10 m². Navíc vzchází téměř po celou dobu vegetačního období, pouze v červenci a srpnu vzchází minimálně. Proto jsou opravné zásahy proti tomuto druhu poměrně časté. Pro časnou jarní aplikaci jsou vhodné přípravky s účinnými látkami, které působí již při relativně nízkých teplotách (florasulam nebo amidosulfuron). U vyšší růstové fáze plevelu, nebo kalamitním výskytu jsou vhodné přípravky s účinnou látkou fluroxypyr, kombinace s halauxifenem nebo florasulamem (Jursík et al., 2023).

Na mák vlčí (*Papaver rhoeas* L.) vykazuje většina půdních herbicidů aplikovaných na podzim velmi dobrou účinnost, i za nepříznivějších vláhových podmínek. Opravné zásahy jsou potřeba zřídka, obvykle v případech, že byla použita nižší dávka herbicidu, nebo byly rostliny máku v příliš pokročilé růstové fázi. Na jaře vykazují dobrou účinnost přípravky s účinnou látkou ze skupiny ALS inhibitorů. Ty je však potřeba aplikovat v souladu s antirezistentními strategiemi, protože v ČR byly již v minulosti zaznamenané rezistentní populace (Soukup et al., 2018).

Velmi častá je nutnost opravného zásahu proti sveřepu jalovému (*Bromus sterilis* L.) a to z důvodu, že půdní herbicide používané na regulaci chundelky metlice často nedosahují dostatečnou účinnost. Práh škodlivosti je u jednoděložných druhů 10 až 20 jedinců na m². Pro jarní ošetření pšenice proti sveřepu jalovému jsou vhodné především herbicide obsahující pyroxulam a propoxycarbazone. Oba přípravky je potřeba kombinovat s vhodným adjuvancem. Nejvyšší účinnost dosahují přípravky s účinnými látkami pinoxaden a pyroxulam, které využívají synergické působení dvou účinných látek, čím se zvyšuje efektivita herbicidního zásahu (Jursík et al., 2023).

Dalším problematickým ozimým druhem je zemědělní lékařský (*Fumaria officinalis* L.). I když je jeho konkurenční schopnost poměrně nízká, vyznačuje se relativně vysokou tolerancí k celému portfoliu přípravků používaných v obilninách. Dalším důvodem nutnosti opravného zásahu je časná načasování aplikace, ještě před vzejitím tohoto plevelu. Velmi vysokou účinnost na zemědělní lékařský vykazují např. přípravky s kombinací účinných látek fluroxypyr a halauxifen-methyl,

nebo florasulam a halauxifen-methyl, které vykazují velmi dobrou účinnost aj v pokročilé růstové fáze plevelu.

S opravným zásahem je nutno začít na jaře hned, jak to počasí dovoluje. Vyčkávat s ošetřením je vhodné pouze v případě výskytů vytrvalých dvouděložných plevelů, především pcháče rolního (*Cirsium arvense* L.). S rostoucí růstovou fází plevelů totiž účinnost herbicidu často klesá rychleji, než stoupá jeho účinnost v důsledku stoupající teploty. Tento houževnatý odolný plevel je známý vylučováním alelopatických látek, které ovlivňují rostliny kolem. Práh škodlivosti je nízký, 1 až 2 rostliny na 10 m². Podzimní ošetření při nízké teplotě bývá často neúčinné, proto zemědělci často plánují i jarní herbicidní ošetření. Výhodou je, že cílení pouze na jeden rostlinný druh umožňuje použít úzce specializovaný herbicid. Aplikaci je však nutné správně načasovat, ideální je, pokud se aplikuje v období intenzivního růstu pcháče, tzn. při výšce lodyh asi 0,2–0,25 m. Velmi účinné jsou především růstové herbicidy s účinnou látkou clopyralid, 2,4-D, nebo dicamba (Jursík et al., 2023). Regulace pcháče v obilninách je při správném načasování poměrně efektivní.

Ječmen obecný (*Hordeum vulgare* L.)

Ječmen jarní má velmi vysokou konkurenční schopnost. Ta je dána rychlým nárůstem nadzemní i podzemní biomasy, čím se efektivně potlačuje výskyt jednoletých dvouděložných druhů plevelů i při vysokém obsahu semen v půdě. Rychlost růstu ječmene je přímo závislá na kvalitě předseťové přípravy půdy, termínu a kvalitě výsevu. Rozhodující roli hraje rychlost vzcházení a vývoje nadzemní biomasy ječmene oproti plevelům. Zpoždění vzcházení ječmene o tři dny (v porovnání se vzcházením plevelu) může vést ke zvýšení hmotnosti sušiny plevelů téměř o 100 % (Klem, 2001). Při správně zvoleném výsevu je ječmen jarní schopen velmi dobře potlačovat i již vzešlé jednoleté druhy. Když přidáme i harmonizované hnojení, porost ječmene vydrží poměrně často nezaplevelený až do sklizně. Mezerovité porosty vznikají obvykle v důsledku nedostatku vláhy, nebo v nedostatku obsahu dusíku v půdě v době odnožování. Řídké porosty ječmene mají nižší pochopitelně konkurenční schopnost.

K nejproblematičtějším druhům plevelů v ječmeni patří, stejně jako u pšenice obecné, pcháček oset a svízel přítula. Vysoké hospodářské ztráty způsobují i další druhy, např. heřmánkovité druhy a oves hluchý. Vzhledem k vysoké konkurenční schopnosti ječmene je možné právě v této plodině přistoupit k strategii přizpůsobených dávek herbicidu, protože redukce dávky o polovinu může za příznivých aplikačních podmínek znamenat pokles účinnosti pouze o několik procent (Klem, 2001).

Práh škodlivosti je u heřmánkovitých a ostatních dvouděložných jednoletých druhů 10 až 30 jedinců na m². Heřmánkovec nevonný (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) je hospodářsky významný druh. Mladé jedince jsou poměrně odolné vůči mechanickým zásahům prováděným při předseťové přípravě půdy, po vláčení často regenerují a následně působí výnosové ztráty. Rovněž jsou poměrně odolné proti tzv. růstovým herbicidům (s výjimkou částečného účinku 2,4-D), proto je nezbytné volit při výskytu těchto plevelů specifické přípravky. Dobré účinnosti je dosahováno u přípravků na bázi sulfonylmočovin.

Vysokou konkurenční schopnost má rovněž oves hluchý (*Avena fatua* L.). Nové obilky ovsa mají poměrně dlouhou dormanci, proto po podmítce často neklíčí a nejsou zničeny následným zpracováním půdy. Proto se na pozemcích s vysokým zastoupením ovsa doporučuje co nejpozdější výsev ječmene. Redukce dávek herbicidů není vzhledem ke konkurenční schopnosti ovsa možná, přistupuje se spíše k eradikativnímu řešení. V případě, že je nutná opravná aplikace, vhodné jsou přípravky s účinnou látkou fenoxaprop-P-ethyl, které se dají aplikovat až do fáze prvního kolénka, i když jejich účinnost je vyšší při aplikaci ve fázi odnožování.

Kukuřice setá (*Zea mays* L.)

Navzdory tomu, že kukuřice je mohutná rostlina, v počátečních stádiích vývoje disponuje velice nízkou konkurenceschopností a je poměrně značně náchylná k zaplevelení. Nejproblematictější jsou rostliny s velkým habitem a vysokou produkcí semen, např. merlík bílý, laskavec ohnutý, nebo rdesna apod.

Merlík bílý (*Chenopodium album* L.) je pozdně jarní druh, který dorůstá do výšky až 2 m, přičemž takto vysoké rostliny jsou schopny za ideálních podmínek vyprodukovat až 150 000 semen (Colquhoun et al., 2001). Fischer et al. (2004) uvádí, že nejkonzervativnější přístup při regulaci merlíku bílého povoluje pouze jednoho jedince na 2 až 3 metre řádku kukuřice, nicméně podle Hamouze (2014) je doporučená hodnota prahu škodlivosti při cílené regulaci zaplevelení ještě nižší a to 1 až 10 jedinců na 100 m² z důvodu snížení počtu semen v půdní semenné bance a zabránění nárůstu populace v průběhu času.

Regulace zaplevelení porostů kukuřice bylo v minulosti postaveno na preemergentní (PRE), časně-postemergentní (cPOST) a postemergentní (POST) aplikaci. Preemergentní aplikace vykazuje velice dobrou účinnost a je finančně výhodnější, vyžaduje však optimální průběh počasí a dostatek srážek. Nicméně v posledních letech v sušších oblastech České republiky poměrně často zaznamenáváme tak dlouhé periody sucha, že účinnost preemergentních herbicidů výrazně klesá. V letech s nedostatkem srážek v jarním období se proto často uplatňují opravné zásahy. Problematické jsou opět druhy, kterých semena vzchází z větších hloubek, případně jsou větší, např. ježatka kuří noha, durman obecný, svízel přítula nebo opletka obecná.

Při časně postemergentní aplikaci se využívají tzv. půdní herbicidy, přípravky se aplikují až po vzejití kukuřice, nejčastěji ve fázi 2 až 3 listů. Načasování aplikace se odvíjí od průběhu vzcházení plevelů, k aplikaci přistupujeme až po hlavní vlně vzcházení. Důležitá je růstová fáze plevelů, jednoděložné plevele by měli být maximálně ve fázi 2 až 3 listů, jednoleté dvouděložné druhy jsou citlivé až do fáze 6 pravých listů. Účinnost časně-postemergentních aplikací je v posledních letech rovněž ovlivněna nedostatkem srážek. Nejčastěji dochází k selhání účinnosti na jednoděložné plevele, především ježatku kuří nohu. Co se týče dvouděložných druhů plevelů, nedostatečná bývá účinnost např. na opletku obecnou, durman obecný, či invazivní mračník Theophrastův. Přesto je u této aplikace dosahováno lepší účinnosti než při preemergentní aplikaci. Dobrou účinnost dosahují přípravky, které obsahují kombinaci acetamidu s terbuthylazinem, kterých je trhu velké množství. V sušších

podmínkách jsou na jednoleté trávovité plevely efektivnější takové, které obsahují dimethenamid nebo kombinaci isoxaflutole a thiencazone (Jursík et al., 2023).

Klasické postemergentní ošetření je nejrozšířenější v aridnějších regionech Evropy, zejména na Slovensku či v Maďarsku, kde půdní herbicidy selhávají tak často, že se nevyplatí je používat. Rovněž v České republice se tento aplikační termín využívá poměrně hojně. Jedná se o aplikaci herbicidu v období 4 až 6 listů kukuřice, kdy je již většina plevelů vzešlá. V případě, že po aplikaci vzejdou nové jedince, nejčastěji ježatka kuří noha, durman obecný, nebo laskavce, nedokážou se již v dobře zapojených porostech kukuřice obvykle uplatnit. Nejčastěji se využívají herbicidy na bázi sulfonylmočoviny, nebo růstové herbicidy. Jejich nevýhodou je ale pomalý nástup účinnosti, zatímco přítomné plevely odčerpávají velké množství vláhy převážně v období června, který je obvykle provázen nedostatkem srážek.

Proto se v posledních letech uplatňuje nový trend, dělená aplikace herbicidů. Dle vláhových podmínek se volí buď PRE nebo cPOST aplikace a následně se plánuje ještě druhá, POST aplikace ve fázi 6 až 8 listů kukuřice. Při pozdější aplikaci často klesá selektivita herbicidů a dochází k poškození kukuřice. K prvnímu ošetření se může volit nižší dávka herbicidu. Druhou aplikací dočistíme porost od nově vzešlých plevelů, včetně vytrvalých druhů (pcháče, nebo pýru). V případě absence vytrvalých druhů plevelů na pozemku lze snížit i dávku POST herbicidů. Dostáváme se tak na cenu srovnatelnou s jednou aplikací, výsledný efekt regulace je však mnohem vyšší.

Další možnost, jak snížit spotřebu herbicidů je kombinace mechanické a chemické regulace, kdy se meziřádkový prostor udržuje plečkou a prostor řádku se udržuje herbicidně, buď plošně, nebo speciálními postřikovači, při jejichž použití klesá spotřeba přípravků, což má pozitivní vliv z finančního i ekologického hlediska.

Řepa cukrová (*Beta vulgaris* group *Altissima*)

V okopaninách, obzvláště v cukrovce, jsou hodnoty ekonomického prahu škodlivosti plevelů nízké, protože cukrovka do uzavření řádků disponuje jen velice malou konkurenční schopností. Velice problematický může být v porostu výskyt ježatky kuří nohy (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.). Norris (1992) uvádí, že 10 jedinců na 1 metru řádku je schopno způsobit pokles výnosu až o 80 %. I krátkodobý ekonomický práh škodlivosti 1 rostliny na 5 až 10 metrech porostu je nežádoucí, protože v plodinách s nízkou konkurenční schopností může za optimálních podmínek vyprodukovat až 80 000 semen (Norris, 1996). Hamouz (2014) doporučuje prahovou hodnotu pro cílenou regulaci 1 až 10 jedinců na 100 m².

V praktických situacích je bohužel takto nízká hustota zaplevelení vzácná, navíc je mimo možnosti spolehlivého odhadu pomocí vzorkovaných ploch, protože přesné stanovení takto nízkého zaplevelení by vyžadovalo značnou velikost vzorků. Možnost použití cílené regulace plevelů je proto v tomto případě spíše teoretická (Hamouz, 2014). Obvykle je v těchto případech vhodnější koncept prahů škodlivosti nepoužívat a uskutečnit celoplošné ošetření, což doporučuje např. Sattin et al. (1992). Proto se variabilní aplikace využívá spíše jako opravný zásah po celoplošné aplikaci herbicidu.

U klasických odrůd cukrovky se z praktického hlediska využívá dělená dávka herbicidů v aplikačním termínu T0 až T3 (T4), přičemž aplikačním termínem T0 se rozumí PRE aplikace herbicidů. Z pohledu vývoje zaplevelení je klíčový aplikační termín T1, který je zaměřený na regulaci plevelů, které klíčí zároveň s cukrovkou. Častá je kombinace účinných látek phenmedipham a ethofumesate. Při dalších vlnách se přistupuje k aplikaci T3, případně T4. Renesanci rovněž zažívá knotová aplikace při eradikaci vyběhlic a problematické plevelné řepy (ta je problematická pouze při pěstování klasických odrůd).

Problémy s plevelnou řepou odpadají u pěstování moderních Conviso Smart hybridů cukrovky. V tomto případě se přistupuje pouze k jedné, nebo dvěma děleným aplikacím, využívá se přípravek s účinnou látkou foramsulfuron a thienkarbazon-metyl.

Mák setý (*Papaver somniferum* L.)

Pomalý počáteční růst je doprovázen nízkou konkurenceschopností v počátcích vegetace, u dobře zapojeného porostu se konkurenceschopnost v průběhu času zvyšuje. Nicméně zaplevelení porostu je kritickým bodem, proto je regulace zaplevelení rovněž v máku nedílnou součástí pěstitelských technologií. Velmi důležité je u podzimního výsevu ošetření preemergentními herbicidy. Nelze ušetřit náklady tím, že se porost ošetří až podle toho, jestli a jak přečká zimu, protože plevele rostou i při nízkých teplotách a na jaře už mohou být v tak pokročilé fázi růstu, že by mohla být jarní aplikace herbicidů nedostatečná. Nejproblematictější je výskyt pcháče nebo máku vlčího, ideálně by se tyto druhy plevelů měli regulovat již v předplodině. Problematické mohou být brukvovité a heřmánkovité druhy plevelů, svízel přítula, nebo merlíky.

Pro preemergentní aplikaci se využívají např. přípravky s účinnou látkou chlorotoluron (vysoká účinnost na heřmánkovité druhy), clomazone (při vysokém výskytu svízele přítuly nebo ježatky kuří nohy), mesotrion (dobrá účinnost na merlíky, laskavce, potlačuje i pcháč rolní a přesličku rolní), případně jejich tank-mixy. V případě, že nesníží účinnost PRE ošetření nedostatek srážek, často není již postemergentní aplikace nutná. V případě, že jsme z jakýchkoliv důvodů vynechali PRE aplikaci, je vhodné přikročit k POST aplikaci hned, jak to podmínky umožní. Pro tuto aplikaci máme k dispozici herbicidy s účinnou látkou fluroxypyr, mesotrione, tembotrione, případně jejich kombinace.

3. Vývoj aplikační techniky

Pro aplikační techniku na ochranu rostlin je jedním ze zásadních úkolů ochránit porosty před nepříznivými činiteli (chorobami, škůdci, pleveli). Postřikovače jsou stroje provádějící aplikaci postřikové jíchy, které by měly zaručit přesné dávkování chemikálie, udržet zadanou koncentraci roztoku, aplikovat přípravek rovnoměrně na povrch ošetřovaných rostlin nebo povrch půdy a vyloučit úlet chemického přípravku za hranice ošetřovaného pozemku (Karásková, 2018).

Aplikace přípravků na ochranu rostlin může být provedena formou ohniskové aplikace, během které je přípravek aplikován pouze tam, kde je detekován škodlivý organismus, nebo formou celoplošné aplikace, případně aplikaci relativně nákladných prostředků vůči některým druhům vytrvalých plevelů jen v místě jejich výskytu a na zbytek pozemku aplikace levnějšího prostředku proti běžným druhům plevelů (Lukas, Neudert, 2016; Neudert, Lukas et al., 2015; Mašek, 2017).

Zařízení pro aplikaci přípravků na ochranu rostlin stále procházejí změnami jak v konstrukci, tak ve výbavě. Mění se (precizují) také jejich funkce. Při aplikaci herbicidních přípravků se nejčastěji vychází z detekce v zorném poli čidla senzoru nebo se snímků dálkového průzkumu Země. Takto pracuje např. systém AmaSpot na postřikovačích Amazone, kdy jsou na ramenech postřikovače instalovány senzory fluorescence vegetace GreenSense dávající impuls k sepnutí trysek až do rychlosti 20 km/h. Dávkování se odvíjí od režimu aplikace – striktně ohniskové (0 nebo 100% dávka) nebo celoplošně nízká dávka (40 %) se zvýšením v místech vyššího zaplevelení (100 %). Podobným způsobem je řízena aplikace totálních herbicidů u systému Trimble Weedseeker. H-Sensor od firmy Agricon GmbH detekuje jednotlivé plevelné druhy rostlin na základě objektové analýzy obrazu podle tvaru listů a spektrálních příznaků a umožňuje tak i aplikaci selektivních herbicidů v raných stádiích růstu plodiny (Lukas, Neudert, 2016; Heege, 2018).

Aplikační technika využitelná pro variabilní aplikace pesticidů

Vývoj techniky na ochranu rostlin se zaměřuje především na přesné dávkování přípravků, na zvyšování efektivity provozu dané techniky s využitím prvků precizního zemědělství. Trendem v ochraně rostlin je aplikovat pokud možno jen včas a za optimálních podmínek, tedy během krátké doby ošetřit maximální plochu, použít správný přípravek v optimální dávce, optimální růstové fázi a optimálních klimatických podmínkách (Mašek, 2017).

Zajistit změnu dávky aplikované látky na základě aktuálních požadavků rostlin lze změnou pojezdové rychlosti a tlaku, přímou injektáží nebo online volbou vhodné kombinace trysek. Způsob regulace změnou rychlosti pojezdu a tlaku je možné použít u každého postřikovače, který je vybaven dálkově ovládaným regulačním tlakovým ventilem. Tento způsob regulace je velice levný, jelikož nevyžaduje žádné další příslušenství a má velmi krátkou reakční dobu. Nevýhodami je omezení změny dávky $\pm 30\%$ z nastavené hodnoty, nemožnost aplikace různých přípravků s různou koncentrací (jako je tomu u přímé injektáže), jelikož v nádrži je již namíchána postřiková jícha (Mašek, 2008; Mašek, 2017).

Systém přímé injektáže znamená, že v hlavní nádrži postřikovače je pouze čistá voda nebo kapalně hnojivo a koncentráty přípravků jsou ve zvláštních nádobách o malém objemu. Na řídicí jednotce se nastaví dávka vody nebo kapalného hnojiva a dávka jednotlivých přípravků. Počet přídavných nádrží pak odpovídá počtu možných aplikovaných přípravků na jeden přejezd aplikační techniky. Při aplikaci jsou jednotlivé přípravky dávkovány do sání hlavního čerpadla, kde dojde k dokonalému promíchání přípravků s nosnou kapalinou a tato jícha je

dopravena k regulačnímu ventilu. Důležitým předpokladem pro využití přímé injektáže je co nejmenší průřez hadic a co nejvyšší rychlost reakce regulačního ventilu. Ovládání dávkovací jednotky přípravků musí být zcela automatické. Výhoda systému přímé injektáže nastává, je-li práce přerušena (např. při zhoršení počasí), v nádrži zůstane pouze čistá voda a obsluha nemusí řešit problém s namíchanou kapalinou (Mašek, 2008; Mašek, 2017; Oerke et al., 2010).

U systému online volby trysek je v nádrži namíchána postřiková kapalina o dané koncentraci a změna aplikovaného množství se provádí různou kombinací trysek. Na rámu postřikovače jsou v pravidelných vzdálenostech instalovány přepínatelné vícenásobné tryskové jednotky, kdy každá sada trysek je jednotlivě pneumaticky nebo elektricky ovládána pracovním počítačem, čímž vzniká možnost nastavení vhodné kombinace trysek v závislosti na požadované dávce postřiku. Řídící jednotka aktivuje v průběhu aplikace pro požadovanou dávku postřiku optimální kombinaci trysek. Podmínkou použití tohoto systému je existence mapové karty pozemku a přijímač GNSS (Mašek, 2017; Böttger et al., 2003; Oerke et al., 2010). Výkonné stroje na ochranu rostlin jsou dnes zpravidla vybaveny počítači pro řízení postřikové dávky. Trend jasně směřuje k používání komunikačního kanálu na bázi ISO-BUS.

Navigační systém je v aplikační technice využíván zejména pro určování přesné polohy stroje na pozemku a zaznamenávání, která část plochy již byla ošetřena. Dále je využíván pro určení správné dávky postřiku dle předpisové mapy a vypínání postřikového systému v místech, kde ošetření nemá být aplikováno nebo již bylo provedeno. Některé stroje jsou již vybaveny systémem automatického řízení pomocí navigačního systému, který stroj navádí autonomně bez nutnosti zásahu obsluhy stroje. V kombinaci se vypínáním jednotlivých sekcí aplikačních ramen nebo dokonce vypínáním jednotlivých trysek je tento systém schopen kontrolovat šířku záběru aplikace postřikovače a eliminovat opakované přestřiky již ošetřených ploch.

Dalším moderním prvkem aplikační techniky je Curve-Control, který udržuje konstantní aplikační dávku při průjezdu v zatáčkách jak ve vnějších, tak ve vnitřních oblastech. To je umožněno přepínáním různých kombinací trysek na každé sekci (např. systém AmaSelect od výrobce Amazone). Pracovní počítač určí rychlost a poloměr zatáčky pomocí senzorů a následně vypočítá odpovídající aplikační množství na úsek (Oerke et al., 2010).

Nežádoucí úlet patří bezesporu k nejzávažnějším rizikům aplikace přípravků. Pro omezení nežádoucího úletu lze dnes využít celou řadu možností, od klasické/standardní výbavy postřikovačů, kde pro bezúletovou aplikaci je nutné důsledně zohlednit povětrnostní podmínky až po protiúletové komponenty nebo celé konstrukce a doplňky. Základními technickým protiúletovými opatřeními jsou nízkouletové trysky, dále pak systémy podpory vzduchem, využívání různých typů deflektorů a krytů nebo senzorů. Nelze pominout ani satelitní navigaci, meteostanice a další prvky napomáhající omezovat úlet kapek postřikové kapaliny a zlepšovat výsledek zásahu. Systémy podpory vzduchem (např. Twin systém Hardi) patří k efektivním doplňkům polních postřikovačů, jenž zajistí kvalitnější ošetření vzrostlých porostů, omezování úletu, menší závislost na povětrnostních podmínkách, nižší dávky vody na hektar apod (Harašta, 2020; Heege, 2018).

Výrobci postřikovací techniky reagují na současné trendy cílených aplikací vývojem on-the-go sensorových systémů. Společnost John Deere představila systém See&Spray, který využívá kamery k detekci kontrastních objektů na poli. Kamery jsou integrovány přímo na ramenech postřikovače ve vzdálenost 1 m pro pokrytí celá plochy aplikačního záběru. Snímaná scéna je průběžně vyhodnocována a trysky jsou spouštěny individuálně pro bodové aplikace. Kromě celoplošných aplikací je tato technologie použitelná také v širokořádkových plodinách pro vzejití, jelikož systém dokáže detekovat řádky plodin a zacílit tak na plevel mezi řádky a ošetřit ho ve všech růstových fázích až do uzavření porostu.



Obr. 1 Sensorový systém John Deere See&Spray umožňuje v reálném čase snímat povrch půdy, vyhodnotit zaplevelení a ovládat jednotlivé aplikační trysky postřikovače (<https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-ultimate/>).

Podobně inovativní řešení nabízí i další výrobci postřikovací techniky. Společnost Agrifac využívá na svých postřikovačích inteligentní kamery AiCPlus namontované na ramenu postřikovače. Software s umělou inteligencí rozpoznává a rozlišuje mezi tvarem, strukturou a kontrastem. Požadovanou dávku lze díky systému DynamicDosePlus s ovládáním jednotlivých trysek pulzní modulací (PWM) aplikovat okamžitě, bez nutnosti dalších časově náročných operací.

Senzorový systém EcoPatch od norské společnosti Dimensions Agri Technologies (DAT) lze instalovat na postřikovací techniku různých výrobců. RGB kamery s umělým osvětlením rozpoznávají v reálném čase plevelné rostliny od kulturních s využitím algoritmů strojového učení a řídí aplikační sekce ramen postřikovače či jednotlivé aplikační trysky.



Obr. 2 Nesený postřikovač Ecorobotix ARA pro přesnou cílenou aplikaci postřikových látek (Zdroj: www.leadingfarmers.com)

Specializovanou postřikovou techniku pro plošně cílené aplikace představuje nesený vysoce přesný postřikovač ARA od společnosti Ecorobotix. Postřikovač má záběr 6 metrů a je rozdělen na 3 jednotky. Používá se pro aplikaci pesticidů v širokořádkových plodinách, kde systém rozeznáváním obrazu s použitím nejnovějších algoritmů umělé inteligence detekuje a bodově aplikuje herbicid pouze na plochy, kde se nachází plevel. Detekce plevelů a aplikace s centimetrovou přesností omezuje objem aplikovaného herbicidu až o 95 %. Postřikovač dokáže pracovat i v opačném režimu, kdy vyhledává kulturní rostlinu a aplikuje pouze na ni (fungicidy, listová hnojiva atd.).

III. OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

4. Popis Ověřené technologie

Úkolem Ověřené technologie je v praxi ověřit a zhodnotit postup, který byl navržen řešiteli v rámci řešení výzkumného projektu **MPO Aplikace** s názvem „**Skymaps – výzkumný projekt**“ (**CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024838**). Ověřovaný postup slouží k mapování zaplevelení s využitím bezpilotního snímkování a lokálně cílené aplikace herbicidního ošetření.

5. Vlastní ověření a dosažené výsledky

Ověření mapování zaplevelení bylo realizováno na několika pozemcích v České republice, Slovensku a Rumunsku v období 2021 - 2023. Soupis pokusných ploch je uveden v Tab. 2. Jednalo se o celkem 22 pokusných ploch orné půdy o souhrnné výměře 1095 ha. Vlastní plošně cílená aplikace herbicidního ošetření byla ověřena na vybraných pozemcích (viz kap. 5.4).

5.1 Realizace bezpilotního průzkumu

Použitými bezpilotními prostředky byly nízkonákladové multispektrální drony DJI Phantom 4 Multispectral, DJI Mavic 3 Multispectral a profesionální dron s vyšší vzletovou hmotností s možností instalace snímací techniky DJI Matrice M300, osazený multispektrální kamerou Micasense Altum. Technické parametry těchto zařízení jsou uvedeny v Tab. 1.



Obr. 3 Bepilotní prostředky DJI Phantom 4 Multispectral P4M, (vlevo) a Mavic 3 Multispectral (M3M, vpravo)

Radiometrické kalibrace byly provedeny na základě snímání kalibračního panelu Micasense CRP06 bezprostředně před nebo po provedení snímkovací mise (viz Obr. 4). Současně při zpracování ortomosaiky byly využity údaje o úrovni příchozí radiace senzorů slunečního světla upevněných na bezpilotních prostředcích pro normalizaci změny světelných podmínek v průběhu snímkování. U bezpilotních prostředků P4M a M3M je senzor součástí dronu,

v případě M300 a kamery Altum se jedná o dodatečnou součást, která se instaluje na horní část dronu (senzor DLS2).

Tab. 1 Technické parametry použitých bezpilotních prostředků

Parametry	P4M	M3M	M300+Altum
Vzletová hmotnost	1487 g	1050 g	6,3 kg (2,7 kg zátěž)
RGB kamera	1/2,9" CMOS 2MP	4/3 CMOS 20MP	
MS kamera	5 pásem (B, G, R, RE, NIR), 2MP	4 pásma (G, R, RE, NIR), 5MP	6 pásem (B, G, R, RE, NIR, LWIR); 3,2MP
Max. doba letu	27 min.	43 min.	55 min.
Max. dosah	5 km	8 km	8 km
Kontroler	vyžaduje ext. Zařízení	zabudovaný displej	zabudovaný displej
Senzor slun. světla	ANO	ANO	ANO (DSL2)
Polohování	RTK	RTK	RTK
GSD ve 120m	7,5 cm/pix	5,6 cm/pix	5,2 cm/pix

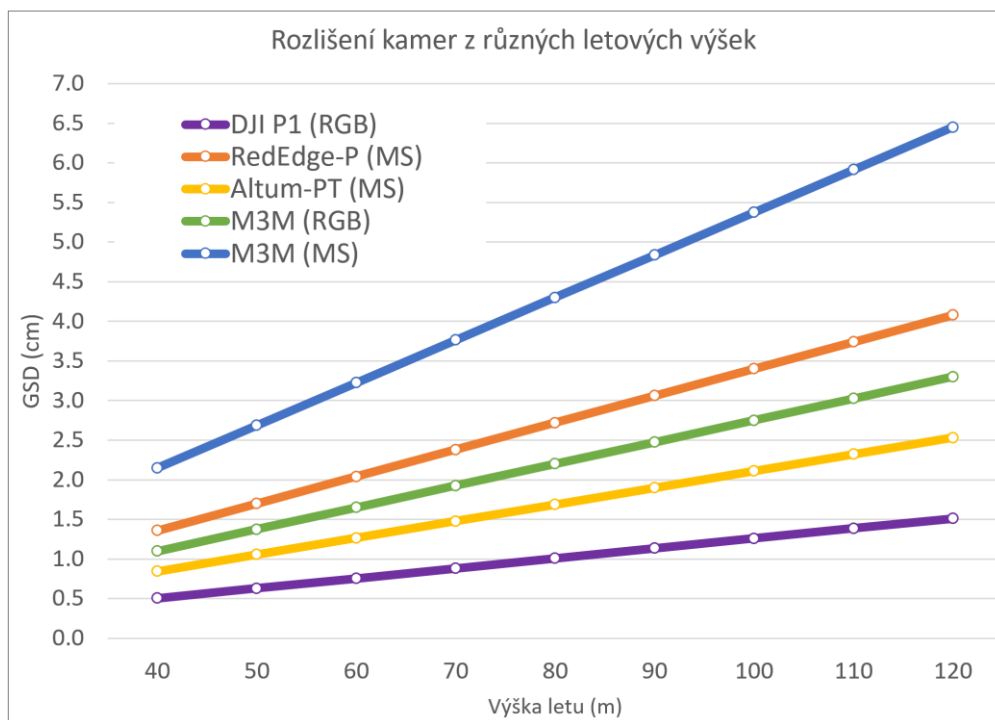
Při plánování mise hraje významnou roli vztah mezi prostorovým rozlišením výsledných snímků (GSD – ground sampling distance) a plošnou výkonností snímání (dané výškou letu a překryvy). Pro spolehlivé sestavení ortomosaiky je obecně doporučen vyšší podélný a příčný překryv snímků (>75%), který klesá při nízkých přeletech. Obr. 5 ukazuje na změnu GSD s výškou snímání pro senzorové kamerové systémy o různém rozlišení snímačů.



Obr. 4 DJI Matrice M300 osazený kamerou Micasense Altum (vlevo, zdroj: www.micasense.com) a radiometrická kalibrace Mavic 3 Multispectral s využitím panelu Micasense CRP06.

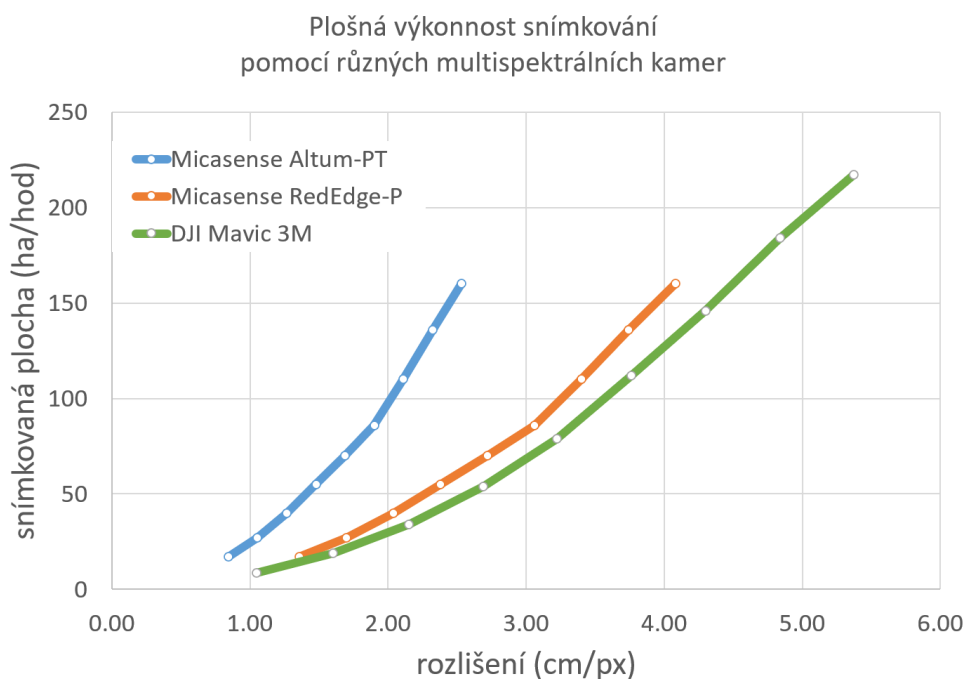
Tab. 2 Tabulkový přehled mapování zaplevelení Skymaps a MENDELU na anonymizovaných pozemcích České republiky, Slovenska a Rumunska za období 2021–2023 včetně uvedení snímací techniky a cílových plevelných druhů.

pozemky	země	snímkování	data	UAV + kamera	Plevelné druhy a plodina	Výměra pole (ha)	Zaplevelení (%)	Dávka postřiku (l/ha)	Úspora postřiku (%)
DS1	SK	15.09.2022	NDVI, RGB	M300, P1 + Altum	výdrol v řepce	31.22	68.58	100	31.42
DS2	SK	15.09.2022	NDVI, RGB	M300, P1 + Altum	výdrol v řepce	22.44	57.35	100	42.65
A	CZ	15.02.2021	NDVI, RGB	Phantom 4 rgb, Parrot sequoia MS	pcháč (strniště)	19.75	74.43	200	25.57
AHN1	SK	25.09.2021	NDVI	M600, Sony α7RIV, RedEdge-P	pcháč	68.48	99.58	75, 150	28.62
AHN2	SK	25.09.2021	NDVI	M600, Sony α7RIV, RedEdge-P	pcháč	36.86	99.67	75, 150	18.14
B	SK	31.08.2022	NDVI, RGB	Trinity f90, Sony RX1RII, Altum	pcháč (mák)	56.08	64.91	200	35.09
NZ	SK	30.05.2022	NDVI, RGB	M300, P1, Altum	pcháč (kukuřice)	78.03	37.04	200	62.96
AV	CZ	07.09.2021	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (strniště)	20.02	98.80	75, 120	18.36
In80	RO	13.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (sója)	15.47	51.73	120, 200	63.69
In81	RO	13.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (sója)	8.58	31.59	120, 200	78.57
In82	RO	13.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (sója)	18.75	71.84	120, 200	45.34
In83	RO	13.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (sója)	9.93	75.03	120, 200	47.21
In99	RO	13.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (sója)	113.16	96.37	120, 200	21.90
In52	RO	14.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (kukuřice)	44.32	81.32	120, 200	40.16
In62	RO	14.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (kukuřice)	64.45	89.94	120, 200	19.97
In44	RO	14.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (kukuřice)	104.34	73.42	120, 200	38.58
In50	RO	14.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (kukuřice)	148.78	82.08	120, 200	39.26
In43	RO	14.10 2022	NDVI	Trinity f90, Altum	pcháč (kukuřice)	143.94	100	120, 200	31.24
AP	CZ	02.06.2021	NDVI, RGB		pcháč (kukuřice)	12.57	49.16	200	50.84
RRS	CZ	29.05.2023	NDVI, RGB	M3M	heřmánkovec, pcháč (kukuřice)	29.03	60.63	200	39.37
RMP	CZ	29.05.2023	NDVI, RGB	M3M	heřmánkovec, pcháč (kukuřice)	31.69	17.36	200	82.64
RNP	CZ	29.05.2023	NDVI, RGB	M3M	heřmánkovec, pcháč (kukuřice)	17.68	38.46	200	61.54

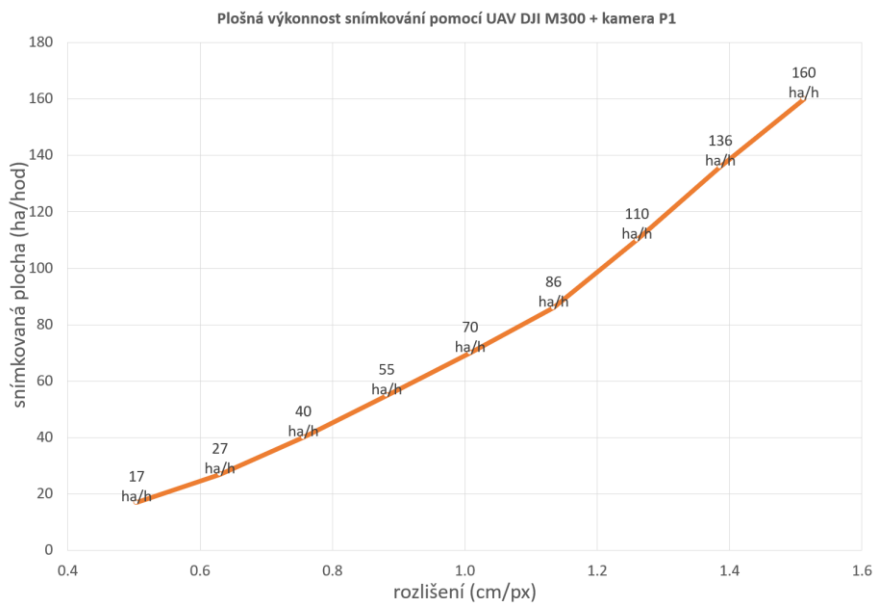


Obr. 5 Graf změny GSD pro různé kamerové systémy při různé výšce letu

Potřeba vyššího GSD vede k prodloužení doby letu a snížení plošné výkonnosti. Obr. 6 a Obr. 7 ukazují změnu plochy snímkování za 1 hod při rozdílném GSD pro běžně dostupné multispektrální kamerové systémy a profesionální sestavu DJI M300 s RGB kamerou DJI Zenmuse P1 (45 MPx).

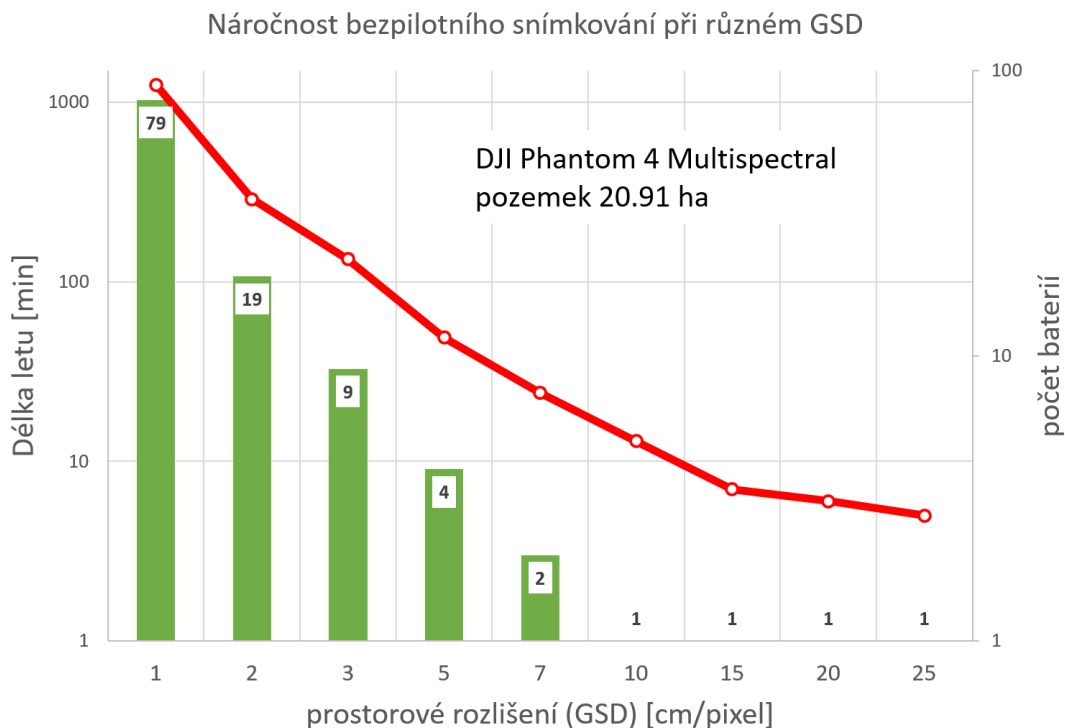


Obr. 6 Graf plošné výkonnosti vybraných multispektrálních kamer při různém GSD



Obr. 7 Graf plošné výkonnosti RGB kamery DJI Zenmuse P1 (45 MPx) při různém GSD (resp. různé výšce letu).

Jak je patrné na Obr. 8, při snímkování pozemku o výměře 21 ha běžně dostupným multispektrálním systémem DJI Phantom 4 Multispectral znamená zvýšení GSD z 5 cm na 3 cm navýšení potřeby akumulátorů ze 4 na 9.

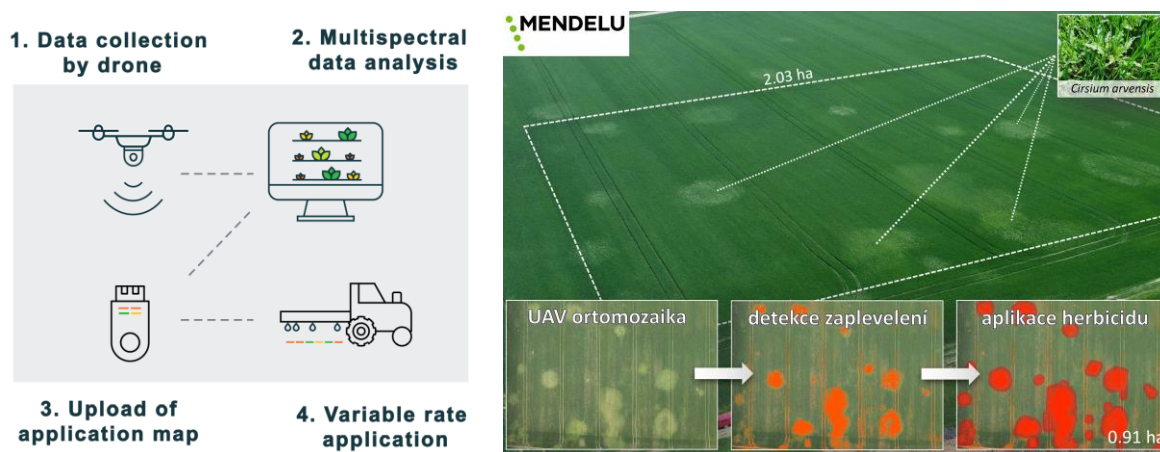


Obr. 8 Graf délky letu a počtu potřebných akumulátorů pro různé GSD při snímkování 21 ha pozemku bezpilotním systémem DJI Phantom 4 Multispectral (osa Y je zobrazena logaritmicky).

5.2 Postup zpracování obrazových dat a detekce zaplevelení

Zpracování obrazových dat v rámci ověřování mapování zaplevelení bylo provedeno v software aplikaci Cultiwise. Cultiwise je webová aplikace vyvinutá společností Skymaps s.r.o., která nabízí uživatelům nástroj pro zpracování dat DPZ (bezpilotních a družicových) a tvorbu podkladů pro variabilní aplikace.

Jedním z klíčových aspektů systému Cultiwise je zpracování výsledků bezpilotního snímání pozemků. Zahrnuje tvorbu ortorektifikovaných map z pořízených snímků (RGB či multispektrální) s využitím nástrojů pro sestavení bezešvé mozaiky (algoritmus structure from motion), výpočet DSM a ortorektifikace. Pro zpracování bezpilotních snímků využívá software ortorektifikační nástroje Agisoft Metashape a prostorové funkce systému QGIS. Uživatel provede nahrání RGB a multispektrálních snímků z dronu do rozhraní webové aplikace a následně dojde k složení snímané scény a tvorbě ortorektifikované mozaiky.

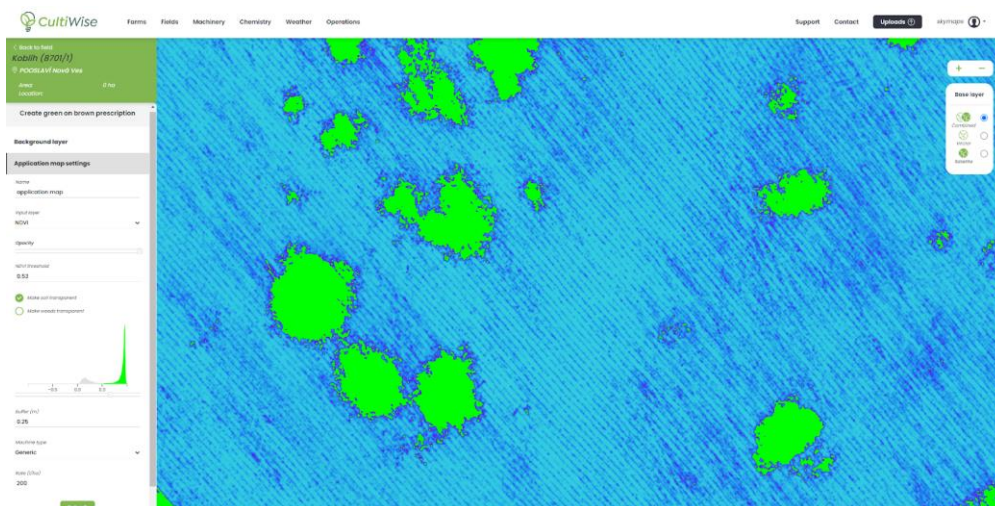


Obr. 9 Schéma procesu sběru dat (vlevo, zdroj: www.skymaps.cz) a příklad jednotlivých kroků vyhodnocení zaplevelení pcháče rolního (vpravo)

Multispektrální ortomozaika dále vstupuje do postupů výpočtu vegetačních indexů a následných klasifikací obrazových dat. V případě detekce zaplevelení z bezpilotních snímků se liší dle provedení aplikace herbicidního ošetření – pro neselektivní a selektivní aplikace.

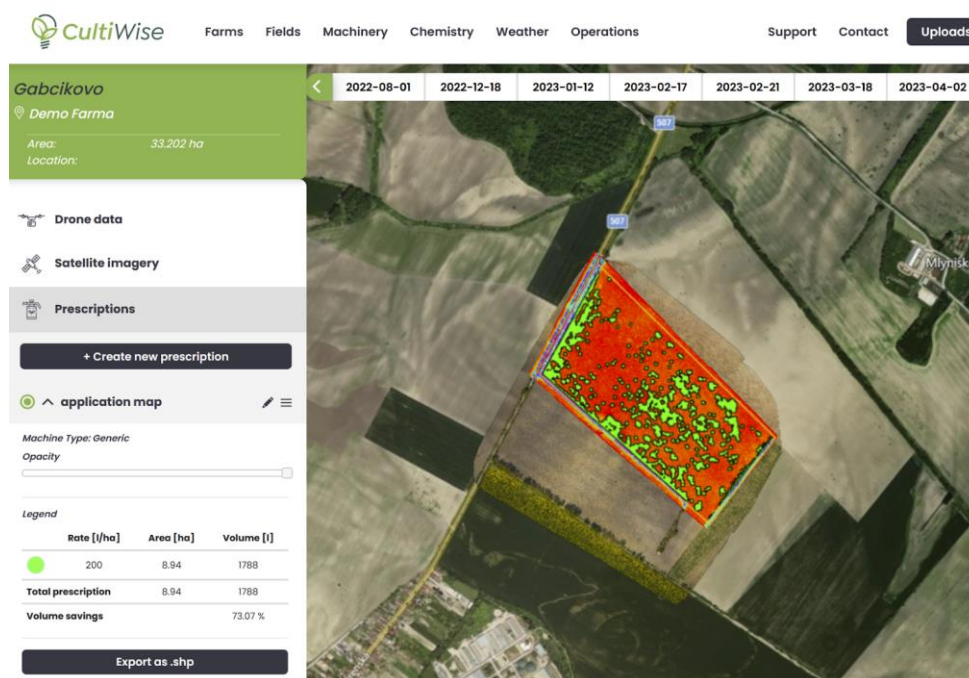
Neselektivní aplikace (Green on Brown)

Metoda Green on Brown se používá s cílem stanovit místa zaplevelení bez přítomnosti porostu plodiny. Veškerá vegetace nacházející se na ploše pozemku je považována za zaplevelení. Pro stanovení ploch, na které chceme aplikovat postřik, se využívá vegetační index NDVI a vizuální nástroj pro určení prahové hodnoty.



Obr. 10 Uživatelské rozhraní pro definici prahu zaplevelení pro neselektivní aplikace (Skymaps, 2023)

Vstupní hodnoty NDVI, hranice, buffer a typ stroje jsou odeslány ke zpracování na server, kde je vytvořena aplikační mapa pro daný pozemek. Uživatel má možnost jednoduše stáhnout tuto aplikační mapu a nahrát ji do svého postřikovače, aby poskytla postřikovači potřebné informace pro aplikaci herbicidů na správné místo, resp. ve správné dávce.

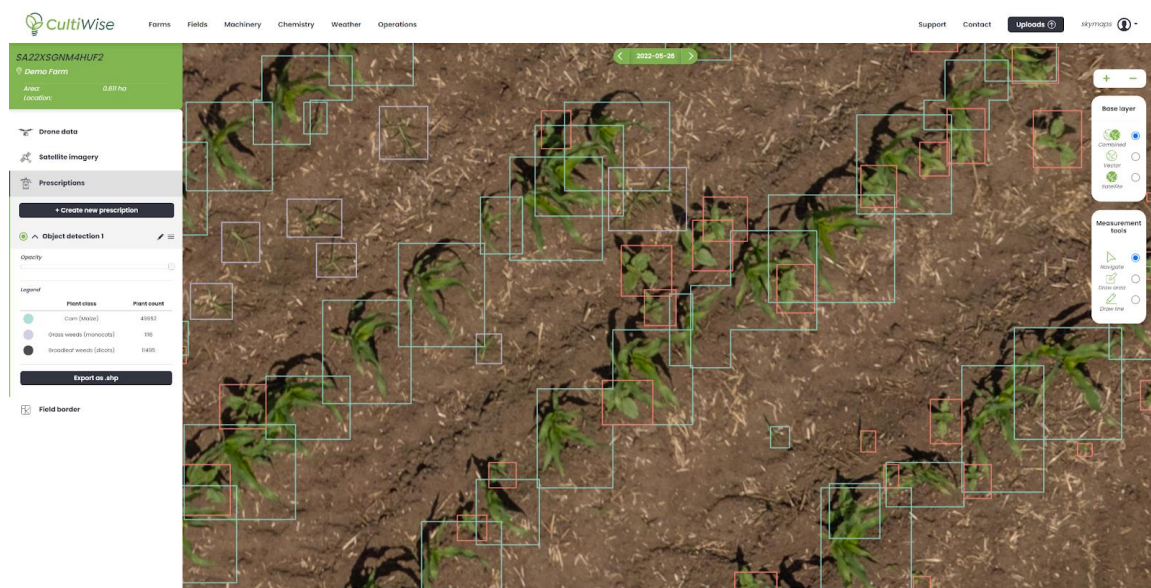


Obr. 11 Tvorba aplikační mapy neselektivního ošetření a informace o úsporách v rozhraní aplikace Cultiwise (Skymaps, 2023)

Selektivní aplikace (Green on Green)

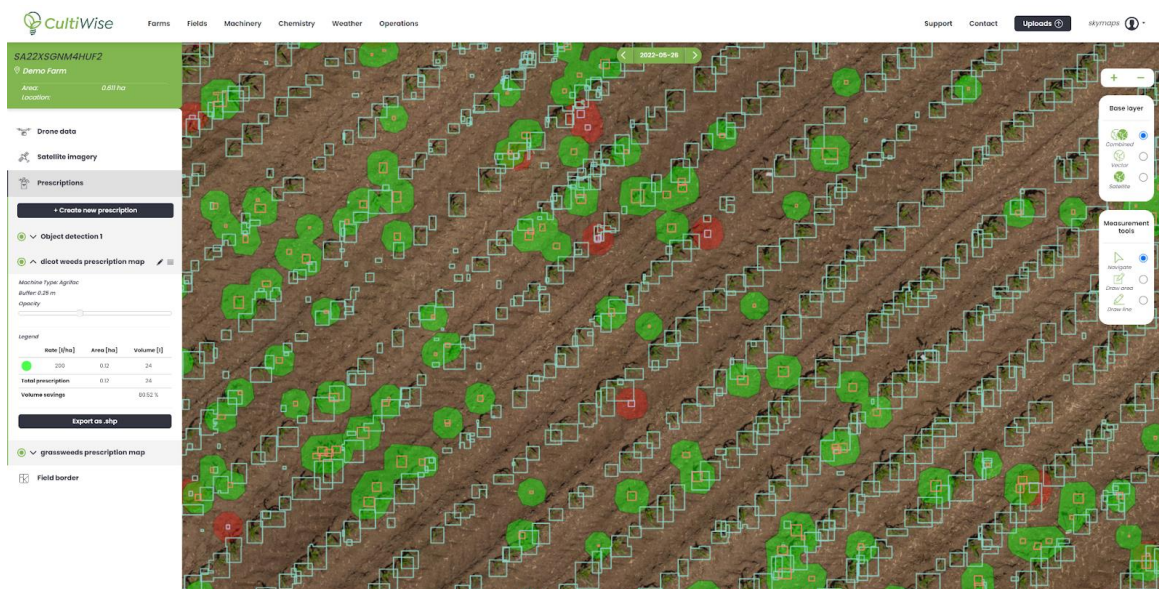
Metoda Green on Green představuje rozlišení plevelných rostlin a plodiny pro cílenou aplikaci selektivních herbicidních ošetření. Identifikace plevelných rostlin uvnitř rostlinného porostu

vychází z algoritmu detekce objektů na základě trénovaných modelů pomocí strojového učení. Výsledkem detekce jsou ohraničující boxy (bounding box) objektů (rostlin).



Obr. 12 Příklad detekce různých plevelných druhů v kukuřici v aplikaci Cultiwise s vyznačením bounding boxů (Skymaps, 2023)

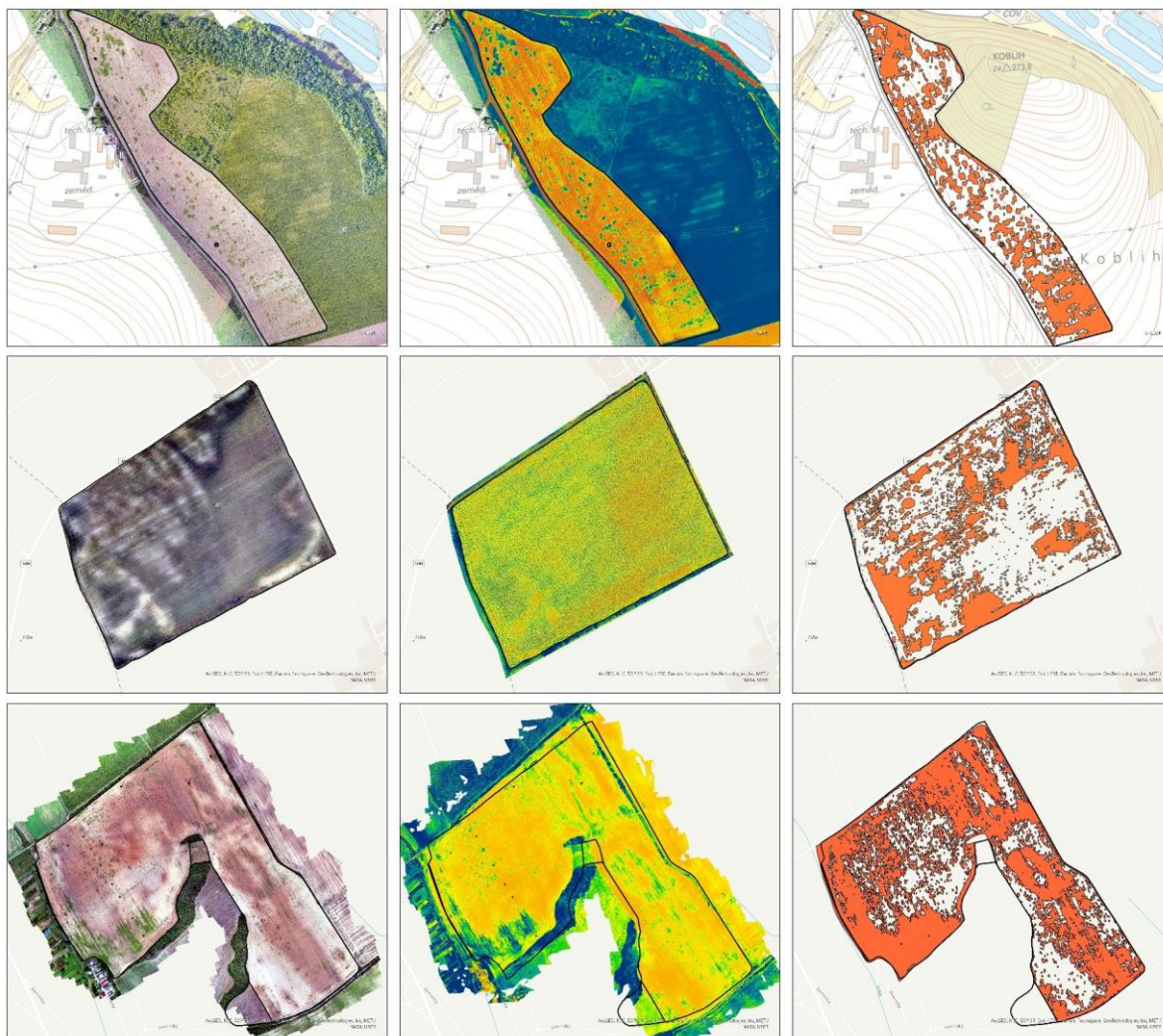
Z důvodu případné nepřesnosti při aplikaci jsou kolem detekovaných plevelných rostlin vytvořeny izolační vzdálenosti (buffery) a v návaznosti na typu použité postřikovací techniky jsou následně vytvořeny aplikační mapy.



Obr. 13 Porovnání detekci plevelů s předpisovou mapou pro cílenou aplikaci selektivních herbicidů (Skymaps, 2023)

5.3 Vyhodnocení mapování zaplevelení a návrh plošně diferencované aplikace

Ověřování mapování zaplevelení a příprava podkladů pro plošně diferencovanou aplikaci herbicidních látek bylo provedeno v rámci poloprovozních pokusů na území České republiky, Slovenska a Rumunska. Celkem se jednalo o 22 pozemků s ornou půdou o celkové výměře 1095 ha (viz Tab. 2). Převážně se jednalo o detekci vytrvalých plevelů (pcháč rolní, heřmánkovec nevonný) v širokořádkových plodinách (kukuřice a sója), případně v porostu máku setého. Ve dvou případech také o detekci výdrolu. Většina pokusných ploch byla ověřována v režimu plošně cílené aplikace jednou dávkou v podobě opravného herbicidního zásahu, část ploch byla ošetřena dvojitou dávkou postřikové jichy rozlišující jednoleté (nižší dávka) a vytrvalé (vyšší dávka) plevele.

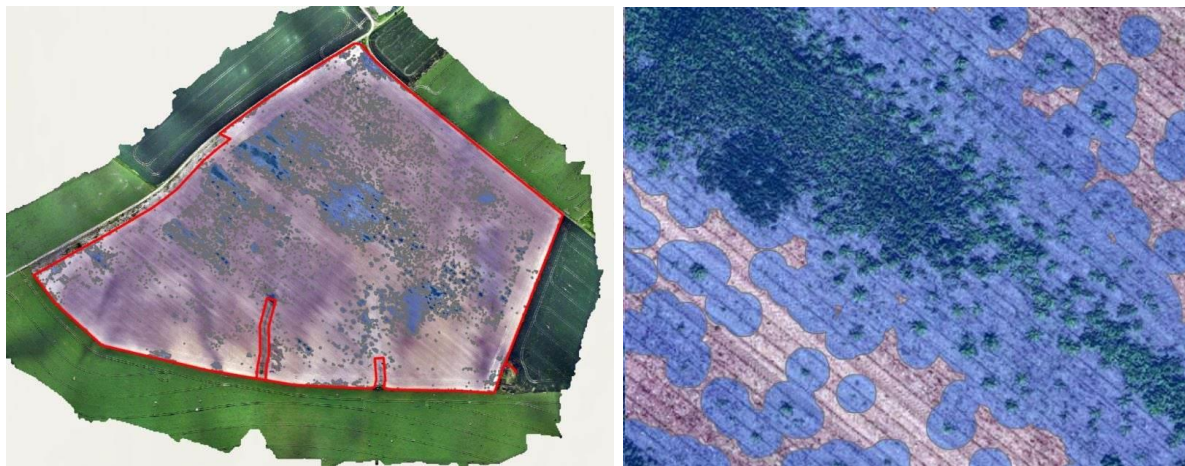


Obr. 14 Příklad vyhodnocení zaplevelení a tvorba aplikačních map pro vybrané pozemky

Plošné zastoupení oblastí vymezených na pozemcích pro aplikaci herbicidu se pohybovalo od 17 po 100 % v závislosti na intenzitě zaplevelení. V absolutním vyjádření představovala plocha aplikace 852 ha z celkových 1095 ha, plošná úspora aplikace tak představuje 23 % celkové výměry. Pokud by vyhodnocení nezahrnovalo aplikace s rozlišením dvojitou dávkou herbicidu, tak by úspora činila 50 %.

5.4 Ověření plošně cílené aplikace herbicidního ošetření

Plošně cílená aplikace herbicidního ošetření byla ověřena ve spolupráci se zemědělskou společností ROSTĚNICE a.s. koncem května 2023 na několika pozemcích s kukuřicí setou o celkové výměře 78,4 ha. Pozemky byly zmapovány s využitím bezpilotní techniky DJI Mavic 3 Multispectral v náletové výšce nad terénem 120 m (AGL) a výsledném prostorovém rozlišení (GSD) 5,6 cm/pixel. Mapování bylo cíleno na herbicidní ošetření jednoletých (heřmánkovec nevonný, *Tripleurospermum inodorum*) a vytrvalých (pcháč rolní, *Cirsium arvense*) plevelů vyskytujících se na pozemku v porostu kukuřice seté v růstové fázi 5-6 listů (BBCH 15-16).



Obr. 15 Detekce zaplevelení vytrvalých (pcháč) a jednoletých (heřmánkovec) plevelů na pozemku o výměře 31,69 ha (vlevo) a detail identifikace plevelných rostlin s tvorbou zón pro aplikaci (vpravo)

Pořízené snímky byly zpracovány s využitím software Agisoft Metashape, identifikace zaplevelení následně probíhala s využitím metod řízené klasifikace a strojového učení (random forestry) v GIS. Následně byla provedena aplikace přípravků Dicavel (0,6 l/ha) a Story (0,2 l/ha) s dávkou postřikové jichy 200 l/ha samojízdny mi postřikovači Horsch Leeb 6.300 VN a Agrifac Condor s aplikačním záběrem 36 m a řízením ovládání jednotlivých trysek pulzní modulací (PWM).



Obr. 16 Aplikační mapy nahrané do palubního terminálu postřikovače Agrifac (vlevo) a Horsch (vpravo)



Obr. 17 Provedení plošně diferencované aplikace herbicidních látek postřikovačem Horsch Leeb na pozemcích ROSTĚNICE a.s.

IV. EKONOMICKÁ ANALÝZA

Vyhodnocení ekonomických přínosů ověřené technologie vychází z mapování zaplevelení na experimentálních lokalitách bezpilotními prostředky a návrhu podkladových map pro plošně diferencovanou aplikaci herbicidního postřiku. Výsledky ověřování na 22 poloprovozních pokusných plochách v různých produkčních podmínkách s celkovou výměrou 1095 ha ukázaly na potřebu provedení aplikace na 17 - 100 % plochy pozemku v závislosti na intenzitě zaplevelení a technických možnostech aplikace. Celkový průměr modelově aplikované plochy byl 77 %, při odečtení ploch s nastavenou dvojitou aplikační dávkou se jednalo o 50 %. Reálné provedení aplikace na třech pozemcích zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. o výměře 78,4 ha vykázalo aplikaci postřiku na 29,9 ha, tzn. plošnou úsporu na úrovni 62 %. To již představuje výraznou úsporu postřikových látek v porovnání s celoplošnou aplikací a vzhledem ke zvyšujícím se cenám herbicidních přípravků může být ekonomický přínos poměrně velký. Je nutné také zohlednit, že plošně diferencovaná aplikace není vhodná (a ekonomicky výhodná) pro veškeré zásahy chemické regulace zaplevelení, uplatnění lze očekávat zejména pro opravné zásahy zaměřené na vytrvalé plevele s ohniskovým výskytem.

Přesné vyčíslení ekonomických přínosů pro další uživatele je ale obtížné, je dáno intenzitou zaplevelení daného stanoviště, vybavení technickými prostředky a náklady na mapování. Sběr a zpracování dat může být zajištěno vlastními prostředky uživatelem (bezpilotní systém, software) nebo formou dodavatelské služby. Případně jejich kombinací – provedení zmapování vlastním bezpilotním prostředkem s jednoduchým ovládním a následným zpracováním a vyhodnocením dat s využitím specializované služby. Mezi přínosy je také možné zařadit omezení vlivu fyto toxického působení selektivních herbicidů na pěstované plodiny při cílených aplikacích.

Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí v oblasti omezení rizik používání chemických látek v rostlinné produkci.

V. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Bezpilotní prostředky plní nezastupitelnou úlohu při identifikaci zaplevelení nebo detekci poškození porostu, kde se uplatňují RGB či multispektrální data s velmi vysokým prostorovým rozlišením několika mm až cm. Předkládaná ověřená technologie ukazuje na možnosti využití těchto technologií pro plošně diferencovanou aplikaci herbicidních látek. V kombinaci s pokročilým řízením aplikačních trysek u postřikovací techniky se tak otevírají nové možnosti cílené aplikace přípravků na ochranu rostlin s významnou úsporou aplikovaných látek až v několika desítkách procent.

VI. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Böttger, H., H.-R. Langner A P. Bornin, 2003. New technology for variable rate pesticide application. LANDTECHNIK [online]. Bielefeld, 58(3): 142-143. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2003-3-142-143/2573>.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., Pajares, G. 2011. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture*. vol. 75, no. 2, pp. 337-346. ISSN 0168-1699
- Colquhoun J., Stolenberg D. E., Binning L. K., Boerboom Ch. M. (2001): Phenology of Common Lambsquarters Growth Parameters. *Weed Science*, 49: 177-183.
- Fischer D. W., Harvey R. G., Bauman T. T., Phillips S., Hart S. E., Johnson G. A., Kells J. J., Westra P., Lindquist J. (2004): Common lambsquarters (*Chenopodium album*) interference with corn across the northcentral United States. *Weed Science*, 52: 1034 - 1038.
- Hamouz P. (2014): Metody regulace zplevelení pro precizní zemědělství. : Česká zemědělská univerzita v Praze, 42 s. Dostupné na: <https://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KAB/METODY-REGULACE-ZAPLEVELENI-PRO-PRECIZNI-ZEMEDELSTVI.pdf>.
- Harašta, P., 2020. Co je nového v aplikační technice?. In: Agromanuál [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/co-je-noveho-v-aplikacni-technice>.
- Harašta, P., 2021. Novinky v aplikační technice. In: Agromanuál [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/novinky-v-aplikacni-technice>.
- Heege, Hermann J., 2018. Precision in crop farming. Springer.
- Jursík M. a kol. (2023): Opravné herbicidní zásahy v ozimých obilninách na jaře. Agromanual.cz [online]. [cit. 2023-06-03]. Dostupné na: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/opravne-herbicidni-zasahy-v-ozimych-obilninach-na-jare>.
- Jursík M., Soukup J., Kučera J. (2023): Nové strategie regulace plevelů v kukuřici. Agromanual.cz [online]. [cit. 2023-06-03]. Dostupné na: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/nove-strategie-regulace-plevelu-v-kukurici>.
- Karášková, M., 2018. Postřikovače, téma prosincového čísla Mechanizace zemědělství. In: Mechanizace zemědělství [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/postrikovace-tema-prosincoveho-cisla-mechanizace-zemedelstvi/>.
- Klem K. (2001): Plevel v jarním ječmeni a možnost jejich regulace. Uroda.cz [online]. [cit. 2023-06-03]. Dostupné na: <https://uroda.cz/plevele-v-jarnim-jecmeni-a-moznost-jejich-regulace/>
- Kroulík, M., Brant, V., Hamouz, P., A Lukáš, J., 2019. Využití bezpilotních prostředků ve sběru dat a řízení vstupů. Agromanuál: Profesionální Ochrana Rostlin, 14(10), 74-77.
- Lukas, V. A Neudert, L, 2016. Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů: certifikovaná metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-460-5.
- Mašek, J., 2008. Vhodná technika na ochranu rostlin. In: Zemědělec [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/vhodna-technika-na-ochranu-rostlin/>.
- Mašek, J., 2017. Soudobá technika na ochranu rostlin. Farmář. Praha, 23(10): 44-46. ISSN 1210-9789.
- Neudert, L., V. Lukas et al., 2015. Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-311-0.
- Norris R. F. (1992): Case history for weed competition/population ecology: barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in sugarbeets (*Beta vulgaris*). *Weed Technology*, 6(1):220-227.
- Norris R. F. (1996): Morphological and phenological variation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in California. *Weed Science*, 44(4):804-814.
- Oerke, Erich-Christian, et al. (ed.), 2010. Precision crop protection-the challenge and use of heterogeneity. Dordrecht: Springer.

- Rai, N., Zhang, Y., Ram, B. G., Schumacher, L., Yellavajjala, R. K., Bajwa, S., Sun, X. 2023. Applications of deep learning in precision weed management: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. vol. 206, pp. 107698. 2023/03/01/.
- Sattin M., Zanin G., Berti A. (1992): Case History for Weed Competition /Population Ecology: Velvetleaf (*Abitilon theophrasti*) in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 6: 213 - 219.
- Somerville, G. J., Mathiassen, S. K., Melander, B., Bøjer, O. M., Jørgensen, R. N. 2021. Analysing the number of images needed to create robust variable spray maps. *Precision Agriculture*. vol. 22, no. 5, pp. 1377-1396. 2021/10/01.
- Soukup J. a kol. (2018): Rezistence plevelů vůči herbicidům a jak jí předcházet. *Agromanual.cz* [online]. [cit. 2023-06-03]. Dostupné na: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/rezistence-plevelu-vuci-herbicidum-a-jak-ji-predchazet>).

VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY VZNIKU OVĚŘENÉ TECHNOLOGIE

- LUKAS, Vojtěch; SMUTNÝ, Vladimír; CZÍRIA, Kornel; PORČOVÁ, Lenka; ŠIRŮČEK, Petr; HORNIAČEK, Igor; ELBL, Jakub; 2022. Cílená aplikace herbicidních látek s využitím technologií precizního zemědělství. *XXII. Česká a slovenská konference o ochraně rostlin*. 08.09.2022 - 09.09.2022, Brno. In: *XXII. Mendelova univerzita v Brně*. ISBN 978-80-7509-848-1. [Dostupné z: https://cskor.mendelu.cz/wcd/w-rek-cskor/22cskor_soubory/sbornik-xxii-konference_cskor_2022.pdf](https://cskor.mendelu.cz/wcd/w-rek-cskor/22cskor_soubory/sbornik-xxii-konference_cskor_2022.pdf)
- Lukas V., Smutný, V., Cziria, K., Porčová, L., Širůček, P., Horniaček, I., Elbl, J. 2022. Šetrné hospodaření na půdě s využitím technologií precizního zemědělství. Prezentace na semináři „Pohled přes hranice“, 23-24.3.2022, Dolní Dunajovice.
- Panteleev, E. 2023. Využití bezpilotního průzkumu pro cílenou aplikaci herbicidních látek. Diplomová práce obhájena na AF MENDELU, vedoucí práce: doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

VIII. PROTOKOL O OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Protokol o ověření technologie

Název Ověřené technologie:

Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství

Autoři Ověřené technologie:

doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Lenka Porčová, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Kornel Czírja, Skymaps s.r.o.

Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

doc. Ing. Vladimír Smutný, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

Předmět ověřování:

Cílem ověřené technologie je popsat postupy mapování zaplevelení pomocí metod DPZ a tvorbu podkladů pro plošně diferencovanou aplikaci herbicidního ošetření. Zahrnuje postupy sběru dat s využitím bezpilotních prostředků, zpracování obrazových dat v GIS a rozhodovací kritéria při ovládní aplikační techniky s ohledem na stupeň technické výbavy. Postupy byly ověřeny v zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s.

Ověřující pracoviště:

Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF, Mendelova univerzita v Brně – *spoluřešitel projektu*

Skymaps, s.r.o. – *řešitel projektu*

ROSTĚNICE a.s. – *zemědělský podnik, uživatel technologie*

Termín ověření:

Září 2021 (*výběr ověřovací lokality*) – květen 2023 (*vyhodnocení výsledků a zpracování technické dokumentace*)

Technická dokumentace:

Viz. Příloha - Technická dokumentace výsledku - (*popis technologie včetně protokolu o způsobu a vlastním testování ověřené technologie*)


Závěrečné konstatování:


Technologie byla ověřena formou poloprovozního polního pokusu na pozemcích zemědělské společnosti ROSTĚNICE a.s. v letech 2021 až 2023. Ověřování potvrdilo princip plošně diferencované aplikace herbicidních látek na základě

mapování zaplevelení metodami dálkového průzkum Země. Ohniska zaplevelení vytrvalými plevely u širokořádkových kultur byla nasnímána pomocí dálkově pilotovaných leteckých prostředků (dronů) s multispektrálními senzory a následně vyhodnocena postupy řízených klasifikací v GIS. Reálné provedení aplikace na třech pozemcích o výměře 78,4 ha vykazalo aplikaci postřiku na 29,9 ha, tzn. plošnou úsporu na úrovni 62 %. To již představuje výraznou úsporu postřikových látek v porovnání s celoplošnou aplikací a vzhledem ke zvyšujícím se cenám herbicidních přípravků může být ekonomický přínos poměrně velký. Je nutné také zohlednit, že plošně diferencovaná aplikace není vhodná (a ekonomicky výhodná) pro veškeré zásahy chemické regulace zaplevelení, uplatnění lze očekávat zejména pro opravné zásahy zaměřené na vytrvalé plevely s ohniskovým výskytem.

Další přínosy jsou v souladu s všeobecným zájmem celé společnosti v oblasti ochrany životního prostředí. Předkládaná technologie má výrazný potenciál přispět ke snížení negativních dopadů zemědělské činnosti na životní prostředí v oblasti omezení rizik používání chemických látek v rostlinné produkci.

Technologie „Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství“ byla navržena a ověřena v rámci řešení výzkumného projektu MPO Aplikace s názvem „Skymaps – výzkumný projekt“ (CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024838).

<p>Za autorský tým MENDELU doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D. Ústav agrosystémů a bioklimatologie AF Mendelova univerzita v Brně</p> <p>V Brně dne: 30. 5. 2023</p>	 <p>(podpis)</p>
--	--

<p>Za uživatele technologie Ing. Jan Kříž ROSTĚNICE a.s.</p> <p>V Rostěnicích-Zvonovicích dne: 30. 5. 2023</p>	 <p>(podpis)</p>
---	--

Název: Lokálně cílená aplikace herbicidů v precizním zemědělství

Autoři:

doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně; ROSTĚNICE a.s.
Ing. Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně
Ing. Lenka Porčová, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Kornel Czírja, Skymaps s.r.o.
Ing. Jakub Elbl, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
doc. Ing. Vladimír Smutný, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně

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

Vydání: první, 2023

Počet stran: 32 str.

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autory: vojtech.lukas@mendelu.cz

